

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

**Université Blida1
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil**

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

**DIAGNOSTIC ET ANALYSE DES FAÇADES EXTÉRIEURES DES
BÂTIMENTS : CAS DES REVÊTEMENTS DE PEINTURES**

Par

**Nour el houda RABAH BEN ABBES
Imane ZEKRAOUI**

Devant le jury composé de :

Dr Yahiaoui Walid	U. Saad Dahleb-Blida1	Président
Pr Menadi Belkacem	U. Saad Dahleb-Blida1	Examineur
TOULOUM Naima	CNERIB	Promoteur
Pr KENAI Said	U. Saad Dahleb-Blida1	Co-Promoteur

Blida, septembre 2021

Remerciements

À l'issu du cycle de notre cursus universitaire, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Un grand remerciement pour notre promotrice M^{me}TOULOUM Naima Pour la qualité de son encadrement, pour son accueil chaleureux lors de notre travail, sa rigueur, ses judicieux conseils, sa patience, ses encouragements, son soutien moral ainsi que sa disponibilité. Il est important également de remercier notre co-promoteur le professeur KENAI Saïd pour ses orientations et son suivi pour mener à bien et à terme ce travail de recherche.

Il est judicieux d'adresser nos remerciements à monsieur le Chef de la Division Matériaux M. BRARA Ahmed pour son accueil chaleureux, ses conseils judicieux et les échanges fructueux que nous avons pu avoir .

Nous tenons à remercions Docteur YAHIAOUI pour son soutien moral , ses orientations , sa disponibilité et pour son aide .

Nos remerciements vont également aux membres du jury, pour leur contribution scientifique lors de l'évaluation de ce modeste travail.

Nous remercions aussi nos parents, familles (Zekraoui et Rabah BEN ABBAS), et nos amis

Nous tenons à remercier également tous les professeurs qui nous ont enseigné au niveau du département de Génie Civil de l'université Saad Dahleb

Je dédie cette thèse :

A mon très cher père Rabah ben abbes Abbas :
je tiens à honorer l'homme que tu es.

Grâce à toi papa j'ai appris le sens du travail et de la responsabilité. Je voudrais te remercier pour ton amour, ta générosité, ta compréhension... Ton soutien fut une lumière dans tout mon parcours. Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour l'estime et le respect que j'ai toujours eu pour toi.
Ce modeste travail est le fruit de tous les sacrifices que tu as déployés pour mon éducation et ma formation. Je t'aime papa. .

A ma très chère mère Khemis amel

Autant de phrases aussi expressives soient-elles ne sauraient montrer le degré d'amour et d'affection que j'éprouve pour toi. Tu n'as cessé de me soutenir et de m'encourager durant toutes les années de mes études, tu as toujours été présente à mes cotés pour me consoler quand il fallait. En ce jour mémorable, pour moi ainsi que pour toi, reçoit ce travail en signe de ma vive reconnaissance et mon profond estime.

A ma sœur Rabah ben abbes Lamis

Ma grande Sœur. Je sais enfin se que sais que le bonheur d'avoir une grande sœur sur laquelle on peut compter, moi qui n'en ai jamais eu. Je te dis merci et je te souhaite bonheur, réussite et prospérité.

A mon cher frère Rabah ben abbes Sami

Tu m'as soutenu, réconforté et encouragé. Puissent nos liens fraternels se consolider et se pérenniser encore plus.

A mes amies R.rahil, M.chemli, ,R.ben turkia,R.lemouchi,M.belkass,et M.benkebir Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées,. En témoignage de l'amitié qui nous unit et des souvenirs de tous les moments que nous avons passés ensemble, je vous dédie ce travail .

À mon binôme Imane & sa famille.

Ma partenaire je souhaite personnellement remercier ma binôme et amie, avec laquelle j'ai pris beaucoup de plaisir à travailler. Nous avons formé une belle équipe

DEDICACE

Je dédie ce modeste travail

A ma famille, celle qui m'as doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui, quoi que je fasse ou quoi que je dise, je ne saurai point leurs remercier comme il se doit.

Puisse Dieu, tout puissant les combler de santé, de bonheur et les procurer une longue vie.

.À mon très cher papa "Zekraoui Abdelkader "

Mon précieux offre du dieu, qui doit ma vie, ma réussite et tout mon respect, son soutien fut une lumière dans tout mon parcours, il a toujours été mon école de patience, de confiance et surtout d'espoir et d'amour, ses conseils m'ont toujours guidé mes pas vers la réussite, il est et il restera pour moi ma référence, la lune qui brille mon chemin.

À ma très chère Mère adorée "Moussaoui Rachida "

Une grande dame, une reine, celle qui m'a conçu, porté, mis au monde, celle qui m'a fait grandir tel une fleur, celle qui m'a arrosé de tendresse et d'espoir, elle est mon support dans la vie. Son affection me couvre, sa bienveillance me guide et sa présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles, sa prière et sa bénédiction m'ont été un grand secours pour mener à bien mes études, elle m'a aidé et soutenu pendant de nombreuses années avec des attentions renouvelées

À mes chers frères "Mouhamed, Abdelghani et Youcef"

Ceux qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail, ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de mon parcours pour leur dévouement

Que dieu les garde et les protège et leurs offre la chance et le bonheur.

À ma sœur et ma cher ami "Ghizlene "

Celle que je ne pourrais exprimer ma profonde affection et mon immense gratitude pour tous les encouragement et les soutiens qu'elle m'a consentis à mon égard ,et tous les sacrifices qu'elle n'a cessé de m'apporter tout au long de mes années d'études.

À mes grands-parents "Moussaoui Ali et LichaniSultana "

Ceux qui auraient bien voulu voir cet instant, puisse Dieules avoir en sa saine miséricorde (ameen)

À mon binôme "Nour el Houda "et également sa famille.

Ma partenaire qui m'a soutenu et qui a été toujours disponible durant notre préparation de mémoire et pour son encouragement.

À mes chers et fidèle amis "Fella ,Ihcen ,Imene ,Celia ,Yassmine ,Elis ,Mourad "

Mes meilleurs qui mon soutenu tout au long de ce travail par leur amour, leurs encouragements, et leur soutien moral.

الملخص:

يعد ترميم الواجهات المطلية للمباني القديمة وحتى المباني الحديثة في الجزائر أحد الاهتمامات الرئيسية للسلطات العامة.

من الواضح أنه بعد العقدين الأخيرين (2000-2020) من جهود بناء المساكن (عدل وLSP و غيرها)، ستواجه الجزائر عبء صيانتها. وبالتالي، فإن تقييم فعالية و مستوى تدهور الطبقة الخارجية من الطلاء لأغلفة المبنى والتنبؤ بتطورها في المستقبل أمر ضروري لاتخاذ قرار بشأن احتياجات الإصلاح والصيانة. تهتم هذه الأطروحة بمنهجية تشخيص الحالة الصحية للمباني استنادًا بشكل أساسي على جمع البيانات في الموقع. ركز العمل على المسح البصري للتدهورات الرئيسية لطبقة الدهانات الموضوعة على الواجهات الخارجية للمباني المشيدة في إطار برامج عدل.

في هذه المنهجية، تم اعتماد مقاييس التقييم بناءً على المراجع الدولية، ولا سيما تحديد معايير م.د.م / ISO المطبقة على كل التدهورات الموجودة . وبهذا تم تحديد درجة وحجم ومن ثم رسم خرائط التدهور. كما تم إجراء تحليل إحصائي لهذه الحالات .

. أظهرت النتائج التي تم العثور عليها أن متانة طلاء الدهان مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بالعوامل الخارجية وجودة المادة، جنباً إلى جنب مع جودة العمل المنجز اثناء وضعها. ومع ذلك، فيما يتعلق بالموقع المدروس الواقع على الواجهة البحرية وبعد خمس سنوات من سكنها، تظل العوامل البيئية والمناخية الأكثر تأثيراً على ديمومة الدهانات المصنوعة من الأكريليك.

يمكن توسيع المنهجية المقدمة لتشمل ميدان البناء والتشييد ومجالات أخرى عدة.

الكلمات الدالة: الدهانات , واجهات المباني, التدهورات, الصيانة.

RÉSUMÉ

En Algérie, la réfection des façades peintes de vieux bâti et mêmes des constructions nouvelles, est l'une des préoccupations majeures des pouvoirs publics.

Il est évident qu'après les deux dernières décennies (2000-2020) d'efforts de constructions de logements (AADL, LSP et autres), l'Algérie sera confrontée à leurs maintenances. Ainsi, l'évaluation des performances et le niveau des dégradations des revêtements de peintures des enveloppes de bâtiments et la prédiction de leur évolution future est essentiel pour décider des besoins de réparation et de maintenance.

Ce mémoire s'intéresse à la méthodologie de diagnostic de l'état sanitaire des bâtiments basée principalement sur la récolte de données in situ. L'investigation a porté sur le relevé visuel des principales anomalies des revêtements de peinture des façades extérieures des bâtiments construits dans le cadre des programmes AADL. Dans cette méthodologie, des échelles d'évaluation ont été adoptées basées sur des références internationales notamment les normes ISO applicables à chaque anomalie typifiée. Ainsi, le degré, la taille et la cartographie des dégradations ont été établis. Une analyse statistique de ces anomalies est également réalisée. Le résultat trouvé a montré que la durabilité des revêtements de peinture est intimement liée aux facteurs environnementaux et à la qualité extrinsèque du matériau, conjugués avec la qualité des travaux d'exécution. Néanmoins, concernant le site étudié situé en façade maritime et après cinq années de mise en service des revêtements de peinture à base d'acrylique, les facteurs environnementaux et climatiques restent les plus influents sur leur durabilité.

La méthodologie présentée peut-être aisément étendue à d'autres applications du domaine de la construction.

Mots clés : peintures, façades de bâtiments, dégradations, maintenance.

ABSTRACT

In Algeria, the repair of painted façades of older buildings and even new constructions is one of the major concerns of the public authorities.

It is obvious that after the last two decades (2000-2020) of housing construction efforts (AADL, LSP and others), Algeria will be faced with their maintenance. Thus, the evaluation of the performance and the level of degradation of the paint coatings of the building envelopes and the prediction of their future evolution are essential to decide on the repair and maintenance needs.

This dissertation is devoted on the methodology of diagnosis of the health condition of buildings based mainly on the collection of *in site* data. The investigation focused on the visual survey of the main anomalies of the paint coatings of the external façades of buildings constructed under the AADL programs. In this methodology, scales of evaluation were adopted based on international references including ISO standards and applicable to each classified anomaly. Thus, the degree, the size and the cartography of degradations have been established. A statistical analysis of these anomalies was also performed. The results show that the durability of paint coatings is strongly related to environmental factors and the extrinsic quality of the material, combined with the workmanship quality. Nevertheless, for the studied site located in the coastline and after five years of occupation, the environmental and climatic factors remain the most influential on the acrylic-based paint coatings durability.

The methodology presented can be extended to other construction fields.

Keywords : Paints, building facades, deteriorations, maintenance.

SOMMAIRE

<u>INTRODUCTION</u>	<u>16</u>
<u>I.INTRODUCTION.....</u>	<u>18</u>
<u>I.2. LES FAÇADES DES BÂTIMENTS</u>	<u>18</u>
I.2.1 LA FAÇADE LOURDE	18
I.2.2 LA FAÇADE LÉGÈRE	20
<u>I.3. LES REVÊTEMENTS DES BÂTIMENTS.....</u>	<u>21</u>
<u>I.4. LES REVÊTEMENTS DE PEINTURE</u>	<u>22</u>
I.4.1. LES DIFFÉRENTS TYPES OU PRODUITS DE PEINTURES.....	23
I.4.2. LES CONSTITUANTS DE LA PEINTURE	23
I.4.2.1. LE LIANT OU LA RÉSINE.....	24
I.4.2.2. LE SOLVANT OU DILUANT	28
I.4.2.3. LES ADDITIFS.....	29
I.4.2.4. LES PIGMENTS ET LES CHARGES.....	29
I.4.3. LA CLASSIFICATION DES PEINTURES	30
<u>I.5. PROPRIÉTÉS DES PEINTURES</u>	<u>34</u>
I.5.1. POUVOIR COUVRANT.....	34
I.5.2. POUVOIR MOUILLANT ET POUVOIR ADHÉRENT.....	34
I.5.3. POUVOIR SÉCHANT.....	35
I.5.4. SOUPLESSE ET RÉSISTANCE À LA DÉFORMATION	35
<u>I.6. MISE EN ŒUVRE DE LA PEINTURE AU SENS DE LA RÉGLEMENTATION</u> <u>TECHNIQUE ALGÉRIENNE- DTR E.6.6</u>	<u>35</u>
I.6.1. LES SUBJECTILES	35
I.6.2. EXÉCUTION DES PEINTURES POUR BÂTIMENT – CONDITIONS GÉNÉRALES	36
I.6.2.1. LES PRÉALABLES À LA MISE EN ŒUVRE	37
I.6.2.2. PRÉPARATION DU SUPPORT.....	38
I.6.2.3. RÈGLES D’APPLICATION DES PEINTURES (CF. DTR E6.6).....	38

<u>II.1. DÉGRADATIONS DES REVÊTEMENTS DE PEINTURES</u>	<u>40</u>
II.2. FORMES DE DÉGRADATIONS RENCONTRÉES PENDANT LE STOCKAGE	40
II.2.1. LA SÉDIMENTATION (ART. 2.2.27 DE LA NORME ISO 4618)	40
II.2.2. LA FORMATION DE PEAU (ART. 2.2.3.6 DE LA NORME ISO 4618)).....	41
II.2.3 LA GÉLIFICATION	41
II.3. LES MORPHOLOGIES DES DÉGRADATIONS RENCONTRÉES LORS DE L'APPLICATION	42
II.3.1. LE SAIGNEMENT (ART.2.2.8 DE LA NORME ISO 4618).....	42
II.3.2. LE FESTONNAGE (ART.2.2.2.1 DE LA NORME ISO 4618).....	42
II.3.3. LE FROISSEMENT (ART.2.2.8.3 DE LA NORME ISO 4618).....	43
II.3.4. LE RÉTRÉCISSEMENT (ART. 2.67 DE LA NORME ISO 4618).....	43
II.3.5. LA CRATÉRISATION (ART. 2.66 DE LA NORME ISO 4618).....	44
II.3.7. LE TEMPS DE SÉCHAGE PROLONGÉ	45
II.3.8. L' ASPECT GRANULÉ (BITTINESS)	45
II.4. LES FORMES DE DÉGRADATION DES PEINTURES APPLIQUÉE EN FAÇADE	46
II.4.1. L'EFFLORESCENCE (ART. 2.92 DE LA NORME ISO 4618)	46
II.4.2. LA CORROSION (ART. 2.64 DE LA NORME ISO 4618).....	47
II.4.3. LA SAPONIFICATION OU BOURSOUFLURE	48
II.4.4. LE FARINAGE (ART. 2.41DE LA NORME ISO 4618).....	48
II.4.5. L'ÉCAILLAGE (ART. 2.187 DE LA NORME ISO 4618)	49
II.4.6. LA FORMATION DE CLOQUES (ART. 2.247 DE LA NORME ISO 4618)	49
II.4.7. LA COLONISATION BIOLOGIQUE	50
II.4.8. LA FISSURATION OU CRAQUELLEMENT	51
<u>III.1. MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC DES FAÇADES PLAINTES</u>	<u>55</u>
III.2. OUVRAGES INVESTIGUÉS – CAS D'ÉTUDE : BÂTIMENTS AADL DE AÏN BENIAN	55
III.3. PROCÉDURES D'INSPECTION	56
III.3.1 ÉTUDES PLURIDISCIPLINAIRES	57
III.3.2. DIAGNOSTIC IN SITU	60
<u>QUANTITÉ OU DEGRÉ DES DÉGRADATIONS OU DÉFAUTS</u>	<u>61</u>
<u>IV. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES ET CLIMATIQUES DE SITE D'ÉTUDE... 75</u>	
IV.2. ACTION DES FACTEURS CLIMATIQUES	75

IV.3. FACTEURS ENVIRONNEMENTAUX -POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE.....	77
IV.4. CONTEXTE CLIMATIQUE : KÖPPEN-GEIGER	78
IV.5. DONNÉES LIÉES AUX BÂTIMENTS INVESTIGUÉS.....	85
IV.5.1 IDENTIFICATION DES BÂTIMENTS ET LES FAÇADES OBJET DE L'ÉTUDE	85
IV.5.2. INVENTAIRE ET CARTOGRAPHIE DES ANOMALIES SUR LES FAÇADES PEINTES	97
IV.6. ANALYSE STATISTIQUES DES DÉGRADATIONS	131
<u>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</u>	<u>140</u>
<u>RÉFÉRENCES</u>	<u>142</u>

Liste des photos

<i>Photo I.1. Maçonnerie de bloque de pierre - façade lourde (Diar El Mahçoul, Alger)</i>	19
<i>Photo I.2. Maçonnerie de moellon de pierre - façade lourde (la Kabylie)</i>	19
<i>Photo I.3. Bâtiments d'habitation en béton armé avec maçonnerie de remplissage –façade lourde</i>	20
<i>Photo I.4. Façade légère</i>	21
<i>Photo II.1. Sédimentation de la résine de la peinture (par Jochum Beetsma)</i>	40
<i>Photo II.2. Formation de peau sur la surface de la peinture liquide conditionnée dans un bidon (par BCA.2005)</i>	41
<i>Photo II. 3. La gélatineuse de la peinture (par BCA.2005)</i>	41
<i>Photo II.4. Le saignement de la peinture (par BCA.2005)</i>	42
<i>Photo II.5. Affaissement de la peinture (par Masud Rana)</i>	43
<i>Photo II.6. Froissement de la peinture (par BCA.2005)</i>	43
<i>Photo II.7. Le rétrécissement de la peinture (par BCA.2005)</i>	44
<i>Photo II.8. Aspect de la cratérisation de la peinture(par BCA.2005)</i>	44
<i>Photo II.9. Le décollement de la peinture(par BCA.2005)</i>	45
<i>Photo II.10. Aspect granulé de la peinture (Bittiness) (par BCA.2005)</i>	46
<i>Photo II.11. Efflorescence sur un revêtement de peinture appliqué sur une façade d'un bâtiment (par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	47
<i>Photo II.12. Corrosion et changement de couleur des peintures de façades extérieures</i>	47
<i>Photo II.13. Formation de boursouffure- transformation de la couche de peinture en poudre(par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	48
<i>Photo II.14. Détection de la présence d'un farinage sur une façade peinte (par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	49
<i>Photo II.15. Les différentes formes d'écaillage ou desquamation des couches de la peinture appliquée (a-b) (par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	49
<i>Photo II.16. Formation de cloques sur les peintures(par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	50
<i>Photo II.17. Un cas progressé d'algues sur une surface peinte (a-b) (par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	51
<i>Photo II.18. Transformation de la couche de peinture en peau de crocodile (par BCA.2005)</i>	51
<i>Photo II.20. Un cas de retrait-fissuration de la couche de peinture (par rabah ben abbes et zekraoui)</i>	52
<i>Photo III.1. Localisation géographique du site d'investigation- façade maritime algérienne, Ain Benian, Alger</i>	56
<i>Photo III.2. Cité AADL : 400 logements choisie comme échantillon représentatif de l'étude de la dégradation des peintures de façade</i>	56
<i>Photo IV.1. Les façades objet d'enquête - BB1F1 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 1 ; BB1F1 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 2 ; BB1F2 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 3</i>	87
<i>Photo IV.2. Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 1, 2 et 3(a-c)</i>	89
<i>Photo IV.3. Façade investiguées : BB3F1, BB3F2, BB3F3</i>	91
<i>Photo IV.4. Façade investiguée : BB4F1</i>	93
<i>Photo IV.5. Façade investiguée : BB5F1</i>	95

<i>Photo IV.6. Jaunissement aperçu sur les façades des bâtiments (couleur blanche transformée en couleur de rouille donnant un aspect corrodé)(par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui).....</i>	<i>98</i>
<i>Photo IV.7. Écaillage généralisé dépassant les 30 mm de largeur(par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui).....</i>	<i>99</i>
<i>Photo IV.8. Décollement et Écaillage de la couche de peinture résultant de l'exposition aux embruns marin et à l'humidité (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui)</i>	<i>100</i>
<i>Photo IV.9. Écaillage et la couche de peinture causé par des remontées capillaires. (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui).....</i>	<i>100</i>
<i>Photo IV.10. Fissures ou faïençage ou bien formation de craquelles sur la surface peinte (a-b) (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui)</i>	<i>101</i>
<i>Photo IV.11. Détermination in situ de degré de farinage par la méthode du ruban adhésif(par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui).....</i>	<i>102</i>
<i>Photo IV.12. Cloques observées sur les peintures de façades des bâtiments investiguées(par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes &zekraoui).....</i>	<i>103</i>
<i>Photo IV.13. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>104</i>
<i>Photo IV.14. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –jaunissement ou changement de couleur.....</i>	<i>105</i>
<i>Photo IV.15. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage.....</i>	<i>105</i>
<i>Photo IV.16. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>106</i>
<i>Photo IV.17. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>106</i>
<i>Photo IV.18. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –Farinage</i>	<i>107</i>
<i>Photo IV.19. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – Écaillage.....</i>	<i>107</i>
<i>Photo IV.20. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur</i>	<i>108</i>
<i>Photo IV.21. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>108</i>
<i>Photo IV.22. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>109</i>
<i>Photo IV.23. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>109</i>
<i>Photo IV.24. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur</i>	<i>110</i>
<i>Photo IV.25. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage.....</i>	<i>110</i>
<i>Photo IV.26. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>111</i>
<i>Photo IV.27. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>111</i>
<i>Photo IV.28. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>112</i>
<i>Photo IV.29. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur</i>	<i>112</i>
<i>Photo IV.30. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>113</i>
<i>Photo IV.31. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage.....</i>	<i>113</i>
<i>Photo IV.32. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – Farinage</i>	<i>114</i>
<i>Photo IV.33. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>114</i>
<i>Photo IV.34. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur</i>	<i>115</i>
<i>Photo IV.35. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – cloquage.....</i>	<i>115</i>
<i>Photo IV.36. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – craquellement</i>	<i>116</i>
<i>Photo IV.37. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – cloquage.....</i>	<i>116</i>

<i>Photo IV.38. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – craquellement</i>	<i>117</i>
<i>Photo IV.39. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>117</i>
<i>Photo IV.40. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – farinage.....</i>	<i>118</i>
<i>Photo IV.41. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur</i>	<i>118</i>
<i>Photo IV.42. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – cloquage.....</i>	<i>119</i>
<i>Photo IV.43. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – craquellement</i>	<i>119</i>
<i>Photo IV.44. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –Farinage</i>	<i>120</i>
<i>Photo IV.45. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>120</i>
<i>Photo IV.46. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur</i>	<i>121</i>
<i>Photo IV.47. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>121</i>
<i>Photo IV.48. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>122</i>
<i>Photo IV.49. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage.....</i>	<i>122</i>
<i>Photo IV.50. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>123</i>
<i>Photo IV.51. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur</i>	<i>123</i>
<i>Photo IV.52. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>124</i>
<i>Photo IV.53. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>124</i>
<i>Photo IV.54. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –Farinage</i>	<i>125</i>
<i>Photo IV.55. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur (a- b) ...</i>	<i>126</i>
<i>Photo IV.56. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage (a- b).....</i>	<i>127</i>
<i>Photo IV.57. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>127</i>
<i>Photo IV.58. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>128</i>
<i>Photo IV.59. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur</i>	<i>129</i>
<i>Photo IV.60. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage.....</i>	<i>129</i>
<i>Photo IV.61. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage.....</i>	<i>130</i>
<i>Photo IV.62. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement</i>	<i>130</i>

Liste des figures

<i>Figure I.1. Chaîne moléculaire de l'éthanoate d'éthényle</i>	<i>25</i>
<i>Figure I.2. La copolymérisation de l'éthanoate d'éthényle</i>	<i>25</i>
<i>Figure I.3. Exemple de réaction entre le triol et l'huile siccativ</i>	<i>26</i>
<i>Figure I.4. La formulation de polymère alkyde</i>	<i>27</i>
<i>Figure I.5. Formulation des résines époxy</i>	<i>28</i>
<i>Figure III.1. Représentation graphique de nuage de points.....</i>	<i>71</i>
<i>Figure IV.1. Zones climatiques de l'Algérie</i>	<i>76</i>
<i>Figure IV.2. Diagramme ombrothermique Aïn Benian</i>	<i>80</i>
<i>Figure IV.3. Courbe de température Aïn Benian</i>	<i>81</i>
<i>Figure IV.4. Températures mensuelle.....</i>	<i>82</i>
<i>Figure IV.5. Pluviométrie mensuelle moyenne à Ain benian.....</i>	<i>83</i>
<i>Figure IV.6. Niveaux de confort selon l'humidité à Ain benian</i>	<i>83</i>

<i>Figure IV.7. Vitesse moyenne du vent à Ain Benian</i>	84
<i>Figure IV.8. Direction du vent à Ain benain</i>	84
<i>Figure IV.9. Nombre d'heures moyennes d'ensoleillement</i>	85
<i>Figure IV.10. Désignation des blocs des façades de bâtiment objet de l'investigation in situ</i>	86
<i>Figure IV.11. Histogrammes de degré d'écaillage sur les façades des bâtiments (a-b)</i>	134
<i>Figure IV.12. Histogrammes de degré de changement de couleur sur façades investiguées</i>	135
<i>Figure IV.13. Histogrammes de degré de fissuration sur les façades investiguées (a, b)</i>	136
<i>Figure IV.14. Histogrammes de degré de farinage sur les façades investiguées</i>	137
<i>Figure IV.15. Histogrammes de degré cloquage sur les façades investiguées</i>	137

Liste des tableaux

<i>Tableau III.1. Échelle d'évaluation pour la désignation de l'étendue ou la quantité des dégradations des peintures</i>	61
<i>Tableau III.2. Échelle d'évaluation pour la désignation de l'étendue ou la quantité des dégradations des peintures</i>	62
<i>Tableau III.3. Échelle d'évaluation pour la désignation de l'intensité des changements d'apparence (couleur par exemple et autres dégradation)</i>	62
<i>Tableau IV.1. Températures max et min relevées dans différentes villes du pays</i>	77
<i>Tableau IV.2. Pluviométrie moyenne annuelle des différentes régions de l'Algérie</i>	78
<i>Tableau IV.3. Données des variables climatiques</i>	79
<i>Tableau IV.4. Relation cause - à - effet</i>	131
<i>Tableau IV.5. Taille et quantité des dégradations relevées sur les façades investiguées</i>	132

Introduction

INTRODUCTION

En Algérie, la réfection des façades peintes de vieux bâti et mêmes des constructions nouvelles, est l'une des préoccupations majeures des pouvoirs publics. En effet, la durabilité et la survie de notre patrimoine bâti sont étroitement liées à la qualité et à la pérennité de son enveloppe, dont la dégradation inesthétique provoque un rejet par les utilisateurs finaux. Par conséquent, le revêtement de peintures des bâtiments (ultime étape dans l'opération de la construction d'un bâtiment) doit assurer une durabilité et une résistance élevée aux agents environnementaux externes.

De même, dans le processus de réhabilitation et de maintenance de ce parc bâti, des solutions adéquates doivent présenter un rapport coût/performance pour les pouvoirs publics. Il est évident qu'après les deux dernières décades (2000-2020) d'efforts de constructions de logements (AADL, LSP et autres), l'Algérie sera confrontée à leurs maintenances. Ainsi, l'évaluation des performances et le niveau des dégradations des revêtements de peintures des enveloppes de bâtiments et la prédiction de leur évolution future est essentiel pour décider des besoins de réparation et de maintenance.

L'objectif de ce travail de recherche est de présenter la méthodologie à suivre pour la réalisation d'un diagnostic de l'état sanitaire des peintures de façades extérieures de bâtiment. Au fil du temps, ces revêtements subissent des dégradations irréversibles mettant en péril la stabilité des ouvrages. Une analyse statistique des désordres les plus rencontrés sur les peintures de façades des bâtiments d'une cité AADL est présentée dans ce mémoire.

