

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université A. MIRA - Bejaïa -
Faculté des Sciences Exactes
Département de Chimie

Mémoire de Master

Présenté par :

M. ABID MD AREZKI

M. BENHAMLA MOKHTAR

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Chimie

Spécialité : Chimie des matériaux

Expansion des enduits de façade par incorporation de particules allégeantes

Soutenu le : 28/06/2015

Devant le jury composé de :

M ^f Boukeroui Abdelhamid	Département de Chimie	Président
M ^f . Moussaceb Karim	Département de Technologie	Examineur
M ^f Zidane Youcef	Département de Chimie	Encadreur
M ^f Djatouti madjid	Responsable de laboratoire Sarl mortero	Invité

2014-2015



Avoir tort est faussement associé à l'échec, alors que, en fait, être détrompé devrait être célébré car il élève une personne à un nouveau niveau de compréhension, favorisant ainsi une prise de conscience.



Remerciements

Tout d'abord qu'il nous soit permis de remercier et d'exprimer notre gratitude envers Dieu de nous avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'études.

Nous adressons nos vifs remerciements à notre encadreur : Mr Y.Zidane, de nous avoir fait profiter de ces grandes compétences et ces conseils judicieux et de nous avoir dirigés avec efficacité et grande patience.

Nos vifs remerciements s'adressent également à Messieurs, Pr Boukeroui et Pr Moussaceb, qui ont accepté d'honorer ce jury.

Nous remercions aussi Mr M.Djatouti responsable du laboratoire de la Sarl mortero, et Mr Tahir responsable au laboratoire LTP EST pour leur disponibilité permanente et leurs encouragements constants, la confiance et les conseils judicieux qu'ils n'ont pas cessé de nous prodiguer toute au long de ce mémoire.

Sans oublier le personnel de la Sarl mortero tant pour leurs encouragements que pour l'aide qu'ils nous ont apporté à propos de notre travail.

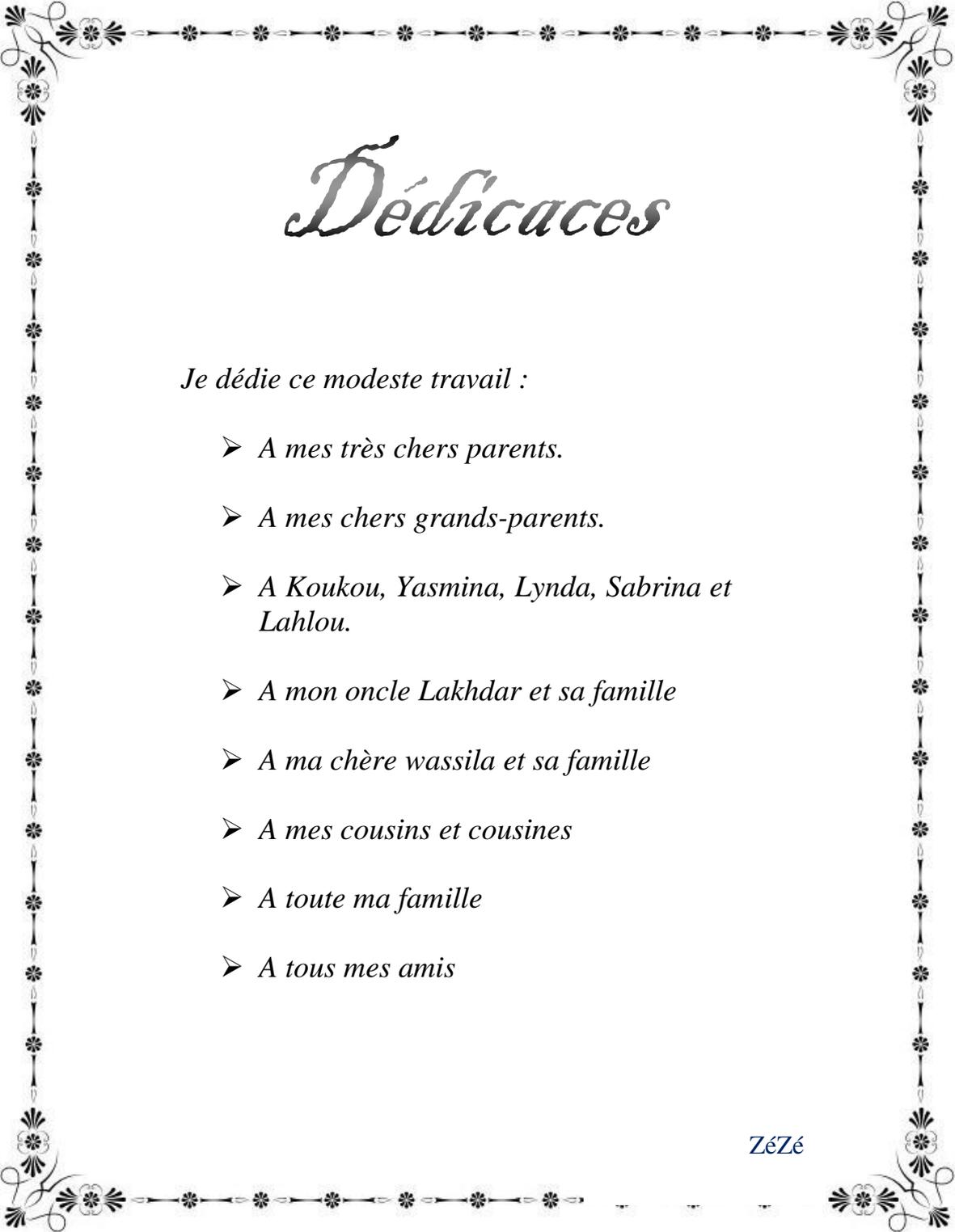
Que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail, trouvent ici le témoignage de nos profondes reconnaissances, nous les remercions vivement pour leur aide précieuse et pour avoir mis à notre disposition leur expérience.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- *A mes très chers parents.*
- *A Houpou, Lounes et Islem.*
- *A ma grande mère Khadîdja.*
- *A mes oncle Fateh, Athman, Lachen, Dadi, Amar.*
- *A mes tantes Razika et sa fille Baya, Hayete, Nola.*
- *A mes frères Adem, Kimo, chokaybos, Djadjou et Boba.*
- *A tous mes amis.*

Arezki

A decorative border with floral motifs and small star-like symbols surrounds the text.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- *A mes très chers parents.*
- *A mes chers grands-parents.*
- *A Koukou, Yasmina, Lynda, Sabrina et Lahlou.*
- *A mon oncle Lakhdar et sa famille*
- *A ma chère wassila et sa famille*
- *A mes cousins et cousines*
- *A toute ma famille*
- *A tous mes amis*

ZéZé

Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction générale.....	Page 01

ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I Généralités sur les enduits.....	04
I.1 Définition et fonctions de l'enduit.....	04
I.1.1 Définition de l'enduit.....	04
I.1.2 Fonctions de l'enduit.....	04
I.2 Normalisation et concept d'enduit.....	05
I.2.1 Aperçu sur la normalisation des enduits.....	05
I.2.2 Concept d'enduit selon les DTU.....	07
I.3 Typologie et pathologie des enduits.....	08
I.3.1 Typologie des enduits.....	08
I.3.2 Pathologie des enduits.....	11
II Techniques de fabrication.....	14
II.1 Les éléments de constitution des enduits.....	14
II.1.1 Les liants minéraux.....	14
II.1.1.1 Le ciment.....	14
II.1.1.2 La chaux.....	16
II.1.1.3 Le plâtre.....	17
II.1.2 Les charges.....	18
II.1.2.1 Les granulats.....	18
II.1.2.2 Les fillers.....	19
II.1.3 L'eau.....	19
II.1.4 Les additifs.....	19

II.2 Réalisation manuelle du mortier.....	20
II.3 Réalisation mécanique du mortier.....	20
III Les enduits monocouches.....	21
III.1 Définition.....	21
III.2 Caractéristiques des enduits monocouches.....	22
III.3 Techniques de mise en œuvre des enduits monocouches.....	24
III.3.1 Préparation du support.....	24
III.3.2 Choix de l'enduit.....	25
III.3.3 Matériels et techniques d'exécution.....	26
IV Problématique.....	28
IV.1 Objectifs de l'étude.....	29
V Présentation des matériaux étudiés.....	29
V.1 La perlite.....	29
V.1.1 Définition et composition.....	29
V.1.2 Propriétés.....	30
V.1.3 Domaines d'utilisation.....	30
V.2 La ponce.....	31
V.2.1 Définition et composition.....	31
V.2.2 La ponce dans la construction.....	33

ÉTUDE EXPERIMENTALE

I Introduction.....	34
II Présentation de la SARL Mortero.....	34
III Méthodologie d'étude.....	35
III.1 Choix des matériaux.....	35
III.2 Composition des mélanges à réaliser.....	36
IV Protocoles expérimentaux.....	37
IV.1 Confection des éprouvettes et conditions de conservation.....	37
IV.2 Détermination de la masse volumique.....	38
IV.3 Essai de consistance.....	38
IV.4 Essai de rétention d'eau.....	40

IV.5 L'absorption d'eau par capillarité.....	41
IV.6 Résistance à la compression.....	41

RESULTATS ET DISCUSSION

I Introduction.....	43
II Résultats obtenus.....	44
III Interprétation des résultats.....	46
III.1 Masse volumique des mortiers à l'état durci.....	45
III.2 Taux de gâchage.....	47
III.3 Rétention d'eau.....	48
III.4 Absorption d'eau par capillarité.....	48
III.5 Résistance à la compression à 28 jours.....	49
Conclusion générale	50
Bibliographie	
Annexes.....	51

Liste des Abréviations

Abréviations utilisées dans la suite du texte :

CL : (Calcic Lime) : chaux calciques

CR : (Color Renders) : mortier d'enduit de parement

CS : (Compressive Strength) : résistance mécanique

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

DL : (Dolomitic Lime) : chaux dolomitiques

DTU : Documents Techniques Unifiés

FL : (Formulated Lime) : chaux formulées

GP : (General Purpose) : mortier d'enduit d'usage courant (enduit traditionnel)

HL : (Hydraulic Lime) : chaux hydrauliques

LW : (LighWeight) : mortier d'enduit allégé

MERUC : Masse, Elasticité, Résistance, humidification, Capillarité

NHL : (Natural Hydraulic Lime) : chaux hydrauliques naturelles

OC : (One Coat) : mortier d'enduit monocouche (OC1, OC2 ou OC3)

R : (Resistant) : mortier d'enduit d'assainissement

Rc : résistance à la compression

Re : La rétention d'eau

Rt : Résistance à la traction du support (Rt 1, Rt 2 ou Rt 3)

T : (Thermal) : mortier de conductivité thermique

W : (Water) : absorption d'eau par capillarité

Liste des figures

Figure 01 : Principales fonctions de l'enduit.....	04
Figure 02 : Phénomène d'absorption et évaporation d'eau.....	05
Figure 03 : Etapes d'évolution du DTU 26.1.....	07
Figure 04 : Composition du ciment.....	15
Figure 05 : Cycle de transformation de la chaux.....	17
Figure 06 : Composition des enduits monocouches (lourds et légers)	21
Figure 07: Choix de l'enduit selon la nature du support.....	25
Figure 08 : Exemples d'applications et les épaisseurs correspondantes.....	27
Figure 09 : La perlite (roche et expansée)	29
Figure 10: La ponce blanche.....	31
Figure 11 : La ponce noire.....	32
Figure 12: La structure chimique de la ponce.....	32
Figure 13: Appareil de VICAT.....	39
Figure 14 : Dispositif d'aspiration d'eau sous dépression.....	40
Figure 15 : Dispositif de rupture en compression	42
Figure 16 : Evolution de la masse volumique des mortiers en fonction de la teneur en particules.....	46
Figure 17 : Evolution de la rétention d'eau des mortiers en fonction de la teneur en particules.....	48

Liste des tableaux

Tableau 01 : Classification des enduits suivant le MERUC.....	06
Tableau 02 : Caractérisation des enduits de façade.....	10
Tableau 03 : Choix de type d'enduit en fonction du support.....	11
Tableau 04 : Effet de type d'adjuvant sur le mortier.....	20
Tableau 05 : Catégories de rétention d'eau des enduits monocouches.....	23
Tableau 06: Choix de l'enduit selon sa classe de résistance.....	26
Tableau 07 : Composition chimique de la perlite.....	30
Tableau 08 : Composition chimique de la ponce.....	33
Tableau 09 : Quantités de matériaux pour l'enduit référence.....	36
Tableau 10 : Quantités de matériaux pour de l'enduit à base de perlite.....	36
Tableau 11 : Quantités de matériaux pour de l'enduit à base de ponce blanche.....	37
Tableau 12 : Quantités de matériaux pour l'enduit à base de ponce noire.....	37
Tableau 13: Résultats des tests sur le mortier référence MR.....	44
Tableau 14: Résultats des tests sur les mortiers de la pierre ponce blanche.....	44
Tableau 15 : Résultats des tests sur les mortiers de la perlite.....	44
Tableau 16 : Résultats des tests sur les mortiers de pierre ponce noire.....	45
Tableau 17 : Résultats des essais de la compression pour le 28 jours.....	45
Tableau18 : Catégories de classifications des mortiers réalisés.....	51

Introduction

Introduction générale :

Au cours des 40 dernières années, les mortiers sont devenus de plus en plus complexes. Ils associent des liants hydrauliques, divers adjuvants et différentes charges. En Europe, la production de mortiers pré formulés atteint 70 millions de tonnes contre 5 millions de tonnes pour les mortiers réalisés sur chantier (soit 93% contre seulement 7%). La fabrication en usine permet de doser, de façon précise et régulière, les dizaines de composants qui entrent dans la formulation des mortiers industriels et d'assurer un contrôle permanent de leurs caractéristiques. Les mortiers industriels sont présents dans tous les secteurs d'activité du bâtiment et des travaux publics. A chaque domaine d'application correspond un type de mortier pouvant être dédié à :

- la protection et la décoration (sous-enduits, enduits de parement colorés, enduits monocouche),
- la pose des carrelages (mortiers colles et mortiers de joints),
- la préparation des sols (chapes, ragréages, enduits de lissage, d'égalisation),
- les assemblages (éléments de maçonnerie, fixation des éléments de cloisons et de doublage),
- l'isolation et l'étanchéité (systèmes d'isolation thermique par l'extérieur, d'imperméabilisation, d'étanchéité, d'isolation phonique, d'ignifugation),
- les travaux spéciaux (gunitage, réparations d'ouvrages d'art et de génie civil, scellement et calages, coulis d'injection, cuvelages).

Un enduit de façade constitue une sorte de carte de visite qui livre les principaux codes d'accès d'un édifice. Simplement accueillante ou ostentatoire, ou encore rébarbative : telle apparaît la maison par le seul traitement de ses murs. Le choix d'un enduit est donc lourd de conséquence sur l'image qu'il donnera d'une construction et, par la même, de son propriétaire. Il engage l'usager de la maison sur la durée, l'obligeant à savourer, ou au contraire à subir quotidiennement, le spectacle d'une réussite ou d'un échec. Il détermine aussi la vie même du bâtiment sur le long terme.

L'examen du bâti ancien nous permet de comprendre que tous les types de structures n'exigent pas le même enduit et que certains d'entre eux n'en ont tout simplement pas besoin. Pierres dures, pierres tendres gélives ou non gélives, moellons et pierres de taille, brique

cuites et terre crue : les cas de figure sont nombreux et la construction traditionnelle, au travers de ses exemples modestes ou prestigieux, nous en offre toute la gamme.

C'est à cette diversité de contraintes qu'ont été confrontés les artisans d'autrefois, obligés de trouver des solutions originales, de tester des recettes adaptées au contexte technologique et économique, aux différents types de bâtiment, à leur usage, aux particularités de la commande, en incorporant de nouveaux matériaux ou en substituant d'autres existants déjà. Il n'est donc pas de solution unique et, dans le large spectre des possibles, les enduits à la chaux, au plâtre, à la terre sont des repenses parmi d'autres apportées à la protection ou à la mise en valeur des façades. L'usage de chacun de ces matériaux connaît en outre de multiples variantes.

Ces recettes ont fait l'objet de travail de plusieurs chercheurs, dans le contexte économique et technologique, sur lequel des études sont régulièrement réalisées afin d'évaluer de nouveaux matériaux et d'améliorer les performances ou la productivité, tout en maintenant les coûts, ou dans le cadre de l'expansion du produit fabriqué par les entreprises spécialistes.

Si la nature offre un choix de matériaux dont l'utilisation intelligente permet d'aboutir à une grande variété architecturale, elle présente aussi des hostilités contre lesquelles les constructions doivent être protégées. Il s'agit de la pluie et ses conséquences (érosion, remontée d'humidité), du soleil et de son incidence sur le confort thermique, des attaques des milieux agressifs et, enfin, des effets du vent. Ce rôle protecteur des constructions est assuré par l'enduit de façade.

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique. En effet, le gain de poids, qui peut être plus ou moins important selon le type de mortier, entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges et conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à l'amélioration du rendement qui conduit à des gains de productivité à la mise en œuvre.