Ce mémoire présente une méthodologie de relevé visuel des principales anomalies des revêtements de peinture des façades extérieures des bâtiments construits dans le cadre des programmes AADL. Dans cette méthodologie, des échelles d'évaluation ont été adoptées basées sur des références internationales notamment les normes ISO applicables à chaque anomalie typifiée. Ainsi, le degré, la taille et la cartographie des dégradations ont été établis.

Le mémoire est divisé en plusieurs chapitres. Après une introduction générale précisant les objectifs du travail, une revue bibliographique est donnée dans les chapitres 1 et 2 sur les façades et revêtements de peinture et leurs dégradations. Le chapitre 3 présente la méthodologie de diagnostic. Le cas d'étude est présenté dans le chapitre 4. Une analyse statistique est donnée dans le chapitre 5. Enfin des conclusions générales et des perspectives sont proposées.

Premier chapitre

**État de l'art sur les revêtements
de façade de bâtiments**

I. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on présente une synthèse bibliographique sur les types des façades, les types de revêtements, les revêtements et la mise en œuvre de peinture.

I.2. LES FAÇADES DES BÂTIMENTS

La façade est un type de mur qui se compose généralement d'éléments structuraux verticaux et horizontaux, reliés entre eux et fixés à la structure porteuse du plancher du bâtiment. Elle est l'image finale d'une construction reflétant son interaction avec l'environnement extérieure et dépendant des usages finaux. Il existe deux types à savoir la lourde ou « façade porteuse ou maçonnerie ou bien classique et façade légère ou « façade non porteuse »[1].

I.2.1 La façade lourde

La façade classique est la plus rencontrée dans les constructions existantes. Elle est considérée comme lourde lorsque son poids moyen (façades pleine et creuse) par rapport à sa section est supérieur à 100 kg/m². Elle se compose de murs porteurs qui supportent les charges des différents éléments structuraux (ex. la charpente et la toiture). Un ensemble de géométraux sont utilisés pour édifier cette enveloppe du bâtiment notamment les briques de terre cuite, la pierre de taille (**Photo I.1**), et de moellon (**Photo I.2**), terre crue béton, etc.



Photo I.1. Maçonnerie de pierre - façade lourde (Diar El Mahçoul, Alger) [2]

Dans le monde, aujourd’hui, le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction et particulièrement dans la préfabrication des façades, (**Photo I.**) Une isolation thermique est dans la majorité des cas est intégrées dans la construction. Pour une meilleure esthétique et une durabilité accrue des ouvrages, plusieurs moyens sont utilisés tels que le crépis et les peintures conditionnée par un entretien régulier [3].



Photo I.2. Maçonnerie de moellon de pierre - façade lourde (la Kabylie) [4]



Photo I.3. Bâtiments d'habitation en béton armé avec maçonnerie de remplissage –façade lourde

I.2.2 La façade légère

Une façade légère est composée de matériaux de faible masses, généralement inférieurs à 100 kg/m^2 , comme les tôles métalliques, le verre, les panneaux de bois, de fibrociment, etc. Ces composants, qui ne contribuent pas à assurer la solidité de la construction, sont appelés mur-rideau s'ils passent devant les abouts de planchers, ou alors murs-panneaux, si ce n'est pas le cas.

L'objectif principal de la façade légère est d'assurer la fermeture de l'enveloppe d'un bâtiment et contribuer à l'efficacité énergétique d'un bâtiment notamment en isolation thermique. Les panneaux en bois ou en bois composite sont les plus favorables à ce type d'isolation. Une façade légère peut être également composée de panneaux photovoltaïques qui sont très pratiques et très écologiques, mais plutôt coûteux.

La façade légère (**Photo I.**), faite de matériaux légers, est toujours portée par la structure d'un bâtiment en métal, en béton, ou en bois, appelée ossature primaire. Ce type de façade peut être constitué d'une ou deux parois [3].



Photo I.4. Façade légère [5]

I.3. LES REVÊTEMENTS DES BÂTIMENTS

Le revêtement de bâtiments est une couche de finition de la partie qui habille le mur. Ils sont de nature diverse (ardoise, brique, carrelage, ciment, enduit, marbre, plâtre, peinture, stuc, etc.). Ces revêtements servent à recouvrir les murs ou les parois d'une construction à l'extérieur ou à l'intérieur pour consolider, protéger, étanchéifier ou pour l'esthétique.

Il existe de nombreux revêtements et peuvent être classés selon les parties à revêtir (revêtements de sols, de murs, de plafonds, de façades, de routes, etc.) ou selon la fonction principale qu'ils doivent remplir (revêtement d'étanchéité, isolants thermiques ou acoustiques, enduits, etc.) [6].

Parmi les revêtements de bâtiment les plus rencontrés :

- **Le crépi ou l'enduit**

Le crépi, appelé aussi enduit, désigne généralement un mortier appliqué en une ou plusieurs couches afin de protéger un support tout en le décorant [7].

- **Le bardage bois**

Il est l'un des revêtements les plus appréciés en termes d'esthétique et d'élégance. Il existe une multitude d'essences de bois qui offre au particulier un large choix de teintes : chêne, châtaignier, pin, mélèze, douglas, sapin, etc [7].

- **Le bardage PVC**

Moins courant, les bardages en PVC sont une solution aussi bien économique qu'esthétique. D'un faible coût, les gammes disponibles dans les grandes surfaces de

bricolages se déclinent dans plusieurs teintes de couleur et peuvent d'ailleurs imiter parfaitement l'aspect du bois [8] .

- **Le bardage métallique**

Le bardage métallique peut être utilisé pour deux types de fonction : esthétique ou isolante. Le matériau le plus utilisé pour ce type de bardage est le zinc. Celui-ci reconnu pour sa résistance à la corrosion et peu sensible aux variations de température. D'une durée de vie assez longue, il ne demande pas d'entretien spécifique car il est composé d'une patine naturelle qui le protège durablement contre les aléas du climat [8].

- **Le bardage en ciment composite**

Le bardage en ciment composite peut être constitué à base de sable, verre ou fibres de cellulose. Plus onéreux que le bardage PVC, le ciment composite, ou fibre ciment, offre une meilleure résistance et tenue dans le temps [8].

- **Les plaquettes de parement**

Les plaquettes de parement permettent de décorer la maison dans un style traditionnel et authentique. Leur avantage : une pose facilitée. Les plaquettes en pierre naturelle, béton ou terre cuite sont fixées sur la façade à l'aide d'une colle et d'un joint spécial [7].

- **Le mur végétal**

La végétalisation de la façade prévient la structure contre les effets corrosifs des pollutions urbaines. De plus, les façades végétales absorbent l'humidité grâce à l'implantation de plantes grimpantes tel le lierre qui est parfaitement adapté au verdissement des pans de mur [7].

- **Le revêtement peinture**

Ce revêtement est un système de protection homogène ayant pour objectif de recouvrir une surface pour la solidifier, la protéger ou la décorer. Il résulte de l'application d'une ou de plusieurs couches de peintures sur une façade [9].

I.4. LES REVÊTEMENTS DE PEINTURE

Selon la Réglementation Technique Algérienne, DTR E6.6, une peinture est une substance que l'on étale en couche mince sur un support ou subjectile. Après durcissement, elle forme une pellicule opaque appelée « film » dont le rôle est triple : **adhérence, protection et décoration**. Pour lui permettre de remplir ces fonctions, différents constituants entrent dans sa composition. De point de vue chimique, la peinture désigne une composition généralement liquide employée pour protéger ou décorer la surface d'un objet en le couvrant d'une pellicule opaque ou colorée [10].

I.4.1. Les différents types ou produits de peintures

D'après le DTR E6.6, il existe de nombreux types de produits de peintures, notamment :

- les enduits préparatoires et/ou décoratifs ;
- les peintures proprement dites et produits pour revêtements semi épais (les peintures à l'eau, les peintures aux huiles, les peintures émulsion) ;
- les vernis sont considérés comme des peintures non pigmentées et servent à la création d'une couche transparente (vernis à l'huile avec résines naturelles ou artificielles, vernis aux résines sans huiles, vernis celluloses, vernis au bitume, etc.) ;
- les lasures, imprégnations décoratives, qui sont une sorte de vernis dilué fongicide et coloré. Appliquées sur bois, elles forment un film qui est absorbé et laisse ainsi apparaître la texture de la surface du bois, contrairement aux peintures et vernis ;
- les préparations assimilées de produits spéciaux ;
- les hydrofuges de surface [10].

I.4.2. Les constituants de la peinture

Selon le DTR E6.6, pour permettre à la peinture de remplir ces fonctions, différents constituants entrent dans sa composition à savoir :

- **Les liants** : ce sont des matières dont leur fonction est d'assurer la stabilité de la peinture pendant le stockage, mais surtout de promouvoir les forces adhésives et cohésives du feuil et sa résistance dans le temps aux diverses sollicitations d'usage. Ce sont eux qui déterminent le type de peinture .

- **Les solvants et diluants** : ce sont des substances volatiles (eau, white-spirit) qui mettent le liant en solution et facilitent l'application de la peinture. Ces substances disparaissent pendant le séchage.
- **Les pigments** : ce sont des substances qu'on incorpore à la peinture à l'effet de lui donner la couleur et l'opacité.
- **Les charges** : ce sont en général des produits minéraux tels que la craie, le talc ou la roche broyée. Elles sont destinées à augmenter le pouvoir garnissant à la peinture comme elles permettent aussi une répartition uniforme des pigments. Ils n'ont pas d'influence sur la teinte de la peinture.
- **Les adjuvants** : ce sont des substances chimiques qui, incorporées en faibles quantités à la peinture, lui développent certaines propriétés spéciales telles que : anticorrosives, fongicides ou insecticides, etc.
- **Les colorants** : ce sont des substances solubles qui apportent la couleur au vernis sans pouvoir couvrant [10][11].

1.4.2.1. Le liant ou la résine

Un **liant** est un polymère, souvent désigné par le nom générique '*résine*', formant une matrice pour maintenir le pigment en place. C'est le composant filmogène de la peinture constituant de base de tous les différents types de formulations. Il confère des propriétés telles que la brillance, la durabilité, la flexibilité et la résistance.

De nombreux liants sont trop épais pour être appliqués et doivent être dilués. Le type de diluant, s'il est présent, varie en fonction du liant [11].

Les liants peuvent être classés en fonction des mécanismes de formation du film. Les mécanismes thermoplastiques comprennent le séchage et la coalescence. Le séchage fait référence à la simple évaporation du solvant ou du diluant pour laisser un film cohérent sur une surface donnée.

La coalescence fait référence à un mécanisme qui implique un séchage suivi d'une interpénétration et d'une fusion réelle de particules auparavant discrètes.

Les mécanismes de formation de film sont parfois décrits comme un "*durcissement thermoplastique*", mais il s'agit d'une appellation erronée car aucune réaction de durcissement chimique n'est nécessaire pour tresser le film. En revanche, les mécanismes

thermodurcissables sont de véritables processus de durcissement qui impliquent une ou plusieurs réactions chimiques entre les polymères qui composent le liant.

Les liants comprennent des résines synthétiques ou naturelles telles que les alkydes, les acryliques, les vinyl-acryliques, l'acétate de vinyle/éthylène (VAE), les polyuréthanes, les polyesters, les résines de mélamine, les époxy, les silanes ou les siloxanes ou les huiles. Toutefois, les principaux liants utilisés dans les peintures modernes sont les suivants :

1.4.2.1.1 Les polymères acryliques

Le liant de nombreuses peintures est une émulsion à base d'homopolymères ou de copolymères d'éthanoate d'éthényle (acétate de vinyle) et d'un ester (acrylique) de propénoate. L'éthanoate d'éthényle est fabriqué (**Figure I.1**) en faisant passer un mélange de vapeur d'acide éthanoïque, d'éthène et d'oxygène sur des chlorures de palladium(II) et de cuivre(II) chauffés.

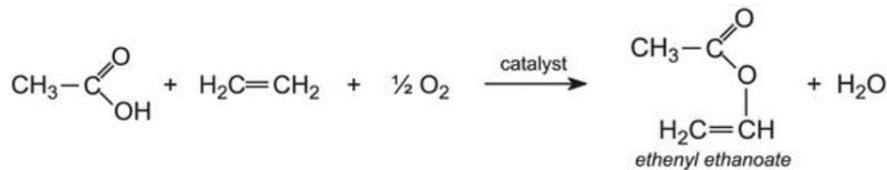


Figure I.1. Chaîne moléculaire de l'éthanoate d'éthényle

L'éthanoate d'éthényle (**Figure I.2**) et l'ester acrylique (par exemple, le 2-méthylpropénoate de méthyle) sont ensuite copolymérisés pour former un réseau aléatoire, dans lequel ces groupes se lient en une chaîne linéaire.

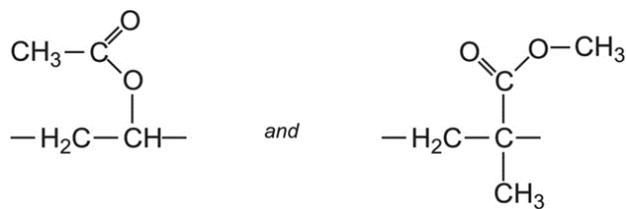


Figure I.2. La copolymérisation de l'éthanoate d'éthényle

D'autres esters acryliques utilisés comme co-monomères avec l'éthanoate d'éthényle sont le propénoate d'éthyle, les propénoates de butyle ou un copolymère de propénoate de butyle et de 2-méthylpropénoate de méthyle.

Les polymères utilisés dans ces peintures sont véhiculés dans l'eau (peintures en émulsion à dispersion dans l'eau). Ces dispersions dans l'eau sont écologiques et amies de l'environnement.

I.4.2.1.2. Les polymères alkydes

Les peintures décoratives brillantes contiennent généralement des polymères alkydes (alcool + anhydride). Ce type de résine est produit à partir d'un :

- polyol tel que le *propane -1, 2, 3-triol* (glycérol) ;
- acide dibasique tel que l'*anhydride benzène-1,2-dicarboxylique* (phtalique) ;
- une huile siccatrice (huile de lin ou de soja).

Lorsqu'ils sont chauffés ensemble, des liaisons ester se forment, et l'eau est un sous-produit.

La première étape de la fabrication du polymère alkyde est la réaction entre le triol et l'huile siccatrice pour produire une monoglycérade. Un exemple de réaction est donné sur la **Figure I.3**.

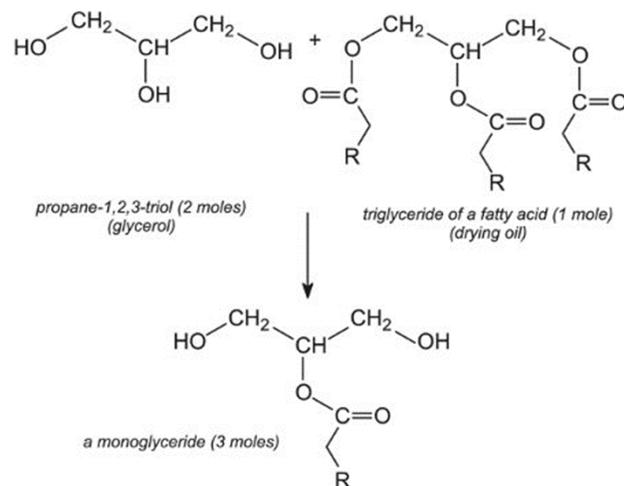


Figure I.3. Exemple de réaction entre le triol et l'huile siccatrice

Le monoglycérade réagit ensuite avec l'anhydride pour former le polymère alkyde selon la chaîne illustrée sur la **Figure I.4**.

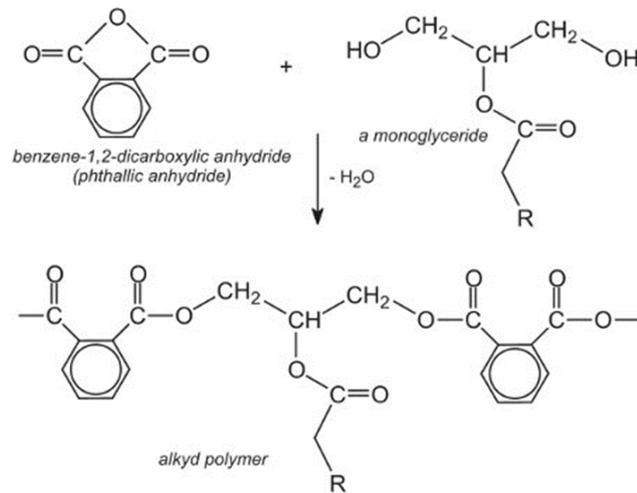


Figure I.4. La formulation de polymère alkyde

Les résines alkydes, dont la masse moléculaire relative généralement comprise entre 10 000 et 50 000, sont généralement transportées dans des solvants organiques (peintures à base de solvants).

La térébenthine extraite des arbres était autrefois utilisée comme solvant. Aujourd'hui, ces térébenthines mais ont été remplacées par des solvants issus de la pétrochimie, comme le "**white spirit**". Ce dernier est un mélange d'hydrocarbures aliphatiques et alicycliques.

Une fois la résine alkyde appliquée, le séchage de ses groupes est effectué pendant que l'huile réagit avec l'oxygène de l'air pour former un revêtement thermo-dur-réticulé et dur, de masse moléculaire élevée (réaction de polymérisation).

1.4.2.1.3. Les polymères époxydiques

Les résines époxydiques sont souvent utilisées comme liant dans les revêtements industriels exposés aux agressions chimiques fortes. En effet, elles confèrent à la peinture une excellente adhérence ainsi qu'une grande résistance aux produits chimiques (corrosion), et une résistance physique nécessaire. Les peintures à base d'époxy sont préconisées pour une application sur les navires et les réservoirs de stockage de produits chimiques, etc.

Les résines époxydiques sont fabriquées à partir de *1-chloro-2,3-époxypropane* (produit à partir de *3-chloropropène*, **Figure I.5**) et de *phénols* substitués (ex. le *bisphénol A*).

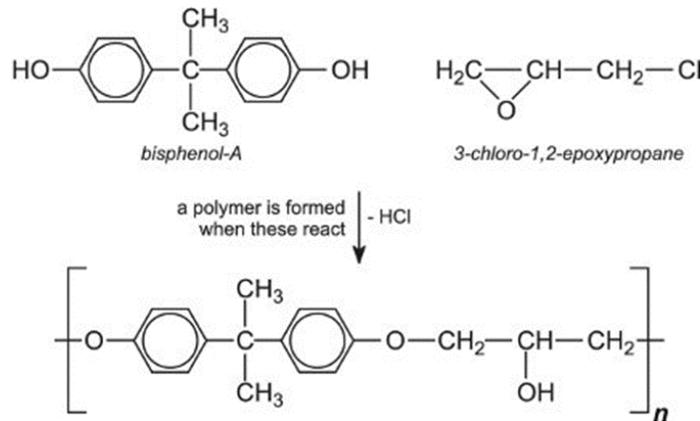


Figure I.5. Formulation des résines époxy

La valeur de « *n* » peut être contrôlée pour obtenir une gamme de résines allant de liquides visqueux à des solides à point de fusion élevé.

Les résines époxydiques peuvent être portées dans des solvants tels que les hydrocarbures aromatiques, les alcools, les cétones et les esters (peintures à base de solvants) ou sous forme de dispersions dans l'eau (peintures à l'eau) comme de véritables émulsions. Les résines époxy sont également utilisées comme adhésifs (par exemple *Araldite*) et comme isolants électriques.

Le désavantage majeur de ce type de résine est sa sensibilité au rayonnement solaire UV. De ce fait, ce type de revêtement doit systématiquement recevoir une protection ou appliqué dans des surfaces intérieures à l'abri de la lumière.

1.4.2.2. Le solvant ou diluant

Les principaux rôles du diluant sont de dissoudre le polymère et d'ajuster la viscosité de la peinture. Ainsi, un solvant de type organique ou à base d'eau est préconisé pour réduire la viscosité de la peinture pour une meilleure application.

Le solvant est volatile et ne fait pas partie du film de peinture final. Il contrôle également les propriétés d'écoulement et d'application et, dans certains cas, peut affecter la stabilité de la peinture à l'état liquide.

Sa principale fonction est de servir de support aux composants non volatils ayant pour objectif d'étaler des huiles plus lourdes (par exemple, les graines de lin). Ces substances

volatiles confèrent leurs propriétés de manière temporaire une fois que le solvant s'est évaporé, la peinture restante est fixée à la surface.

Ce composant est facultatif car certaines peintures ne comportent pas de diluant dans leur composition.

L'eau est le principal diluant des peintures à dispersion (émulsion), même des types de co-solvants. Les peintures à l'huile (à base de solvant), peuvent contenir diverses combinaisons de solvants organiques comme diluant, notamment des aliphatiques, des aromatiques, des alcools, des cétones et du white spirit, etc. Des exemples spécifiques sont les solvants organiques tels que le distillat de pétrole, les esters, les éthers de glycol et autres. Parfois, des résines synthétiques volatiles de faible poids moléculaire servent également de diluants.

1.4.2.3. Les additifs

Les additifs sont utilisés pour modifier les propriétés de la peinture liquide ou du film sec. Ils sont nécessaires pour faire disperser la résine liquide par le mécanisme de séparation et stabilisation des particules de pigment ainsi que des silicones. Ce processus permet l'amélioration de la résistance aux intempéries de la peinture. En plus, les additifs sont des agents thixotropes anti-sédimentation permettant le maintien d'une consistance gélatineuse lors du malaxage. Ces ajouts peuvent jouer également le rôle d'accélérateur de durcissement (accélérer le temps de séchage).

Les fongicides et algicides sont également utilisés pour protéger les films de peinture extérieure contre les altérations dues aux moisissures, aux algues et aux lichens (attaques biologique).

1.4.2.4. Les pigments et les charges

Les pigments sont des solides granulaires incorporés dans la peinture pour apporter de la couleur et l'opacité. Ils sont à base d'oxydes qui se dissolvent dans la résine.

Les pigments donnent de la couleur et de l'opacité aux peintures. Parmi les pigments organiques, les dérivés de l'azo, de la phtalocyanine et de l'antraquinone sont particulièrement importants. Les pigments peuvent être naturels ou synthétiques. Pour les pigments naturels, ils comprennent diverses argiles, le carbonate de calcium, le mica, les silices et les talcs. Quant aux synthétiques comprennent les molécules artificielles, les

argiles calcinées, le blanc fixe, le carbonate de calcium précipité et les silices pyrogènes synthétiques.

Certains pigments de comprennent le dioxyde de titane, le bleu phtalo, l'oxyde de fer rouge et bien d'autres pour conférer une bonne tenue aux radiations UV.

Le pigment inorganique le plus courant est le dioxyde de titane blanc (oxyde de titane(IV)) qui fournit plus de 70% du total des pigments utilisés (Unité 51). Il a un indice de réfraction élevé et donne un " brillant " à la peinture.

Un "brillant" à la peinture. Un autre pigment inorganique largement utilisé est le carbonate de calcium finement divisé. Il a un faible indice de réfraction et est utilisé, avec le dioxyde de titane, pour produire des peintures "mates". Les autres pigments comprennent les oxydes de fer (noir, jaune et rouge), l'oxyde de zinc et le noir de carbone.

Les métaux en poudre comme le zinc et certains composés métalliques, par exemple le phosphate de zinc, ont des propriétés anticorrosion.

Les charges sont des solides granulaires incorporés pour donner de la résistance, de la texture, des propriétés spéciales à la peinture ou pour réduire le coût (rôle économique). Pendant la production, la taille de ces particules peut être mesurée à l'aide d'une jauge Hegman. Plutôt que d'utiliser uniquement des particules solides, certaines peintures contiennent des colorants à la place des pigments ou en combinaison avec eux. Les charges sont un type particulier de pigments qui servent à épaissir le film, à soutenir sa structure et à augmenter le volume de la peinture. Ils sont généralement des matériaux inertes tels que la terre de diatomées, le talc, la chaux, les barytes, l'argile, etc. Les peintures pour sols qui doivent résister à l'abrasion peuvent contenir du sable de quartz fin comme charge. Certaines peintures ne peuvent pas contenir de charges [11].

I.4.3. La classification des peintures

D'après la Réglementation Technique et les normes en vigueur, les produits de peintures sont répartis en cinq familles (repérées par des chiffres romains). Chacune de ces familles étant divisée en plusieurs classes (**voir annexe 1 du DTR E6.6**). Cette classification est fondée sur la nature chimique des liants des produits considérés et ne rend pas compte des performances des peintures réalisées avec ces liants. Dans le cas de produits dont le liant contient des résines, la classification est fondée sur la résine principale, les autres étant considérées comme des résines de complément. Les familles sont englobées dans les appellations suivantes :

- peintures et vernis - Famille I ;
- revêtements plastiques épais - Famille II ;
- enduits intérieurs de peinture - Famille III ;
- mastics et autres - Familles IV ;
- produits bitumineux - Famille V.

Parmi ces classes, on peut citer entre autres :

- **La peinture en émulsion : à l'eau (Famille 1, classe 1)**

Les peintures en émulsions utilisent l'acétate de polyvinyle et le polystyrène comme les liants et contiennent des siccatifs comme le cobalt et le manganèse. Elles peuvent être à base d'eau ou d'huile, et des pigments sont utilisés pour obtenir la couleur souhaitée.

Les peintures émulsions se caractérisent par leur séchage et leur durcissement rapides, et les surfaces peuvent être nettoyées facilement à l'eau. Une fois appliquées, les peintures email offrent une durabilité, une bonne rétention des couleurs et une résistance aux alcalis. Elles sont couramment utilisées pour les murs intérieurs, les plafonds et les travaux de maçonnerie [10].

- **La peinture à l'huile (famille I, classe 2)**

La peinture à l'huile est appliquée en trois couches à savoir le primaire, une sous-couche et couche finale. Il est caractérisé par son pouvoir nettoyant et faciliter de mise en œuvre. Ce type de revêtement est généralement appliqué à l'intérieur (les murs, les portes, les fenêtres et les structures métalliques). Cependant, ces peintures ne convient pas aux conditions humides car elles nécessitent un temps de séchage important en comparaison avec les peintures à base d'eau.

- **Peinture bitumineuse (famille I, classe 9)**

Ce type de peinture est fabriqué à base d'asphalte ou de goudron dissous, ce qui lui donne une couleur noire caractéristique. Elle est imperméable et résistante aux alcalis, mais elle ne convient pas aux applications où elle sera exposée au soleil, car elle se détériore.

La peinture bitumineuse est couramment utilisée dans les ouvrages de ferronnerie sous-marine, les fondations en béton, les surfaces en bois et les tuyaux en fer.

Cette peinture contribue également à la résistance à la rouille lorsqu'elle est appliquée sur des métaux.

- **Peinture à l'aluminium**

Ce type de peinture est produit en mélangeant des particules d'aluminium avec du vernis à l'huile. Elle résiste à la corrosion, à l'électricité et à l'exposition aux intempéries. La peinture à l'aluminium est couramment utilisée pour les métaux et le bois, et certaines applications spécifiques telles que les réservoirs de gaz, les réservoirs d'huile, les tuyaux d'eau et les radiateurs, etc.

- **La peinture anticorrosive**

La peinture anticorrosive de couleur noire se caractérise par sa résistance chimique. Elle est fabriquée à partir d'huile de lin, de chrome de zinc et de sable fin. Elle est destinée pour les surfaces industrielles métalliques et les tuyauteries.

- **La peinture au caoutchouc synthétique**

Cette peinture est fabriquée à partir de résines synthétiques dissoutes, et peut inclure des pigments. Elle a un coût modéré et ses principaux avantages sont la résistance chimique, le séchage rapide et la résistance aux intempéries. La peinture à base de caoutchouc synthétique est utilisée pour la protection des surfaces en béton (frais et durci).

- **La peinture cellulosique**

La peinture cellulosique est produite à partir de feuilles de cellulose, d'acétate d'amyle et de films photographiques. L'adhésion peut être améliorée en ajoutant de l'huile de ricin, les surfaces peuvent être facilement nettoyées et lavées une fois que la peinture a séché. Ce type de peinture se caractérise par son séchage rapide, sa finition lisse et sa dureté, tout en offrant une résistance à l'eau, à la fumée et aux acides. Grâce à ses propriétés, la peinture cellulosique est couramment utilisée dans les voitures et les avions. Le principal inconvénient de la peinture cellulosique est son prix élevé.

- **La peinture plastique**

Cette peinture à base d'eau et disponible dans une large gamme de couleurs est caractérisée par une vitesse rapide de séchage et offrant un pouvoir couvrant élevé des surfaces d'utilisation (murs et plafonds d'auditoriums, salles d'exposition, salles de présentation, etc.

- **La peinture au silicate**

La peinture à base de silicate est fabriquée à partir d'un mélange de silice et de substances résineuses. Après séchage, elle fournit une bonne adhérence, une dureté, une résistance à la chaleur et une absence de réaction chimique avec les métaux. Par conséquent, ce type de peinture est couramment utilisé dans les structures métalliques.

- **La peinture à la caséine**

Cette peinture est fabriquée à partir de caséine mélangée à des pigments blancs. Elle est disponible sous forme de poudre et de pâte, et des pigments peuvent y être ajoutés. La peinture à la caséine est couramment utilisée pour peindre les murs, les plafonds et le bois.

- **La peinture à base de détrempe**

Ces peintures sont à base d'huile et sont disponibles sous forme de pâte ou de poudre. La craie, la chaux et les pigments colorés sont les principaux éléments de la méthode de production. Elles sont moins chères que les autres peintures murales et moins résistantes.

- **La peinture à la chaux**

C'est souvent la peinture la moins chère, où la chaux éteinte (hydroxyde de calcium) et la craie sont employées avec de l'eau. Ce mélange est généralement appliqué pour éclaircir des murs de moindre importance, ou sur des surfaces rugueuses. Ce type de peinture est fortement préconisé pour des constructions anciennes à base de terre et de pierre.

- **La peinture lumineuse**

Il s'agit de peintures qui fournissent une certaine brillance pendant la nuit pour un certain temps d'éclairage. Elle offre un rayonnement actinique à travers le rayonnement visible.

- **La peinture époxy (famille I, classe 10)**

Elles sont des produits à base de résines acryliques. Ces peintures sont largement utilisées pour le revêtement des sols. Elle forme un revêtement brillant et un pavé lors de l'application.

I.5. Propriétés des peintures

À côté de l'aspect esthétique fourni par les revêtements de peintures, les propriétés d'usage sont :

I.5.1. Pouvoir couvrant

Le pouvoir couvrant d'une peinture ou d'un vernis est la propriété de protéger une surface donnée par une épaisseur de pellicule aussi réduite que possible. Ce pouvoir dépend de la dilution, du pouvoir mouillant du fluxage, de la viscosité, de la rapidité de séchage et de la finesse des pigments. On distingue dans le pouvoir couvrant : Le pouvoir couvrant en surface et le pouvoir couvrant par opacité.

- Le pouvoir couvrant en surface est caractérisé par la surface exprimée en mètre carré (m²) qu'il est possible de couvrir avec un kg de peinture ou de vernis. Ce pouvoir couvrant dépend à la fois du mode de mise en œuvre (pinceau, rouleau, pistolet, etc.) et du support.
- Le pouvoir couvrant par opacité, est défini par la quantité de peinture qu'il est nécessaire d'appliquer au mètre carré pour masquer complètement, et d'une manière homogène, la couleur du support [10].

I.5.2. Pouvoir mouillant et pouvoir adhérent

Le pouvoir mouillant d'une peinture ou d'un vernis est sa capacité d'abaisser la tension superficielle à l'interface entre un corps solide (subjectile) et un liquide (peinture ou vernis) à l'effet de rendre facile l'étalement de la peinture sur son subjectile. Le pouvoir adhérent d'une peinture est sa capacité de se liasonner à son subjectile. Il dépend du degré d'alcalinité de la surface de ce dernier (alcalin, acide ou neutre), de son état de surface (rugueux ou lisse), de son degré de siccité (sec ou humide) et enfin de sa porosité [10].

Nota

- *Lorsqu'une peinture est appliquée sur un subjectile et qu'il y a formation d'une pellicule continue à l'interface, on dit qu'il y a mouillage du subjectile et donc il y a étalement.*
- *L'application de certaines peintures notamment les glycérophthaliques sont formellement interdites sur des subjectiles de forte alcalinité (pH > 13) et ce, en raison du risque de leur saponification sur de tels subjectiles.*

- On a intérêt à choisir une peinture insensible à l'alcalinité et permettant à l'eau contenue dans le support de s'évaporer.
- Les bétons cellulaires sont les plus poreux, viennent ensuite l'amiante ciment, les mortiers de chaux et/ ou ciment et les bétons

I.5.3. Pouvoir séchant

Le pouvoir séchant des peintures et vernis pour bâtiments est la transformation par séchage physique de ces produits de l'état fluide en pellicule solide. Cette pellicule s'appelle film ou feuillet. Le séchage peut également s'opérer par coalescence (dispersion), par oxydation à l'air ou par évaporation des solvants (peintures et vernis cellulosique) [10].

I.5.4. Souplesse et résistance à la déformation

La souplesse d'une peinture ou du vernis est la faculté pour la pellicule, de se prêter aux déformations du support et notamment aux déformations par extension et flexion sans se rompre, ni s'écailler, ni se fissurer, ni se décoller du support. La résistance à la déformation diffère de la souplesse car elle est liée aux possibilités de déformation permanente sans rupture [10].

I.6. Mise en œuvre de la peinture au sens de la réglementation technique algérienne- dtr e.6.6

La mise en peinture des supports ne peut être exécutée que si ces derniers satisfont aux prescriptions les concernant et définies ci-après :

I.6.1. Les supports

Les supports à peindre doivent répondre à certaines caractéristiques physico-chimiques : degré de siccité (humidité), pH, présence de sels plus ou moins solubles, etc. La surface des supports doit être propre et ne doit pas présenter :

- De taches récentes ou anciennes d'humidité, ni de moisissures ou autres développements biologiques ;
- de taches de rouille, huile ou graisse, bistre, etc. ;

- de taches diverses provenant de structures bois ou métalliques contiguës ou sous-jacentes ;
- de pulvérulences, efflorescences, salpêtres, gerçures ou craquelures ; • inscriptions (trait à l'encre ou crayon gras, graffiti, etc.) ;
- d'humidité supérieure ou égale à 5 % en masse (pour les parements en fibre ciment cette humidité ne doit pas être ≥ 12 % ; pour le bois elle ne saurait excéder les 15%) [10].

Nota. Un excès d'humidité entraîne toujours une mauvaise tenue de la peinture ; ce défaut est d'autant plus grave que le système de peinture utilisée est imperméable. En général, une bonne aération des locaux est largement suffisante pour garantir des subjectiles secs.

- Il peut arriver qu'un subjectile soit dans un état de séchage suffisant lorsqu'on lui fait l'application de la peinture, mais qu'une opération ultérieure lui communique une diminution préjudiciable à la bonne tenue de la peinture.

Avant tout commencement d'exécution, l'entrepreneur de peinture, après réception du support, doit observer et noter les défauts éventuels des supports à traiter. Il doit s'assurer que les éléments à peindre (supports) sont aptes à recevoir un système de peinture. Il veillera en premier lieu, à éviter toute possibilité de pénétration d'eau dans le support.

Les exigences spécifiques pour chaque type de support ou subjectile courants sont données dans le **tableau 1 du DTR E6.6**. Pour ce qui concerne les autres types de subjectiles, il y a lieu de revenir aux spécifications de la réglementation algérienne DTR E6.6 au cas par cas notamment ceux :

- en parements de fibres-ciment (fibres ou particules à liant ciment) ;
- en panneaux préfabriqués de plâtre ou de fibrociment destinés aux cloisons et plafonds ;
- en bois et matériaux dérivés du bois ;
- en métaux et alliages [10].

I.6.2. Exécution des peintures pour bâtiment – conditions générales

Les ouvrages de peinture, vernis, enduits et préparations assimilées ne sont exécutés que sur des subjectiles répondant aux prescriptions du §IV.1. Ils ne sont jamais exécutés en atmosphère susceptible de donner lieu à des condensations, ni sur des supports gelés ou surchauffés, ni non plus, de façon générale, dans les conditions activant anormalement le séchage (vent, soleil, etc.).

Commentaire : *Une température trop basse entraîne une épaisseur du film de peinture, retarde le séchage et conduit à des irrégularités d'aspect [10].*

1.6.2.1. Les préalables à la mise en œuvre

L'exécution des travaux de peinture (travaux neufs et rénovation) requière le respect des points suivants :

- Une peinture ne peut être appliquée en faisant abstraction des conditions climatiques. Ainsi en travaux extérieurs, la température ambiante ainsi que celle du support ne devront pas être en dessous de + 5 °C et au-dessus de + 35 °C et l'hygrométrie (humidité relative) ne devra pas être au-dessus de 80 % HR. En zone exposée, les teintes sombres sont à proscrire sur tous subjectiles (coefficient d'absorption solaire > 0,7). En travaux intérieurs et pour toute finition brillante ou satinée, les conditions requises de température et d'hygrométrie sont respectivement > + 8 °C et < 65 % HR.
- Les locaux doivent être hors d'eau, vitrés et leur étanchéité doit être assurée. Lorsque les locaux sont chauffés, il faut assurer une légère ventilation pour évacuer l'humidité résiduelle. Dans les locaux non chauffés, on y remédie par l'ouverture des fenêtres pendant la journée.
- D'un point de vue technique, le peintre est indépendant des autres corps d'état. Il doit connaître la nature des surfaces qu'il doit peindre et il lui faut le champ libre. Ainsi les travaux de menuiserie, plomberie, chauffage, électricité doivent être terminés, par contre les revêtements des sols minces, les moquettes, les appareils électriques, les accessoires de plomberie, etc. ne doivent pas être installés. Le peintre intervient une deuxième fois après la pose de ces appareillages pour les raccords et le nettoyage final [10].

Nota : *En travaux extérieurs, il est généralement constaté que les revêtements ayant un indice de luminance Y supérieur à 35 % présentent un coefficient d'absorption du rayonnement solaire inférieur à 0,7, bien qu'il n'existe pas de relation physique entre les deux valeurs. En travaux intérieurs et dans les régions chaudes, il est recommandé d'effectuer les travaux de peinture à une température clémente. Certains produits nécessitent des conditions particulières d'application plus contraignantes, celles-ci font alors l'objet d'une mention particulière dans la fiche technique du produit établie par le fabricant.*

1.6.2.2. Préparation du support

De façon générale, les caractéristiques de subjectiles doivent répondre aux exigences du DTR E6.6. Les travaux avant mise en peinture du subjectile sont l'ensemble des traitements physiques, mécaniques et/ou chimiques auxquels le subjectile doit être soumis. Ils sont déterminés suivant la nature et l'état de surface du subjectile, en fonction des prescriptions de l'état de finition et de la nature des produits de peinture. Ces travaux sont nécessaires pour rendre le subjectile apte à recevoir une application des produits de peinture. Suivant la nature du subjectile, il s'agit notamment de Brossage, d'Egrenage, d'Epoussetage et d'autres opérations particulières à certains subjectiles seront définies dans le DTR E6.6.

1.6.2.3. Règles d'application des peintures (cf. DTR E6.6)

La peinture doit entrer en contact intime avec le subjectile qu'elle recouvre, ce qui implique :

- une élimination complète des parties non adhérentes ;
- un nettoyage parfait du support.

La première couche de peinture (couche primaire ou couche d'impression) est très importante, elle est destinée à donner le pouvoir d'accrochage aux couches intermédiaires et de finition. Un système de peinture doit être homogène et ses différents feuil compatibles entre eux pour que les désordres soient évités. Les trois conditions à satisfaire pour garantir une compatibilité des feuilles sont :

- les solvants de la couche à venir ne doivent pas trop détremper la couche existante ;
- la couche existante ne doit pas être plus « souple » que la couche à venir ;
- les couches d'apprêts doivent être aussi résistantes que les couches qu'elles supportent.

Pour les détails d'exécution, il y a lieu de se référer au DTR E6.6 (chapitre 5) [10].

Conclusion

La peinture joue le rôle d'adhérence, de recouvrir, de protection et de décoration sur les revêtements de façade grâce à ses compositions, ses propriétés et sa mise en œuvre selon les réglementations techniques

Deuxième chapitre
Les formes de dégradation des
peintures

II. Introduction

Dans ce chapitre on définit les différents formes de dégradation de peintures pendant le stockage, durant et après l'utilisation selon ISO 4618.

II.1. DÉGRADATIONS DES REVÊTEMENTS DE PEINTURES

Des études ont confirmé que la dégradation des façades des bâtiments affecte sensiblement leurs durées de vie. Les termes et les définitions des dégradations des peintures sont présentées dans la série de normes **ISO 4618**. Ces dégradations peuvent être rencontrées à l'état liquide, pendant la mise en œuvre ou une fois la peinture appliquée sur une façade [12][13][14].

II.2. Formes de dégradations rencontrées pendant le stockage

II.2.1. La sédimentation (art. 2.2.27 de la norme ISO 4618)

La sédimentation est le dépôt d'un résidu au fond d'un bidon de produit de peinture par effet de la pesanteur, **Photo II.** Ce problème est dû à la sédimentation des pigments au fond du réservoir de peinture et à leur incapacité à se re-disperser. Cette anomalie peut résulter d'une agitation insuffisante pendant le stockage (immobilité des pots de stockage pour une période importante) [12][13][14].



Photo II.1. Sédimentation de la résine de la peinture (par Jochum Beetsma) [12]

II.2.2. La formation de peau (art. 2.2.3.6 de la norme ISO 4618))

Cette anomalie est définie pas l'apparition d'une peau sur la surface d'un produit de peinture lors du stockage,

Photo II.2. L'origine peut être attribuée aux couvercles de récipients mal fermés, d'une mauvaise formulation (absence/insuffisance d'agent anti-peau ou trop de siccatif de surface) et de conditions de stockage à haute température [12][13][14].



Photo II.2. Formation de peau sur la surface du la peinture liquide conditionnée dans un bidon (par BCA.2005)

II.2.3 La gélification

La gélification est la coulée gélatineuse de la peinture causée par une attaque bactérienne du liant ou de l'épaississant ou des deux à la fois, (**Photo II.** [12][13][14].



Photo II. 3. La gélatineuse de la peinture (par BCA.2005)

II.3. Les morphologies des dégradations rencontrées lors de l'application

II.3.1. Le saignement (art.2.2.8 de la norme ISO 4618)

C'est une migration d'une substance colorée d'un matériau dans un autre matériau en contact avec lui et qui peut produire une décoloration indésirable, **Photo II.** Autrement dit, une matière soluble qui s'échappe d'un substrat d'un revêtement précédent et qui provoque une décoloration (tache) de la peinture fraîche [12].



Photo II.4. Le saignement de la peinture (par BCA.2005)

II.3.2. Le festonnage (art.2.2.2.1 de la norme ISO 4618)

Le festonnage est la progression vers le bas d'un produit de peinture lors de l'application et/ou du séchage en position verticale ou inclinée qui engendre des irrégularités dans la couche sèche, **Photo II.**

Dans ce cas, la peinture s'égoutte verticalement vers le bas sur la surface en formant un rideau de drap. La cause peut être une application d'une couche trop épaisse ou d'un temps de séchage insuffisant entre les couches (non-respect de délais de recouvrement).

Une humidité élevée ou une température basse peut également entraîner un affaissement, une surface malpropre et parfois une grande quantité de diluant [12].



Photo II.5. Affaissement de la peinture (par Masud Rana)

II.3.3. Le froissement (art.2.2.8.3 de la norme ISO 4618)

Le froissement est la formation de plis fins lors du séchage d'un feuil de revêtement de peinture, **Photo II.** Cette anomalie est souvent observée sur les finitions brillantes.

Les principales causes de ce défaut peuvent être un temps chaud, sec et venteux et souvent des niveaux d'humidité élevés ou l'application de la peinture sur une surface contaminée [12].

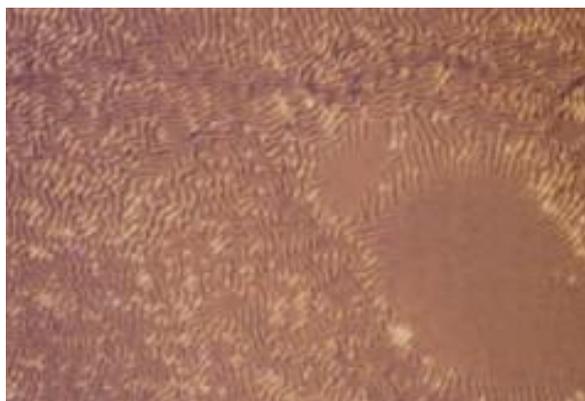


Photo II.6. Froissement de la peinture (par BCA.2005)

II.3.4. Le rétrécissement (art. 2.67 de la norme ISO 4618)

Ces types de défauts entraînent une épaisseur de film inégale et se produisent principalement en raison d'un mauvais nettoyage de la surface du sujet, **Photo II.** La

différence de tension superficielle entre la peinture et le support peut également en être la cause [12].

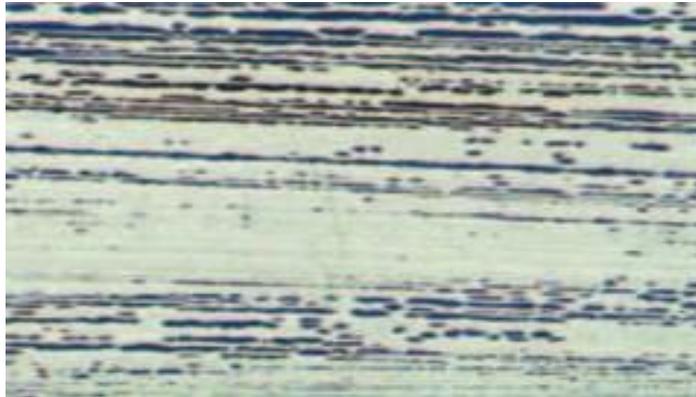


Photo II.7. Le rétrécissement de la peinture (par BCA.2005)

II.3.5. La cratérisation (art. 2.66 de la norme ISO 4618)

On parle de cratérisation lorsque la peinture fraîchement appliquée ne parvient pas à former un film continu sur la surface, laissant de petites taches rondes et nues, appelées cratères, **Photo II.8**. La cause habituelle est l'emprisonnement de bulles d'air ou de solvant qui ont éclaté suite à la contamination de la surface par l'humidité ou des matières étrangères telles que l'huile, la graisse ou la silicone. Cela se produit également lorsque des mélanges de solvants incorrects ont été utilisés. Le cisaillement peut également se produire lorsque des peintures à l'eau sont appliquées sur des revêtements à base d'huile brillants ou semi-brillants [12].

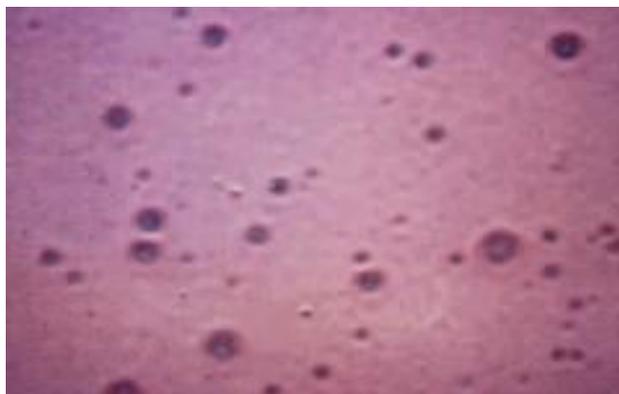


Photo II.8. Aspect de la cratérisation de la peinture (par BCA.2005)

II.3.6. Le décollement/ détrempe (art. 2.1.51 de la norme ISO 4618)

C'est le ramollissement, gonflement ou séparation d'un feuil sec de son support résultant de l'application d'une couche supplémentaire ou de l'utilisation d'un solvant, **Photo II.9**. Perturbation d'un revêtement lorsqu'une autre couche est appliquée, notamment au pinceau. Ce défaut peut résulter également d'une surcouche avant que la couche précédente n'ait suffisamment durci ou d'une surcouche avec un mélange de solvants forts pouvant réagir avec les revêtements précédents et plus faibles mélangés à des solvants [12].



Photo II.9. Le décollement de la peinture(par BCA.2005)

II.3.7. Le temps de séchage prolongé

Lorsque la peinture reste molle, collante ou prend plus de temps que prévu pour sécher. Les causes possibles sont l'application dans des conditions inadéquates (humidité élevée, basse température ou pollution chimique) ainsi qu'une mauvaise ventilation ou une surface humide ou surface huileuse, grasse ou alcaline.

II.3.8. L'aspect granulé (bittiness)

Un défaut dans lequel l'apparence d'une finition de peinture est modifiée par de petites particules telles que de la poussière, du gravier, de la peau de peinture cassée et des fragments de poils de brosses ou d'une surface sale, **Photo II**.



Photo II.10. Aspect granulé de la peinture (Bittiness) (par BCA.2005)

II.4. Les formes de dégradation des peintures appliquée en façade

II.4.1. L'efflorescence (art. 2.92 de la norme ISO 4618)

C'est un phénomène qui apparaît lorsque des sels hydrosolubles dans le feuil sec ou provenant du subjectile migrent à la surface et forment un dépôt cristallin, **Photo II.** Le plâtre, l'enduit, la maçonnerie et les matériaux similaires neufs peuvent contenir des sels solubles qui, lorsque le support s'assèche (évènement d'évaporation), remontent à la surface où ils se cristallisent sous la forme d'une fine pellicule dure ou d'une croissance abondante de poudre blanche duveteuse. Les principales causes peuvent être le fait que la surface n'a pas été préparée de manière adéquate en éliminant toutes les efflorescences précédentes ou que l'humidité excessive s'échappe de l'intérieur à travers les murs de maçonnerie extérieurs.



Photo II.11. Efflorescence sur un revêtement de peinture appliqué sur une façade d'un bâtiment (par rabah ben abbes et zekraoui)

II.4.2. La corrosion (art. 2.64 de la norme ISO 4618)

Corrosion est le processus de détérioration par réaction chimique, électrochimique ou microbologique résultant de l'exposition à l'environnement ou à un milieu de suspension, des taches brun-rougeâtre sur la surface de la peinture, **Photo II.**

Ce phénomène résulte principalement des conditions environnementales ou d'une préparation insuffisante du métal (clous en fer non galvanisés) et il peut être dû à faible épaisseur du film.

Ce terme peut être également adopté dans le cas des changements de couleurs ou jaunissement des peintures appliquées sur façades des bâtiments, résultants de l'exposition forte et prolongée au rayonnement UV.



Photo II.12. Corrosion et changement de couleur des peintures de façades extérieures

II.4.3. La saponification ou boursouflure

Cette pathologie résulte de la présence des sels principalement les carbonates dans un milieu riche en alcalin du support (à base de ciment par exemple) des peintures principalement à l'huile. L'humidité est vecteur principal du processus observé.

Une attaque légère provoque un ramollissement et probablement une décoloration et dans les cas graves la destruction de la couche de peinture, **Photo II.**



Photo II.13. Formation de boursouflure- transformation de la couche de peinture en poudre(par rabah ben abbes et zekraoui)

II.4.4. Le farinage (art. 2.41de la norme ISO 4618)

Le farinage est la transformation de la couche de peinture en poudre de façon graduelle résultante de l'oxydation du polymère constituant causé par le rayonnement solaire et la température élevée, **Photo II.** Il n'est généralement pas considéré comme un défaut à moins qu'il ne se produise prématurément. Il peut également résulter de l'utilisation d'une peinture intérieure pour une application extérieure ou de l'utilisation d'une peinture de qualité inférieure à faible teneur en liant et à forte teneur en pigment.

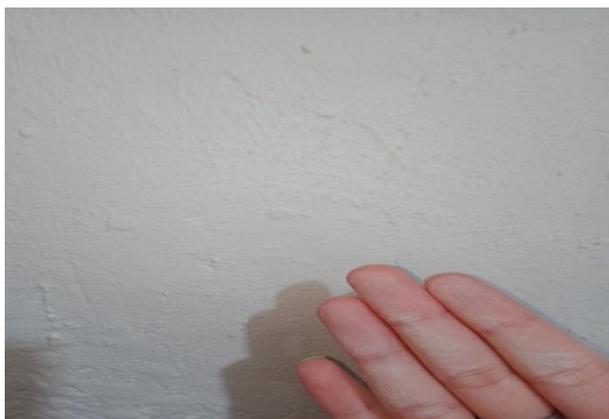


Photo II.14. Détection de la présence d'un farinage sur une façade peinte (par rabah ben abbes et zekraoui)

II.4.5. L'écaillage (art. 2.187 de la norme ISO 4618)

L'écaillage ou la desquamation est le décollement est le détachement de plages du revêtement dus à une perte d'adhérence, **Photo II**. Il peut résulter également d'une mauvaise préparation du support.

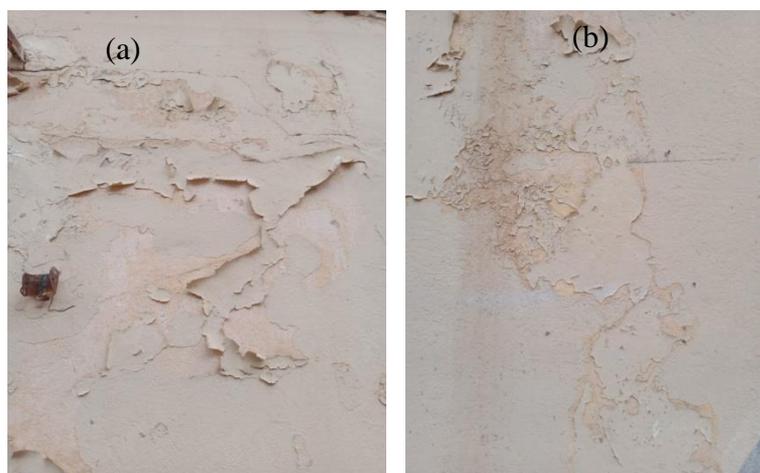


Photo II.15. Les différentes formes d'écaillage ou desquamation des couches de la peinture appliquée (a-b) (par rabah ben abbes et zekraoui)

II.4.6. La formation de cloques (art. 2.247 de la norme ISO 4618)

La formation de cloques (perte d'adhérence localisée) consiste en l'augmentation du volume d'un feuillet suite à l'absorption de liquide ou de vapeur, **Photo II.3**. Ces cloques résultent généralement de la mauvaise mise en façade notamment l'application de la peinture sur un support humide. Aussi, la formation de cloques peut résulter de l'application de la couche de peinture sur un support à base de ciment sans attendre les

28 jours d'âge de durcissement. Dans ce cas, l'hydratation du ciment provoque des réactions exothermiques induisant la formation de cette pathologie.

En effet, cette dégradation se produit principalement à la suite d'une perte d'adhérence localisée et du décollement du film de la surface sous-jacente, en grande partie à cause de l'humidité qui s'échappe par les murs extérieurs, de la peinture d'une surface chaude en plein soleil et de l'exposition du film de peinture au latex à la rosée, à une forte humidité ou à la pluie peu après le séchage de la peinture, particulièrement si la préparation de la surface était inadéquate.



Photo II.3. Formation de cloques sur les peintures (par rabah ben abbes et zekraoui)

II.4.7. La colonisation biologique

La surface peinte peut dans certains cas être le siège d'une attaque par des organismes vivants comme les lichens, algues et champignons et mêmes dans bactéries, **Photo II.4.**

Ce phénomène est principalement attribuable à l'état de la peinture, à une surface et des outils malpropres, à une qualité de peinture inférieure, à des méthodes d'application inadéquates et peut également résulter des conditions météorologiques, en particulier d'une exposition inégale au soleil et présence forte d'humidité.