L'étude réalisée dans ce mémoire représente une modeste contribution à l'allégement des enduits et ce par l'étude des effets de l'incorporation de certains composés minéraux (perlite, ponce blanche et ponce noire) sur la masse volumique et les propriétés physiques et mécaniques d'un enduit de façade.

Le travail est réparti sur trois parties :

-Après une introduction générale, étude bibliographique, sont présentés les généralités sur les enduits, la problématique et un aperçu sur les particules utilisées durant notre étude.

- La deuxième partie est consacrée à la description de la méthodologie d'étude et des différents essais réalisés.

- La troisième partie est dédiée à la présentation, la discussion et l'interprétation des résultats obtenus lors de l'élaboration des enduits modifiés.

Et enfin, on terminera par une conclusion.

Etude bibliographique

I. Généralités sur les enduits

I.1 Définition et fonctions de l'enduit

I.1.1 Définition de l'enduit

L'enduit est par définition un mélange pâteux avec lequel on recouvre une paroi de maçonnerie brute, appelée support, pour lui donner en général une surface uniforme et plane, et éventuellement d'autres caractéristiques ; à l'extérieur, pour la protéger des intempéries et souvent constituer un parement uniforme à caractère décoratif et, à l'intérieur pour servir d'élément pour l'esthétique. Dans ce dernier cas, l'enduit est du domaine de confort plutôt que de la protection.

Les enduits sont constitués d'un liant (chaux, plâtre, ciment ou terre) et de charges minérales (agrégats, ou granulats, comme le sable ou la poussière de marbre). L'adjonction de pigments (charges colorantes) n'est pas indispensable, elle dépend de l'effet recherché.

I.1.2 Fonctions de l'enduit

Suivant leur nature, les enduits extérieurs assurent une ou plusieurs des trois fonctions suivantes qui sont présentées dans la figure qui suit :

- ❖ Le **dressage** : en rattrapant les irrégularités du gros œuvre. Son aspect lisse favorise le ruissellement ;
- ❖ La **protection** : en assurant l'imperméabilisation de la paroi, tout en laissant « respirer » le support ;
- ❖ La **décoration** : en donnant l'aspect final de la façade (le parement). Cette fonction apporte sur la façade une esthétique importante par la composition, la coloration et le rapport qu'elle établit avec les autres éléments architecturaux du bâtiment [1].

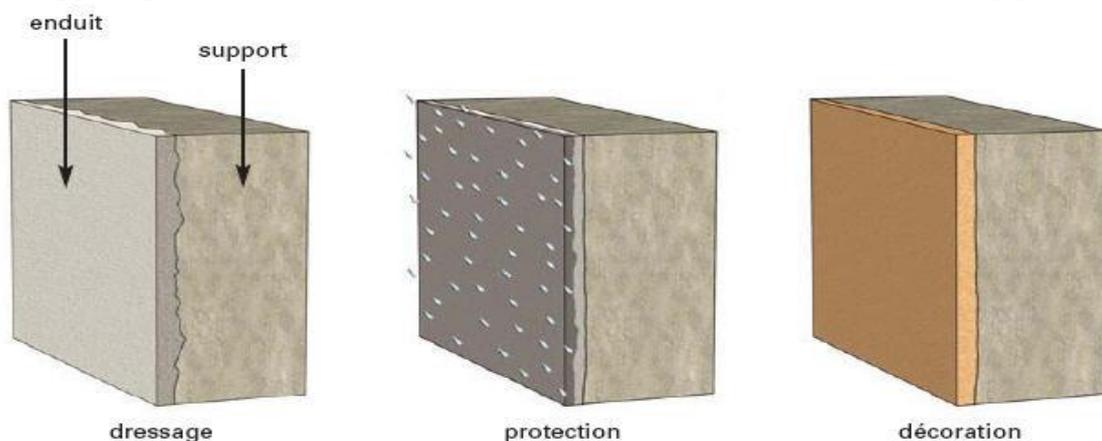


Figure 01 : Principales fonctions de l'enduit

La fonction « imperméabilisation » diffère de la fonction « étanchéité » en ce sens que l'imperméabilisation conférée à la paroi n'est généralement pas conservée en cas de fissuration du support [1]

L'absorption d'eau par capillarité conditionne en partie la fonction d'imperméabilisation, cette fonction dépendant également du nombre de couches et de l'épaisseur d'enduit.

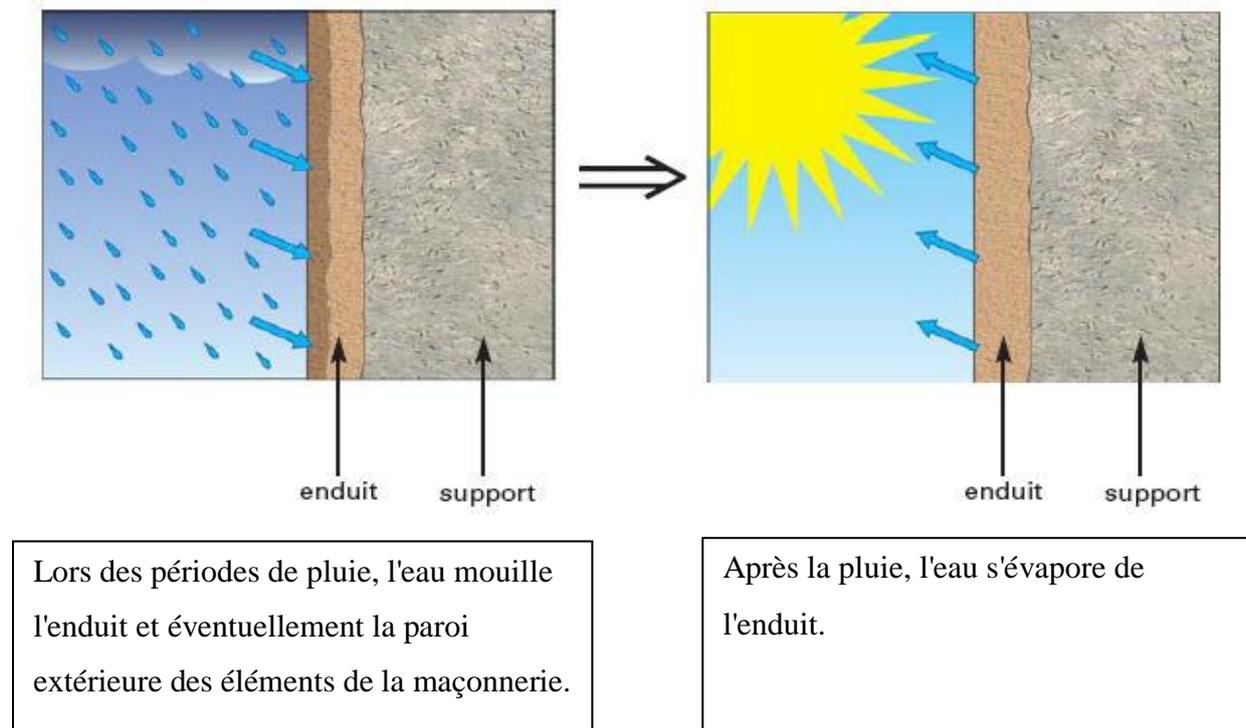


Figure 02 : Phénomène d'absorption et évaporation d'eau

La texture varie selon les modes d'application de l'enduit. Ceux-ci sont fonction de l'architecture du bâti, de l'époque de construction mais également de la composition des mortiers.

Ainsi, il n'est pas sans intérêt dans le paragraphe qui suit de faire un aperçu sur les normes qui ont marqué la connaissance et l'évolution des techniques sur les enduits.

I.2 Normalisation et concept d'enduit

Dans ce paragraphe, il sera examiné le concept d'enduit traditionnel à travers les Documents Techniques Unifiés (DTU).

I.2.1 Aperçu sur la normalisation des enduits

a. Les cahiers du CSTB ou l'ancien DTU 26.1 de mai 1993

Le Cahier des Prescriptions Techniques de 1993, cahiers du CSTB 2669-2 ou encore Document Technique Unifié (DTU) de mai 1993 est un document technique qui normalise la

fabrication et l'exécution des mortiers d'enduit. Il est structuré en deux parties distinctes : la partie **application traditionnelle** (Enduits aux mortiers de ciment, de chaux et de mélange plâtre et chaux aérienne) et la partie **application monocouche** (Enduits monocouches d'imperméabilisation).

Dans ce document la classification des enduits porte sur cinq caractéristiques dites **MERUC**.

Tableau 01 : Classification des enduits suivant le MERUC [2]

Caractéristique	Classification					
Masse volumique apparente (Kg /m ³)	M1	M2	M3	M4	M5	M6
	Inferieure à 1200	Entre 1000 et 1400	Entre 1200 et 1600	Entre 1400 et 1800	Entre 1600 et 2000	Supérieure à 1800
Module d'élasticité (MPa)	E1	E2	E3	E4	E5	E6
	Inferieure à 5000	Entre 3500 et 7000	Entre 5000 et 10000	Entre 7500 et 14000	Entre 12000 et 20000	Supérieure à 16000
Résistance à la traction (MPa)	R1	R2	R3	R4	R5	R6
	Inferieure à 1,5	Entre 1,0 et 2,0	Entre 1,5 et 2,7	Entre 2,0 et 3,5	Entre 2,7 et 4,5	Supérieure à 3,5
Rétention d'eau (%)	U1	U2	U3	U4	U5	U6
	Inferieure à 78	Entre 72 et 85	Entre 80 et 90	Entre 86 et 94	Entre 91 et 97	Supérieure à 95
Capillarite (g/dm ² .min ^{1/2})	C1	C2	C3	C4	C5	C6
	Inferieure à 1,5	Entre 1,0 et 2,5	Entre 2 et 4	Entre 3 et 7	Entre 5 et 12	Supérieure à 10

b. Le nouveau DTU 26.1 d'avril 2008

Le développement de l'industrialisation des enduits a fortement favorisé la diffusion des enduits monocouches qui représentent aujourd'hui plus de 80% des enduits de façades réalisés en travaux neufs [3]. Ce nouveau constat a amené les professionnels du domaine à réviser le DTU de 1993, en intégrant les enduits monocouches et en redéfinissant la terminologie norme produit NF EN 998.1 dans le nouveau DTU 26.1 intitulé '**Travaux d'enduits de mortiers**'.

Ainsi le nouveau DTU 26.1 d'avril 2008 est divisé en trois parties et se présente comme suit, comparativement à celui de mai 1993 :

Dans ce nouveau document, les principales évolutions sont :

1. La suppression de la classification des supports en catégorie A et B ;
2. La nouvelle classification des supports en Rt1, Rt2 et Rt3 ;
3. La classification des enduits selon le MERUC devient obsolète ;
4. Désormais les enduits monocouches font pleinement partie des techniques traditionnelles ;

5. La reprise de terminologie de la norme produit NF EN 998.1.

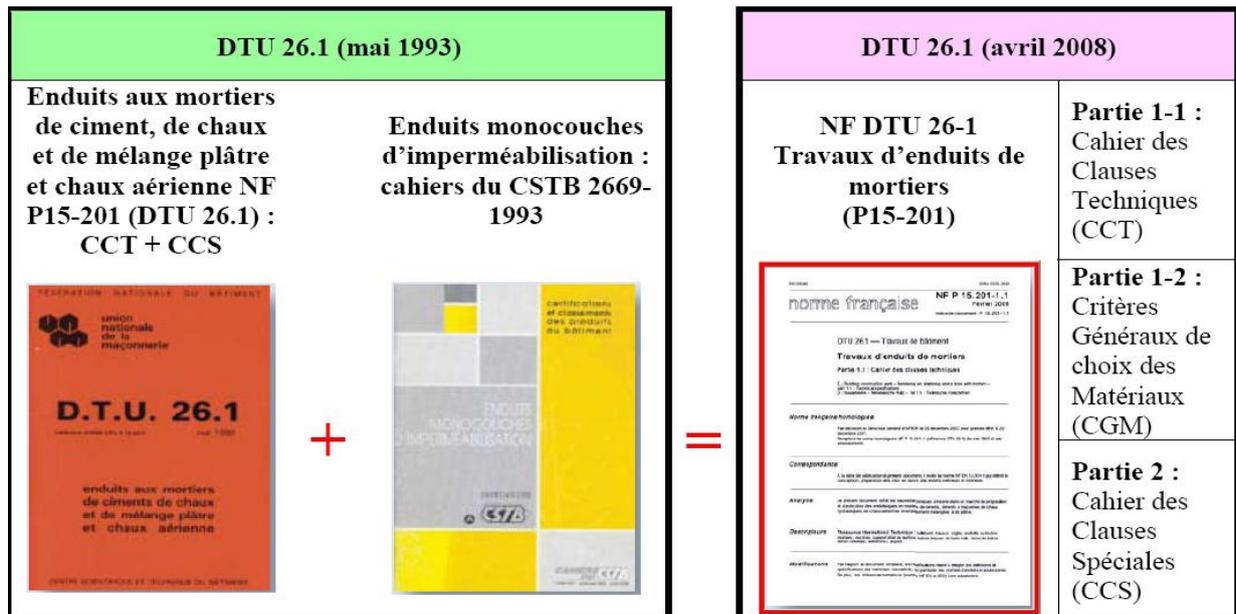


Figure 03 : étapes d'évolution du DTU 26.1

I.2.2 Concept d'enduit selon les DTU

a. Concept selon l'ancien DTU 26.1

L'ancien DTU distingue les enduits traditionnels, les enduits monocouches et les revêtements plastiques épais (RPE) ou semi épais (RSE).

Sont désignés sous le nom d'enduits traditionnels dans l'ancien DTU, tous les enduits de composition traditionnelle (ciment, chaux, sable), posés soit en trois couches appliquées manuellement, soit en deux couches à l'aide d'une machine à projeter :

- La première couche, le **Gobetis**, est destinée à « accrocher » l'enduit sur le mur. Elle est la plus fortement chargée en liant et d'aspect rugueux ;
- La deuxième couche, le **corps d'enduit**, est plus épaisse et appliquée après plusieurs jours de séchage du gobetis. Elle assure l'essentiel de l'imperméabilisation ;
- La troisième couche, la **finition**, est plus mince et contient le moins de liant : ces caractéristiques sont essentielles pour éviter le faïençage et la fissuration. Elle protège le mur de l'érosion et le décore en lui donnant texture et couleur.

Les enduits monocouches sont distingués des enduits traditionnels par le fait que ce sont des produits fabriqués industriellement, contenant en faible quantité des adjuvants

permettant de faciliter la mise en œuvre et d'améliorer la performance. Ils sont livrés « prêts à gâcher » sur le chantier.

En ce qui concerne les revêtements plastiques dans l'ancien DTU, il ne s'agit pas d'enduit au sens d'enduit traditionnel ou d'enduit monocouche, mais d'une couche de protection décorative appliquée soit sur un mur en béton dont on a préparé la surface, soit sur un mur revêtu d'un enduit traditionnel. On distingue les enduits de parements hydrauliques et les enduits de parements plastiques.

b. Concept selon le nouveau DTU 26.1

Dans la terminologie du nouveau DTU, les enduits traditionnels désignent une famille d'enduits bien connue : les enduits monocouches, les enduits multicouches.

Le nouveau DTU qualifie un enduit de « traditionnel » lorsque cet enduit est bien connu par ses caractéristiques et par sa technique de mise en œuvre. Or les enduits dits monocouches sont mis en œuvre selon une technique reconnue depuis les années 1970, de ce fait, aujourd'hui ils sont aussi des enduits traditionnels.

I.3 Typologie et pathologie des enduits

I.3.1 Typologie des enduits

Auparavant (ancien DTU 26.1), les mortiers d'enduit étaient uniquement définis par leurs recettes (dosage des liants et des sables), préparés sur le chantier ou dosés et pré mélangés en usine. Aujourd'hui, ils sont normalisés (NF EN 998-1) et définis selon leur conception, leur mode de fabrication et leurs propriétés et/ou domaine d'application.

a. Selon la conception

Lorsqu'il est fabriqué suivant des proportions de constituants prédéterminées dont résultent des propriétés spécifiques (concept de recette), le mortier est dit “ **mortier de recette** ”. Il est défini par sa composition. Il peut être mélangé sur chantier (mortier de chantier) ou en usine (mortier industriel).

Lorsque la conception et la méthode de fabrication ont été choisies par le fabricant en vue d'obtenir des caractéristiques spécifiques (concept de performance), le mortier est dit “ **performancier** ”. Il est défini par ses caractéristiques et performances. Il ne peut être mélangé qu'en usine (mortier industriel). Les monocouches entrent dans cette catégorie.

b. Selon le mode de fabrication

Lorsqu'il est composé de constituants individuels (chaux, ciments, sables, adjuvants) dosés et mélangés sur le chantier, le mortier est dit “ **mortier de chantier** ”.

S'il est dosé et mélangé en usine, c'est un “ **mortier industriel** ”. Il est alors fourni sous forme de mortier “ sec ” (poudre), prêt à gâcher avec de l'eau ou sous forme de “ mortier frais ” (pâte), prêt à l'emploi.