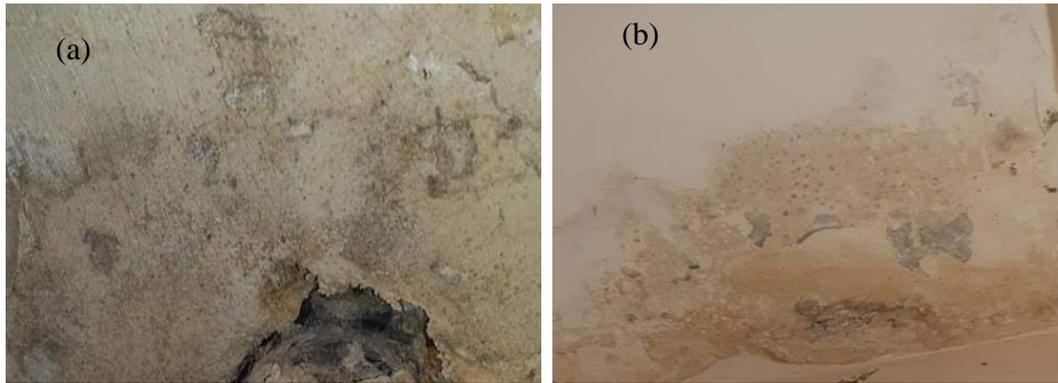


Photo II.4. Un cas progressé d'algues sur une surface peinte (a-b) (par rabah ben abbes et zekraoui)

II.4.8. La fissuration ou craquellement

La fissuration ou craquellement est l'éclatement et la rupture d'au moins une couche de peinture séchée ; formant un motif de peau d'alligator. La fissuration est généralement une défaillance liée au vieillissement de la peinture. L'absorption et l'adsorption de l'humidité, et manque de résistance en traction du revêtement engendrent cette pathologie. Plus le film de peinture est épais, plus la possibilité qu'il se fissure est grande. Il existe trois types de craquellement :

- **craquellement sous forme de peau de crocodile (art. 2.70 de la norme ISO 4618)**

Le craquellement observé est caractérisé par un motif semblable à une peau de crocodile, **Photo II.5.**



Photo II.5. Transformation de la couche de peinture en peau de crocodile (par BCA.2005)

- **craquellement sous forme de patte de corbeau (art. 2.71 de la norme ISO 4618)**

Ce craquellement est caractérisé par un motif semblable à des pattes de corbeau, **Photo II.19.**

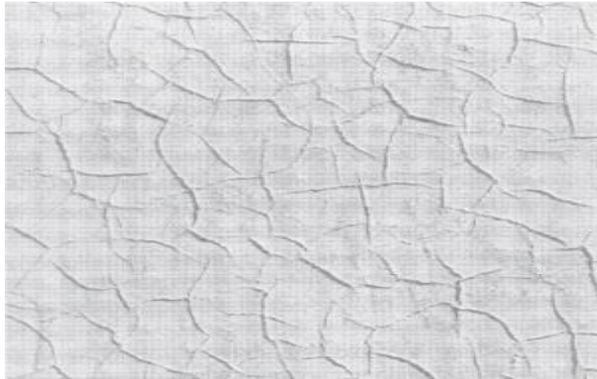


Photo II.19. Transformation de la couche de peinture en craquellement en pattes de corbeau (par BCA,2005)

- **Le retrait-fissuration (art. 2.161 de la norme ISO 4618)**

C'est la formation d'un réseau irrégulier de fissures (faïençage) du feuill consécutif à une perte de volume en cours de séchage ou de durcissement, (**Photo II.**) [12][13][14].



Photo II.20. Un cas de retrait-fissuration de la couche de peinture (par rabah ben abbes et zekraoui)

Conclusion

Dans ce chapitre on a montré selon ISO 4618 que les dégradations de peinture sont affectées principalement sur les facteurs environnementale (température, l'humidité, la pollution, UV...).

Troisième chapitre
Méthodologie de diagnostic

III. Introduction

Dans ce chapitre, on montre les méthodologies de diagnostic des façades qu'on a adopté pour l'investigation des sites, en représentant aussi l'ouvrage investigués et les procédures de l'inspection et le site d'étude.

III.1. MÉTHODOLOGIE DE DIAGNOSTIC DES FAÇADES PLAINTES

Dans ce mémoire, le travail est basé sur une récolte de données in situ des anomalies rencontrées sur des revêtements de peintures des bâtiments en service.

III.2. Ouvrages investigués – cas d'étude : Bâtiments AADL de Ain Benian

Dans le cadre de cette étude, des bâtiments d'AADL de la cité de 400 logements localisée à Ain Bénian ont été choisis pour l'investigation *in situ* de l'état de dégradation de peintures de revêtement des façades extérieures après 10 ans de réalisation et 05 années de mise en service. Le choix de site est justifié par l'abondance de ce type de façades en Algérie et sa localisation en façade maritime. La métrologie de diagnostic adoptée dans le cas de cette cité considérée comme un échantillon représentatif peut confortablement être généralisée à d'autres sites et d'autres revêtements de façade.

Le site est localisé sur la façade maritime algérienne à environ 800 m de la mer. Les bâtiments de la cité de 400 logements choisis sont représentés sur la carte de la **Photo III.6** et **Photo III.** ci-après.

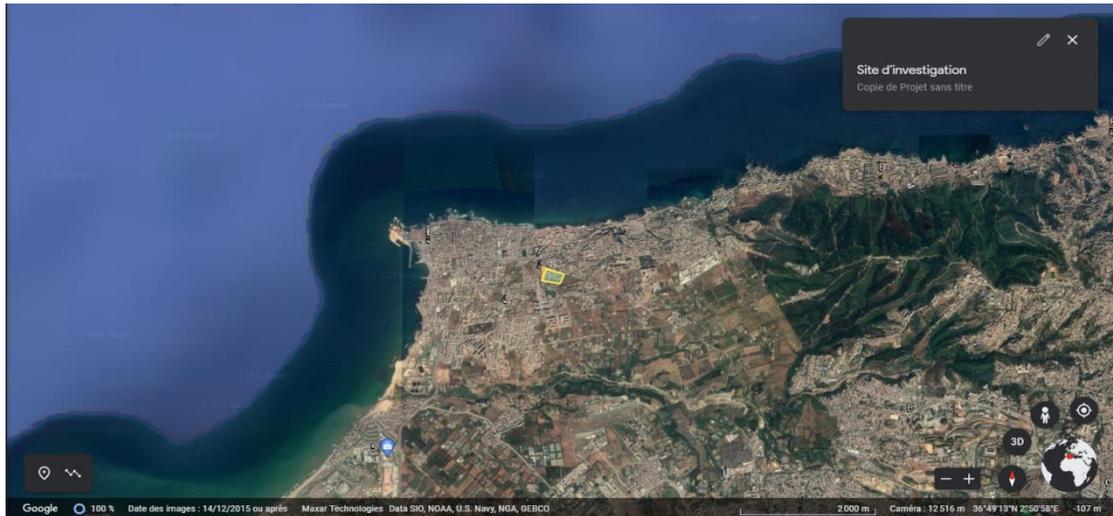


Photo III.6. Localisation géographique du site d'investigation- façade maritime algérienne, Ain Benian, Alger



Photo III.2. Cité AADL : 400 logements choisie comme échantillon représentatif de l'étude de la dégradation des peintures de façade.

III.3. Procédures d'inspection

Les étapes chronologiques à suivre dans tout processus de diagnostic visant à déterminer l'état de conservation d'une construction existante ou une façade donnée sont respectivement le **pré diagnostic**, *les études pluridisciplinaires* et enfin *le diagnostic*.

Le plus souvent, les désordres relevés dans les façades des bâtiments résultent du vieillissement des matériaux conjugués aux facteurs de dégradation issus de l'environnement et l'existence de défaillances liées à l'exploitation et l'entretien. Établir un

diagnostic général d'une construction existante est d'une importance majeure dans tous processus de réhabilitation et de maintenance, notamment dans le cas du vieux bâti. À partir d'un document de synthèse élaboré par un expert après investigations qui précise les points faibles et les points forts de la bâtisse, il peut être proposé les priorités et les options de travaux à réaliser.

Avant d'envisager toute intervention sur un bâtiment, il est impératif de procéder à une analyse la plus complète possible des causes des désordres relevés et de leur étendue. L'opération de diagnostic débute par une visite préliminaire qui apporte les premières observations et peut conduire à des investigations approfondies qui permettent de mieux cerner les insuffisances et désordres pour orienter la démarche dans la nature et le choix des solutions de réparation à mettre en œuvre.

III.3.1 Études pluridisciplinaires

Les études pluridisciplinaires permettent de réunir l'ensemble des informations recueillies et les résultats des tests et analyses effectués se rapportant aux désordres relevés sur la façade peinte. C'est sur la base des connaissances acquises se rapportant à la construction examinée, que les hypothèses les plus probables sur les causes des désordres recensés seront confirmées. En outre, la compréhension des phénomènes d'altération survenus et de leurs mécanismes permet une meilleure quantification des désordres observée sur les peintures de façade.

Pour disposer initialement de toutes les informations utiles, il est nécessaire d'établir un recueil de données relatif à l'ouvrage considéré. Il s'agit de se renseigner sur l'historique de l'ouvrage et son identité. Les principales données à recueillir seront formalisées sur des **fiches types** à élaborer pour la circonstance. Le processus du diagnostic commence donc par l'établissement de l'étude historique du bâtiment concerné. Il s'agit d'une part, de collecter les écrits et récits descriptifs de l'architecture de l'ouvrage, sa composition en plan, son usage, les matériaux utilisés, la description de son environnement, etc., et d'autre part, dans le échéant de rassembler les documents graphiques anciens (plans, photos, rapports et autres détails techniques, etc.).

L'élaboration des fiches de relevés a pour but de servir de support destiné à réaliser une analyse statistique de cause- à- effet des désordres rencontrés.

Les observations à reporter sur les fiches à remplir (voir exemple de fiche de relevé ci-après) doivent être des plus synthétiques possibles. Les fiches proposées devront être adaptées à la façade concernée, compte tenu de sa typologie. Sur ces fiches, seront mentionnées les informations recherchées à recueillir *in situ*. Dans ce but, il y a lieu de porter uniquement les renseignements les plus utiles permettant précisément d'apprécier l'état général de chacun des principaux éléments constitutifs de l'ouvrage.

Il est effectué d'abord un relevé du site de la construction qui précise la situation du bâtiment par rapport à son environnement et permet de préciser l'effet de ce dernier sur l'état de conservation du bâti. Par exemple, façade exposée aux pluies, réseau d'assainissement défectueux à proximité, pollution de l'air, site maritime exposé aux embruns marins etc.

Le relevé graphique est une opération qui, au-delà des dimensions de l'ouvrage, doit mettre en exergue toutes les insuffisances ou anomalies du bâti existant dans le but de faciliter la compréhension et l'analyse. On distingue plusieurs types de relevé : **le relevé architectural, le relevé des désordres, le relevé technique qui décrit les matériaux utilisés et leurs techniques de mise en œuvre, les différentes installations en place sur l'ouvrage.**

N.B : La présente fiche de recueil d'information concernant les façades est donnée à titre d'exemple. Le contenu de la fiche peut être modifié au besoin pour l'adapter au mieux à la façade peinte rencontrée. L'objectif de cette fiche est de mettre à disposition de manière synthétique les données principales permettant de bien connaître la nature des dégradations, et autres information récoltées sur la façade des bâtiments.

La présente fiche est destinée à faciliter la tâche de l'équipe technique en charge de la mission d'inspection qui vise à effectuer un relevé actualisé reflétant la configuration réelle des façades de bâtiment.

Fiche de relevés

FICHE DE RELEVÉ DE L'ÉTAT SANITAIRE DES FAÇADES DES BÂTIMENTS	
Façades de bâtiments – cas des revêtements de peinture (photo)	
Date de réalisation de l'ouvrage : <input type="text"/>	
Fonction d'usage : Logement <input type="checkbox"/>	Bureaux <input type="checkbox"/>
Autre Si autre, précisé :	
Environnement de la construction :	
Proche de la mer :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Site urbain :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Site rural :	Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>
Exposition de la façade :	
Nord	
Sud	
Est	
Oust	
Classe d'exposition du béton :	
Exposition à l'humidité	
Exposition à la pollution atmosphérique	
Façade abritée.....	
Façade exposée au soleil.....	
Mitoyenneté :	
Construction mitoyenne <input type="checkbox"/>	
Si mitoyenne compléter :	Sur 01 côté <input type="checkbox"/> Sur 02 côtés <input type="checkbox"/> Sur 03 côtés <input type="checkbox"/>
Présence de joints : Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	
Aspect architectural	
Superficie en plan : (m) Hauteur d'étage :(m) Nombre de niveaux :	
Forme géométrique en plan :	
Carré <input type="checkbox"/>	
Rectangle <input type="checkbox"/>	
Forme en 'L' <input type="checkbox"/>	
Forme en 'T' <input type="checkbox"/>	
Autre forme <input type="checkbox"/> (Si autre forme, préciser) :	
Dimensions des côtés : (m)	
Symétrie en plan : Non <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/>	
Si oui : Selon l'axe longitudinal Selon l'axe transversal	
Balcons en façade : Oui <input type="checkbox"/> Non <input type="checkbox"/>	
Structure en béton armé : poteaux- poutres	
Remplissage :	
en maçonnerie de brique de terre cuite <input type="checkbox"/>	
en blocs de parpaing <input type="checkbox"/>	
en panneaux préfabriqués <input type="checkbox"/>	
autre <input type="checkbox"/>	
Si autre, préciser :	
Formes de dégradations de revêtement de peinture	
Farinage <input type="checkbox"/> Craquellement <input type="checkbox"/> Cloque <input type="checkbox"/> Corrosion ou changement de couleur <input type="checkbox"/>	
Écaillage ou Éclatement <input type="checkbox"/> Efflorescence <input type="checkbox"/> Colonisation biologique <input type="checkbox"/>	
Autre	
Informations complémentaires éventuelles :	
Épaisseur de la peinture	
Couleur	
Adhérence	
Type	
Type de Subjectile	
Observations :	
.....	
.....	

III.3.2. Diagnostic in situ

La connaissance des désordres a pour objet d'identifier les dégradations qui affectent les revêtements de peinture dans l'objectif d'une interprétation visant à déterminer l'origine de ces désordres et les causes qui les ont engendrés. Cette investigation permet, en outre, de disposer de données précises concernant les altérations observées sur le revêtement à savoir leur étendue, leur localisation, leur taille etc. Ces données (**quantitatives et qualitatives**) renseignent sur l'état de dommage atteint à la date du relevé et l'état de stabilité dans lequel se trouve la peinture de la façade.

La plupart des désordres rencontrés sur une façade relèvent d'abord de l'observation visuelle. Une démarche systématique contribue à faciliter l'inspection en allant de **l'observation générale** à celle **la plus détaillée**.

Dans certains cas de dégradations dont la nature et/ou l'origine n'est pas clairement établie, il devient nécessaire de mener des investigations complémentaires plus poussées.

Afin d'identifier avec plus de précision la nature des altérations, d'autres investigations pourront au besoin être également menées au laboratoire. La couche de peinture peut être soumise à de nombreux essais qui contribuent à déterminer la nature des altérations et leur origine. Le savoir-faire et l'expérience dans le domaine de la construction, peuvent réduire largement les tests et les analyses complexes. En cas de doute, il devient indispensable de procéder à des essais encore plus poussés.

Le diagnostic permet d'identifier précisément les causes à l'origine des altérations observées avec des cartographies détaillées.

III.3.2.1 Évaluation des niveaux des désordres (quantité et taille)

Sur la base d'une fiche de relevé de l'état des peintures de façades, le degré et l'étendue des dégradations observées sont évalués pour chaque type.

Pour cette évaluation, il est pris comme référence les normes suivantes :

- le degré de cloquage : ISO 4628-2 ;
- le degré d'enrouillement : ISO 4628-3 ;
- le degré de craquelage : ISO 4628-4 ;
- le degré d'écaillage : ISO 4628-5 ;
- le degré de farinage : ISO 4628-6 et 4628-7 ;
- le degré de corrosion filiforme : ISO 4628-10.

Chacune de ces normes est basée sur la comparaison de la surface examinée avec des étalons illustrés. Par exemple NF EN ISO 4628-2 fournit une collection d'étalons de cloques de dimensions 2, 3, 4 et 5, avec, pour chacune de ces dimensions, cinq clichés correspondant chacun à des quantités croissantes de défauts.

Dans ces normes, un consensus a été adopté pour désigner la quantité et l'étendu des défauts et l'intensité de changements au moyen d'une évaluation basée sur une échelle numérique **allant de 0 à 5**.

Où , **0** indiquant l'absence de défauts ou de changements, et **5** indiquant des défauts ou des changements si graves qu'une discrimination supplémentaire n'est pas raisonnable.

Les autres cotes, correspondant aux nombres **1, 2, 3 et 4**, sont définis de telle sorte qu'ils permettent une discrimination optimale sur l'ensemble gamme de l'échelle. L'utilisation de demi-étapes intermédiaires est autorisée, si cela est spécifié, pour donner un rapport plus détaillé sur les défauts ou changements observés.

➤ **Désignation de la quantité et l'étendue des dégradations des peintures sur une façade**

La taille ou l'étendue moyenne (ordre de grandeur) des dégradations sur une façade est désignée, conformément au **Tableau III.1** et **Tableau III.2** suivants :

Tableau III.1. Échelle d'évaluation pour la désignation de l'étendue ou la quantité des dégradations des peintures

Évaluation	Quantité ou degré des dégradations ou défauts
0	aucun, c'est-à-dire aucun défaut détectable
1	très peu, c'est-à-dire petit nombre de défauts à peine significatif
2	peu, c'est-à-dire un nombre de défauts faible mais significatif
3	nombre modéré de défauts
4	nombre considérable de défauts
5	modèle dense de défauts

Tableau III.2. Échelle d'évaluation pour la désignation de l'étendue ou la quantité des dégradations des peintures

Évaluation	Taille ou étendue des dégradations ou défauts
0	non visible au grossissement $\times 10$
1	visible uniquement sous un grossissement jusqu'à $\times 10$
2	à peine visible avec une vision corrigée normale (jusqu'à 0,2 mm)
3	clairement visible avec une vision corrigée normale (supérieure à 0,2 mm jusqu'à 0,5 mm)
4	plus grand que 0,5 mm jusqu'à 5 mm
5	plus de 5 mm
Typiquement, des défauts de plus de 0,2 mm sont visibles avec une vision corrigée normale.	

Tableau III.3. Échelle d'évaluation pour la désignation de l'intensité des changements d'apparence (couleur par exemple et autres dégradation)

Évaluation	Sévérité des dégradations ou défauts
0	Inchangé- non changement perceptible
1	Très léger – changement à peine perceptible
2	Léger – changement clairement perceptible
3	Modéré – changement très clairement perceptible
4	Considérable – changement prononcé
5	Changement très marqué
Typiquement, des défauts de plus de 0,2 mm sont visibles avec une vision corrigée normale.	

Exemple d'application : expression de l'évaluation de la dégradation

Cloque : degré de cloque 2(S2) \Leftrightarrow quantité 2/taille 2

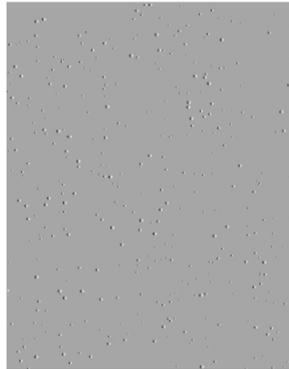
Écaillage : degré d'écaillage 3(S2) \Leftrightarrow quantité 3/taille 2

Les fiches suivantes sont renseignées pour chaque d'anomalie afin de déterminer leur degré et leur l'étendue (taille) *in situ*.

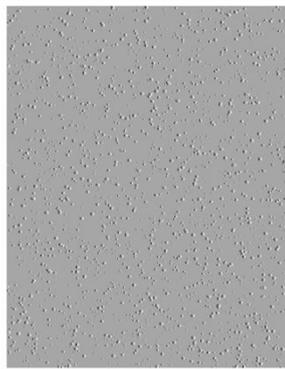
**Fiche type : degré (quantité) et étendue (densité) des dégradations
ISO 4628-1 et ISO 4628-2 - Formation de cloques (Blistering)**



a) Quantity (density) 2 — 2(S2)



b) Quantity (density) 3 — 3(S2)



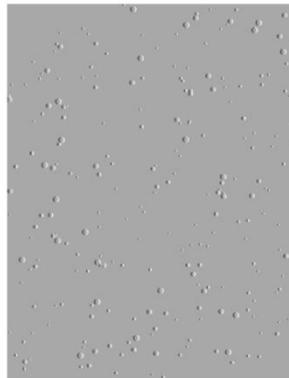
c) Quantity (density) 4 — 4(S2)



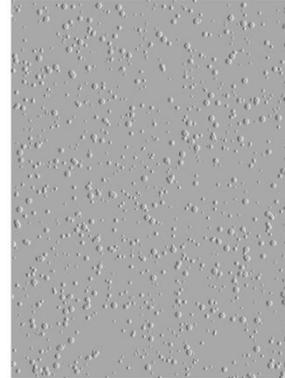
d) Quantity (density) 5 — 5(S2)



a) Quantity (density) 2 — 2(S3)



b) Quantity (density) 3 — 3(S3)



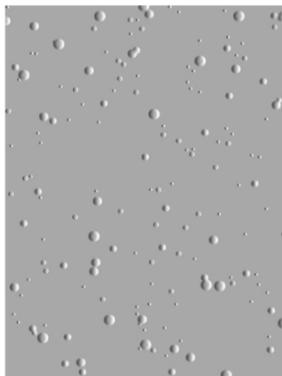
c) Quantity (density) 4 — 4(S3)



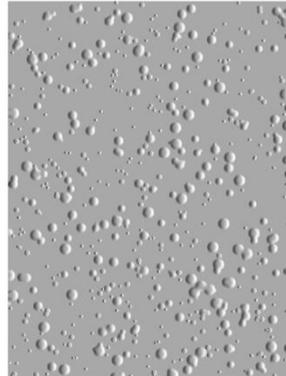
d) Quantity (density) 5 — 5(S3)



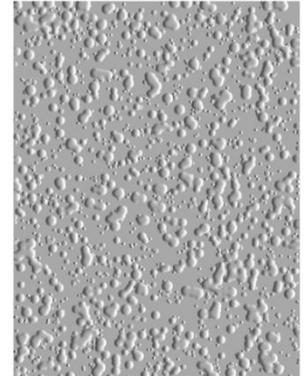
a) Quantity (density) 2 — 2(S4)



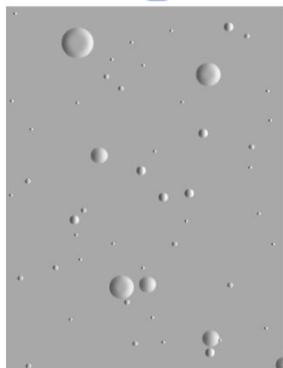
b) Quantity (density) 3 — 3(S4)



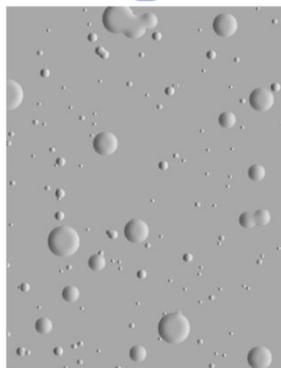
c) Quantity (density) 4 — 4(S4)



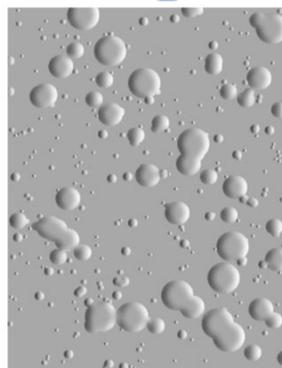
d) Quantity (density) 5 — 5(S4)



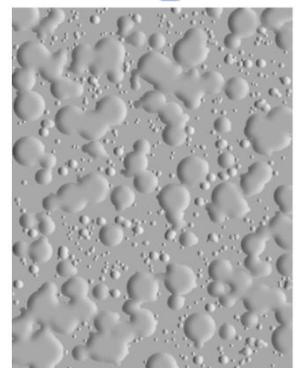
a) Quantity (density) 2 — 2(S5)



b) Quantity (density) 3 — 3(S5)



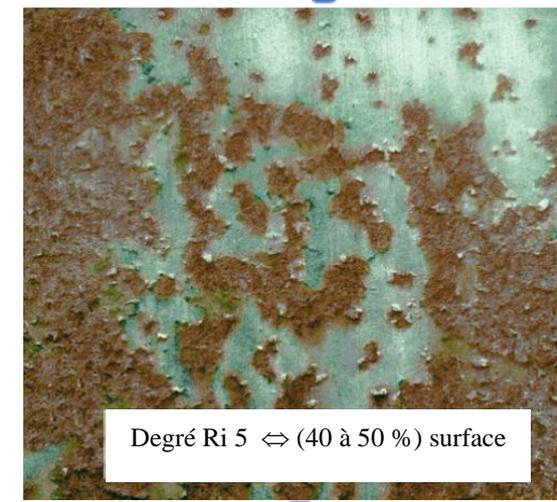
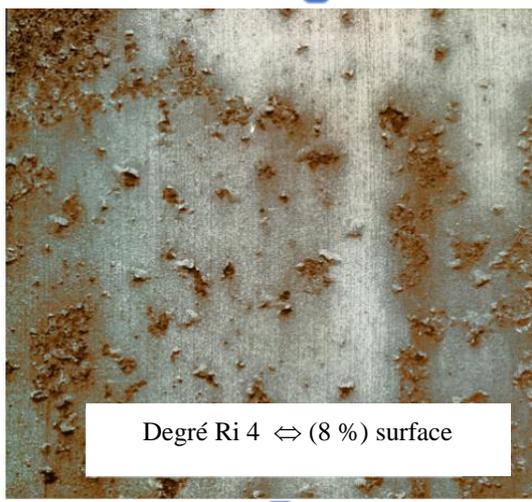
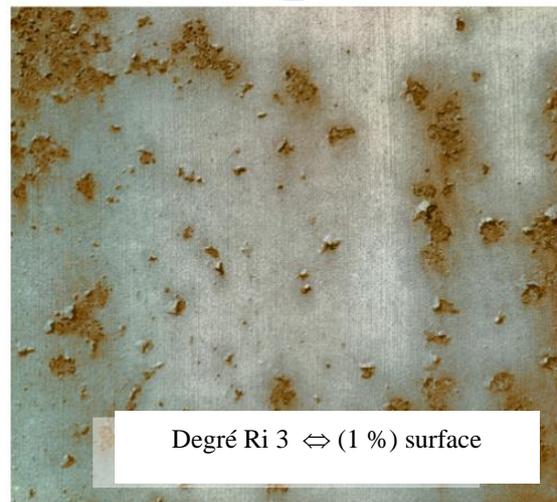
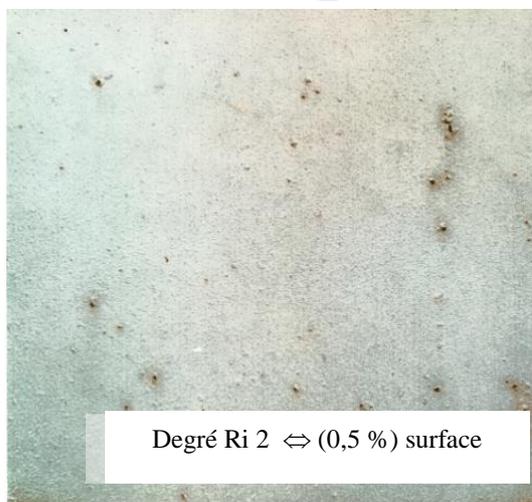
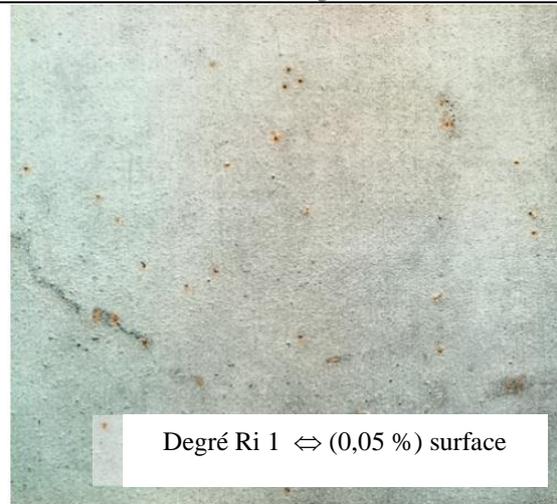
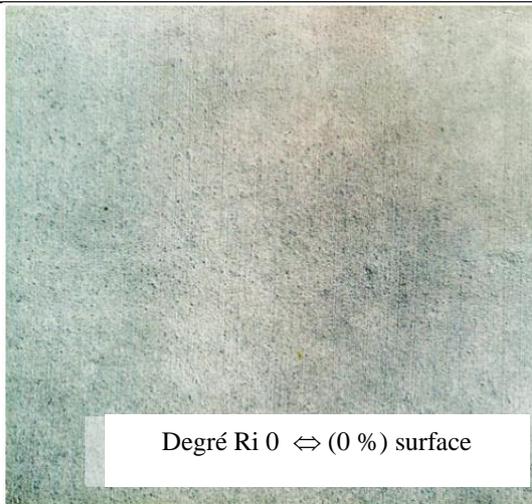
c) Quantity (density) 4 — 4(S5)



d) Quantity (density) 5 — 5(S5)