Un “ **mortier pré dosé** ” est un enduit dont les constituants sont entièrement dosés en usine et livrés sur le chantier où ils sont mélangés selon les spécifications et les conditions indiquées par le fabricant.

Un “ **mortier pré mélangé** ” est entièrement dosé en usine et livré sur le chantier où d'autres constituants, spécifiés ou fournis, sont ajoutés selon les spécifications et les conditions indiquées par le fabricant (ex. liants spéciaux avec ajout du sable sur chantier).

c. Selon les propriétés et/ou domaine d'application

- Un “ **mortier courant** ” (GP) est un mortier d'enduit qui n'a pas de propriétés spécifiques et qui peut être conçu comme un mortier de recette ou un mortier performantiel. Il correspond pratiquement au mortier (de sous enduit) destiné à la réalisation du corps d'enduit.
- Un “ **mortier allégé** ” (LW) est un mortier d'enduit performantiel dont la masse volumique durcie à l'état sec est inférieure à $1\,300\text{ kg/m}^3$.
- Un “ **mortier d'enduit de parement** ” (CR) est un mortier d'enduit performantiel spécialement coloré, utilisé pour la couche de finition décorative.
- Un “ **mortier d'enduit monocouche** ” (OC) est un mortier performantiel appliqué en une seule couche (mais en une ou deux passes avec le même mortier) qui remplit les mêmes fonctions qu'un système d'enduit multicouche extérieur coloré. Les mortiers d'enduits monocouches sont fabriqués avec des granulats courants lourds et/ou légers.
- Un “ **mortier d'enduit d'assainissement** ” (R) est un mortier performantiel utilisé pour la réalisation d'enduits sur maçonneries humides contenant des sels solubles à l'eau. Il présente une porosité et une perméabilité à la vapeur d'eau élevée ainsi qu'une absorption d'eau par capillarité réduite.

d. Selon les caractéristiques

Les mortiers d'enduits sont désignés selon les caractéristiques de l'enduit durci. Il est rare qu'un même enduit possède toutes les propriétés pour assurer les fonctions du dressage, d'imperméabilisation et de décoration du support.

La résistance à la compression à 28 jours, définit par le coefficient **CS** sur une échelle allant de I à IV, indique leur résistance aux chocs (CS IV par exemple, correspondant aux enduits les plus résistants).

L'absorption d'eau par capillarité, coefficient **W**, est choisie en fonction de l'exposition de l'enduit à la pluie. Sur les surfaces enduites exposées à la pluie, un fort coefficient (W2) est recommandé. Le coefficient d'absorption doit être progressif de la première couche à la finition. L'absorption d'eau par capillarité (W) d'un enduit est indépendante de sa perméabilité à la vapeur d'eau (μ). Il est possible qu'un enduit imperméable à l'eau soit perméable à la vapeur d'eau. C'est en particulier le cas des enduits d'assainissement (R). Toutefois cette propriété finale est conditionnée par l'épaisseur de l'enduit ou du système d'enduit.

Ces caractéristiques sont complétées par **la rétention d'eau (Re)**. Celle-ci caractérise l'aptitude du mortier frais à conserver son eau de gâchage pour permettre l'hydratation des liants hydrauliques et obtenir une bonne adhérence et une bonne cohésion finale de l'enduit. L'emploi en première couche ou monocouche d'un mortier frais fortement rétenteur d'eau est recommandé par temps chaud ou vent sec, en particulier sur les supports de maçonnerie poreux ou absorbants. La conductivité thermique intervient pour le calcul des déperditions thermiques de la paroi.

Tableau 02 : Caractérisation des enduits de façade

Propriétés	Norme d'essai	Catégories	Valeurs
Résistance à la compression (après 28 jours)	NF EN 1015-11	CS I	0,4 à 2,5 MPa
		CS II	1,5 à 5 MPa
		CS III	3,5 à 7,5 MPa
		CS IV	≥ 6 MPa
Absorption d'eau par capillarité	NF EN 1015-18	W0	Non spécifié
		W1	$C \leq 0,4 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
		W2	$C \leq 0,2 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{min}^{0,5}$
Rétention d'eau	-	Faible	$Re < 86\%$
		moyenne	$86\% \leq Re \leq 94\%$
		Forte	$Re > 94\%$

Source [4]: Nouveau DTU 26.1 (avril 2008)

e. Selon le type de support

La résistance mécanique du support conditionne le choix de l'enduit. Il ne faut pas réaliser un enduit dur sur un support de maçonnerie tendre ou fragile. **La résistance des supports (Rt)** de maçonnerie aptes à recevoir un enduit est, notamment, caractérisée par la valeur de résistance à l'arrachement minimale.

La nouvelle classification des supports introduite dans le DTU 26.1 est :

Rt3, résistance à l'arrachement élevée ($Rt \geq 0,8$ MPa) : blocs de béton courants, briques et blocs de terre cuite ;

Rt2, résistance à l'arrachement moyenne ($0,6 \leq Rt \leq 0,8$ MPa) : blocs de béton de granulats légers, briques et blocs de terre cuite à cohésion moyenne ;

Rt1, résistance à l'arrachement réduite ($0,4 \leq Rt \leq 0,6$ MPa) : blocs de béton cellulaire autoclaves.

Tableau 03 : Choix de type d'enduit en fonction du support

Caractéristiques des enduits en fonction du support		
Type de maçonnerie à enduire	Enduit performanciel	
	Multicouche	Monocouche
Rt3 (ex : blocs de béton, briques)	CS I à CS IV	OC 1 – OC 2 – OC 3
Rt2 (ex : briques)	CS I à CS III	OC 1 – OC 2
Rt1 (ex : béton cellulaire)	CS I ou CS II	OC 1

Source : Nouveau DTU 26.1 (avril 2008)

I.3.2 Pathologie des enduits

Aucune technique ne peut évoluer sans que se commettent des erreurs par ignorance, légèreté ou excès d'audace: c'est la rançon du progrès. Les enduits ne peuvent échapper à cette règle. Des surprises nous attendent encore, car l'épreuve du temps n'a pas joué complètement.

Les causes principales des sinistres des enduits sont dues : soit aux fautes de conception dues à la méconnaissance du produit soit aux fautes d'exécution dues à la méconnaissance volontaire ou non des conditions d'application des produits et leurs limites.

a. Les efflorescences

Efflorescences au séchage

Elles résultent de la formation d'un dépôt cristallin blanchâtre à la surface des enduits à base de liants calciques ou hydrauliques. Il s'agit le plus souvent de carbonatation (formation de cristaux de carbonate de chaux) de la chaux libre (soluble dans l'eau) qui, au lieu de s'effectuer à l'intérieur de l'enduit se produit à la surface. Ce phénomène apparaît surtout lorsque l'enduit est appliqué par temps froid et humide. Le temps de séchage plus long du fait des conditions permet à la chaux, en solution dans l'eau de gâchage en excès, de migrer jusqu'à la surface de l'enduit [5].

Si ce phénomène est très gênant, il peut être atténué par un lavage à l'eau acidulée (10 % d'acide chlorhydrique) ou à l'aide de produits destinés à cet usage, accompagnés d'un brossage et suivis d'un ou plusieurs rinçages.

Carbonatation différentielle à long terme

La carbonatation est la réaction de prise de la chaux aérienne ou hydraulique par absorption du gaz carbonique de l'air. Cette dernière n'est possible qu'en présence d'eau. La vapeur d'eau se combine avec les molécules de gaz carbonique, ce qui forme de l'acide carbonique qui réagit avec l'hydroxyde de calcium qui est une base, et génère donc du carbonate de calcium et de l'eau. Pour simplifier, on a donc :

Chaux éteinte (ou hydroxyde de calcium : $\text{Ca}(\text{OH})_2$) + Gaz carbonique (ou dioxyde de carbone CO_2) \longrightarrow Calcaire (carbonate de calcium : CaCO_3) + Eau (H_2O) [6].

Des différences de teintes peuvent également se produire à long terme sur un enduit soumis à des conditions d'exposition différentes (parties protégées de la pluie par un balcon, une avancée, des volets toujours ouverts ou au contraire soumises à des ruissellements abondants par absence de gouttières...)

Du fait des cycles "humidification-séchage" auxquels sont soumises les parties les plus exposées, le même phénomène de migration de chaux libre et de carbonatation en surface se produit, provoquant l'éclaircissement de la teinte de l'enduit. Il peut survenir après un phénomène de grillage (dessiccation trop rapide) non observé [5].

b. Faïençage et fissuration

Les principales causes sont liées soit au support, soit à l'application suite :

- ✓ à l'excès d'eau de gâchage qui augmentant le retrait ;
- ✓ à l'humidification insuffisante du support ;
- ✓ au surdosage en liant (enduit taloché en particulier) ;

- ✓ aux conditions atmosphériques : temps chaud, vent sec. La ré-humidification de l'enduit est alors nécessaire ;
- ✓ à une épaisseur d'application trop importante (réserver les fortes épaisseurs pour les sous couches) ;
- ✓ à des variations d'épaisseur importantes localement liées à des irrégularités du support (faire d'abord une sous couche qui assumera la fissuration et qui après séchage ne la transmettra pas à la finition) ;
- ✓ au temps d'attente trop court entre les couches ;
- ✓ au temps de malaxage non constant ou trop court [5].

c. Pénétration d'eau et décollement

En l'absence de fissures, les pénétrations d'eau par porosité de l'enduit sont rares et essentiellement dues à des épaisseurs de recouvrement du support insuffisantes. Un bon serrage de l'enduit (sous couche) améliore dans tous les cas son comportement.

Le décollement de l'enduit est généralement consécutif à une préparation mal adaptée du support ou à l'application d'un enduit inadapté à son support :

- ✓ Présence d'huiles de démoulage ou de poussières ;
- ✓ Support peint non décapé ou enduit en place pas assez performant et insuffisamment décroûté ;
- ✓ Humidification insuffisante du support ou support gorgé d'eau ;
- ✓ Absence de couche d'accrochage ou de fixation du support si l'enduit le nécessite. (ex : résine d'accrochage latex sur support béton) ;

d. Brûlage ou grillage de l'enduit

Ce terme traduit un séchage trop rapide de l'enduit soit par absorption d'eau du support, soit par évaporation du fait des conditions atmosphériques (temps chaud, vent sec) et qui se caractérise généralement par un poudrage de l'enduit en surface ou par une mauvaise adhérence au support. Une ré humidification de l'enduit dans les jours qui suivent l'application (pendant 2 à 3 jours) permet de limiter cette déshydratation trop rapide. Ce phénomène est d'autant plus sensible que l'épaisseur d'application est faible [5].

En conclusion on peut dire que les désordres d'enduits sont rarement spectaculaires et impressionnants quand il n'y a pas de chutes abondantes de matériau. Il s'agit de fissures qui ne semblent contrarier que l'aspect de l'ouvrage.

Mais dès que l'humidité peut pénétrer, elle se répand dans le mur, ressort dans le local et les dégâts qu'elle provoque sont souvent considérables. Les sinistres d'enduit ne sont chers, disent les assureurs, que par les dégâts indirects causés par l'humidité [7].

La qualité d'un enduit s'obtient donc par la double condition : qualité de la conception et qualité de l'exécution.

II. Techniques de fabrication

II.1 Les éléments de constitution des enduits

Un enduit est constitué d'un mélange de liants et de charges mis en œuvre avec de l'eau. à ces constituants, divers additifs sont généralement ajoutés .dans certains cas, des renforts sont associés a l'enduit, avant ou pendant sa mise en œuvre.

II.1.1 Les liants minéraux

Ils permettent l'agglomération des différents constituants pour aboutir, après durcissement, au matériau mécaniquement cohésif.

II.1.1.1 Le ciment

Le ciment est un produit moulu du refroidissement du clinker qui contient un mélange de silicates et d'aluminates de calcium porté à 1450-1550 C°, température de fusion . Le ciment usuel est aussi appelé liant hydraulique, car il a la propriété de s'hydrater et durcir en présence d'eau, et par ce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un solide pratiquement insoluble dans l'eau. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium [8].

Composition du ciment

Le ciment est caractérisé par sa composition chimique et par ses caractéristiques physiques (la forme et la finesse des grains). Les grains de ciment sont hétérogènes et polyphasés. Au contact de l'eau ils donnent naissance à des produits dont la composition chimique est variable. Il est principalement composé de clinker, de sulfate de calcium, et d'ajouts éventuels [9].

Le Clinker

C'est un produit obtenu par cuisson jusqu'à fusion partielle (clinkirisation) du mélange calcaire + argile, dosé et homogénéisé et comprenant principalement de la chaux (CaO) de la silice (SiO₂) et de l'alumine (Al₂O₃).

Le mélange est en général constitué à l'aide de produits naturels de carrière (calcaire, argile, marne...). C'est le clinker qui, par broyage, en présence d'un peu de sulfate de chaux (gypse) jouant le rôle de régulateur, donne des Portland. [8]

Les éléments simples (CaO, SiO₂, Al₂O₃ et Fe₂O₃) se combinent pour donner les constituants minéraux suivants.

- Silicate tricalcique (C₃S) : 3CaO.SiO₂ (Alite).
- Silicate bi calcique (C₂S) : 2CaO.SiO₂ (Belite).
- Aluminate tricalcique (C₃A) : 3CaO.Al₂O₃.
- Ferro aluminate calcique (C₄AF): 4CaO .Al₂O₃ .Fe₂O₃ (Célite).

Le sulfate de calcium

Il est ajouté au ciment pour réguler la prise

Les ajouts éventuels (laitiers, cendres volantes, pouzzolanes ou fillers et les fumées de silice)

On les ajoute au ciment pour des raisons économiques et/ou pour leurs propriétés hydrauliques ou pouzzolaniques.



Figure04 : composition du ciment

II.1.1.2 La chaux

La chaux est obtenue par la cuisson dans un four de roches calcaires plus ou moins pures portées à une température de l'ordre de 900 °C à 1000 °C. Sous l'effet de chaleur, le carbonate de calcium dont est constitué le calcaire se transforme en oxyde de calcium et dégage du gaz carbonique. Cette matière prend le nom de chaux vive.

Mise en contact de l'eau, la chaux vive produit une intense chaleur et se transforme en hydroxyde de calcium. Selon la proportion d'eau introduite, on obtient sans opération de broyage, de la chaux éteinte, sous forme de poudre ou de pâte (la chaux grasse). L'extinction de la chaux vive s'effectue dans des fosses emplies d'eau ou bien dans des bidons. C'est ce produit qui sert de liant aux charges diverses utilisées dans la préparation des mortiers de maçonnerie et des enduits de protection ou de décor [10].

Selon la nature du calcaire utilisé, on obtient plusieurs types de chaux :

- un calcaire très peu siliceux donne des chaux calciques ou aériennes.
- un calcaire moyennement siliceux donne des chaux hydrauliques.

Les chaux aériennes (CL)

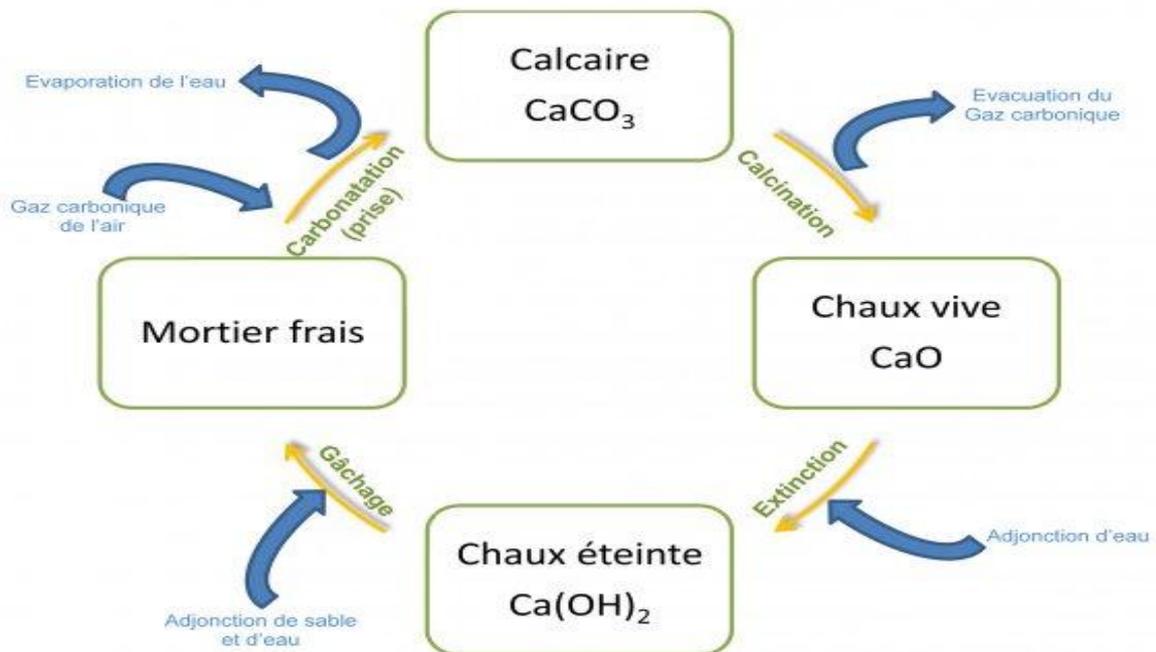
Issues de calcaires très peu siliceux, elles ont une utilisation limitée dans la construction car très handicapées par leur manque d'hydraulicité naturelle. On les bâtarde parfois avec des liants hydrauliques pour sécuriser l'ouvrage. Ces chaux sont généralement recommandées pour les «décors» où leur finesse et leur blancheur jouent pleinement leur rôle [11].

Les chaux hydrauliques naturelles (NHL)

Plus utilisées dans la construction, elles sont issues des calcaires siliceux. Elles procurent au mortier, sans ajout, une 1ère prise hydraulique qui sécurise l'ouvrage réalisé, puis une 2ème prise aérienne qui, par recarbonatation au contact de l'air, donnera à l'enduit toute sa patine. Ces chaux normalisées conviennent pour les maçonneries, les enduits et les décors [11].

Les chaux hydrauliques (HL)

Elles ont toutes les caractéristiques des mélanges chaux - ciment pour confectionner des mortiers dits bâtards à l'ancienne, avec l'avantage d'un mélange homogène et régulier de chaux hydraulique naturelle et de ciment réalisé en usine. Ces chaux normalisées conviennent pour la réalisation d'enduits, pour le rejointoiement (pierres dures uniquement) et pour le montage de blocs béton et de briques [11]



Source : Ecole d'Avignon, « Techniques et pratiques de la chaux », Eyrolles

Figure05 : cycle de transformation de la chaux

II.1.1.3 Le plâtre

Le plâtre est issu de la cuisson de blocs de gypse à environ 200 °C. Cette roche cristalline sédimentaire très tendre (entre 1,5 et 2 l'échelle de mohs) se présente sous diverses formes physique : plaquettes, prismes, aiguilles ou agrégats fibreux.

Lorsque la roche est compacte à grains blancs et finement cristallisée, elle prend le nom d'albâtre ou albâtre gypseux, pierre réputée pour ses qualités en sculpture [10].

II.1.2 Les charges

Ce sont des composés solides, inertes et insolubles, qui constituent le squelette d'un enduit. Elles se divisent en deux grandes familles :

II.1.2.1 Les granulats

Ce sont les sables couramment utilisés dans les enduits minéraux .il participent également à l'aspect final de l'enduit [1].

- **Les sables**

Les sables sont des produits d'érosion des roches que l'on extrait en carrières dans des dépôts sédimentaires ou dans les lits des rivières. Ce sont des sables «roulés» adaptés à la réalisation d'enduits car plus faciles à talocher que le sable concassé. Un bon sable se reconnaît quand il crisse dans la main, il s'amalgame légèrement quand il est humide [12].

Les sables concassés, eux, sont plutôt destinés à la construction (fabrication de béton, etc.) [12].

Trois familles de sables se distinguent en Algérie [13] :

- ❖ Les sables roulés siliceux, dit ronds, sont issus d'un processus naturel d'érosion. En général, ils sont dragués dans les Oueds. Leur usage est courant depuis des années et est même recommandé. Cependant, les réserves disponibles sont proches de l'épuisement ou protégées par de nouvelles règles environnementales en matière de dragage des Oueds. Ce matériau est donc devenu moins intéressant économiquement.
- ❖ Les sables de concassage calcaires sont le produit d'un processus industriel contrôlé de concassage, de lavage et de criblage appliqué à des roches calcaires exploitées en carrières, la contrainte du coût de revient élevé, le rends économiquement moins intéressant.
- ❖ Le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir qui peut remplacer par excellence les deux types de sables suscités.

Les granulats légers, de faible masse volumique, conduisent à des enduits moins rigides et adaptés aux supports de faible résistance mécanique (ex. vermiculite, billes de verre, etc.) [13].

II.1.2.2 Les fillers

Ce sont des poudres, généralement de nature minérale, utilisées pour modifier certaines propriétés des enduits (maniabilité, perméabilité, capillarité, performances mécaniques, etc.)[1].

II.1.3 L'eau

Il s'agit de l'eau employée pour le gâchage du mortier :

- Une partie de l'eau sert à la prise des liants hydrauliques, l'autre partie intervient dans la consistance du mortier frais et s'évapore après l'application [1].

On évite d'utiliser pour le gâchage les eaux croupies des mares, des étangs ou encore des citernes. Rendues acides par la décomposition des matières organiques qu'elles recèlent, elles attaquent les éléments calcaires présents dans le sable ou dans la chaux du mortier et provoquent des efflorescences. Cette acidité, qui peut s'avérer intéressante pour retarder la prise d'un mortier, est contre-indiquée dans le cas d'un enduit à la chaux aérienne dont la prise est déjà très lente. Une eau acide altère par ailleurs les performances de la chaux. La quantité d'eau nécessaire dépend de l'humidité du sable entrant dans le mortier [10].

II.1.4 Les additifs

Ils agissent sur l'enduit de façon temporaire (à l'état frais ou au cours du durcissement) ou permanente (à l'état durci).ils sont répartis en général :

a) Les adjuvants

Leurs rôles et leurs natures sont très variés : rétenteurs d'eau, entraîneurs d'air, plastifiants, régulateurs de prise, agents d'adhérence, hydrofuges, biocides, etc. [1].

Les résines d'adjonctions : ces résines à base de polymères en dispersion aqueuse sont diluées dans l'eau de gâchage du mortier et incorporées au gobetis ou au sous enduit, pour améliorer l'accrochage [1].

b) Les colorants (pigments)

Ce sont généralement des oxydes métalliques, voire des terres, ajoutés à l'enduit pour le teinter en masse.

Il n'est autorisé que l'utilisation des adjuvants n'ayant aucune action nocive sur le mortier. Les adjuvants ne doivent pas diminuer la résistance ni la durabilité du mortier ni, le cas échéant, la protection contre la corrosion de l'armature de renfort ou du latis. De plus, les adjuvants ne doivent pas modifier, autrement que dans le sens recherché, la prise ou le durcissement du liant.

Tableau 04 : Effet de type d'adjuvant sur le mortier

Type d'adjuvant	Effet
Colorant	Colore le mortier pour les travaux de finition
Antigel	Favorise la prise du mortier par temps froid
Résine d'accrochage	Sert de fixateur, plastifiant et imperméabilisant
Durcisseur de surface	Améliore la tenue aux huiles et aux graisses tout en étant anti-poussière
Hydrofuge ou imperméabilisant	Imperméabilise le mortier
Plastifiant	Donne une consistance plus liquide (sans ajout d'eau) pour faciliter la mise en œuvre

Source : Site de conseils de constructions – www.leroymerlin.fr

II.2 Réalisation manuelle du mortier

Lorsque les mélanges doivent être réalisés à la main (petite quantité à moyenne), il convient d'effectuer le gâchage sur une base propre, sèche et imperméable selon un mode opératoire semblable à celui-ci :

1. Sur un sol plan, sec et nettoyé ou dans un bac à gâcher (de préférence), faire un tas avec le sable pour le mortier ;
2. Verser au-dessus du tas de sable, le ciment (et/ou) la chaux (en proportion), mélanger en déplaçant 2 fois le tas ;
3. Ouvrir le tas en forme de « volcan » puis verser l'eau. Ramener le mélange vers l'intérieur jusqu'à obtenir une matière homogène.

II.3 Réalisation mécanique du mortier

L'utilisation d'une bétonnière électrique ou thermique offre des avantages :

- Le gain de temps ;
- La possibilité de réaliser un chantier plus important ;

- L'obtention d'un mélange plus homogène du mortier ;

Pour réaliser notre mortier d'enduit avec la bétonnière, nous pouvons suivre la procédure suivante :

1. Verser de l'eau dans la cuve de la bétonnière (capacité de malaxage 90 litres par exemple) et ajouter le sable pour le mortier ;
2. Laisser malaxer quelques minutes. Verser à nouveau l'eau et le ciment ;
3. Rajouter de l'eau nécessaire jusqu'à l'obtention du mélange souhaité pour le mortier ou pour le mortier bâtard.

III Les enduits monocouches

III.1 Définition

Ils se distinguent des enduits traditionnels par leur application en une ou deux passes, avec un produit de même composition, préparé en usine et livré en sacs prêts à gâcher. Dosés avec des méthodes industrialisées, les enduits monocouches présentent la sécurité d'une qualité constante et contrôlée dans le cadre de la procédure d'Avis technique. La composition de ces enduits comporte souvent des charges légères (perlite, vermiculite, ponce) ou des fibres, ainsi que des adjuvants (entraîneurs d'air, hydrofuges) et des rétenteurs d'eau. Ces enduits font l'objet du document élaboré par le CSTB (Cahier N° 1777 de juin 1982). « Conditions générales d'emploi et de mise en œuvre des enduits d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques ». Leurs performances sont spécifiées par la norme NF EN 998-1[14].

Il existe 2 catégories d'enduit monocouche : « avec des granulats courants et/ou légers».

Un enduit semi-allégé est composé de sables, de liants, d'adjuvants et de charges naturelles légères. Ces charges sont des matières inertes qui allègent l'enduit en remplaçant une partie du sable [15].



Figure06 : composition des enduits monocouches (lourds et légers).

III.2 Caractéristiques des enduits monocouches

Les mortiers d'enduits n'acquièrent leurs caractéristiques qu'après durcissement complet. Certaines performances des mortiers à l'état frais sont également requises.

Il est rare qu'un même enduit possède toutes les propriétés pour assurer les fonctions du dressage, d'imperméabilisation et de décoration du support. Seuls les enduits monocouches, spécialement formulés à cet effet et fabriqués en usine, peuvent remplir les trois fonctions.

Les enduits sont alors exécutés en plusieurs couches, chaque couche assurant partiellement ou complètement une ou deux fonction(s) [1].

➤ **Masse volumique**

Elle est en fonction de la quantité d'air entraîné qui dépend à la fois :

- Des conditions de la préparation (quantité d'eau, mode et durée de malaxage, température),
- Des conditions d'application (matériel de projection et réglage).

Suivant leur domaine d'application, les mortiers industriels présentent les masses volumiques variées, globalement comprise entre 1000 et 2000 kg/m³.

L'enduit est dit léger lorsque sa masse volumique est < a 1300 kg/m³.

Les autres caractéristiques dépendent directement de la masse volumique de l'enduit. En particulier, les caractéristiques mécaniques sont d'autant plus fortes que la masse volumique est élevée.

➤ **Résistance mécanique**

Suivant la valeur de résistance mécanique en compression du mortier, quatre classes sont définies : CS I, CS II, CS III et CS IV, de la plus faible à la plus élevée.

➤ **Adhérence au support**

Elle dépend fortement de la préparation du support et des conditions climatiques au cours de l'application et du durcissement de l'enduit. Elle conditionne directement la durabilité de l'enduit.

L'adhérence est d'autant plus forte que le mortier est plus dosé en liants.

➤ **Absorption d'eau par capillarité**

Elle conditionne en partie la fonction d'imperméabilisation, cette fonction dépendant également du nombre de couches et de l'épaisseur d'enduit.

Suivant la valeur d'adsorption d'eau du mortier, trois classes de capillarité sont définies :

W0 (pour laquelle aucune valeur n'est spécifiée).

W1 (capillarité moyenne).

W2 (capillarité faible).

- l'absorption d'eau liquide est indépendante de la perméabilité à la vapeur d'eau. Il est possible qu'un enduit imperméable à l'eau soit perméable à la vapeur. C'est en particulier le cas des enduits d'assainissement R.

➤ **perméabilité à la vapeur d'eau**

C'est la propriété de l'enduit de permettre la transmission de la vapeur d'eau de l'intérieur vers l'extérieur de l'ouvrage.

Avec une perméabilité suffisante, la vapeur peut traverser la paroi sans risque de condensation à l'interface support-enduit.

➤ **Rétention d'eau**

Elle caractérise l'aptitude d'un mortier industriel frais à conserver sans eau de gâchage une fois appliqué sur le support.

Une rétention d'eau élevée permet aux liants hydrauliques de s'hydrater correctement [1].

Trois catégories de rétention d'eau R_e sont distinguées :

Tableau05 : catégories de rétention d'eau des enduits monocouches.

Rétention d'eau	Appréciation
$R_e < 86\%$	Faible
$86\% \leq R_e \leq 94\%$	Moyenne
$R_e > 94\%$	Forte

III.3 Techniques de mise en œuvre des enduits monocouches

L'application est généralement effectuée en une ou deux passes, de préférence espacées de quelques heures, suivant le type de finition désirée. Lorsque la seconde passe ne peut être effectuée dans les 24 heures, il y a lieu, pour assurer son accrochage, de ré humidifier l'enduit de première passe. La première passe de l'enduit doit être serrée (dressage à la règle ou à la taloche) mais non lissée, et il faut respecter l'épaisseur indiquée par le fabricant [15].

III. 3.1 Préparation du support

De la bonne préparation du support vont dépendre l'adhérence de l'enduit et son aspect final. Les enduits sont appliqués sur des supports de nature très différente : maçonnerie de pierres, de briques ou de blocs de béton, béton branché brut de décoffrage, béton de granulats légers, béton cellulaire, fibres-ciment, bois. Certains supports permettent une application directe, c'est le cas de la brique, des blocs de béton, des maçonneries de pierres.

D'autres supports nécessitent un traitement préalable.

Dans tous les cas, le support :

- ❖ doit être débarrassé des poussières et des sels éventuels, être sans trace de plâtre (formation de sulfo-aluminate de chaux expansif avec le ciment) ;
- ❖ s'il n'est pas assez rugueux, doit être traité brossé et peigné pour permettre un bon accrochage de l'enduit ;
- ❖ doit être suffisamment humidifié avant la projection de la première couche d'accrochage (parfois plusieurs humidifications sont à prévoir un jour ou quelques jours à l'avance). Cette humidification doit être d'autant plus poussée que l'atmosphère ambiante favorise le séchage (chaleur, vent).

La préparation du support est aussi fonction de l'ancienneté du mur.

a. Les supports neufs

Les travaux ne doivent être commencés que sur des maçonneries terminées depuis un délai minimum de trois semaines et après mise hors d'eau de la construction. Pour assurer une bonne tenue de l'enduit, il convient de ne l'appliquer que sur des matériaux ayant terminé la plus grosse partie de leur retrait. Pour les surfaces localisées présentant des défauts de

planimétrie, il faut prévoir de dresser la surface avec un mortier de composition analogue à la couche d'accrochage, et éventuellement de l'armer.

b. Les supports anciens

Le mur doit d'abord être débarrassé de toutes traces de revêtements anciens, friables ou non adhérents tels que : enduits, hydrofuges de surface, peintures, etc. Il pourra être nécessaire, dans certains cas (présence de tâches blanchâtres de calcite sur les murs en béton), de procéder à un brossage à la brosse métallique ou à un lavage à l'eau sous pression.

III.3.2 choix de l'enduit

Le choix du type d'enduit à effectuer dépend essentiellement de la nature du support, mais aussi de sa classe de résistance mécanique.

La catégorie (OC1, OC2, ou OC 3) de l'enduit monocouche est déclarée par le fabricant du mortier. L'évaluation de la compatibilité de l'enduit avec le type de support est réalisée selon la norme NF EN 1015.21.

La classe de résistance (Rt2 ou Rt3) est déclarée par le fabricant d'éléments de maçonnerie. Les supports de béton de granulats courants sont Rt 3 [16].

Type de maçonnerie à enduire (exemples)		Catégorie de l'enduit monocouche
 <p>Rt 3 Eléments de résistance à l'arrachement élevée : (Blocs de béton de granulats courants, briques)</p>		OC 3, OC 2, ou OC 1
 <p>Rt 2 Eléments de résistance à l'arrachement moyenne : (Briques, blocs de béton de granulats légers)</p>		OC 2 ou OC 1
 <p>Rt 1 Eléments de résistance à l'arrachement réduite : (Blocs de béton cellulaire autoclavé)</p>		OC 1

Figure 07 : choix de l'enduit selon la nature du support

Le tableau ci-après récapitule le choix d'un enduit le mieux adapté aux différents types de supports selon sa classe de résistance :

Tableau06: choix de l'enduit selon sa classe de résistance [1].

	Classes de résistance de l'enduit			
	CSI	CSII	CSIII	CS IV
Support Rt1	OUI	OUI	NON	NON
Support Rt2	OUI	OUI	OUI	NON
Support Rt3 et béton	OUI	OUI	OUI	OUI

III.3.3 Matériels et techniques d'exécution

a. Les matériels de travail

Les outils de mise en œuvre des enduits sont variés mais les plus courants qui permettent de réaliser les différentes couches sont, à de variation d'appellations près, comme :

1. La Truelle : permet de faire la projection manuelle de l'enduit sur la façade ;
2. La Taloche : permet de « serrer » le corps d'enduit et donne l'aspect projeté-écrasé à l'enduit ;
3. Le Rouleau mousse alvéolé ou Feuille de chêne : permet de faire une finition tramée de l'enduit ;
4. La Règle : en bois ou en aluminium, elle permet de régler l'épaisseur des couches et de dresser l'aspect final de l'enduit ;
5. La Planche à clou ou Gratton : permet de donner à l'enduit l'aspect gratté grâce à sa sous face rendue rugueuse ;
6. La Pierre abrasive ou la Brique de carborundum : permet le ponçage d'un enduit ;
7. La Tyrolienne : permet la projection manuelle du mouchetis sur la façade ;
8. Le pot de projection ou la machine à projeter : permet la projection mécanique de l'enduit sur la façade et lui donne l'aspect de brut de projection.

b. Les techniques d'exécution des couches

Le mortier frais préparé selon son mode d'emploi est appliqué en 2 passes (frais sur frais) pour assurer l'imperméabilisation des maçonneries, éviter le nuançage d'aspect et l'apparition des spectres des joints de maçonnerie.