Fiche type : degré (quantité) et étendue (densité) des dégradations
ISO 4628-1 et ISO 4628-3 - Formation de rouille (Rusting)



Exemple d'évaluation:

Pour Ri3, la taille varie de 0,5 à 5 mm, la classification est comme suit :

Rouille ; degré de rouille Ri3 (S4)

Fiche type : degré (quantité) et étendue (densité) des dégradations ISO 4628-1 et ISO 4628-6- 7 ; Farinage de la peinture (Blistering)		
Choix d'évaluation in situ –inspection visuelle	Évaluation	Degré de farinage/Quantité
<input type="checkbox"/>		Farinage non perceptible
<input type="checkbox"/>	1	Très peu – farinage à peine perceptible
<input type="checkbox"/>	2	Un peu – farinage clairement perceptible
<input type="checkbox"/>	3	Modéré – farinage modérément clairement perceptible
<input type="checkbox"/>	4	Considérable – farinage prononcé
<input type="checkbox"/>	5	Sévère – farinage intense

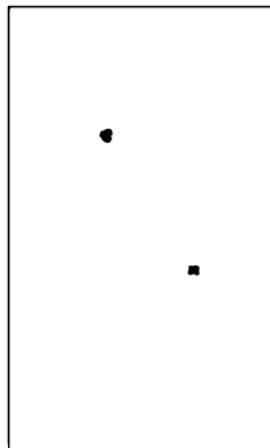
Évaluation effectuée à l'aide d'un ruban (placé sur une surface de 40 mm au minimum) suivi d'un frottement avec les doigts sur la surface testée. Le ruban est retiré \perp à la surface
Évaluation : ruban noir sur couleur claire et ruban claire sur couleur noir.
Enfin, évaluation immédiate sous lumière constante
Exemple d'évaluation : Farinage ; degré de farinage 4(S2)

**Fiche type : degré (quantité) et étendue (densité) des dégradations
ISO 4628-1 et ISO 4628-6- 7 ; écaillage de la peinture (Flaking)**

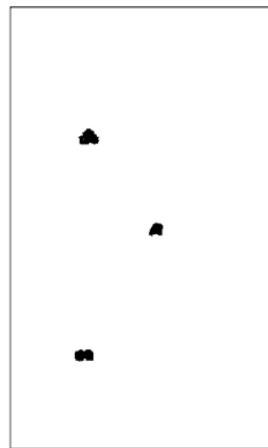
Évaluation	Quantité d'écaillage (%)	
0	0	□
1	0,1	□
2	0,3	□
3	1	□
4	3	□
5	15	□

Évaluation	Taille d'écaillage –large dimension	
0	Invisible < 10x	□
1	≤ 1 mm	□
2	≤ 3 mm	□
3	≤ 10 mm	□
4	≤ 30 mm	□
5	> 30 mm	□

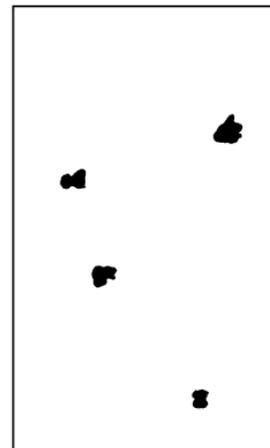
**Écaillage sans préférence directionnelle (orientation dans tous les sens) –a
Surface 0,1 à 0,2 m²**



Quantity (density) 1

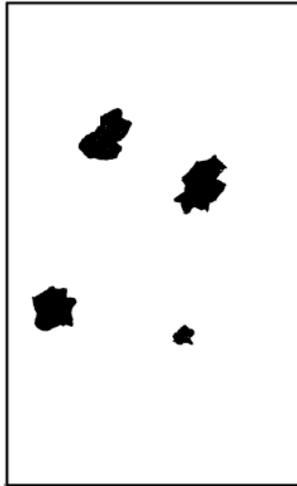


Quantity (density) 2

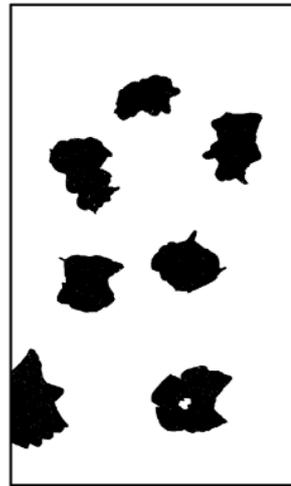


Quantity (density) 3





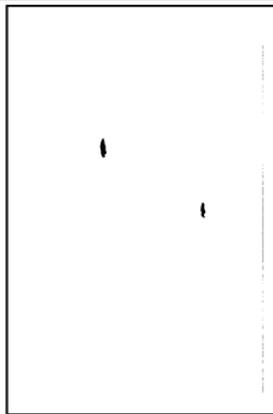
Quantity (density) 4



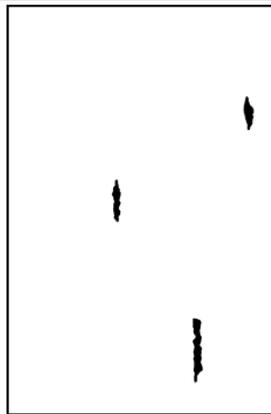
Quantity (density) 5



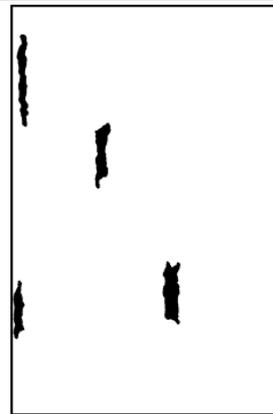
Écaillage avec préférentielle direction (orientation dans le même sens) –b
Surface 0,1 à 0,2 m²



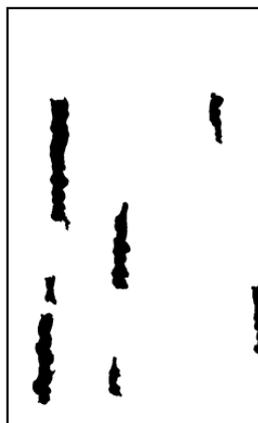
Quantity (density) 1



Quantity (density) 2



Quantity (density) 3



Quantity (density) 4



Quantity (density) 5



Expression des résultats

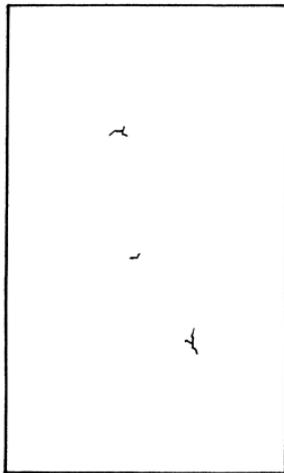
Profondeur (a ou b) montré sur les figures. Ecaillage ; degré d'écaillage 3(S2)b

**Fiche type : degré (quantité) et étendue (densité) des dégradations
ISO 4628-1 et ISO 4628-6- 7 ; écaillage de la peinture (Flaking)**

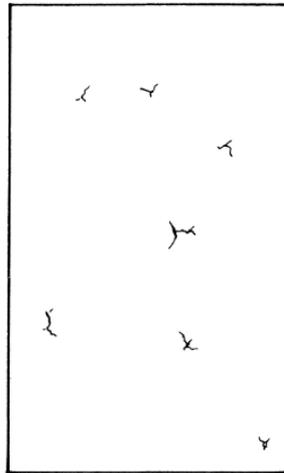
Évaluation	Quantité d'écaillage (%)	
0	aucun, c'est-à-dire aucune fissure détectable	<input type="checkbox"/>
1	très peu, c'est-à-dire petit nombre de fissure à peine significatif	<input type="checkbox"/>
2	peu, c'est-à-dire un nombre de fissure faible mais significatif	<input type="checkbox"/>
3	nombre modéré de fissures	<input type="checkbox"/>
4	<i>nombre considérable de fissures</i>	<input type="checkbox"/>
5	modèle dense de fissures	<input type="checkbox"/>

Évaluation	Taille d'écaillage –large dimension	
0	Invisible < x 10	<input type="checkbox"/>
1	Visible uniquement ≤ x10	<input type="checkbox"/>
2	Visible à une vision normale corrigée	<input type="checkbox"/>
3	Clairement visible à une vision normale corrigée	<input type="checkbox"/>
4	Larges fissures généralement ≤ 1 mm d'ouverture	<input type="checkbox"/>
5	Très larges fissures généralement plus > 1 mm d'ouverture	<input type="checkbox"/>

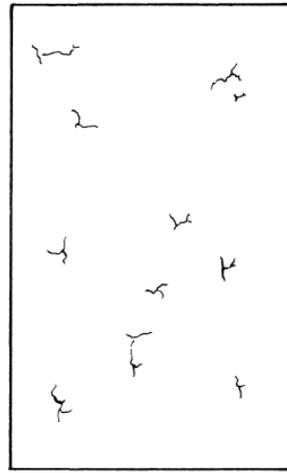
**Fissuration sans préférence directionnelle (orientation dans tous les sens) –a
Surface 0,1 à 0,2 m²**



Quantity (density) 1

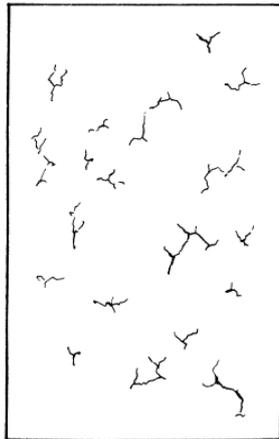


Quantity (density) 2

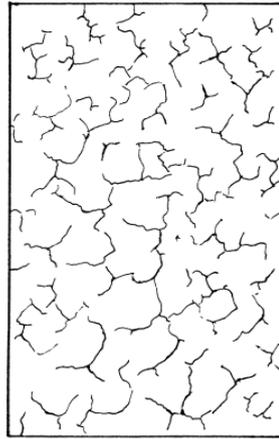


Quantity (density) 3





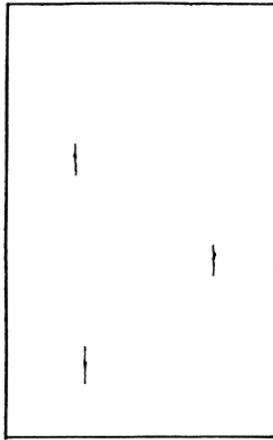
Quantity (density) 4



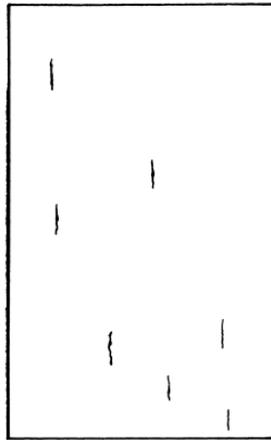
Quantity (density) 5



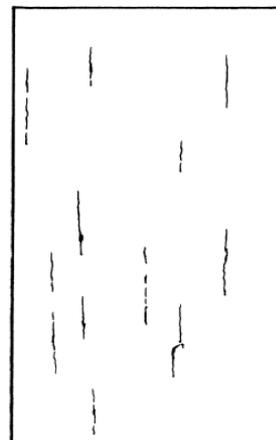
**Fissuration avec préférentielle direction (orientation dans le même sens) –b
Surface 0,1 à 0,2 m²**



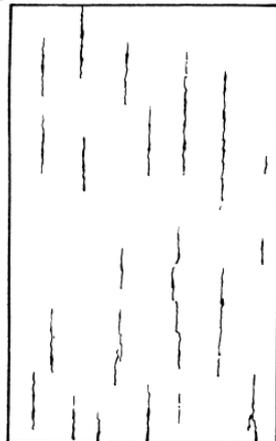
Quantity (density) 1



Quantity (density) 2



Quantity (density) 3



Quantity (density) 4



Quantity (density) 5



Expression des résultats :

**Profondeur (a ou b) montré sur les figures. Fissures ou craquelage ;
degré de fissuration $2(S3)b$**

III.3.2.2 Méthode d'analyses statistiques –Régression linéaire

La régression linéaire est sans aucun doute la méthode statistique la plus utilisée. C'est une technique statistique permettant d'estimer la relation entre des variables qui ont une relation de cause à effet. L'objectif principal de la régression uni variée est d'analyser la relation entre une variable dépendante et une variable indépendante et de formuler l'équation de relation linéaire entre la variable dépendante et la variable indépendante. Les modèles de régression avec une variable dépendante et plus d'une variable indépendante sont appelés régression multilinéaire, cette analyse est effectuée afin de faire des prédictions pour le sujet en utilisant la relation.

Parmi les modèles de régression linéaire, le plus simple est l'ajustement affiné. Celui-ci consiste à rechercher la droite permettant d'expliquer le comportement d'une variable statistique y (les dégradations) comme étant une fonction affine d'une autre variable statistique x (climat ou construction).

Des diagrammes, tels que des matrices de nuages de points, des histogrammes, et des diagrammes à points, peuvent également être utilisés dans l'analyse de régression pour analyser les relations et tester les hypothèses.

L'analyse de régression peut servir à résoudre les types de problèmes suivants :

- Identifier les variables explicatives qui sont associées à la variable dépendante ;
- Comprendre la relation entre les variables dépendantes et explicatives ;
- Prévoir les valeurs inconnues de la variable dépendante.

L'analyse de régression est effectuée à l'aide d'un logiciel, comme Excel, KaleidaGrah, SPSS ou autres[14].

- **Représentation graphique**

Le but est de savoir si le modèle linéaire est oui ou non pertinent pour l'étude du phénomène. Le graphique est au départ un nuage de points et on relève la tendance qu'a la forme de ce nuage de points, **Figure III.**

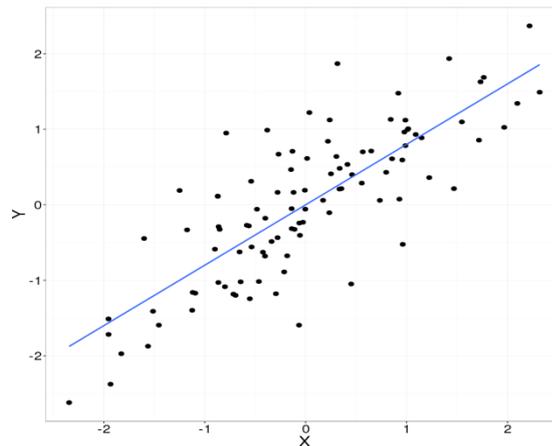


Figure III.1. Représentation graphique de nuage de points [15]

- **Modélisation**

Une seule variable explicative X → Régression simple

Plusieurs variables explicatives X_j ($j=1, \dots, q$) → Régression multiples

Le modèle de régression linéaire analyse les relations entre la variable dépendante ou variable cible Y et l'ensemble des variables indépendantes ou explicatives X. Cette relation est exprimée comme une équation qui prédit les valeurs de la variable cible comme une combinaison linéaire de paramètres.

Un modèle de régression linéaire simple est de la forme :

$$Y = aX + b + \varepsilon \text{ où } f(X) = aX + b \dots\dots\dots(1)$$

avec :

Y, la variable cible, aléatoire dépendante

a et b, les coefficients (pente et ordonnée à l'origine) à estimer

X, la variable explicative, indépendante

ε , une variable aléatoire qui représente l'erreur

Un modèle de régression linéaire multiple est de la forme :

$$Y = ax_1 + bx_2 + cx_3 + \dots + K + \varepsilon \text{ où } f(X) = aX + b \dots\dots\dots(2)$$

avec :

Y, la variable cible, aléatoire dépendante

a, ..., K les coefficients (pente et ordonnée à l'origine) à estimer

X=(x1, ..., xq), la variable explicative, indépendante

ε, une variable aléatoire qui représente l'erreur

Sous forme matricielle, le modèle de régression linéaire simple est de la forme :

$$Y=AX+\varepsilon \dots\dots\dots (3)$$

avec :

Y, un vecteur à expliquer de taille n x 1,

X, la matrice explicative de taille n x 2,

ε, le vecteur d'erreurs de taille n x 1

Note:

ε est appelé résidus c'est l'erreur commise, c'est-à-dire l'écart entre la valeur Y_i observée et la valeur X_i+b donnée par la relation linéaire. En effet, même si une relation linéaire est effectivement présente, les données mesurées ne vérifient pas en général cette relation exactement. Pour ce faire, on tient compte dans le modèle mathématique des erreurs observées.

C'est en confrontant l'équation calculée par l'algorithme de régression linéaire aux nouvelles données de la réalité (X) que les prédictions (Y) seront réalisées par l'algorithme d'intelligence artificielle en production.

Le terme R^2 de l'image représente le coefficient de corrélation de Bravais-Pearson au carré. Ce coefficient mesure l'intensité de la relation linéaire entre Y et X dont la formule est :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^p (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^p (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^p (Y_i - \bar{Y})^2}} \dots\dots\dots (4)$$

Le coefficient de corrélation est un nombre toujours compris entre -1 et 1.

Si R est proche de 1 : il y a une forte liaison linéaire entre les variables et les valeurs prises par Y ont tendance à croître quand les valeurs de X augmentent.

Si R est proche de 0 : il n'y a pas de liaison linéaire

Si R est proche de -1 : il y a une forte liaison linéaire et les valeurs prises par Y ont tendance à décroître quand les valeurs de X augmentent.

Le coefficient de corrélation mesure la qualité de la droite d'ajustement linéaire mais ne représente en aucun cas une cause de la relation logique entre X et Y. Seul le *data scientist* pourra estimer la relation logique entre les deux variables.

- **Estimation des coefficients de la droite par la méthode des moindres carrés**

La régression linéaire est relativement simple d'un point de vue mathématique. Ce qui fait que ce type d'algorithme entre pleinement dans le cadre de ce que l'on appelle le Machine Learning, ou Machine d'Apprentissage. Cette dernière définit la faculté d'un logiciel d'ajuster les paramètres **a** et **b** à partir d'exemples fournis par l'utilisateur.

Le principe des moindres carrés ordinaires consiste à choisir les valeurs de **a** et **b** qui minimisent les erreurs de prédiction ou les résidus sur un jeu de données d'apprentissage :

$$\varepsilon = \sum_{i=0}^P (Y_i - (aX_i + b))^2 \quad \dots\dots(5)$$

Minimiser cette expression revient à résoudre un problème d'optimisation, voici la forme des estimateurs notés \hat{a} et \hat{b} qui sont égaux à

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^p (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^p (X_i - \bar{X})^2} = \frac{c_{xy}}{s_x^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$\hat{b} = \bar{Y} - \hat{a}\bar{X}$$

Où C_{xy} est la covariance empirique entre les X_i et les Y_i et S_x^2 est la variance empirique des X_i .

L'expression de \hat{b} indique que la droite de régression linéaire passe par le centre de gravité du nuage de points (\bar{X}, \bar{Y}) .

Quatrième chapitre

Cas d'étude

IV. DONNÉES ENVIRONNEMENTALES ET CLIMATIQUES DE SITE D'ÉTUDE

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre on présente les actions des facteurs climatique, les procédures de travail duré l'inspection et nos analyses sur les dégradations trouvée dans les façades des blocs traité de site.

IV.2. Action des facteurs climatiques

Les agents agressifs issus de l'environnement sont présents dans l'atmosphère. Ils sont de fait en contact permanent *in situ* avec la peinture de façade. Ils se présentent sous forme de gaz, liquides et particules provenant de l'environnement et qui pénètrent au cœur du revêtement. Certains agents qui sont le plus souvent à l'origine des agressions chimiques sont véhiculés par l'eau (ou l'humidité). L'humidité est également à l'origine de dégradations affectant les peintures de différentes natures. La présence d'humidité dans les constructions a essentiellement pour origine au moins l'une des trois manifestations

- *Remontées capillaires*, du réseau poreux en contact direct avec le sol humide.
- *Infiltrations*, des murs et des planchers à travers des fissures locales, ou les matériaux qui deviennent poreux et celles provenant des fuites de canalisations du réseau ;
- *Condensation*, issue de l'humidité de l'air ambiant à l'intérieur des habitations et qui se transforme en eau au contact des parois froides (murs et fenêtres).

Aussi, l'humidité est fortement présente sur la bande côtière qui constitue le littoral et qui correspond à la zone **climatique A, Figure IV.1**. Non seulement l'eau transporte au sein des matériaux qu'elle traverse des agents agressifs issus du milieu environnant, mais est capable de réagir chimiquement et favoriser la dégradation de la peinture en façade.

L'Office National de la Météorologie (O.N.M.) et le Centre Climatologique National (C.C.N.) ont établi la classification de l'ensemble du pays en zones climatiques, identifiées à savoir, la bande côtière longeant la mer Méditerranée, les plateaux semi-arides incluant les chaînes montagneuses de l'Atlas et le Sahara, **Figure IV**.

La classification de l'ensemble du pays en zones climatiques est établie selon sept zones distinctes dont l'une inclut une sous zone. On distingue quatre zones et une sous-zone climatiques au Nord ; trois zones climatiques au Sud. Ce climat est principalement caractérisé par deux saisons dominantes qui sont l'été et l'hiver. Ces zones délimitées se rapportent aux régions identifiées par sept zones (A, B, C, D, E, F, G).

Dans la partie Nord de l'Algérie, les zones A et B couvrent les principales grandes villes du pays où est implanté l'essentiel du tissu urbain ancien. Les villes d'Alger, Oran et Annaba qui sont situées sur la bande littorale sont dans la zone A, à l'exception de Constantine localisée sur l'Atlas tellien, région qui correspond du point de vue climat à la zone B.

La zone A se caractérise par un climat méditerranéen tempéré et doux. En hiver, les précipitations sont intenses, le vent fréquent, la température peu élevée mais avec une forte humidité, chargée en sel à proximité du bord de mer.

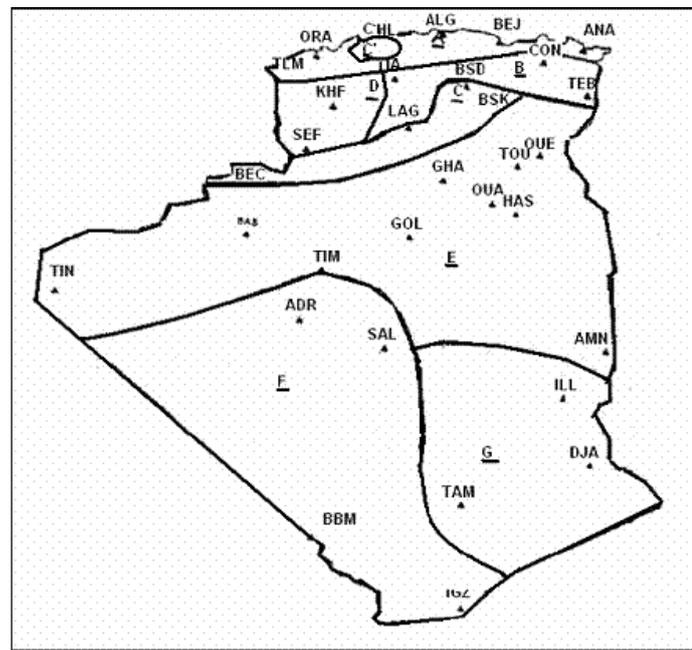


Figure IV.1. Zones climatiques de l'Algérie

En zone B, la température en hiver avoisine 0 °C. Le froid est plus intense du fait des températures relevées qui sont nettement plus basses, avec moins d'humidité en raison de l'éloignement de la mer. Toutefois, le risque d'apparition de gel modéré est présent. En été, les températures sont encore plus fortes que celles du littoral, ce qui rend le climat plus chaud avec moins d'humidité, donc plutôt sec.

D'autres facteurs agissant sur ces constructions sont les pluies, les variations de températures les vents, le rayonnement solaire et parfois un gel modéré (pour certaines régions de hauts plateaux, notamment celle où sont implantée par exemple les villes de Constantine et de Sétif). Les eaux de pluie qui ruissellent sur les murs entraînent un lessivage de la couche de peinture par corrosion et autre (changement de couler et attaque biologique).

Les températures élevées auxquelles sont soumises les peintures à l'extérieur provoquent le dessèchement et des chocs thermiques préjudiciables qui entraînent leur fissuration, éclatement et écaillage accompagné d'un farinage à long terme.

Les vents transportent des particules qui peuvent se fixer sur les parois des murs et générer par exemple des colonisations biologiques. En effet, la côte de Ain Benian est balayée par les vents du Nord-Ouest, mais c'est surtout le versant Sud-Ouest qui est le plus vulnérable à cause du cordon dunaires étalant d'El Djamila, jusqu'à l'exutoire de l'oued Béni-Messous. Ces vents violents peuvent se transformer en tempête, provoquant la perte d'adhérence des revêtements de peintures en provoquant un écaillage.

À côté d'un jaunissement et du farinage, le rayonnement solaire génère une forte insolation qui affecte également l'état des peintures exposées et contribue au développement de micro-organismes qui s'incrument à la surface.

Enfin, la combinaison de l'ensemble des facteurs qui précèdent liés au climat, engendre à moyen et à long terme une multitude de dégradations qui affecte sensiblement la durabilité des revêtements de peintures de façades de bâtiments.

IV.3. Facteurs environnementaux -Pollution atmosphérique

Cette forme de pollution a essentiellement pour origines les rejets au niveau des usines de production, impliquées dans les activités industrielles et les gaz et particules évacués dans l'atmosphère par les véhicules et engins de transport. Elle se manifeste par l'émission de particules et de gaz, qui au contact des dans les constructions, provoquent l'apparition de diverses altérations.

En Algérie, les formes de pollutions les plus importantes résultent d'abord de l'activité des entreprises industrielles dont les rejets nocifs sont évacués sans traitement préalables au niveau des sites d'implantation des usines en particulier celles utilisant des produits et composants chimiques fortement agressifs. Dans la région d'Alger, l'oued Smar qui traverse la zone industrielle où sont implantées plusieurs usines est très pollué. Il en est de même de l'oued El Harrach dont les eaux sont très chargées en polluants. On relève également les réseaux d'évacuation des eaux usées inadaptés pour des débits importants notamment dans les quartiers à forte densité de population.

Les émissions de gaz des véhicules de transport collectifs et particuliers sont de plus en plus élevées compte tenu du nombre très important de véhicules en circulation dans les grandes villes, et particulièrement dans la capitale. Tous ces polluants que l'on retrouve dans l'air sont véhiculés par les eaux et sont à l'origine des modifications physico-chimiques importantes des matériaux exposés et entraînent le développement d'altérations préjudiciables sur les peintures exposés. Cette pollution engendre souvent l'apparition de salissures.

Les sels présents dans l'atmosphère ou dans les sols sont toujours véhiculés par l'eau dans laquelle ils sont dissous en solution. Ces derniers ont tendance à cristalliser après évaporation de l'eau. Ils se déposent dans les pores et capillaires ou à la surface des façades peintes. Ces dépôts conduisent au développement d'altérations qui se manifestent sous forme d'éclatements, d'efflorescences, des écaillages, etc.

La colonisation biologique se développe principalement sur les façades exposées dans des endroits qui sont le plus souvent humides et alimentés par les eaux de pluie et soumis au phénomène de la condensation. Les altérations correspondant à la colonisation biologique sont diverses et dépendent à la fois de l'ensoleillement, de la teneur en humidité et de la température.

IV.4. Contexte climatique : Köppen-Geiger

Le climat de l'Algérie est de type méditerranéen (**Csa : classification Köppen-Geiger**) sur toute la frange Nord qui englobe le littoral et l'Atlas tellien (étés chauds et secs, hivers humides et frais), semi-aride sur les hauts plateaux au centre du pays, et désertique dès que l'on franchit la chaîne de l'Atlas saharien. Les écarts de température dans une même journée peuvent être considérables, comme c'est le cas dans le Sahara où la température peut varier d'un extrême à l'autre en l'espace de quelques heures seulement (au-delà de 40°C le jour, en dessous de 5°C la nuit). D'après le relief et la proximité de la mer, on distingue trois régions : la côte méditerranéenne, la chaîne de l'Atlas et les hauts plateaux, le Sahara avec pour chacune un climat spécifique. Il est signalé que l'humidité est importante sur la côte en raison de la proximité de la mer et diminue rapidement lorsque que l'on s'éloigne vers l'intérieur des terres. Il existe principalement dans l'année deux périodes dominantes qui sont l'hiver par ses intempéries et l'été pour l'intensité de la chaleur à cette période, l'automne et le printemps étant généralement assez doux donc

plutôt cléments. A l'appui, un échantillon de données des maxima et minima annuels de la température relevées dans différentes stations de l'Office National de Météorologie (ONM), réparties sur l'ensemble du pays est présenté dans le **Tableau IV.1**. Ces valeurs sont issues d'une analyse de données pour la période de 12 années, allant du 01 janvier 1992 au 31 décembre 2003. Ces résultats se rapportent respectivement aux régions côtières, en bordure de mer, les hauts plateaux et le Sahara.

Tableau IV.1. Températures max et min relevées dans différentes villes du pays

Région du littoral					
Wilaya	Annaba	Jijel	Mostaganem	Ténès	Oran
T _{min} (°C)	1,4	2,3	-0,3	5,6	-0,4
T _{max} (°C)	43,0	41,9	41,2	38,1	39,6
Région des hauts plateaux					
Wilaya	Batna	M'sila	Saida	Tiaret	Sétif
T _{min} (°C)	-6,6	-2,2	-2,9	-5,0	-4,1
T _{max} (°C)	40,9	44,1	42,0	40,6	38,5
Région du Sahara					
Wilaya	Adrar	El oued	Ouargla	Illizi	Tindouf
T _{min} (°C)	-0,4	0,2	-0,5	-0,8	1,5
T _{max} (°C)	48,4	47,3	48,2	45,9	46,7

Le climat algérien est caractérisé par une pluviométrie régissant le régime des eaux souterraines et superficielles marqué par deux saisons pluvieuses. Le climat se distingue par des précipitations irrégulières à l'échelle journalière, annuelle et interannuelle, avec une sécheresse estivale forte, **Tableau IV.2**.

Du Nord au Sud, les précipitations varient de plus 1 000 mm sur les hauts reliefs côtiers de l'Est à moins de 50 mm au Sahara. Les écarts de précipitations entre les régions Est et Ouest sont importants. La région d'Oran accuse un net déficit en pluviométrie comparativement à celle de Constantine.

Tableau IV.2. Pluviométrie moyenne annuelle des différentes régions de l'Algérie

Précipitations annuelles moyennes (mm)	Région Ouest	Région Centre	Région Est
Littoral	400	700	900
Atlas tellien	600	700-1 000	800-1 400
Hautes plaines	250	250	400
Atlas saharien	150	200	300-400
Sahara	20-150	20-150	20-150

➤ **Pour la région de Aïn benian**

Les précipitations moyennes les plus faibles sont enregistrées en Juillet avec 1 mm seulement. Avec une moyenne de 94 mm, c'est le mois de Novembre qui enregistre le plus haut taux de précipitations, **Figure IV.**. Au mois d'Aout, la température moyenne est de 25,7 °C. Aout est de ce fait le mois le plus chaud de l'année. Avec une température moyenne de 11,3 °C, le mois de Février est le plus froid de l'année, (**Figure IV3**) [14].



Figure IV.2. Diagramme ombrothermique Aïn Benian [16]

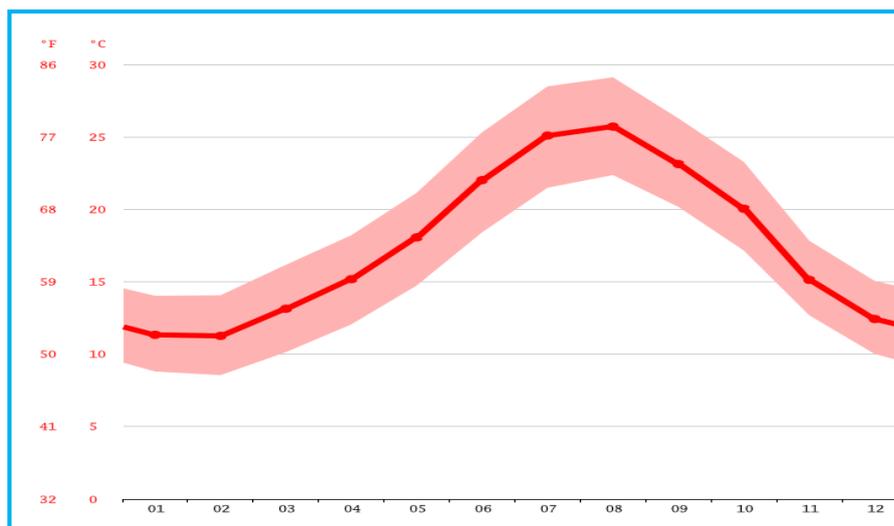


Figure IV.3. Courbe de température Aïn Benian [16]

Du **Tableau IV.** ci-dessous, il ressort que les précipitations varient de 93 mm entre le plus sec et le plus humide des mois. Une variation de 14,4 °C est enregistrée sur l'année. Le mois avec l'humidité relative la plus élevée est Mai (75,29 %). Le mois où le taux d'humidité relative est le plus bas est Juillet (68,98 %). Le mois avec le plus grand nombre de jours de pluie est Novembre (12,20 jours). Le mois avec le nombre le plus bas est Juillet (0,43 jours).

Tableau IV.3. Données des variables climatiques

Mois	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Température moyenne (°C)	11,3	11,3	13,1	15,2	18,1	22	25,1	25,7	23,1	20	15,1	12,4
La moyenne de température minimale moyenne (°C)	8,8	8,6	10,1	12,1	14,7	18,4	21,5	22,4	20,2	17,2	12,7	10
La moyenne de température maximale (°C)	14	14,1	16,2	18,2	21,1	25,3	28,5	29,1	26,3	23,3	17,8	15,1
Précipitations (mm)	87	71	65	62	47	7	1	8	29	61	94	83
Humidité(%)	74%	73%	74%	75%	75%	71%	69%	69%	71%	72%	72%	74%
Jours de pluie (jours)	9	8	6	6	4	1	0	1	4	5	9	8
Heures de soleil (h)	7,0	7,8	8,9	10,0	11,1	12,4	12,4	11,5	10,2	9,0	7,5	7,0

La saison très chaude dure 3,0 mois, du 24 juin au 25 septembre, avec une température quotidienne moyenne maximale supérieure à 27 °C.

Le jour le plus chaud de l'année est le 13 août, avec une température moyenne maximale de 30 °C et minimale de 21 °C. La saison fraîche dure 4,0 mois, du 26 novembre au 26 mars, avec une température quotidienne moyenne maximale inférieure à 19 °C. Le jour le plus froid de l'année est le 19 janvier, avec une température moyenne minimale de 7 °C et maximale de 16 °C, **Figure IV.**

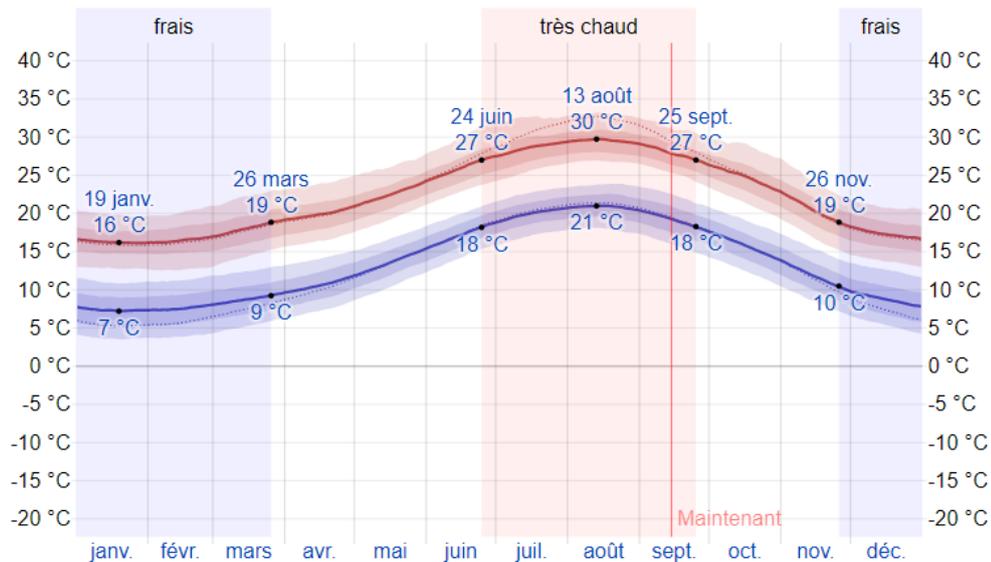


Figure IV.4. Températures mensuelle [16]

La période pluvieuse de l'année dure 9,1 mois, du 2 septembre au 7 juin, avec une chute de pluie d'au moins 13 millimètres sur une période glissante de 31 jours. La plus grande accumulation de pluie a lieu au cours des 31 jours centrés aux alentours du 29 novembre, avec une accumulation totale moyenne de 70 millimètres. La période sèche de l'année dure 2,9 mois, du 7 juin au 2 septembre. La plus petite accumulation de pluie a lieu aux alentours du 21 juillet, avec une accumulation totale moyenne de 2 millimètres, **Figure IV.5.**

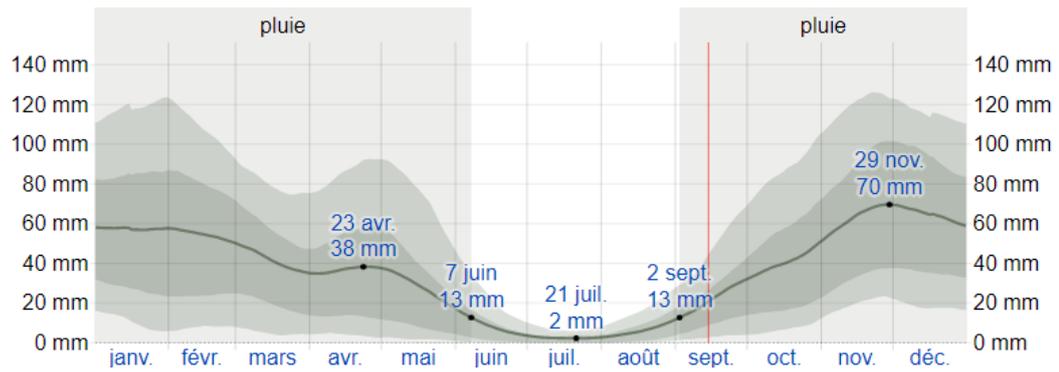


Figure IV.5. Pluviométrie mensuelle moyenne à Ain benian

Aïn Benian (Guyoville) connaît des variations saisonnières extrêmes en ce qui concerne l'humidité perçue. La période la plus lourde de l'année dure 4,4 mois, du 3 juin au 16 octobre, avec une sensation de lourdeur, oppressante ou étouffante au moins 20 % du temps. Le jour le plus lourd de l'année est le 10 août, avec un climat lourd 81 % du temps. Le jour le moins lourd de l'année est le 29 janvier, avec un climat lourd quasiment inexistant.

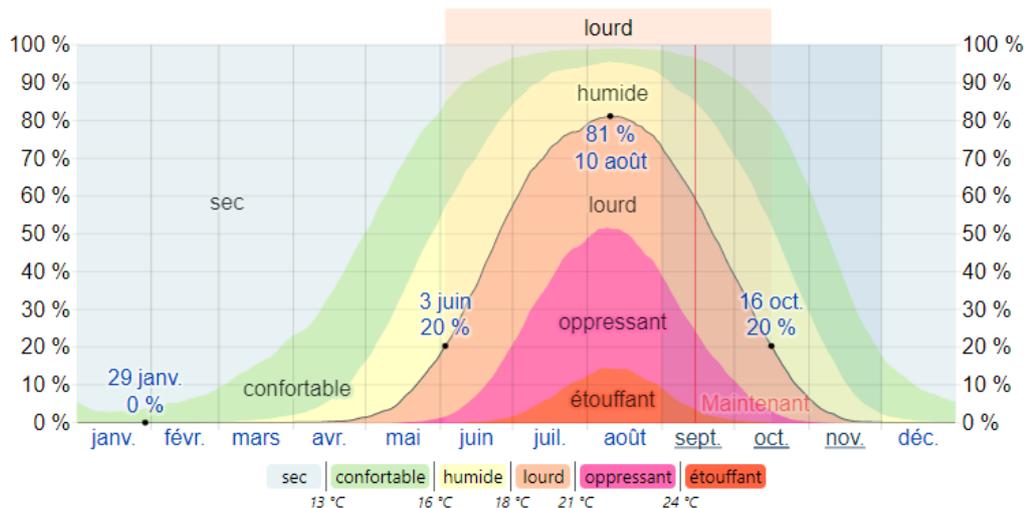


Figure IV.6. Niveaux de confort selon l'humidité à Ain benian

La vitesse horaire moyenne du vent à Ain Bneian connaît une variation saisonnière modérée au cours de l'année. La période la plus venteuse de l'année dure 5,6 mois, du 31 octobre au 18 avril, avec des vitesses de vent moyennes supérieures à 15,6 kilomètres par heure. Le jour le plus venteux de l'année est le 24 décembre, avec une vitesse moyenne du vent de 17,8 kilomètres par heure. La période la plus calme de l'année dure 6,4 mois, du 18 avril au 31 octobre. Le jour le plus calme de l'année est le 6 août, avec une vitesse moyenne horaire du vent de 13,4 kilomètres par heure, **Figure IV.7.**

La direction horaire moyenne principale du vent à Ain Benian varie au cours de l'année. Le vent vient le plus souvent de l'Est pendant 4,9 mois, du 8 mai au 5 octobre, avec un pourcentage maximal de 52 % le 23 juillet.

Le vent vient le plus souvent de l'Ouest pendant 7,1 mois, du 5 octobre au 8 mai, avec un pourcentage maximal de 45 % le 1 janvier, **Figure IV.8.**

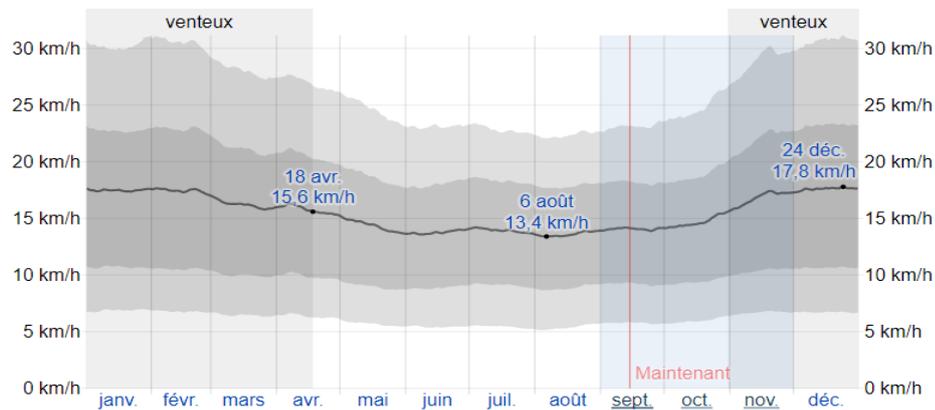


Figure IV.7.. Vitesse moyenne du vent à Ain Benian

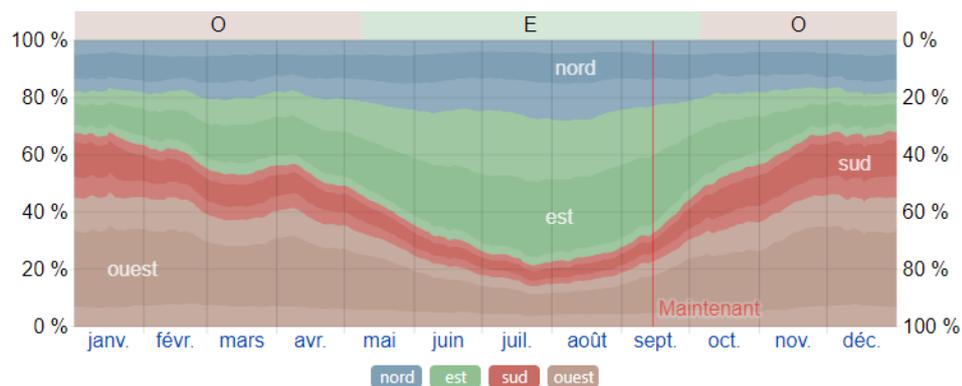


Figure IV.8. Direction du vent à Ain benian

À Ain Benian, le mois avec le plus d'ensoleillement quotidien est Juillet avec une moyenne de 12,42 heures d'ensoleillement. Au total, il y a 385,17 heures d'ensoleillement en Juillet. Le mois avec le moins d'heures d'ensoleillement quotidien à Ain Benian est Janvier avec une moyenne de 7,01 heures d'ensoleillement par jour. Au total, il y a 217,37 heures d'ensoleillement en Janvier. Environ 3501,36 heures d'ensoleillement sont comptées à Ain Benian tout au long de l'année. Il y a en moyenne 114,99 heures d'ensoleillement par mois, (**Figure IV.**) [16].

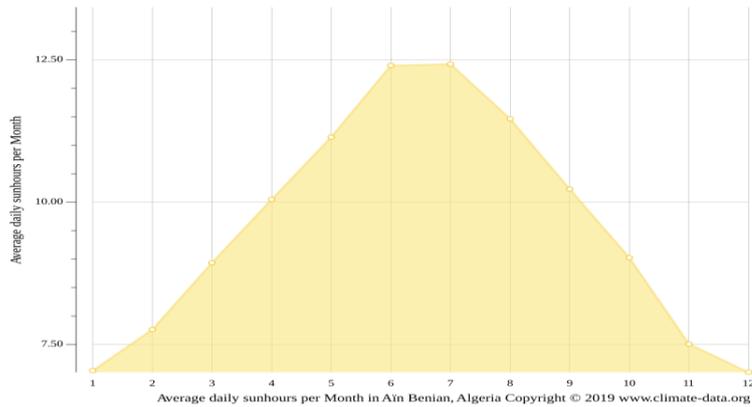


Figure IV.10. Nombre d'heures moyennes d'ensoleillement

IV.5. Données liées aux bâtiments investigués

Les informations récoltées sur site à savoir la cité des 400 logements de Ain Bénian ont fait l'objet d'un renseignement dans la fiche de diagnostic ci-après.

IV.5.1 Identification des bâtiments et les façades objet de l'étude

À l'aide de l'application gratuite (Google Earth), les façades des bâtiments investigués sont identifiées (**Figure IV.**) et référencées comme suit :

BB1F1 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 1

BB1F1 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 2

BB1F2 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 3

BB2F1 : Blocs de Bâtiments N°2/ Façade 1

BB2F1 : Blocs de Bâtiments N°2/ Façade 2

BB2F2 : Blocs de Bâtiments N°2/ Façade 3

BB3F1 : Blocs de Bâtiments N°3/ Façade 1

BB3F1 : Blocs de Bâtiments N°3/ Façade 2

BB3F2 : Blocs de Bâtiments N°3/ Façade 3

BB4F1 : Blocs de Bâtiments N°4/ Façade 1

BB5F1 : Blocs de Bâtiments N°5/ Façade 1



Figure IV.11. Désignation des blocs des façades de bâtiment objet de l’investigation *in situ*

Les informations récoltées *in situ* sont récapitulées dans la fiche de relevé de l’état sanitaire des façades investiguées présentée ci-après.

FICHE DE RELEVÉ DE L'ÉTAT SANITAIRE DES FAÇADES DES BÂTIMENTS- **BB1F1.23**



Photo IV.1. Les façades objet d'enquête - BB1F1 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 1 ; BB1F2 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 2 ; BB1F3 : Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 3
Façade principale

Date de réalisation de l'ouvrage : **2010-2015**

Fonction d'usage : Logement Bureaux Commerce Autre

Si autre, précisé :

Environnement de la construction :

Proche de la mer : Oui Non
 Site urbain : Oui Non
 Site rural : Oui Non

Exposition de la façade :

Nord-Sud
 Ouest-Nord

Classe d'exposition du béton : **XS1**

Exposition à l'humidité : **Forte > 80 %**

Exposition à la pollution atmosphérique : **Oui**

Façade abritée : **Non**

Façade exposée au soleil : **Oui**

Mitoyenneté :

Construction mitoyenne Construction isolée
 Si mitoyenne compléter : Sur 01 côté Sur 02 côtés Sur 03 côtés
 Présence de joints : Non Oui

Aspect architectural

Hauteur d'étage : **21,42** (m) Nombre de niveaux : **R + 7**

Forme géométrique en plan :

Carré Rectangle
 Forme en 'L' Forme en 'T'

Autre forme (Si autre forme, préciser) :

Symétrie en plan : Non Oui

Si oui : Selon l'axe longitudinal Selon l'axe transversal

Balcons en façade : Oui Non

Structure en béton armé : poteaux- poutres

Remplissage :

en maçonnerie de brique de terre cuite



en blocs de parpaing en panneaux préfabriqués	autre
Si autre, préciser :	
Formes de dégradations de revêtement de peinture	
Farinage <input checked="" type="checkbox"/>	Éclatement, fissuration ou Craquelé <input checked="" type="checkbox"/>
Décollement ou Écaillage <input checked="" type="checkbox"/>	Cloques <input checked="" type="checkbox"/> Corrosion (changement de couleur) <input checked="" type="checkbox"/>
Efflorescence Colonisation biologique	
Autre	
Informations complémentaires éventuelles :	
Épaisseur de la peinture : 1,2 mm	
Couleur d'origine : blanche	
Type : Acrylique	
Type de Subjectile : crépissage en Ciment	
<i>Observations :</i>	

FICHE DE RELEVÉ DE L'ÉTAT SANITAIRE DES FAÇADES DES BÂTIMENTS- **BB2F1.2.3**



Photo IV.2. Blocs de Bâtiments N°1/ Façade 1, 2 et 3(a-c)

Façade non principale (coté)

Date de réalisation de l'ouvrage : **2010-2015**

Fonction d'usage : Logement Bureaux Commerce

Autre Si autre, précisé :

Environnement de la construction :

Proche de la mer : Oui Non

Site urbain : Oui Non

Site rural Oui Non

Exposition de la façade :

Est-Sud

Est -Ouest

Classe d'exposition du béton : **XS1**

Exposition à l'humidité : **Forte > 80%**

Exposition à la pollution atmosphérique : **Oui**

Façade abritée : **Non**

Façade exposée au soleil : **Oui**

Mitoyenneté :

Construction mitoyenne Construction isolée

Si mitoyenne compléter : Sur 01 côté Sur 02 côtés

Présence de joints : Non Oui Sur 03 côtés

Aspect architectural

Hauteur d'étage : **18,36** (m)

Nombre de niveaux : **R+5**

Forme géométrique en plan :

Carré
Forme en 'L'

Rectangle
Forme en 'T'

Autre forme (Si autre forme, préciser) :

Dimensions des côtés :(m)

Symétrie en plan : Non Oui

Si oui : Selon l'axe longitudinal Selon l'axe transversal

Balcons en façade : Oui Non

Structure en béton armé : poteaux- poutres

Remplissage :

- en maçonnerie de brique de terre cuite
- en blocs de parpaing en panneaux préfabriqués autre

Si autre, préciser :

Formes de dégradations de revêtement de peinture

Farinage Éclatement, fissuration ou Craquela Cloques Corrosion (changement de couleur)

Décollement ou Écaillage Efflorescence ~~Colonisation biologique~~

Autre

Informations complémentaires éventuelles :

Épaisseur de la peinture : **1,2 mm**

Couleur d'origine : **blanche**

Type : **Acrylique**

Type de Subjectile : **crépissage en Ciment**

Observations :

FICHE DE RELEVÉ DE L'ÉTAT SANITAIRE DES FAÇADES DES BÂTIMENTS- BB3F1.2.3



BB3F1
(a)

BB3F2
(b)



(c) BB3F3

Photo IV.3. Façade investiguées : BB3F1, BB3F2, BB3F3
Façade non principale (coté)

Date de réalisation de l'ouvrage : **2010-2015**

Fonction d'usage : Logement Bureaux Commerce

Autre Si autre, précisé :

Environnement de la construction :

Proche de la mer : Oui Non

Site urbain : Oui Non

Site rural Oui Non

Exposition de la façade :

Nord-Sud

Sud-Ouest

Classe d'exposition du béton : **XS1**

Exposition à l'humidité : **Forte > 80%**

Exposition à la pollution atmosphérique : **Oui**

Façade abritée : **Non**

Façade exposée au soleil : **Oui**

Mitoyenneté :

Construction mitoyenne Construction isolée

Si mitoyenne compléter : Sur 01 côté Sur 02 côtés Sur 03 côtés

Présence de joints : Non Oui

Aspect architectural

Hauteur d'étage : **18,36** (m) Nombre de niveaux : **R+5**

Forme géométrique en plan :

Carré Rectangle
 Forme en 'L' Forme en 'T'

Autre forme (Si autre forme, préciser) :

Dimensions des côtés :(m)

Symétrie en plan : Non Oui

Si oui : Selon l'axe longitudinal Selon l'axe transversal

Balcons en façade : Oui Non

Structure en béton armé : poteaux- poutres

Remplissage :

en maçonnerie de brique de terre cuite
 en blocs de parpaing en panneaux préfabriqués autre

Si autre, préciser :

Formes de dégradations de revêtement de peinture

Farinage Éclatement, fissuration ou Craquela Cloques Corrosion (changement de couleur)

Décollement ou Écaillage Efflorescence Colonisation biologique

Autre

Informations complémentaires éventuelles :

Épaisseur de la peinture : **1,2 mm**

Couleur d'origine : **blanche**

Type : **Acrylique**

Type de Subjectile : **crépissage en Ciment**

Observations :

FICHE DE RELEVÉ DE L'ÉTAT SANITAIRE DES FAÇADES DES BÂTIMENTS- **BB4F1**



Photo IV.4. Façade investiguée : BB4F1

Façade principale

Date de réalisation de l'ouvrage : **2010-2015**

Fonction d'usage : Logement Bureaux Commerce

Autre Si autre, précisé :

Environnement de la construction :

Proche de la mer : Oui Non
 Site urbain : Oui Non
 Site rural : Oui Non

Exposition de la façade :

Nord-Sud
 Nord -est

Classe d'exposition du béton : **XS1**

Exposition à l'humidité : **Forte > 80 %**

Exposition à la pollution atmosphérique : **Oui**

Façade abritée : **Non**

Façade exposée au soleil : **Oui**

Mitoyenneté :

Construction mitoyenne Construction isolée
 Si mitoyenne compléter : Sur 01 côté Sur 02 côtés Sur 03 côtés
 Présence de joints : Non Oui

Aspect architectural

Hauteur d'étage : **21,42** (m) Nombre de niveaux : **R+ 6**

Forme géométrique en plan :

Carré Rectangle
 Forme en 'L' Forme en 'T'

Autre forme (Si autre forme, préciser) :

Dimensions des côtés :(m)

Symétrie en plan : Non Oui

Si oui : Selon l'axe longitudinal Selon l'axe transversal

Balcons en façade : Oui Non

Structure en béton armé : poteaux- poutres

Remplissage :

en maçonnerie de brique de terre cuite
 en blocs de parpaing en panneaux préfabriqués autre

Si autre, préciser :

Formes de dégradations de revêtement de peinture



Farinage	<input checked="" type="checkbox"/>	Éclatement, fissuration ou Craquelé	<input checked="" type="checkbox"/>	Cloques	<input checked="" type="checkbox"/>	Corrosion (changement de couleur)	<input checked="" type="checkbox"/>
Décollement ou Écaillage	<input checked="" type="checkbox"/>	Efflorescence	<input type="checkbox"/>	Colonisation biologique	<input type="checkbox"/>		
Autre							
Informations complémentaires éventuelles :							
Épaisseur de la peinture : 1,2 mm							
Couleur d'origine : blanche							
Type : Acrylique							
Type de Subjectile : crépissage en Ciment							
Observations :							

FICHE DE RELEVÉ DE L'ÉTAT SANITAIRE DES FAÇADES DES BÂTIMENTS- BB5F1



Photo IV.5. Façade investiguée : BB5F1

Date de réalisation de l'ouvrage : **2010-2015**

Fonction d'usage : Logement Bureaux Commerce Autre

Si autre, précisé :

Environnement de la construction :

Proche de la mer : Oui Non
 Site urbain : Oui Non
 Site rural : Oui Non

Exposition de la façade :

Nord-Sud
 Nord-est

Classe d'exposition du béton : **XS1**

Exposition à l'humidité : **Forte > 80 %**

Exposition à la pollution atmosphérique : **Oui**

Façade abritée : **Non**

Façade exposée au soleil : **Oui**

Mitoyenneté :

Construction mitoyenne Construction isolée
 Si mitoyenne compléter : Sur 01 côté Sur 02 côtés Sur 03 côtés
 Présence de joints : Non Oui

Aspect architectural

Hauteur d'étage : **21,42** (m) Nombre de niveaux : **R+6**

Forme géométrique en plan :

Carré Rectangle
 Forme en 'L' Forme en 'T'

Autre forme (Si autre forme, préciser) :

Dimensions des côtés :(m)

Symétrie en plan : Non Oui
 Si oui : Selon l'axe longitudinal Selon l'axe transversal

Balcons en façade : Oui Non

Structure en béton armé : poteaux- poutres

Remplissage :

- en maçonnerie de brique de terre cuite
- en blocs de parpaing en panneaux préfabriqués autre

Si autre, préciser :



Formes de dégradations de revêtement de peinture

Farinage Éclatement, fissuration ou Craquela Cloques Corrosion (changement de couleur)
Décollement ou Écaillage Efflorescence Colonisation biologique

Autre

Informations complémentaires éventuelles :

Épaisseur de la peinture : **1,2 mm**

Couleur d'origine : **blanche**

Type : **Acrylique**

Type de Support : **crépissage en Ciment**

Observations :

IV.5.2. Inventaire et cartographie des anomalies sur les façades peintes

Les dégradations constatées dans les façades des bâtiments sont dues à un processus naturel qui se produit inévitablement dans le temps. Les altérations sont un processus complexe en perpétuelle changement et dépendant, d'une part, des caractéristiques intrinsèques des matériaux et, d'autres part, des variables extrinsèques liés à l'environnement et au climat. En effet, les mécanismes sous-jacents sont la conséquence de l'interaction de deux variables indépendantes : **la façade de bâtiment**, en tant qu'objet physique et **l'environnement (et/climat)**, en tant que source **d'agents**.