La première passe est dressée et serrée, mais non lissée pour permettre un bon accrochage de la seconde.

Les épaisseurs de chaque passe dépendent de la planéité de la maçonnerie (soignée ou courante) et des finitions réalisées.

- Le délai entre passes est normalement de quelques heures (ex. l'après-midi ou le lendemain).

La seconde passe est appliquée sans durcissement de la première passe au plus tard 3 jours après [16].

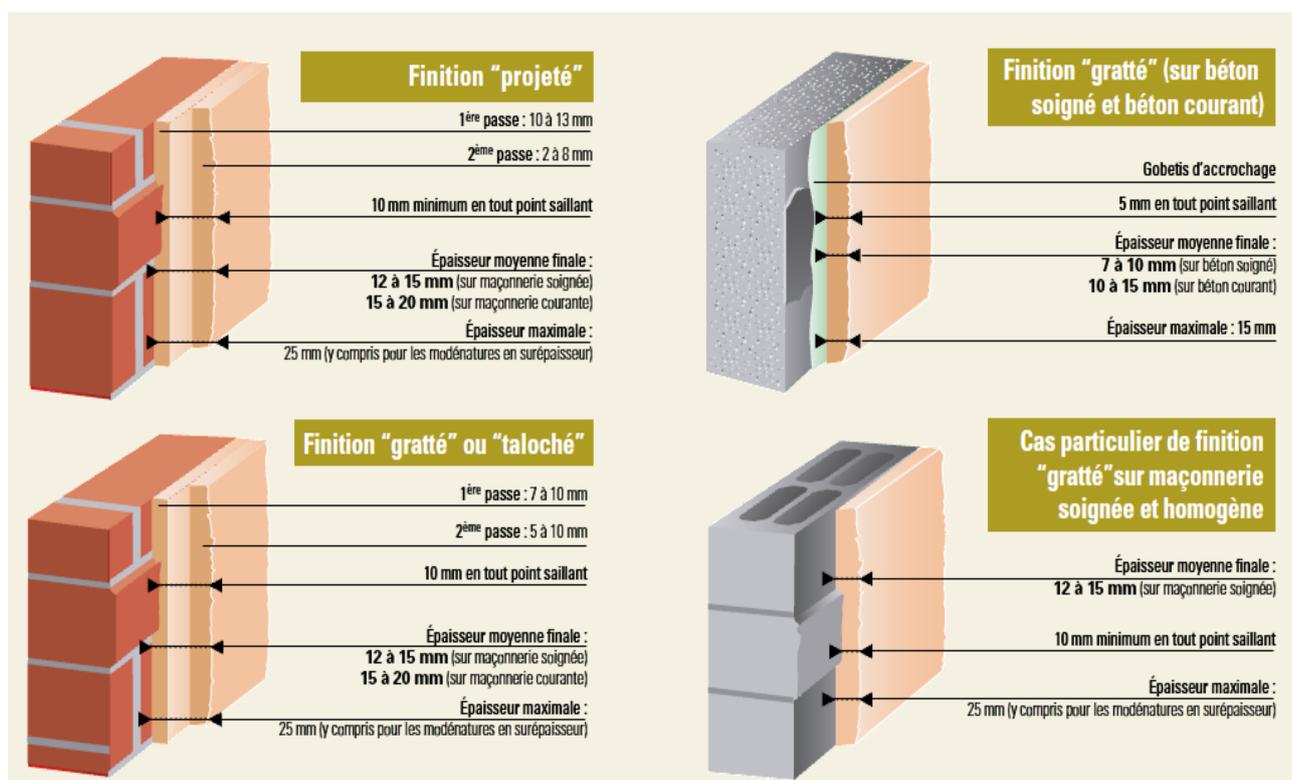


Figure 08 : exemples d'applications et les épaisseurs correspondantes

IV Problématique

L'habitat, qu'il soit traditionnel ou moderne, a besoin au cours de sa vie, d'être protégé contre les effets de la pluie et ses conséquences (érosion, remontée d'humidité), du soleil et de son incidence sur le confort thermique, des effets des milieux agressifs et enfin des effets du vent.

La protection des constructions contre l'effet de ces hostilités est donc une préoccupation majeure qui fait appel à la rigueur et au savoir-faire des professionnels du domaine. Les constructions auraient beau être réalisées selon toutes les règles de l'art mais les défaillances observées au niveau du poids et des coûts de l'enduit enlèvent à l'ouvrage toute sa valeur. Aujourd'hui, l'importance des enduits dans les constructions n'est plus à démontrer tant ils apportent confort, protection et esthétique à l'habitat, mais les surcharges qu'ils apportent ces enduits aux bâtis et leurs coûts restent un défi au regard des exigences constructives mais aussi de la situation économique difficile de nos jours.

Aujourd'hui avec l'avancée technologique dans la production et la découverte des matériaux, la réalisation des enduits requiert de plus en plus des matériaux plus légers et moins coûteux adaptés à chaque type de cas.

La recherche actuelle dans le domaine des matériaux de construction est orientée vers les granulats légers naturels ou artificiels pour assurer d'une part, la pérennité des granulats naturels conventionnels et l'allègement de certains éléments de construction et d'autre part, une économie d'énergie par la réduction de la conductivité thermique. En effet, le gain de poids, qui peut être plus ou moins important selon le type de mortier, entraîne une diminution des sections des éléments structurels assurant la transmission des charges et conduit à des économies de transport des éléments manufacturés et à des gains de productivité à la mise en œuvre.

Une des voies d'allègement envisageable pour le mortier est le remplacement d'une fraction des granulats habituels, qui constituent environ les 3/4 de la masse du mortier, par des granulats plus légers, naturels ou artificiels.

Face à tous ces facteurs qui posent de grands problèmes quant à la prédiction de la légèreté et de l'expansibilité des enduits, il vient tout naturellement les interrogations suivantes : Quelles sont les caractéristiques de l'enduit normalisé qu'il faut prendre en compte? Quels sont les matériaux adaptés à la réalisation des enduits légers ? Et en fin quel enduit, réalisé, répondra-t-il à ces exigences ?

La réponse à ces questions a été la préoccupation majeure tout au long de ce travail.

IV.1 Objectifs de l'étude

L'objectif général de notre étude est d'incorporer des particules légères tels que : la perlite, la pierre ponce blanche et la pierre ponce noire, dans un enduit, en suite prédire lesquels de ces enduits obtenus répondront à la réalisation d'un enduit expansé avec les mêmes caractéristiques de l'enduit normalisé.

La réalisation de cet objectif est envisagée à travers trois objectifs spécifiques majeurs à savoir :

- Analyser et déterminer les caractéristiques d'un enduit normalisé ;
- réaliser et tester expérimentalement les enduits obtenus ;
- interpréter les résultats des essais réalisés.

V. Présentation des matériaux étudiés

V.1 La perlite

V.1.1 Définition et composition : C'est une roche volcanique siliceuse naturelle de la famille des rhyolites perlitiques, de couleur blanche. C'est un sable siliceux contenant de l'eau qui est expansé industriellement par un traitement à la chaleur (1 200 °C). Elle est composée de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de titane, de chaux, de magnésie, d'oxyde de sodium et de potassium. Elle a une très grande capacité de rétention d'eau (4 à 5 fois son poids), son pH est neutre (de 7 à 7,2). La perlite « pure » contient 0,85 % de carbone. Les grains de perlite s'expandent : une multitude de cellules fermées se constituent à l'intérieur des grains. En effet, la vapeur d'eau expande la matière jusqu'à 15 fois son volume initiale. Ce nom minéral de perlite lui a été donné par le minéralogiste français *François Sulpice Beudant*, pendant ses voyages d'études minéralogiques en Hongrie en 1818, en raison de sa structure perlée [9].



Figure09 : La perlite (roche et expansée)

La composition chimique de la perlite est récapitulée dans le tableau ci-dessous

Tableau 07 : composition chimique de la perlite

Composant	Pourcentage
SiO₂	60-80%
CaO	0 - 2%
Al₂O₃	12-16%
MgO	0 - 1%
TiO₂	0 - 1%
Na₂O	5 - 10%
Fe₂O₃	0 - 1%
K₂O	2 - 5%

V.1.2 Propriétés

C'est un matériau inerte, très peu dense, sa masse volumique ainsi que sa rétention d'eau varient selon la granulométrie, une perlite grossière (>3mm) offre une faible disponibilité en eau et une forte aération. Sa résistance mécanique est très faible, il faut éviter un malaxage mécanique trop vigoureux au cours de la fabrication [9].

Ses deux principales caractéristiques sont : Légèreté et grande rétention d'eau obtenues après le traitement thermique.

L'expansion : Lors du traitement thermique, la roche gagne 15 à 20 fois son volume initial

La porosité : Après l'expansion, la Perlite présente de minuscules cavités et pores [9].

V.1.3 Domaines d'utilisation

La Perlite est un matériau important avec de multiples applications dans le bâtiment, dans l'industrie, dans la protection-incendie, dans l'horticulture et dans l'animalerie.

Elle est utilisée pour l'isolation dans la construction comme matériaux de construction isolant, thermique ou phonique, comme matériaux rétenteur d'eau et aérateur de terre pour l'agriculture, et l'horticulture. Utilisée aussi en décoration pour des versions teintées [17].

En Algérie, la perlite existe dans les roches volcaniques et sédimentaires près de Maghnia. Les gisements sont localisés près des routes et rails et peuvent apparemment être exploités à ciel ouvert, voire même exportée à partir des ports locaux.

V.2 La ponce

V.2.1 Définition et composition

C'est une roche volcanique vitreuse, très poreuse, d'où une faible densité (elle peut flotter sur l'eau). Elle se forme à partir de fragments de magma visqueux (rhyolitique, dacitique, ou andésitique) qui, projetés en l'air par un volcan, subissent une brutale chute de pression, ce qui produit un dégazage et la formation de bulles séparées par de minces parois de verre volcanique. Elle est composée de silice, d'alumine, d'oxyde de fer, d'oxyde de titane, oxyde du manganèse, d'oxyde du sodium et de potassium.

La ponce dans sa production pour l'emploi industriel est classée : ponce blanche et ponce noire, ces deux types diffèrent légèrement dans leur composition chimique.

- **La ponce blanche** obtenue par la mouture de morceaux de pierre ponce d'une densité apparente inférieure à 500 g/l, contient plus de silice, sodium et potassium et moins de fer, calcium et magnésium que la ponce noire.



Figure 10 : la ponce blanche

- **La ponce noire** présente une densité apparente supérieure à 500 g/l et contient une fraction sombre magnétisable, qui, selon un procédé breveté, peut être éloignée quantitativement. À l'examen macroscopique, la fraction sombre est constituée de grains de couleur noire opaque, à l'examen microscopique de couleur noire, rouille et verte. Dans la ponce noire, une partie du fer est donc présente sous forme de magnétite ou d'autre oxyde à l'état libre, le fer n'est donc pas lié au silicate [18].

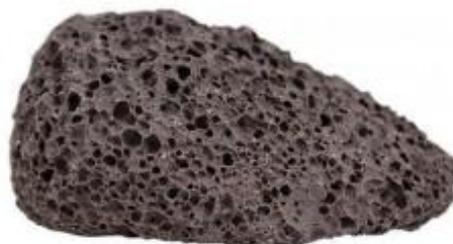


Figure 11 : la ponce noire

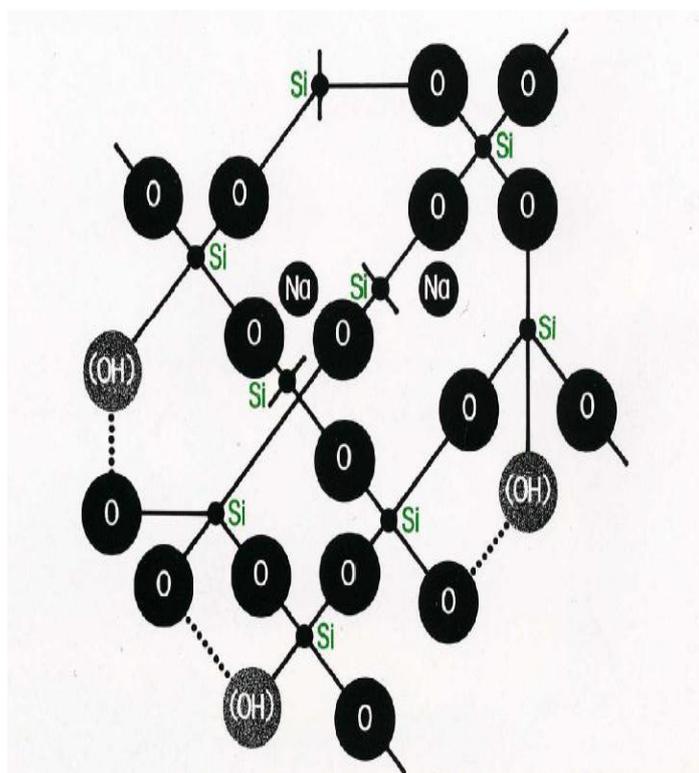


Figure 12: la structure chimique de la ponce

La différence des compositions chimiques de la ponce blanche et noire se résume dans le tableau suivant :

Tableau 08 : composition chimique de la ponce

Composant	Ponce blanche (%)	Ponce noire (%)
SiO ₂	71,75	70,90
Al ₂ O ₃	12,33	12,76
TiO ₂	0,11	0,14
Fe ₂ O ₃	1,98	1,75
FeO	0,02	0,64
MnO	0,07	0,09
CaO	0,7	1,36
MgO	0,12	0,6
Na ₂ O	3,59	3,23
K ₂ O	4,47	3,83
P ₂ O ₅	0,008	0,015
CO ₂	0,1	0,04
SO ₃	0,18	0,21
H ₂ O	3,71	3,88

V.2.2 La ponce dans la construction

Elle est sans aucun doute l'un des plus anciens matériaux de construction. Aux temps des antiques romains, la ponce a trouvé un large emploi dans la construction des thermes et des temples. L'exemple le plus connu est le Panthéon de Rome, pour lequel on a utilisé la ponce pour la coupole.

Leur utilisation dans la construction moderne de nos jours, étant donnés les problèmes actuels énergétiques, est en continuation et en forte augmentation grâce à leurs excellentes caractéristiques physico-chimiques.

Parallèlement à l'augmentation de l'emploi de la ponce dans la construction se développe la technologie de production de mortier léger, qui est encore susceptible d'améliorations notables, surtout pour le mortier léger portant.

Une importante innovation est le mortier léger de ponce en substituant au mortier traditionnel de sable, qui permet d'améliorer sensiblement l'isolation thermique des maçonneries sans influences sur la résistance mécanique [18].

Etude expérimentale

Étude expérimentale

I. Introduction

Dans cette partie, nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le mortier dans toutes les étapes, pour connaître l'effet des ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques et sur la durabilité des mortiers confectionnés à base de perlite, ponce blanche et ponce noire.

Cette partie est consacrée essentiellement à la présentation de la technique d'élaboration du nouvel enduit composite, de la confection des éprouvettes, de mortier référence (témoin), de mortier comportant de la perlite avec 5,10,15 et 20 % de substitution des granulats naturels par la perlite, de mortier comportant de la ponce blanche avec 5,10,15 et 20 % de substitution et de mortier avec la ponce noire avec 5,10,15 et 20 % de substitution ainsi que la description des protocoles expérimentaux.

Des essais physiques et mécaniques ont été effectués au sein des laboratoires suivants :

- Laboratoire de la *Sarl mortero* de Bejaia.
- Laboratoire L.T.P.Est de Bejaia.
- Laboratoire universitaire de département de Génie Civil de l'université de Bejaia.

L'étude expérimentale, faite au sein des laboratoires cités ci-dessus, a pour but d'évaluer quelques indicateurs de qualité et de durabilité des mortiers d'enduit réalisés. Les indicateurs retenus pour cette étude sont : la performance mécanique et les propriétés physiques de l'enduit. Ainsi, dans cette partie, après une brève description de la *Sarl mortero*, nous décrivons la méthodologie d'étude et les résultats des tests réalisés feront l'objet d'interprétation pour la caractérisation des enduits réalisés.

II. Présentation de la *Sarl mortero*

La SARL mortero est l'une des filiales du *groupe ceramica Madaoui*, elle est spécialisée dans la production de mortiers, colles et enduits. Elle a commencé en 2009 par le montage de son unité de fabrication unique en Algérie, et commence en 2012 sa phase de commercialisation, elle possède :

Un terrain de 1800 m², dont 1000 m² couverts, 150 m² de bureaux.