L'altération et la dégradation des revêtements de peintures commencent dès le temps d'application sur la façade. Au départ, dans la période d'amorçage, la détérioration a lieu mais sans dommages visibles. Quant à la deuxième étape, elle correspond à la détérioration rapide car les mécanismes ont été enclenchés sans anomalies visibles à l'œil nu. Par suite, les revêtements de peintures commencent à présenter des morphologies d'altérations mettant en péril la stabilité et la durabilité des ouvrages.

Bien que la dégradation de peintures extérieures des bâtiments soit une conséquence normale du processus de vieillissement, il existe un ensemble de facteurs influençant ce phénomène, tels que la qualité de la façade les conditions météorologiques, le manque d'entretien, etc. De façon générale, ces facteurs augmenteront les coûts d'exploitation du bâtiment et augmenteront les besoins de réhabilitation, si aucune mesure n'est prise pour arrêter le processus de dégradation. Les actions comprennent l'entretien, la réparation et la réhabilitation qui doivent être appliqués aux éléments de construction.

Ainsi, la durée des revêtements de peintures des bâtiments dépend non seulement de leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques mais aussi des conditions d'entretien et de l'exposition environnementale auxquelles ils sont soumis. Afin d'établir le niveau de dégradation des revêtements de peintures extérieurs, deux ensembles de facteurs doivent être pris en considération - les conditions de durabilité de la peinture et les facteurs de dégradation agissant sur elle- qui dont leur combinaison contribuent à déclencher le processus de dégradation.

IV.5.2.1. Anomalies observées in situ

Les dégradations rencontrées *in situ* sur les façades de bâtiments de la cité 400 logements AADL sont présentées et détaillées dans ce qui suit :

- *Changement d'aspect et de couleur – jaunissement de la peinture blanche ou corrosion*

Cette anomalie est présente sur l'ensemble des façades investiguées, **Photo IV.6**. Cette dégradation est due à l'exposition aux rayons UV et température élevés. Donc en général résulte principalement des conditions environnementales et le facteur d'âge.

Les variables indépendantes ou facteurs influant sont :

- *âge du bâtiment ;*
- *type de la peinture ;*
- *proximité de la mer ;*
- *exposition au soleil (irradiation).*

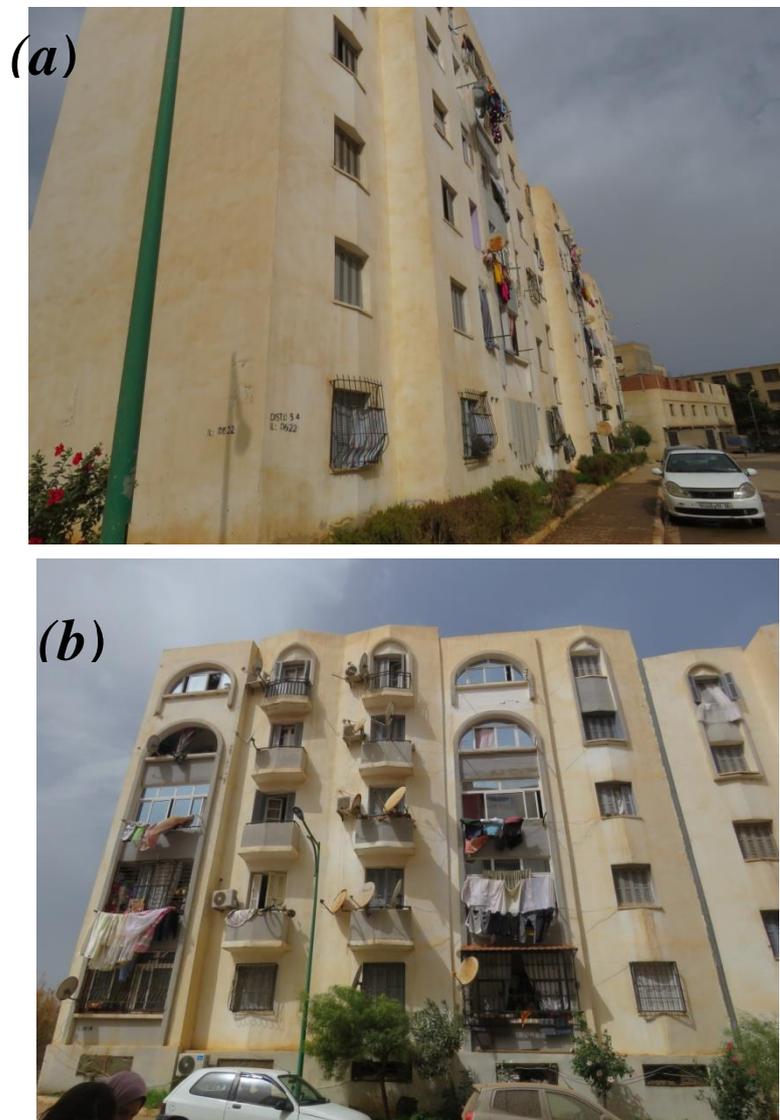


Photo IV.6. Jaunissement aperçu sur les façades des bâtiments (couleur blanche transformée en couleur de rouille donnant un aspect corrodé)(par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)

- **Écaillage**

Un écaillage ou décollement des peintures a été observées sur les façades investiguées. Leur dimension dépasse les 30 mm (cf. **Photo IV.7, Photo IV.8, Photo IV.9**). Il est principalement causé par une mauvaise adhérence combinée avec une mauvaise application de la couche d'accrochage sur une surface contaminée.

Les variables indépendantes ou facteurs influant sont :

- *orientation de la façade (exposition fréquente au vent)*
- *type de la peinture ;*
- *proximité de la mer (exposition à l'humidité et aux sels ;*
- *remontées capillaire (présence d'humidité dans le sol).*



Photo IV.7. Écaillage généralisé dépassant les 30 mm de largeur (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)



Photo IV.8. Décollement et Écaillage de la couche de peinture résultant de l'exposition aux embruns marin et à l'humidité (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)



Photo IV.9. Écaillage et la couche de peinture causé par des remontées capillaires. (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)

- **Craquellement ou fissuration**

La fissuration est présente sur la surface des façades avec une forte quantité avec différentes orientations (longitudinale transversale) ayant une très grande dimension (>1 mm).

Les variables indépendantes ou facteurs influant sont :

- *âge du bâtiment ;*
- *type de subjectile ;*
- *épaisseur de la peinture ;*
- *proximité de la mer.*

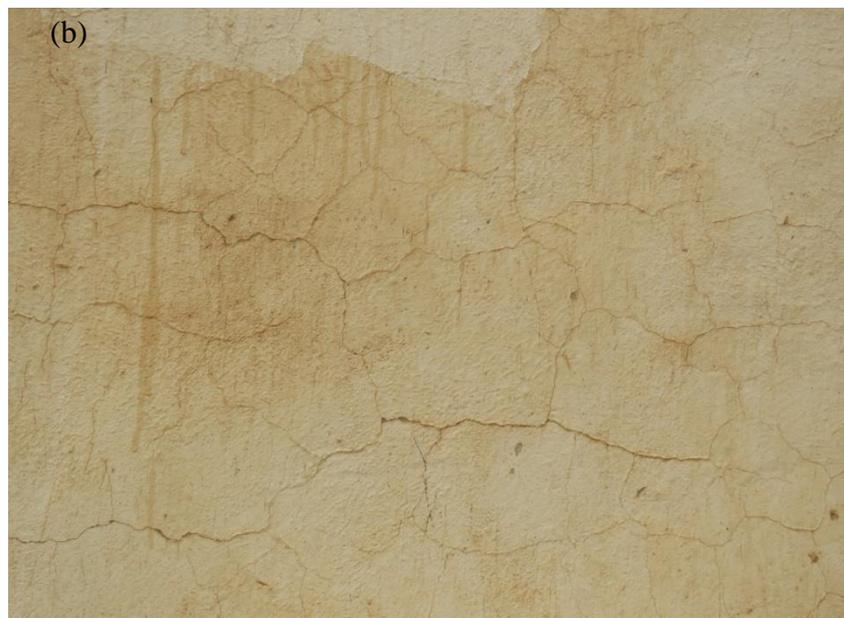


Photo IV.10. Fissures ou faïençage ou bien formation de craquelles sur la surface peinte (a-b) (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)

- **Farinage**

Le farinage est présent sur toutes les façades peintes avec des quantités clairement à modérément perceptible.

La quantité et le degré de farinage des couches de peinture sont déterminées selon la méthode présentée sur la Photo IV..



Photo IV.7. Détermination in situ de degré de farinage par la méthode du ruban adhésif (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)

- **Changement de couleur**

Cette dégradation appelée aussi la corrosion (formation de rouille). Ce phénomène résulte de l'action des conditions environnementales sur la couche de peinture.

Les variables indépendantes ou facteurs influant sont :

- *âge du bâtiment ;*
- *type de la peinture ;*
- *proximité de la mer ;*
- *exposition au soleil (irradiation).*

- **Cloques ou cloquage**

Ce phénomène peut être trouvé à cause de la perte d'adhérence localisée ou la présence de l'humidité ou bien l'application d'une couche épaisse de peinture sur la façade, (**Photo IV.17.**)

Les variables indépendantes ou facteurs influant sont :

- *âge du bâtiment ;*
- *type de la peinture ;*
- *épaisseur de la peinture ;*
- *proximité de la mer (présence d'humidité).*



Photo IV.12. Cloques observées sur les peintures de façades des bâtiments investiguées (par l'équipe de CNERIB et rabah ben abbes & zekraoui)

IV.5.2.2. Cartographie des dégradations

Les cartographies sont réalisées à l'aide deux sites Web d'art numérique, utilisés pour le dessin et l'édition appelé kleki et Paint . Ces altération sont illustrées dans ce qui suit et cela pour chaque bloc de bâtiment (cf.

Photo IV. à Photo IV.46).

- Blocs de Bâtiments N°1, façades 1, 2 et 3



Photo IV.13. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage



Photo IV.8. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –jaunissement ou changement de couleur



Photo IV.9. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage

BB1F1



Photo IV.16. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage

BB1F1



Photo IV.10. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement



Photo IV.18. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –Farinage



Photo IV.19. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – Écaillage



Photo IV.20. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur



Photo IV.11. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage



Photo IV.12. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement



Photo IV.13. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage



Photo IV.14. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur



Photo IV.15. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage

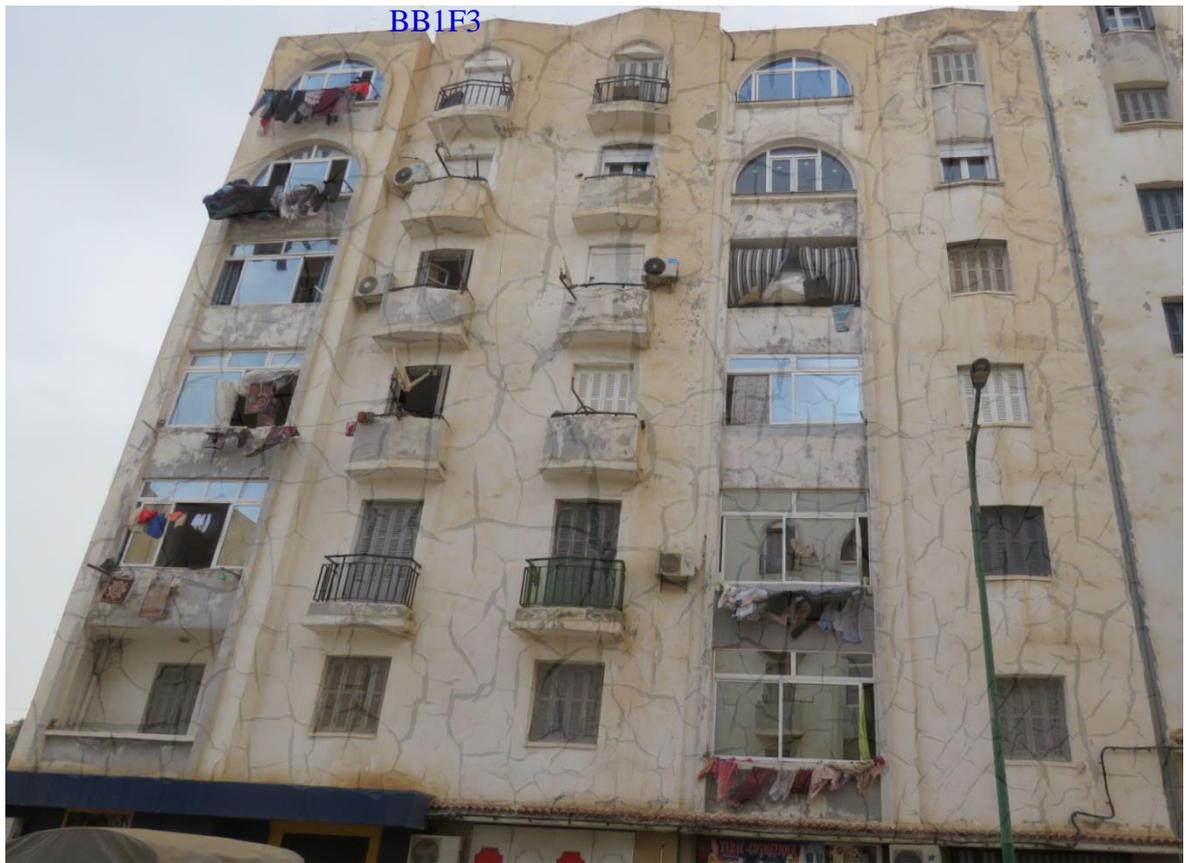


Photo IV.16. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement

- Blocs de Bâtiments N°2, façades 1, 2 et 3



Photo IV.17. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage



Photo IV.28. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement

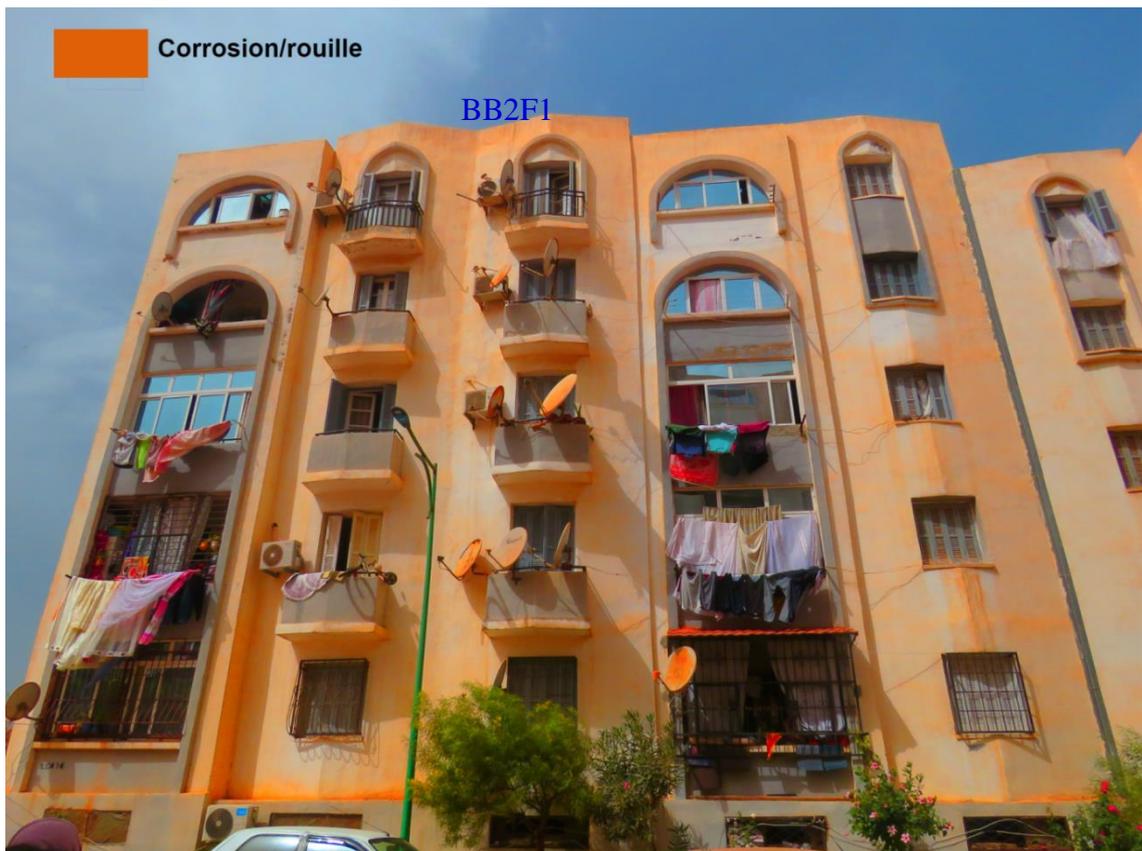


Photo IV.18. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur

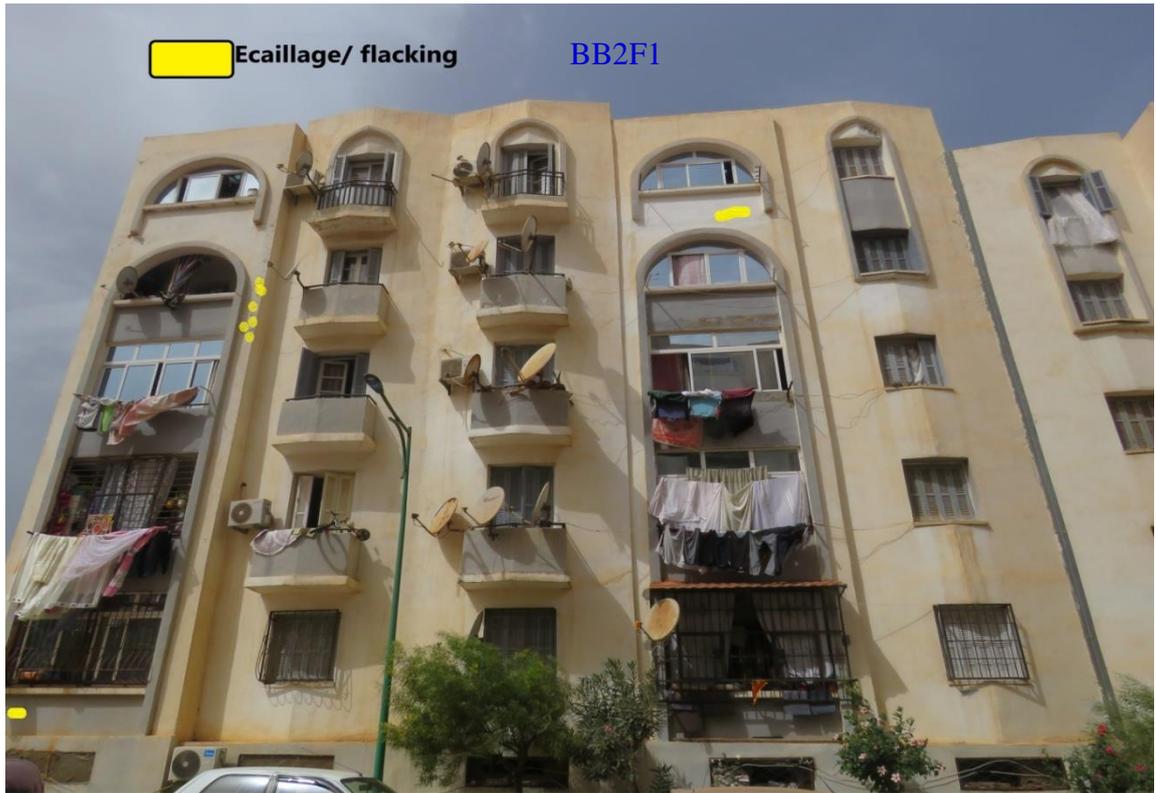


Photo IV.19. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage

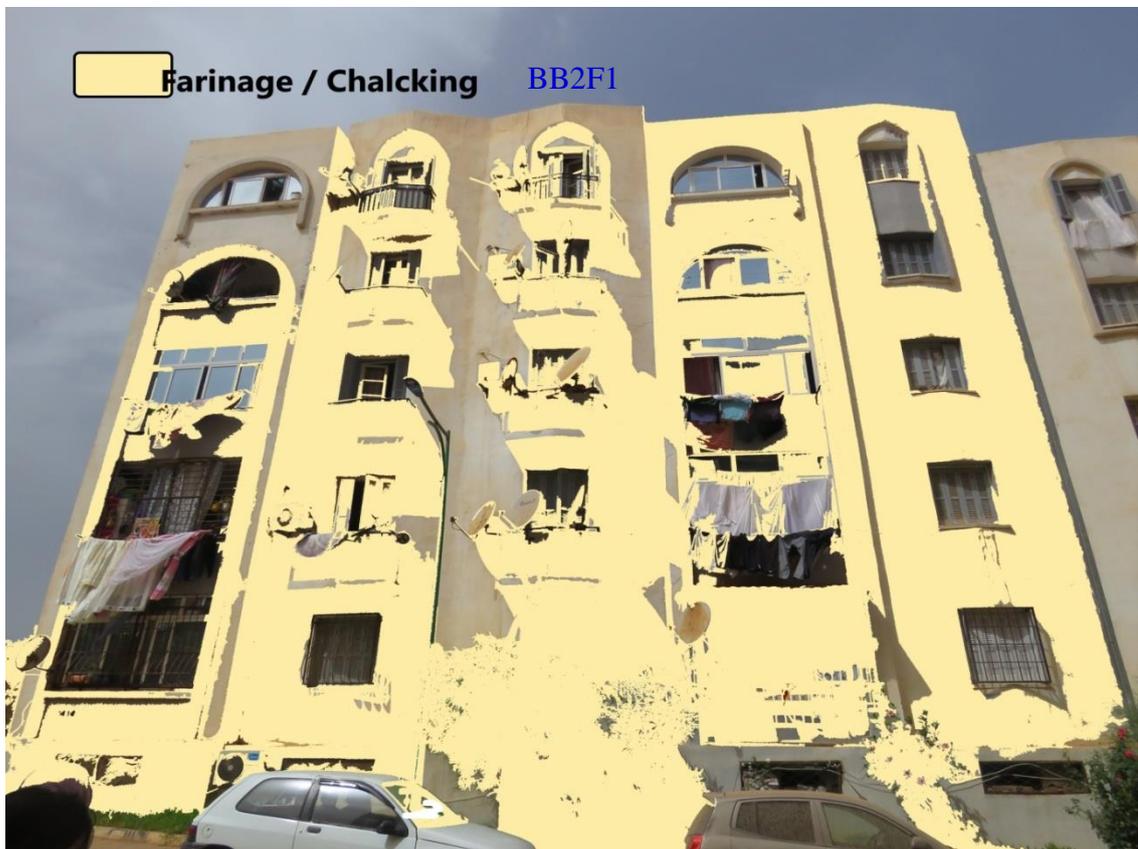


Photo IV.20. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage



Photo IV.21. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – Farinage



Photo IV.22. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage



Photo IV.23. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur



Photo IV.24. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – cloquage



Photo IV.25. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – craquellement



Photo IV.26. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – cloquage



Photo IV.27. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – craquellement

- Blocs de Bâtiments N°3, façades 1, 2 et 3



Photo IV.39. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage



Photo IV.28. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – farinage



Photo IV.29. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur



Photo IV.30. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – cloquage



Photo IV.31. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – craquellement



Photo IV.32. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –Farinage



Photo IV.33. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage



Photo IV.34. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur



Photo IV.35. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage



Photo IV.48. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement



Photo IV.49. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –farinage



Photo IV.36. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage

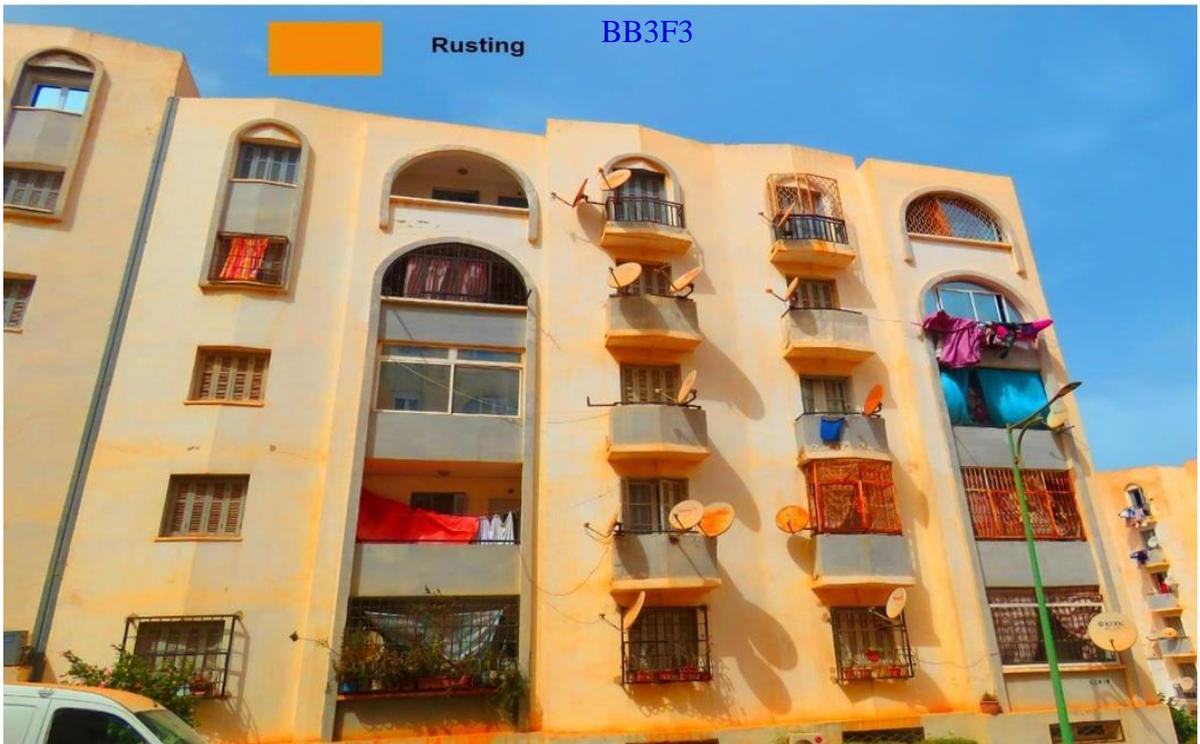


Photo IV.37. Cartographie des altérations des revêtements de peintures – changement de couleur