Une chaîne industrielle entièrement automatisée.

Une capacité de stockage de matières premières de 360 tonnes répartie sur 4 silos.

Un sécheur et calibreur de sables.

Un laboratoire entièrement équipé par *Parexlanko* France pour les tests liés aux matières premières et aux produits finis.

Un dépoussiéreur dernier génération relié à l'ensemble de la chaîne de production.

Une capacité de manutention : 4 chariots élévateurs ,1 retro chargeur.

Capacité de production : 100 tonnes/jour.

L'unité de fabrication de SARL mortero est capable de produire tous types de mortiers d'enduits par son installation moderne et parfaitement équipée.

Ses principaux produits commercialisés sont :

1. les colles carreaux.
2. les joints carrelages
3. les enduits de façade

Ses principaux buts sont :

Accéder à d'autres marchés, notamment à l'international en vue d'accroître ses ventes

Promouvoir les produits algériens par-delà les frontières

Participer à la formation professionnelle, car le personnel a été formé par des ingénieurs français et continuent à recevoir des mises à niveau.

Participer à la diminution du taux de chômage.

Participer aux entrées de devises étrangères.

Participer aux développements des entreprises locales en s'approvisionnant localement.

Participer aux recettes fiscales en achetant ses matières premières en Algérie.

Diminuer les sorties de devises en se procurant des matières premières localement et en produisant localement des produits en très grande majorité importés.

III. Méthodologie d'étude

III. 1 Choix des matériaux

L'objectif de cette partie est de chercher à réaliser un enduit plus léger et plus volumineux en comparaison avec les caractéristiques du mortier normal de référence réalisé et testé également. C'est dans cette optique que la perlite, la ponce blanche et la ponce noire, réputées être des matériaux, très légers, expansifs des mortiers, ont été choisis pour être testés.

Les éléments utilisés sont donc le ciment, la chaux, le sable fin et moyen (80µm à 2mm), l'eau, quelques adjuvants comme l'éther cellulosique, la perlite, la pierre ponce blanche et la pierre ponce noire.

III. 2 Composition des mélanges à réaliser

Pour 3Kg d'enduit, les mélanges à réaliser pour les essais sont récapitulés dans le tableau ci-dessous. Ils sont préparés et mélangés conformément à l'EN 1937.

Les proportions utilisées sont obtenues en se basant sur les proportions utilisées à la SARL MORTERO pour la réalisation d'un sac d'enduit monocouche de 25 Kg.

Tableau 09 : quantités de matériaux pour l'enduit référence

Mélange	Matériaux					
	Sable (par granulométrie et en g)			Ciment (g)	Chaux (g)	Adjuvant (g)
	100 à 400 μ m	500 à 1600 μ m	<100 μ m			
MR	1874,19	76,5	538,815	350	150	10,5

Tableau 10: quantités de matériaux pour l'enduit à base de perlite

Mélange	Matériaux						
	Perlite (g)	Sable (par granulométrie et en g)			Ciment (g)	Chaux (g)	Adjuvant (g)
		100 à 400 μ m	500 à 1600 μ m	<100 μ m			
MP 5%	150	1724,19	76,50	538,815	350	150	10,50
MP 10%	300	1574,19					
MP 15%	450	1424,19					
MP 20%	600	1274,19					

Tableau 11: quantités de matériaux pour l'enduit à base de ponce blanche

Mélange	Matériaux						
	Ponce blanche (g)	Sable (par granulométrie et en g)			Ciment (g)	Chaux (g)	Adjuvant (g)
		100 à 400 μm	500 à 1600 μm	<100 μm			
MPB 5%	150	1724,19	76,50	538,815	350	150	10,50
MPB 10%	300	1574,19					
MPB 15%	450	1424,19					
MPB 20%	600	1274,19					

Tableau 12: Quantités de matériaux pour l'enduit à base de ponce noire

Mélange	Matériaux						
	Ponce noire (g)	Sable (par granulométrie et en g)			Ciment (g)	Chaux (g)	Adjuvant (g)
		100 à 400 μm	500 à 1600 μm	<100 μm			
MPN 5%	150	1724,19	76,50	538,815	350	150	10,50
MPN 10%	300	1574,19					
MPN 15%	450	1424,19					
MPN 20%	600	1274,19					

IV. Protocoles expérimentaux

Dans cette partie nous allons expliquer les différentes méthodes et essais réalisés durant notre étude.

VI.1 Confection des éprouvettes et conditions de conservation

Après le malaxage, on remplit les moules à raison de deux couches et on vibre le mortier à l'aide d'une tige pour assurer sa bonne distribution, et enfin on arase et on lisse la surface du mortier. Les éprouvettes sont confectionnées et placées dans le laboratoire à l'air libre. Après

24 heures, ces dernières sont démoulées et laissées à l'air libre à une température de 25°C jusqu'au moment de l'essai. Cette procédure est reproduite pour toutes les compositions et pour tous les essais.

Ces éprouvettes, de dimensions (4 x 4 x 16) cm³, sont utilisées pour les essais suivants:

- Détermination de la masse volumique
- Absorption d'eau par capillarité
- La résistance à la compression

IV.2 Détermination de la masse volumique

La masse volumique du mortier durci ρ est déterminée, pour les différents mortiers confectionnés, conformément à la norme *NF EN 12390-7*

- Peser la masse M d'un échantillon durci contenu dans l'éprouvette.
- La masse volumique est obtenue en divisant la masse par le volume correspondant aux dimensions de fabrication. La masse volumique du mortier durci ρ sera :

$$\rho = M/V \quad (\text{en Kg/m}^3) \quad V: \text{volume de l'éprouvette}$$

IV.3 Essai de consistance

L'essai, qui a été effectué selon la norme *EN 193-6*, a pour but de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour gâcher l'enduit et obtenir une pâte normalisée.

Matériel utilisé

- Salle climatisée: L'essai doit se dérouler dans une salle, dont la température est de 20°C±1°C et dont l'humidité relative est supérieure à 90%. A défaut d'une telle humidité relative, l'échantillon testé pourra, entre deux mesures, être entreposé dans de l'eau maintenue à 20°C±1°C,
- Malaxeur normalisé : avec une cuve de 5 litres de contenance et d'une pale de malaxage pouvant tourner à 2 vitesses (dites lente 140 tr/mn et rapide 285 tr/mn),
- Appareil de VICAT (du nom de l'ingénieur français). L'appareil est composé d'un moule tronconique (h=40 mm d1= 70 mm et d2= 80 mm) et d'une tige coulissante équipée à son extrémité d'une sonde de $\Phi = 10$ mm,
- Balance précise à 0,1 g près,
- Chronomètre précis à 0,1 s près.

Mode opératoire

On procède par tâtonnements :

- préparer 1 kg de mortier frais. Verser l'eau dans la cuve du malaxeur contenant le mortier frais,
- mettre le malaxeur en marche et déclencher le chronomètre pour 5 minutes.
- la pâte est alors rapidement introduite dans le moule tronconique posé sur une plaque de verre, sans tassement ni vibration excessifs. Il faut enlever l'excès de pâte par un mouvement de va-et-vient effectué avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface supérieure du moule. Puis l'ensemble est placé sur la platine de l'appareil de VICAT.
- la sonde est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans élan (sans vitesse). La sonde alors s'enfonce dans la pâte. Lorsqu'elle est immobilisée (ou après 30 s d'attente), relever la distance **d** séparant l'extrémité de l'aiguille de la plaque de base.
- la pâte sera à consistance normale si $d = 6\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$:
 Si $d > 7\text{ mm}$: il n'y a pas assez d'eau,
 Si $d < 5\text{ mm}$: il y a trop d'eau.

Le taux de gâchages T_g est ainsi exprimé par la relation suivante :

$$T_g = \frac{\text{masse de l'eau}}{\text{masse du mortier frais}} \times 100 \dots\dots\dots (\%)$$

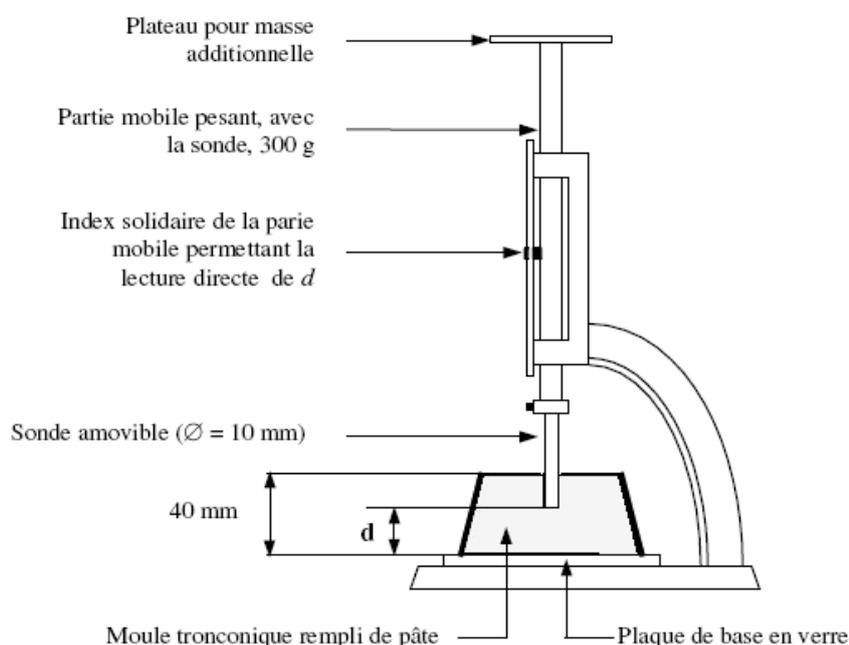


Figure 13 : Appareil de VICAT

IV.4 Essai de rétention d'eau

Cet essai nous permet de déterminer la capacité d'un produit gâché à conserver son eau par aspiration. Il est réalisé selon la norme *ASTM C110*.

Description de l'appareillage

L'appareillage comprend :

- Un disque perforé sur lequel on étale le mortier,
- Une pompe à vide pour aspirer l'eau du mortier,
- Un manomètre rempli de mercure pour mesurer la dépression,
- Un ensemble de verrerie : flacon, entonnoir, éprouvette,
- Des bouchons, des connecteurs en T et un flexible pour relier les différents éléments.

1 : Dispositif permettant de créer un appel d'air pour retirer la coupelle

2 : Prise d'air permettant de régler le niveau de mercure

3 : Pompe à vide

4 : Manomètre

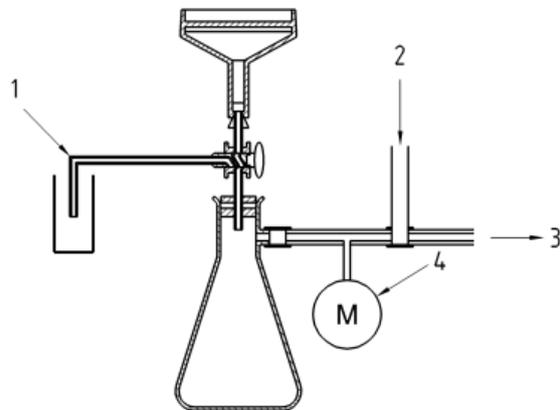


Figure 14 : Dispositif d'aspiration d'eau sous dépression

Mode opératoire

La coupelle est munie d'un papier filtre (\varnothing 15 mm, 60 g/m²) au préalable humidifié et essoré par application d'un filtre sec. Elle est remplie de mortier frais, à l'état de pâte, arasée puis pesée avant essai. Connaissant le poids de la coupelle vide avec le filtre humide, on en déduit la masse de mortier gâché mis en place et le poids (E) d'eau de gâchage correspondant en grammes (g).

Mesure et calcul

La mesure est effectuée dans les 10 minutes après le gâchage du mortier et en tenant compte du temps de repos préconisé par le fabricant de mortier. Au bout de 15 minutes à

partir du début du gâchage, l'appareillage est mis sous dépression pendant 15 minutes. La coupelle est ensuite pesée après essuyage de sa sous-face. On calcule par différence la perte d'eau (e) en grammes (g). La rétention d'eau (Re) est exprimée en % du poids d'eau de gâchage initial.

$$Re = \frac{E - e}{E} \times 100 \dots\dots (\%)$$

IV.5 Absorption d'eau par capillarité

L'essai est effectué à température « réglée » du laboratoire, sur trois demi-prismes (éprouvettes 4 x 4 x 16 cm après) conformément à la norme NF EN1015-18 - *Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité du mortier durci*.

Les éprouvettes sont immergées par leur base de telle manière à ce qu'elles ne touchent pas le fond du récipient et qu'elles soient immergées dans de l'eau, sur une hauteur d'eau de 5 à 10 mm au-dessus de cette base.

A cet instant, le chronomètre est déclenché et le niveau d'eau est maintenu constant pendant tout l'essai. Après 10 minutes, les éprouvettes sont retirées du récipient et essuyées brièvement avec un chiffon humide. Les éprouvettes sont pesées M1 et replacées dans le récipient. Après 90 minutes, l'opération est répétée et les éprouvettes sont pesées à nouveau M2.

Le coefficient de capillarité W est égal à la valeur moyenne, exprimée en grammes, de la reprise de poids de chaque éprouvette entre 10 et 90 minutes :

$$W = 0,1 (M2 - M1) \dots\dots \text{en kg/ (m}^2\text{.min}^{1/2}\text{)}$$

IV.6 Résistance à la compression

Les essais sont effectués selon la norme *NF EN 1015-11* les éprouvettes ont été rompus en compression au moyen de la presse d'écrasement. La résistance est calculée selon la formule :

$$R_c = F_c / S \quad \text{avec } S = b^2$$

R_c: Résistance à la compression

F_c: La force appliquée

S : la surface sur laquelle la force est appliquée

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si F_c est exprimée en Newton, $b = 40 \text{ mm}$, cette résistance exprimée en Méga pascals vaut :

$$R_c \text{ (MPa)} = F_c \text{ (N)} / 1600$$

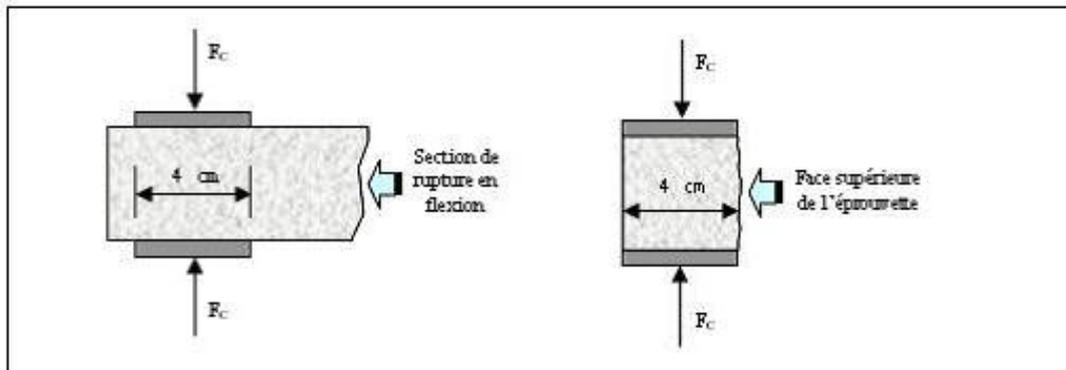


Figure 15 : Dispositif de rupture en compression

A la partie suivante, les résultats des essais effectués sur les différents mortiers et éprouvettes de mortier ainsi réalisés, en l'occurrence, mortier référence (témoin), mortier avec perlite, mortier avec ponce blanche et mortier avec ponce noire pour différents pourcentages de substitution, seront présentés et discutés.

Résultats et discussions

Résultats et discussions

I. Introduction :

Nous présentons dans cette partie les résultats des différents essais effectués sur les mortiers confectionnées selon les différentes combinaisons d'ajouts (Perlite, ponce blanche, ponce noire).

On a utilisé les abréviations suivantes :

Mortier de référence (témoin)	→ combinaisons : MR.
Mortier avec 5% Perlite	→ combinaisons : MP5.
Mortier avec 10% Perlite	→ combinaisons : MP10.
Mortier avec 15% Perlite	→ combinaisons : MP15.
Mortier avec 20% Perlite	→ combinaisons : MP20.
Mortier avec 5% Ponce blanche	→ combinaisons : MPB5.
Mortier avec 10% Ponce blanche	→ combinaisons : MPB10.
Mortier avec 15% Ponce blanche	→ combinaisons : MPB15.
Mortier avec 20% Ponce blanche	→ combinaisons : MPB20.
Mortier avec 5% Ponce noire	→ combinaisons : MPN5.
Mortier avec 10% Ponce noire	→ combinaisons : MPN10.
Mortier avec 15% Ponce noire	→ combinaisons : MPN15.
Mortier avec 20% Ponce noire	→ combinaisons : MPN20.

Ces résultats portent sur la résistance mécanique (compression) aux échéances 1, 7, 14, 21 et 28 jours, le coefficient d'absorption d'eau par capillarité ainsi que la rétention d'eau et la consistance des mortiers étudiés, et enfin sur la masse volumique des différents mortiers.

Les tests de rétention d'eau et du taux de gâchage ont été effectués au niveau du laboratoire de la SARL Mortero de Bejaïa. La confection des éprouvettes et la détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité ont été effectuées au niveau du laboratoire pédagogique béton du département génie civil de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia.

La caractérisation du comportement mécanique a été effectuée par approche expérimentale au niveau du laboratoire des travaux publics LTP Est de Bejaia. Les résultats des essais sont présentés sous forme de tableaux et de courbes.

II. Résultats obtenus

Les résultats du taux de gâchage, de rétention d'eau, du coefficient d'absorption d'eau et de la masse volumique des différents mortiers sont consignés dans les tableaux suivants :

Tableau 13: Résultats des tests sur le mortier référence MR

échantillon essai	Echantillon référence MR
Taux de gâchage (%)	17,5
Rétention d'eau (%)	95,53
Coefficient d'absorption d'eau	0,003
Masse volumique (Kg/m ³)	1812,11

Tableau 14: Résultats des tests sur les mortiers de la pierre ponce blanche

échantillon essai	MPB 5 %	MPB 10%	MPB 15%	MPB 20%
Taux de gâchage (%)	18	20	23	26,3
Rétention d'eau (%)	95,23	93,34	89,64	87,37
Coefficient d'absorption d'eau [kg/ (m ² min ^{1/2})]	0,0059	0,0049	0,0039	0,0018
Masse volumique (Kg/m ³)	1764,38	1681,76	1654,49	1547,89

Tableau 15: Résultats des tests sur les mortiers de la perlite

échantillon essai	MP 5 %	MP 10%	MP 15%	MP 20%
Taux de gâchage (%)	23	29	35	45
Rétention d'eau (%)	97 ,017	95 ,77	85, 64	17, 35
Coefficient d'absorption d'eau [kg/ (m ² min ^{1/2})]	0,0029	0,0012	0,0011	0,001
Masse volumique (Kg/m ³)	1413,44	1290,16	1069,77	972,77

Tableau 16: Résultats des tests sur les mortiers de pierre ponce noire

échantillon essai	MPN	MPN	MPN	MPN
	5 %	10%	15%	20%
Taux de gâchage (%)	16	19	22	23
Rétention d'eau (%)	97,46	95,8	92,97	89,99
Coefficient d'absorption d'eau [kg/ (m ² min ^{1/2})]	0,0069	0,005	0,003	0,0029
Masse volumique (Kg/m ³)	1712,85	1447,97	1307,58	1283,95

Résultats des essais de résistance à la compression pour 28 jours

Les résultats des essais de résistance à la compression des différents mortiers à 28 jours d'âge, avec différents pourcentages de substitution, sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 17 : résultats des essais de la compression pour le 28 jours

Mortier référence (Mpa)		3,75	
Echantillon pourcentage	Perlite (Mpa)	Pierre ponce blanche (MPa)	Pierre ponce noir (MPa)
5 %	2,5	4,375	4,375
10 %	2,1875	3,75	3,75
15 %	1,25	3,75	3,125
20 %	1,25	3,125	3,125

Rendement des mortiers

Dans le tableau suivant, nous allons présenter le rendement des mortiers, référence et modifiés, qui est la quantité du mortier frais nécessaire pour enduire une surface d'un mètre carré et d'une épaisseur de 1 cm :

Mrtier	MR	MP 5 %	MP 10%	MP 15%	MP 20%	MPB 5 %	MPB 10%	MPB 15%	MPB 20%	MPN 5 %	MPN 10%	MPN 15%	MPN 20%
Rendement Kg/m ²	14,9	10,8	9,16	6,95	5,35	14,4	13,4	12,7	11,4	14,3	11,72	10,19	9,88

III. Interprétation des résultats

III.1 Masse volumique des mortiers à l'état durci

Avant chaque essai, les éprouvettes (de volume $V = 256 \text{ cm}^3$) sont pesées pour déterminer leur masse brute M . La masse volumique est égale à $\rho = M / V$.

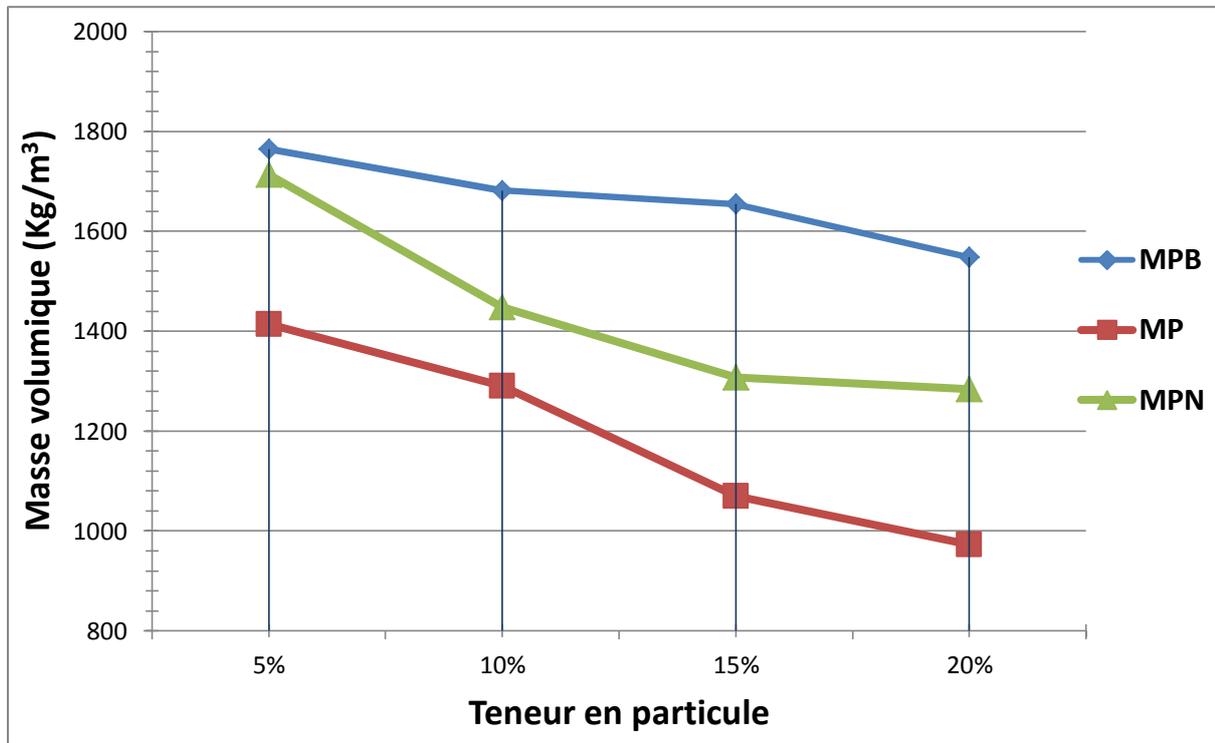


Figure16 : évolution de la masse volumique des mortiers en fonction de la teneur en particules

Allègement du mortier à base de perlite

La variation de la masse volumique du mortier MP, en fonction de la teneur en particules de perlite, est donnée dans la *figure16*. Celle-ci diminue avec l'augmentation de la teneur en particules. Elle varie de 1413,44 à 972,77 kg/m^3 , pour une teneur en particules de perlite allant de 5 % à 20%, correspondant à un allègement de l'ordre de 46,31%, par rapport à la masse volumique du mortier référence MR (1812,11 kg/m^3). Outre la faible densité de la perlite par rapport à celle du sable, l'allègement du composite est également attribué aux vides d'air piégés dans la matrice par l'introduction des particules de perlite.

Allègement du mortier à base de ponce blanche et de ponce noire

La variation de la masse volumique des mortiers MPB et MPN, en fonction de la teneur en particules de ponce blanche et de ponce noire, est donnée dans la *figure 16*. Celle-ci diminue avec l'augmentation de la teneur en particules. Elle varie de 1764,38 à 1547,89 kg/m³ pour les mortiers MPB, et entre 1712,85 à 1283,95 kg/m³ pour les mortiers MPN et ce pour des teneurs en particules de ponce blanche et de ponce noire allant de 5 % à 20 %. Ceci correspond à un allègement de l'ordre de 14,58 % pour les mortiers MPB et de l'ordre de 29,14 % pour les mortiers MPN par rapport à la masse volumique du mortier référence MR(1812,11 kg/m³). L'allègement du composite est lié, d'une part, à la faible densité des particules de ponce (comparées à celle du sable) et d'autre part à la structure finement poreuse des grains de ponce qui permettent l'entraînement de l'air dans la matrice du mortier.

III.2 Taux de gâchage

D'après les résultats obtenus durant les tests de détermination du taux de gâchage des mortiers, nous constatons l'augmentation du taux de gâchage en fonction de la teneur en particules incorporées.

La variation du taux de gâchage des mortiers MPB et MPN, en fonction de la teneur en particules de ponce blanche et de ponce noire, est donnée dans les *tableaux 14 et 16*. Celle-ci augmente avec l'augmentation de la teneur en particules. Elle varie de 18 à 26,3% pour les mortiers MPB, et de 16 à 23% pour les mortiers MPN, et ce pour des teneurs en particules de ponce blanche et de ponce noire allant de 5 % à 20%. Comparativement au taux de gâchage du mortier référence MR (18%), celui du mélange ponce-liant est élevé en raison des phénomènes d'empilement granulaire qui apparaissent dans ces mélanges et qui conduisent à des besoins en eau. Effectivement, la formation des blocs stables au sein de la pâte du liant, a pour conséquence d'emprisonner une certaine quantité d'eau qui n'est alors pas disponible pour hydrater le mélange. Il faut donc ajouter plus d'eau pour obtenir un mortier maniable.

En ce qui concerne les résultats obtenus lors de l'analyse des mortiers à base de perlite MP (*tableau 15*), nous constatons que le taux de gâchage des mortiers augmente de 23 à 45 % avec l'augmentation de la teneur en perlite allant de 5 à 20 %. Cela peut être expliqué par une propriété des perlites qui est le gonflement de ses particules lors de leur contact avec l'eau, ayant pour conséquence l'augmentation de la quantité d'eau nécessaire à la préparation du mortier.

III.3 Rétention d'eau

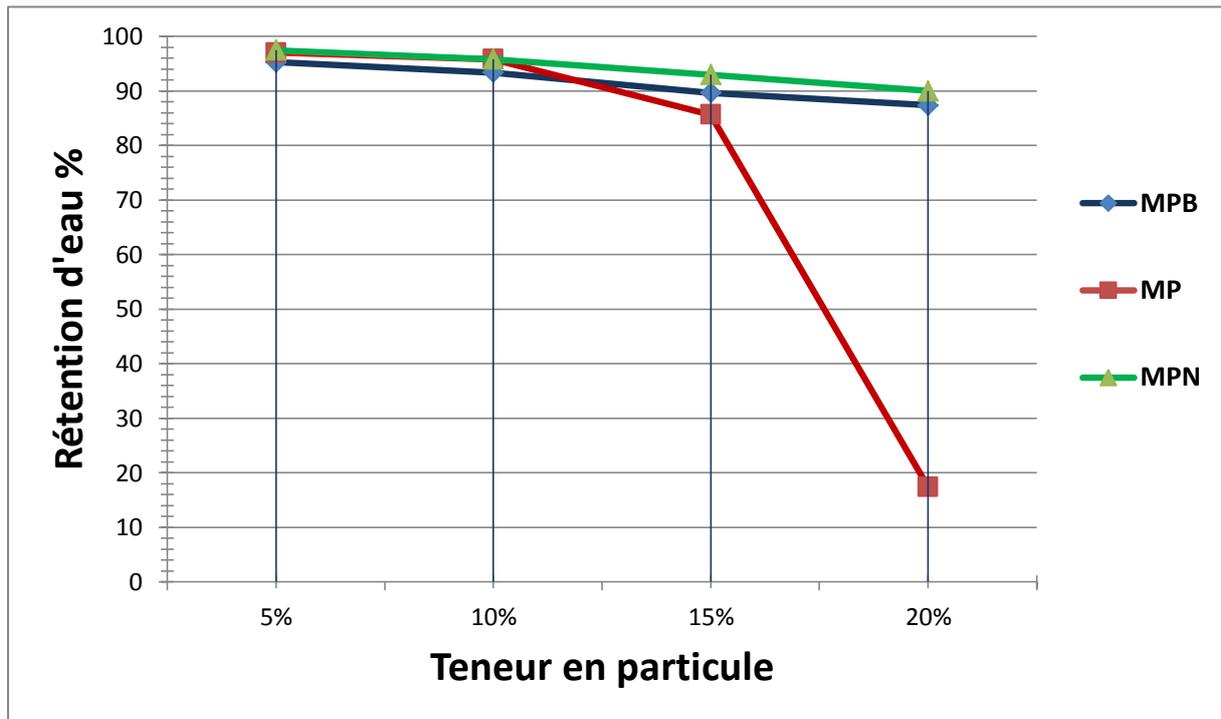


Figure17 : évolution de la rétention d'eau des mortiers en fonction de la teneur en particules

L'augmentation du pourcentage de substitution de 5 à 20 % de particule de ponce (blanche et noire), conduit à la diminution de la rétention d'eau de 95,23 à 87,37 % pour les mortiers MPB et de 97,46 à 89,99% dans les mortiers MPN. Dans les mortiers MP, les résultats des tests sur les mortiers de différents pourcentages de perlite, montrent une diminution de la rétention d'eau (de 97,017 à 85,64%), en fonction de la teneur en perlite (de 5 à 15%). Ces résultats peuvent être interprétés par la présence de particules fines de ponce et de perlite qui se disposent dans les interstices (entre les gros grains) des mortiers et conduisant ainsi à l'augmentation de la rétention d'eau.

Le mortier à 20% de perlite montre une rétention très faible (17,35%), ce qui peut être expliqué par la dominance de la proportion des particules de perlite sur les autres composants du mortier, et cela mène le mortier à perdre sa capacité de retenir son eau de gâchage.

III.4 Absorption d'eau par capillarité

Les tests de l'absorption d'eau par capillarité effectués sur les spécimens montrent que les mortiers modifiés (MP, MPB, MPN) présentent des coefficients inférieurs à $0,2 \text{ Kg/m}^2\text{min}^{0,5}$, et sont donc conformes aux normes (DTU 26.1, avril 2008). Ceci peut être expliqué par l'effet de l'adjuvant sur les mortiers réalisés.

III.5 Résistance à la compression à 28 jours

La résistance à la compression de tous les mortiers croît du 1^{er} au 28^{em} jour, et cela est dû à l'hydratation des liants au fil du temps qui donne aux mortiers de bonnes caractéristiques mécaniques.

Au regard des résultats de résistance mécanique obtenus pour les mortiers MPB et MPN, la résistance à la compression à 28 jours varie de 4,375 à 3,125 Mpa pour les mortiers MPB, et de 4,375 à 3,125 Mpa pour les mortiers MPN. Ces valeurs restent très proches de celles obtenues pour le même test avec le mortier référence MR (3,75 Mpa), montrant ainsi que les mortiers modifiés restent dans la même classe de résistance mécanique à la compression (CS III selon MERUC). Ces résultats sont directement liés à l'activité pouzzolanique de la ponce (dans un mélange de ponce, liant et eau une partie de silice de la ponce réagit avec l'hydroxyde du calcium donnant lieu à la formation de silicate de calcium insoluble. La formation de ce dernier cause une augmentation de la résistance mécanique du mortier [18].) et à la bonne résistance de ses grains.

Les valeurs de résistances des mortiers MP varient de 2,5 (pour 5%) à 1,25 Mpa (pour 20%), (classes de résistance CS I, CS II). Elles sont inférieures à la valeur de résistance du mortier référence MR (3,75 Mpa), cela peut être expliqué par la faible résistance des grains de la perlite et par les vides créés lors de l'incorporation de la perlite dans le squelette du mortier qui rend ce dernier moins résistant.

Sachant que tous les mortiers (de référence et ceux modifiés) contiennent les mêmes proportions en liant (ciment chaud), et vu que ces mortiers réagissent différemment aux tests de résistances mécaniques, nous pouvons avancer que les performances mécaniques (à la compression) de ces matériaux ne dépendent pas seulement du liant, mais aussi des proportions des autres constituants.

Conclusion

Conclusion et perspectives

Les enduits jouent un rôle très important dans les constructions. Ils habillent les ouvrages en leur donnant esthétique et protection. À travers notre étude, nous avons voulu analyser l'expansion d'un enduit de façade, en lui incorporant des particules allégeantes, et tester sa masse volumique et sa durabilité en se basant sur les essais de résistances mécaniques et de propriétés physiques.

À l'issue de nos travaux de laboratoire qui ont porté sur l'essai de trois types de mortiers d'enduits, on retiendra que :

- le mortier de référence MR est plus résistant à la compression que les mortiers MP, tandis que les mortiers MPB et MPN ont presque la même résistance à la compression par rapport à celle du mortier de référence MR ;
- tous les mortiers modifiés réalisés (MPB, MPN, MP) ont des masses volumiques inférieures à celle du mortier référence MR ce qui conduit à un gain de poids important et à un bon rendement de mise en œuvre.

Nos résultats, sur les propriétés physiques et mécaniques des mortiers modifiés, et leur comparaison au mortier référence (témoin), révèlent que les mortiers modifiés sont de bonnes qualités et ils obéissent aux normes du domaine.

Notre étude nous a mené à réaliser de nouvelles recettes concernant la fabrication d'un enduit de façade léger avec de bonnes performances et surtout un bon rendement lors de la mise en œuvre.

Compte tenu des résultats obtenus durant notre étude, la perlite et la ponce se sont avérées être des matériaux de propriétés considérables et d'un large domaine d'utilisation surtout dans la construction et dans l'élaboration des mortiers légers.

Au-delà de ce qui précède, et pour enrichir davantage cette étude, nous souhaitons que des tests soient réalisés sur d'autres matériaux (pouzzolane, bentonite, etc.) avec différents pourcentages de substitutions.

Références bibliographiques

BIBLIOGRAPHIE

- [1]. Guide pratique «Les enduits de façade » : mise en œuvre des enduits minéraux sur supports neufs et anciens, p. 5, 12 , Edition CSTB 2009.
- [2]. « *Enduits monocouches d'imperméabilisation* » ; cahiers du CSTB 2669, 1993.
- [3]. DTU 26.1 ; Document de la réunion de présentation du nouveau, FFB Vienne, 29 mai 2009.
- [4].DTU 26.1 : « Travaux de mortiers d'enduits » ; Partie 1-1, 1-2, 2 ; Avril 2008.
- [5].TEDESCHI L., CESA : Mécanismes physico-chimiques de dégradation des enduits de façades, Edition 13 mai 2010.
- [6]. MICKAEL, caractéristiques physico-chimiques, Edition 2009.
- [7]. GHOMARI F., « Pathologie des constructions »,thèse de doctorat, Université Aboubekr Belkaid, p.19, 2004.
- [8]. VENUAT M., La pratique des ciments, mortiers et bétons, Tome 1 : «Caractéristiques des liants et des bétons, mise en œuvre des coulis et mortiers» - édition2 – Collection Moniteur. – p.277, 1989.
- [9]. SOTEHI N., « Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation », thèse de doctorat, Université Mentouri - Constantine, p. 43, 2010.
- [10]. EYROLLES : Guide pratique «Les enduits de façade chaux, plâtre, terre » les enduits à la chaux, p. 12, 23, 50, Edition 2011.
- [11].Ciments calcia : « italcementi group » guide de la chaux, p. 6, 7, Edition décembre 2011.
- [12].BOCQUET H., CAUE allier : Fiche technique, Enduits, joints et mortiers de chaux, les composants de l'enduit, Edition juin 2013.
- [13]. AZZOUZ H., Mémoire magister, «Etude des bétons à base des sables de dune», Biskra 2009.
- [14]. CIM béton : Fiches techniques, Les bétons : formulation, fabrication et mise en œuvre, Tome 2 janvier 2013.
- [15].Parexlanko : Fiches techniques, les enduits semi-allégés pour toutes les maçonneries.
- [16].SNMI : information technique, l'enduit monocouche dans le cadre de la nouvelle norme NF DTU 26.1, édition 2008.
- [17].CESA-FTGP - CYC PERLITE ISOLATION - V1- juin 2010.
- [18].PUMEX, spa « *societa sicilliana per l'industria ed il commercio della pomice di Lipari* », Fiches techniques, la ponce de Lipari, Edition avril 1985 .

Liste des normes

Norme	Définition
ASTM C110	Méthodes d'essais normalisés pour essais physiques de chaux vive, chaux hydratée, et calcaire.
CSTB (Cahier N° 1777 de juin 1982).	Conditions générales d'emploi et de mise en œuvre des enduits d'imperméabilisation de mur à base de liants hydrauliques.
EN 1015.21	la compatibilité de l'enduit avec la famille de support considéré
NF EN 998-1	Décembre 2010. Définitions et spécifications des mortiers pour maçonnerie - Partie 1 : mortiers d'enduits minéraux extérieurs et intérieurs
NF EN 1937	la méthode de mélange des mortiers de lissage et de nivellement à prise hydraulique avec de l'eau.
NF EN1015-18	Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité du mortier durci.
NF EN 1015-18 Mai 2003	Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 18 : détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité du mortier
NF EN 1015-11	Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - Partie 11 : détermination de la résistance en flexion et en compression d'un mortier.
NF EN 998-1 Décembre 2010	Définitions et spécifications des mortiers pour maçonnerie.

Annexes

Les annexes

Résistance à la compression

Les essais sont réalisés sur les éprouvettes à différents âges après démoulage et conservation au laboratoire à l'air libre.

Les éprouvettes prismatiques sont testées à la compression comme sur la photo.



Figure18 : dispositif d'essai de la résistance à la compression

Après avoir obtenu la valeur maximale de rupture **Fc** des demi-éprouvettes, la résistance à la compression **Rc** est calculée par la formule suivante :

$$Rc \text{ (Mpa)} = Fc \text{ (N)} / 1600$$



Figure19 : rupture d'une demi-éprouvette

a) Résistance à la compression au premier jour d'âge :

Tableau 19 : détails des mesures de résistances R_c des mortiers à 1 jour

Mortier d'enduit	Fc appliquée (KN)	Rc calculée (Mpa)
Mortier référence MR	2	1,25
MP 5 %	1	0,625
MP10 %	1	0,625
MP15 %	1	0,625
MP20 %	0,5	0,3125
MPB 5 %	2	1,25
MPB10 %	2	1,25
MPB15 %	2	1,25
MPB20 %	2	1,25
MPN5 %	2	1,25
MPN10 %	2	1,25
MPN15 %	1	0,625
MPN20 %	1	0,625

b) Résistance à la compression à 7 jours d'âge :

Tableau 20 : détails des mesures de résistances R_c des mortiers à 7 jours

Mortier d'enduit	Fc appliquée (KN)	Rc calculée (Mpa)
Mortier référence MR	4	2,5
MP5 %	3	1,87
MP10 %	2	1,25
MP15 %	1,5	0,937
MP20 %	1	0,625
MPB5 %	6	3,75
MPB10 %	6	3,75
MPB15 %	4,5	2,8125
MPB20 %	4	2,5
MPN5 %	4	2,5
MPN10 %	4	2,5
MPN15 %	2	1,25
MPN20 %	2	1,25

c) Résistance à la compression à 14 jours d'âge :

Tableau 21 : détails des mesures de résistances R_c des mortiers à 14 jours

Mortier d'enduit	Fc appliquée (KN)	Rc calculée (Mpa)
Mortier référence MR	6	3,75
MP5 %	4	2,5
MP10 %	3,5	2,1875
MP15 %	2	1,25
MP20 %	2	1,25
MPB5 %	6	3,75
MPB10 %	6	3,75
MPB15 %	5	3,125
MPB20 %	4	2,5
MPN5 %	7	4,375
MPN10 %	5	3,125
MPN15 %	4	2,5
MPN20 %	4	2,5

d) Résistance à la compression à 21 jours d'âge :

Tableau 22 : détails des mesures de résistances R_c des mortiers à 21 jours

Mortier d'enduit	Fc appliquée (KN)	Rc calculée (Mpa)
Mortier référence MR	6	3,75
MP5 %	4	2,5
MP10 %	3,5	2,1875
MP15 %	2	1,25
MP20 %	2	1,25
MPB5 %	6,5	4,0625
MPB10 %	6	3,75
MPB15 %	5	3,125
MPB20 %	5	3,125
MPN5 %	7	4,375
MPN10 %	6	3,75
MPN15 %	5	3,125
MPN20 %	4	2,5

e) Résistance à la compression à 28 jours d'âge :

Tableau 23 : détails des mesures de résistances R_c des mortiers à 28 jours

Mortier d'enduit	Fc appliquée (KN)	Rc calculée (Mpa)
Mortier référence MR	6	3,75
MP5 %	4	2,5
MP10 %	3,5	2,1875
MP15 %	2	1,25
MP20 %	2	1,25
MPB5 %	7	4,375
MPB10 %	6	3,75
MPB15 %	6	3,75
MPB20 %	5	3,125
MPN5 %	7	4,375
MPN10 %	6	3,75
MPN15 %	5	3,125
MPN20 %	5	3,125

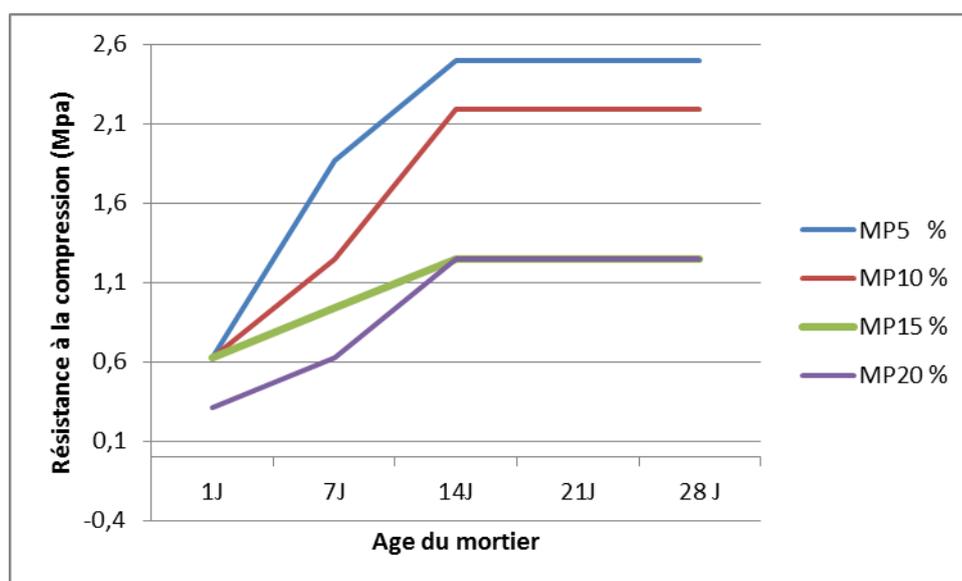


Figure 20 : évolution de la résistance à la compression des mortiers à base de perlite en fonction de l'âge du mortier

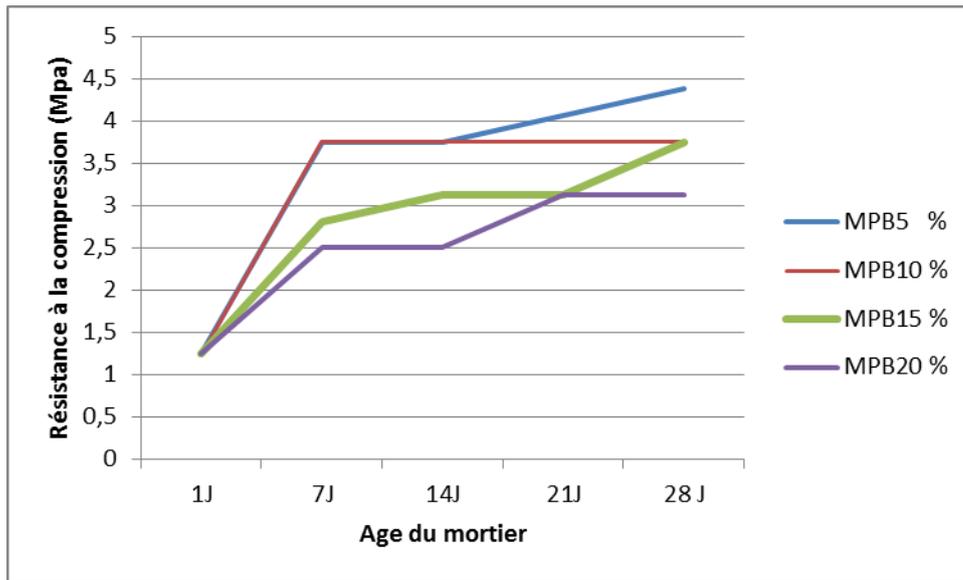


Figure 21 : évolution de la résistance à la compression des mortiers à base de ponce blanche en fonction de l'âge du mortier

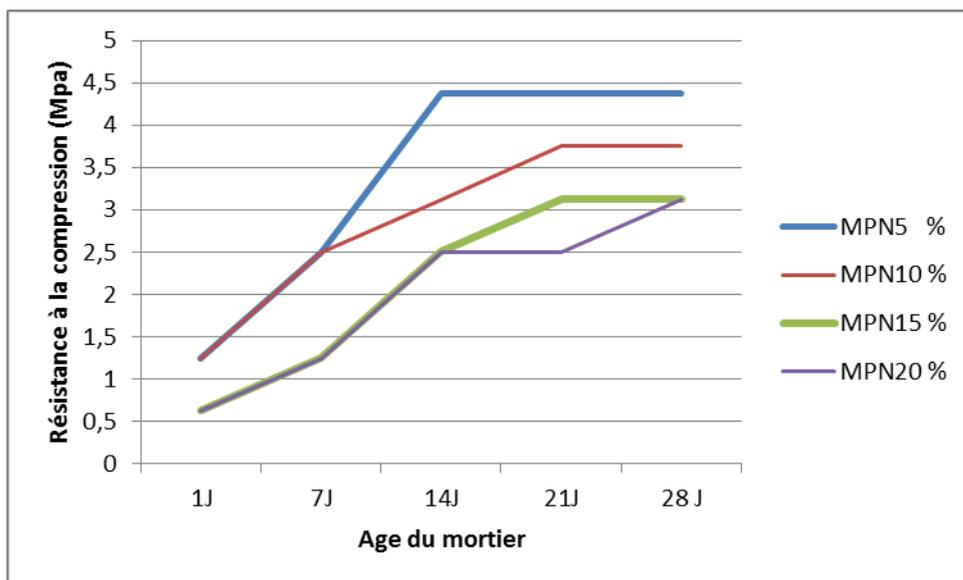


Figure 22 : évolution de la résistance à la compression des mortiers à base de ponce noire en fonction de l'âge du mortier

Confection des éprouvettes

Les éprouvettes des différents mortiers d'enduit ont été confectionnées et conservées, comme décrit dans la partie précédente, au sein du laboratoire pédagogique béton du département génie civil de l'université de Bejaia, comme dans la photo suivante :



Figure23 : confection des éprouvettes

Détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarité

Les essais sont effectués sur les éprouvettes comme dans la figure suivante :



Figure24 : dispositif de la détermination de l'absorption d'eau par capillarité

Après avoir obtenu la masse des éprouvettes **M1** après 10 minutes, et la masse **M2** après 90 minutes, le coefficient d'absorption d'eau **W** est alors calculé par la relation suivante :

$$W = 0,1 (M2 - M1) \dots \dots \dots \text{kg/ (m}^2 \cdot \text{min}^{1/2})$$

Tableau 24 : détails de mesure des coefficients d'absorption d'eau des mortiers

Mortier d'enduit	M1(Kg)	M2(Kg)	W [kg/ (m ² min ^{1/2})]
Mortier référence MR	0,4639	0,49434	0,003044
MP5 %	0,36184	0,39175	0,002991
MP10 %	0,33028	0,34161	0,001133
MP15 %	0,27386	0,28491	0,001105
MP20 %	0,24903	0,25978	0,001075
MPB5 %	0,45168	0,51134	0,005966
MPB10 %	0,43053	0,48046	0,004993
MPB15 %	0,42355	0,46295	0,003940
MPB20 %	0,39670	0,41505	0,001835
MPN5 %	0,43849	0,50796	0,006947
MPN10 %	0,37068	0,42161	0,005093
MPN15 %	0,32869	0,35912	0,003043
MPN20 %	0,31474	0,34423	0,002949

Résumé

Cette étude, répondant aux exigences du développement durable, consiste à élaborer, et à caractériser un mortier d'enduit composite obtenu par substitution d'une fraction appropriée de granulats naturels (sable d'un enduit normalisé) par des particules de matériaux légers.

Ces matériaux naturels, perlite, ponce blanche et ponce noire, ont été incorporés dans un enduit de façade normalisé avec différents pourcentages de substitution allant de 5 à 20 %. Les enduits modifiés ainsi obtenus ont fait l'objet d'une caractérisation pour la détermination de leurs caractéristiques mécaniques et physiques, et de l'effet de ces particules sur l'expansion et l'allègement de cet enduit normalisé.

Mots clés : enduit, expansion, perlite, ponce blanche, ponce noire, masse volumique, propriétés mécaniques des mortiers, propriétés physiques des mortiers.

summary

This study, meeting the requirements of sustainable development, is to develop and characterize a composite coated with mortar obtained by substituting an appropriate fraction natural aggregates (sand of a standardized coating) by particles of light materials.

These natural materials, perlite, white pumice and pumice black, were incorporated into a standardized outside plaster with different substitution percentages ranging from 5 to 20%. Modified coatings obtained were subject to a characterization to determine their mechanical and physical characteristics, and the effect of these particles on the expansion and easing of this standardized coating.

Keywords: coating, expansion, perlite, pumice white, black pumice, density, mechanical properties of mortars, physical properties of mortars.