Photo IV.38. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement



Photo IV.39. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage

- Blocs de Bâtiments N°4, façade 1

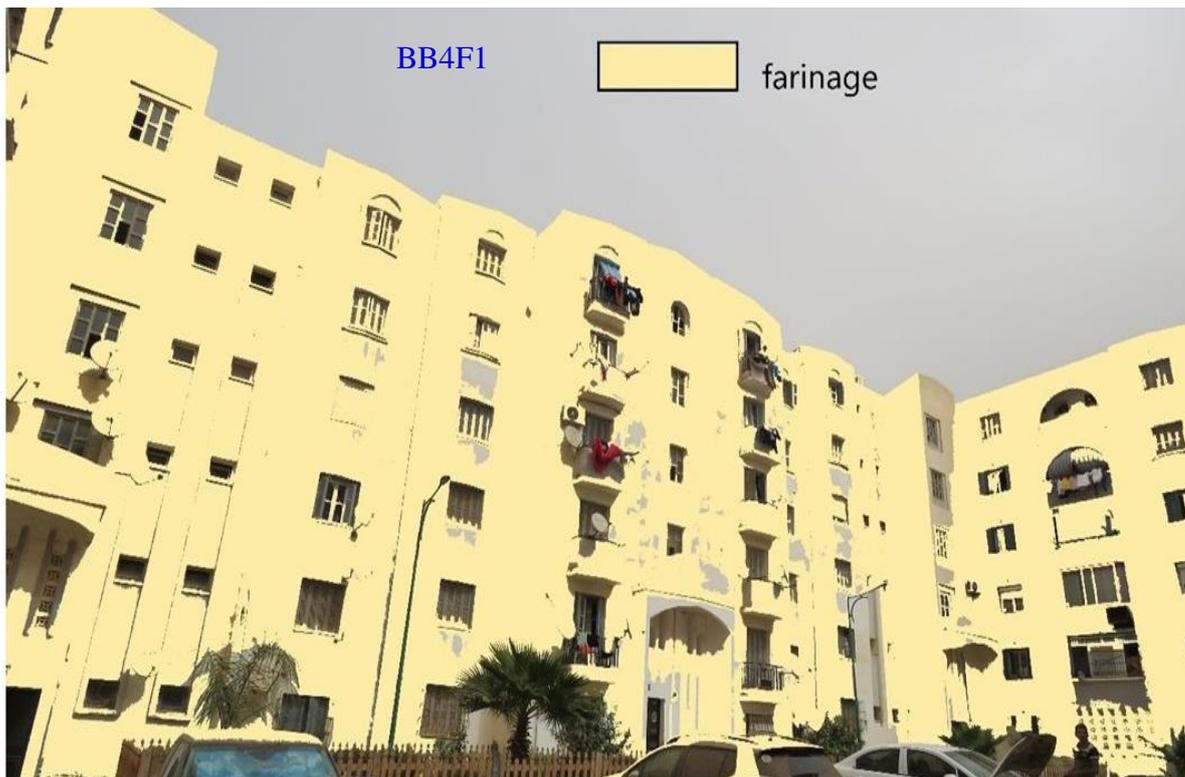


Photo IV..40. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –Farinage





Photo IV.41. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur (a- b)

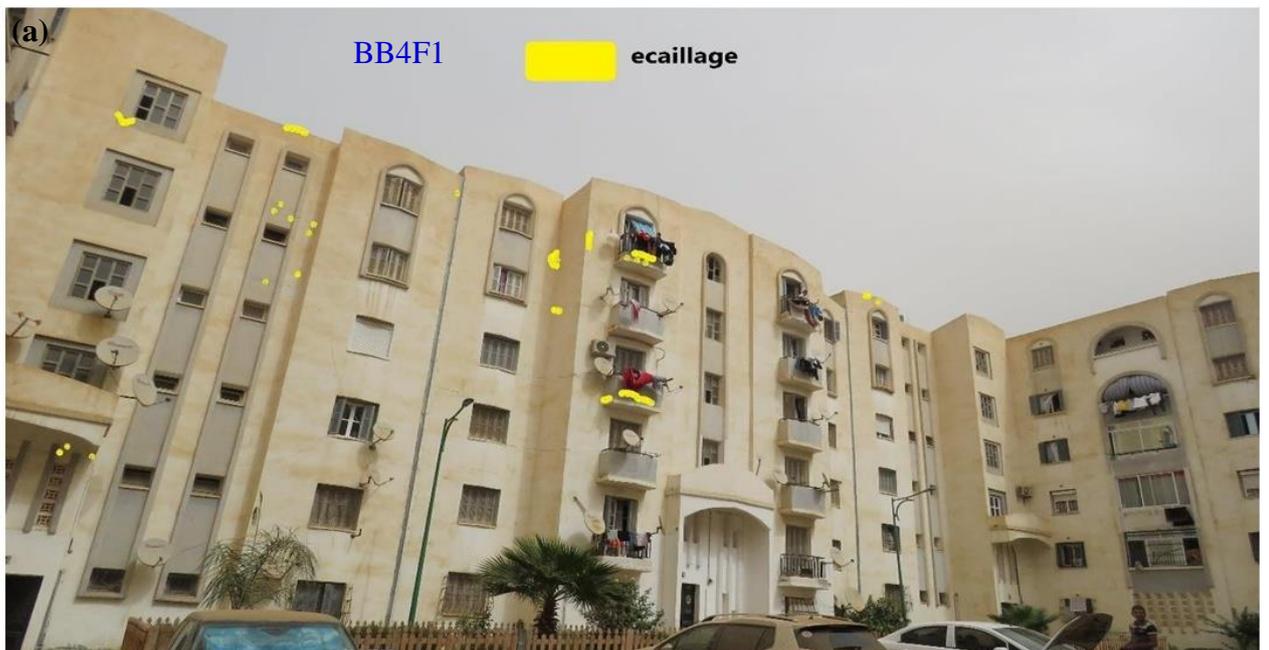




Photo IV.42. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage (a- b)



Photo III.43. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage



Photo IV.58. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement

- **Blocs de Bâtiments N°5, façade 1**



Photo IV.59. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –changement de couleur



Photo IV.44. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –écaillage



Photo IV.45. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –cloquage



Photo IV.46. Cartographie des altérations des revêtements de peintures –craquellement

IV.6. Analyse statistiques des dégradations

Ci-après un tableau (**Tableau IV.**) récapitulatif des variables dépendantes (anomalies) et celles indépendantes (facteurs environnementaux).

Tableau IV.4. Relation cause - à - effet

Anomalies (variables dépendantes)	Facteurs responsables (variable indépendantes)
Écaillage	âge du bâtiment ;
	orientation de la façade (exposition fréquente au vent)
	type de la peinture ;
	proximité de la mer (exposition à l'humidité et aux sels ;
	remontées capillaire (présence d'humidité dans le sol)
Changement de couleur ou corrosion	âge du bâtiment ;
	type de la peinture ;
	proximité de la mer ;
	exposition au soleil (irradiation).
Fissuration ou craquelle	âge du bâtiment ;
	type de la peinture ;
	proximité de la mer ;
	exposition au soleil (irradiation).
Farinage	âge du bâtiment ;
	type de la peinture ;
	épaisseur de la peinture ;
	proximité de la mer (présence d'humidité).
Cloque	âge du bâtiment ;
	type de subjectile ;
	épaisseur de la peinture ;
	proximité de la mer.

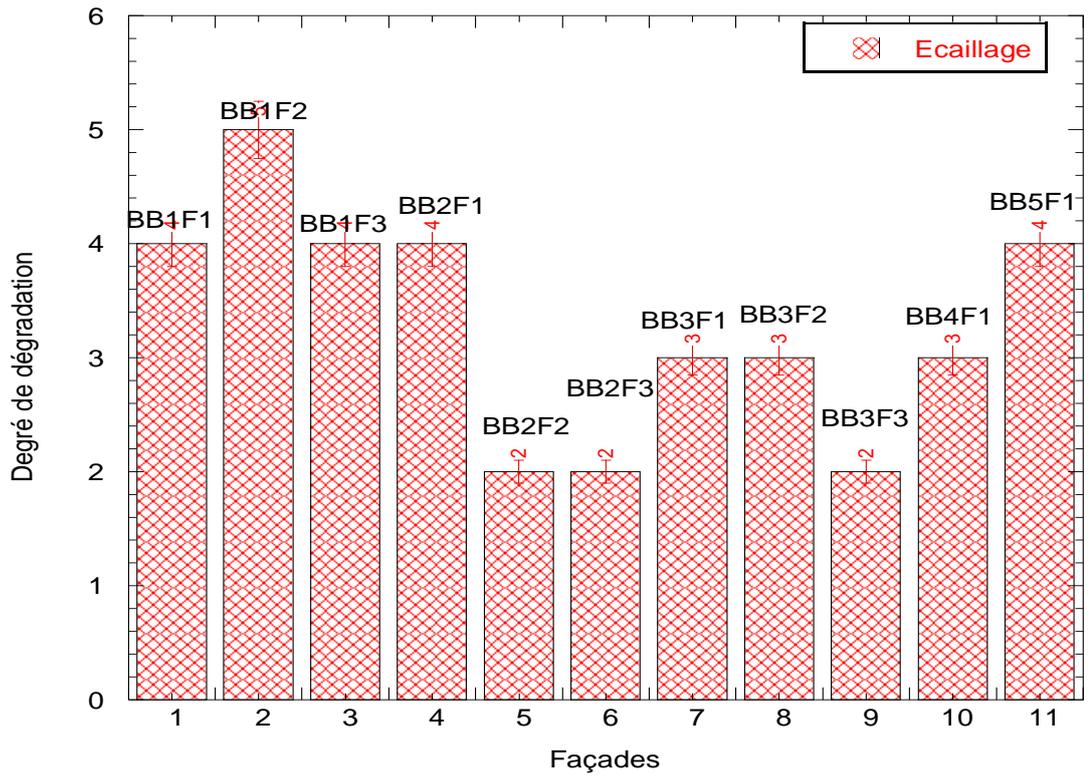
Le degré et la taille des dégradations inventoriées sur les façades investiguées sont récapitulées dans le **Tableau IV.**

Tableau IV.5. Taille et quantité des dégradations relevées sur les façades investiguées

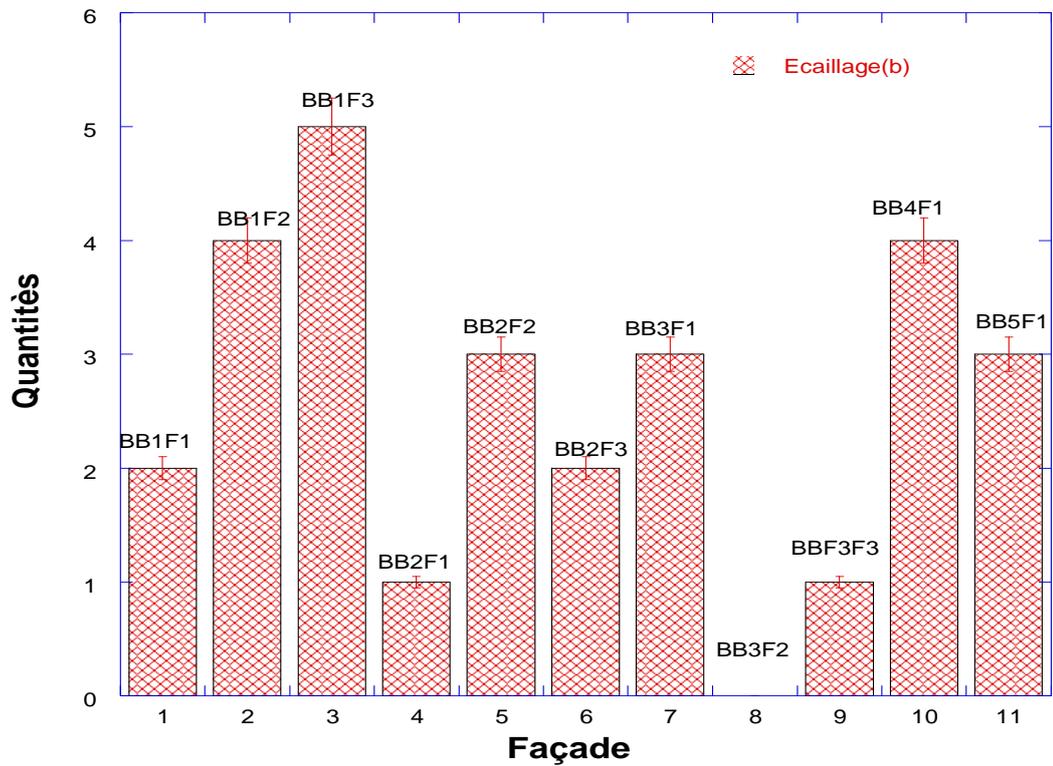
Façades	Dégradation	Quantité	Taille/degré ou sévérité
BB1F1	Cloquage	4	S3
	Farinage	2	0,2 mm
	Écaillage	a(4)-b(3)	5(> 30 mm)/5
	Craquelle (fissuration)	a(5)-b(0)	4(≤ 1 mm)/0
	Corrosion (changement de couleur)	2	3(0,5 %)
BB1F2	Cloquage	3	S2
	Farinage	2	0,20 mm
	Écaillage	a(4)-b(4)	4(≤ 30 mm)/4
	Craquelle (fissuration)	a(4)-b(0)	4(≤ 1 mm)/0
	Corrosion (changement de couleur)	3	1%
BB1F3	Cloquage	3	S2
	Farinage	2	0,2 mm
	Écaillage	a(4)-b(5)	5(> 30 mm)/5
	Craquelle (fissuration)	a(3)-b(4)	4(≤ 1 mm)
	Corrosion (changement de couleur)	Ri 4	8 %
BB2F1	Cloquage	3	S2
	Farinage	2	0,20 mm
	Écaillage	a(2)-b(3)	5(≤ 30 mm)/5
	Craquelage (fissuration)		4(≤ 1 mm)/0
	Corrosion (changement de couleur)	Ri2	0,5 %
BB2F2	Cloquage	3	S2
	Farinage	3	
	Écaillage	a(2)-b(2)	4(≤ 10 mm)
	Craquelle (fissuration)	a(2)-b(2)	4(≤ 1 mm)
	Corrosion (changement de couleur)	Ri 2	0,5 %
BB2F3	Cloquage	3	S2
	Farinage	2	0,20 mm
	Écaillage	a(3)-b(2)	3(≤ 10 mm)
	Craquelage (fissuration)	a(3)-b(2)	4(≤ 1 mm)/0
	Corrosion (changement de couleur)	Ri 2	0,5 %
BB3F1	Cloquage	3	S2

	Farinage	3	0,20 mm
	Écaillage	a(3)-b(3)	4(≤ 30)
	Craquelle (fissuration)	a(5)-b(4)	
	Corrosion (changement de couleur)	2	0,5 %
BB3F2	Cloquage	3	(s2)
	Farinage	2	0,2 mm
	Écaillage	a(2)-b(0)	3(≤ 10 mm)
	Craquelle (fissuration)	a(2)-b(3)	4(≤ 1 mm)
	Corrosion (changement de couleur)	Ri2	0,5 %
BB3F3	Cloquage	3	S5
	Farinage	2	0,20 mm
	Écaillage	a(2)	≤ 3 mm
	Craquelle (fissuration)	a(5)-b(4)	4(≤ 1 mm)/4
	Corrosion (changement de couleur)	Ri 2	0,5 %
BB4F1	Cloquage	3	S5
	Farinage	4	0,20 mm
	Écaillage	a(3)-b(4)	5(> 30 mm)/5
	Craquelle (fissuration)	a(5)-b(4)	4(≤ 1 mm)/4
	Corrosion (changement de couleur)	Ri 3	1 %
BB5F1	Cloquage	4	S4
	Farinage	3	0,20 mm
	Écaillage	a(4)-b(3)	5(> 30 mm)/5
	Craquelle (fissuration)	a(5)-b(4)	4(≤ 1 mm)/0
	Corrosion (changement de couleur)	Ri3	1%

L'analyse statistique des différentes morphologies de dégradation détectées sur les façades peintes sont présentées dans ce qui suit :



(a)



(b)

Figure IV.6. Histogrammes de degré d'écaillage sur les façades des bâtiments (a-b)

Sur la **Figure IV.6**, il est observé que le degré de l'écaillage est plus important sur le bloc 1,2, et 3 comportant trois façades et exposé à l'orientation Ouest-Nord. Cette dernière est l'orientation privilégiée de vent et embruns marins. Le vent accentue la perte de l'adhérence et, par suite, la formation d'écaillage sur le revêtement de peintures.

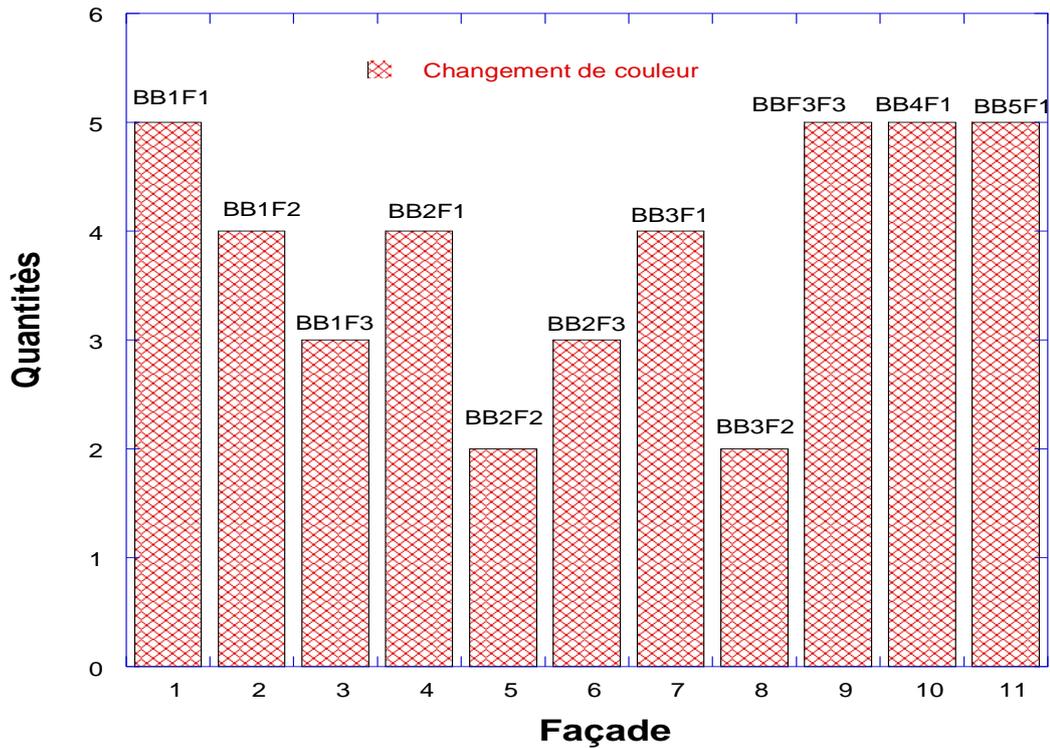
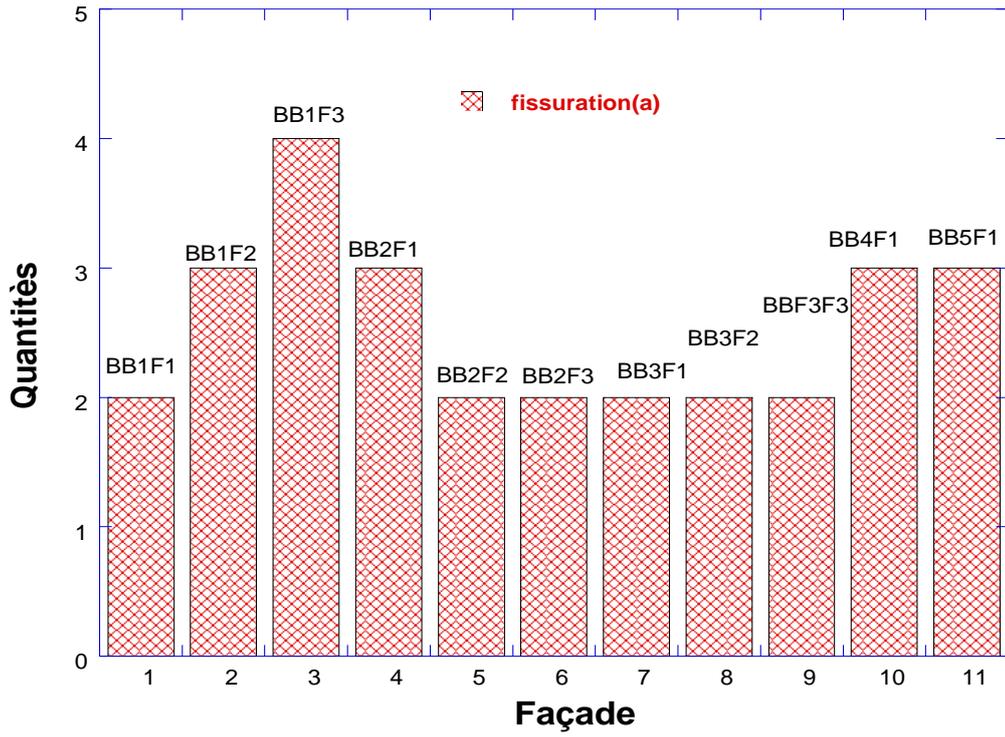


Figure IV.7. Histogrammes de degré de changement de couleur sur façades investiguées

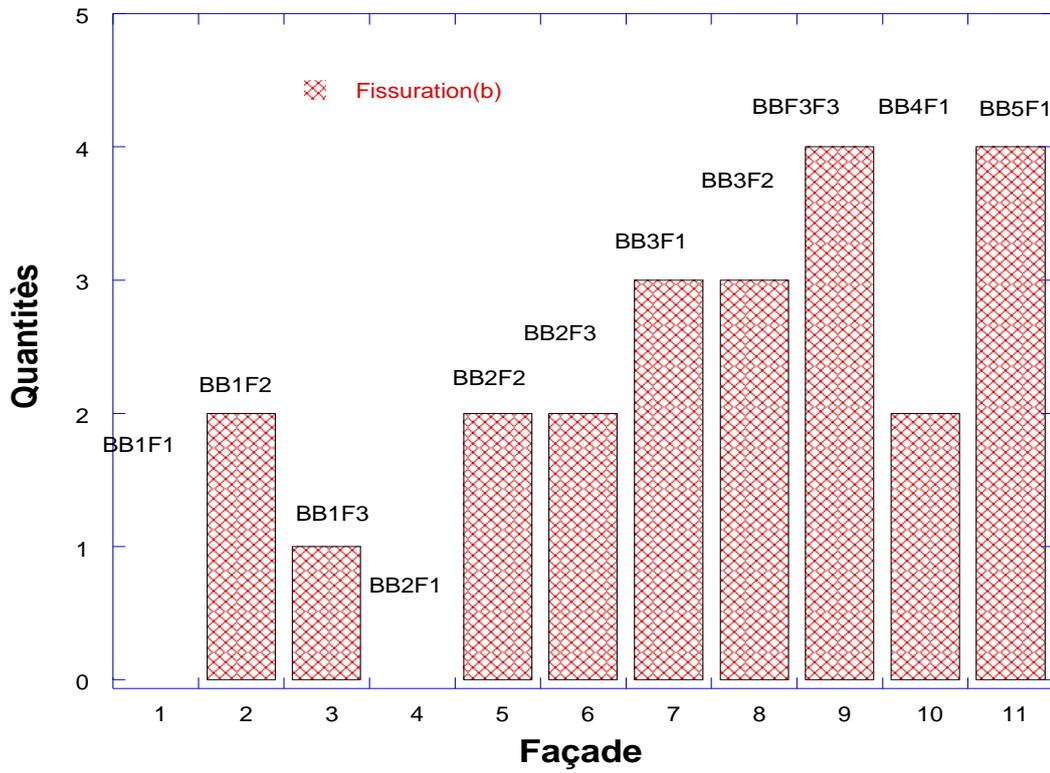
Il est observé un changement important de la couleur (**Figure IV.7**) des façades investiguées.

Les trois façades (BB3FD3, BB4F1 et BB5F1) sont les plus touchées par cet aspect.

L'orientation des façades vers le Nord augmente le degré de cette pathologie.



(a)



(b)

Figure IV.8. Histogrammes de degré de fissuration sur les façades investiguées (a, b)

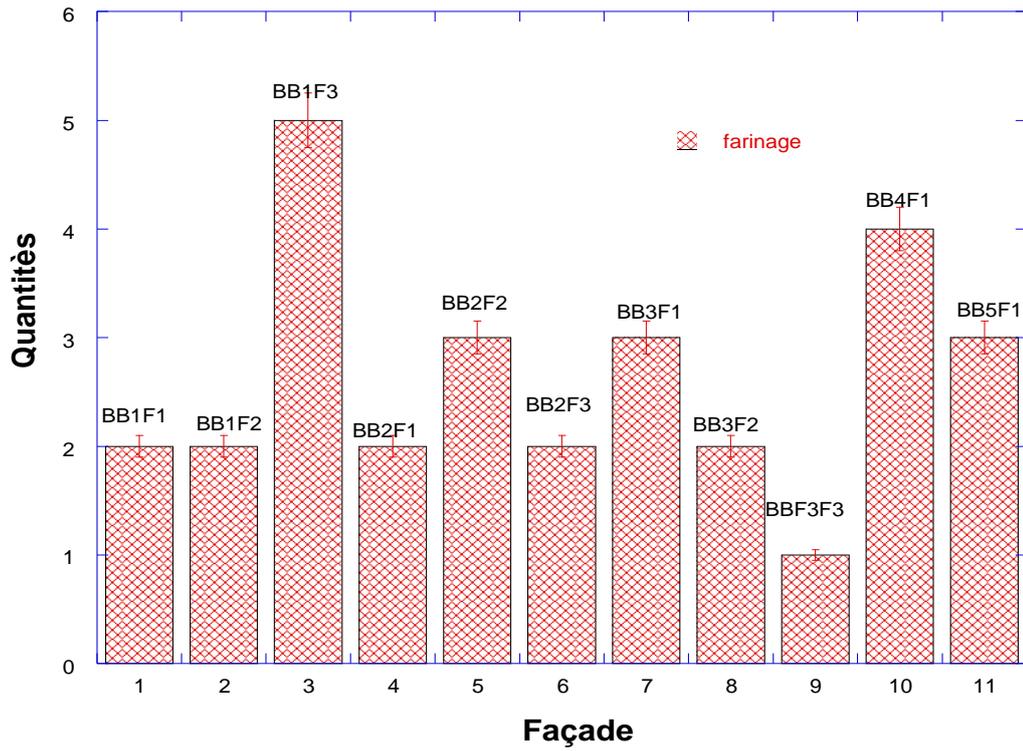


Figure IV.9. Histogrammes de degré de farinage sur les façades investiguées

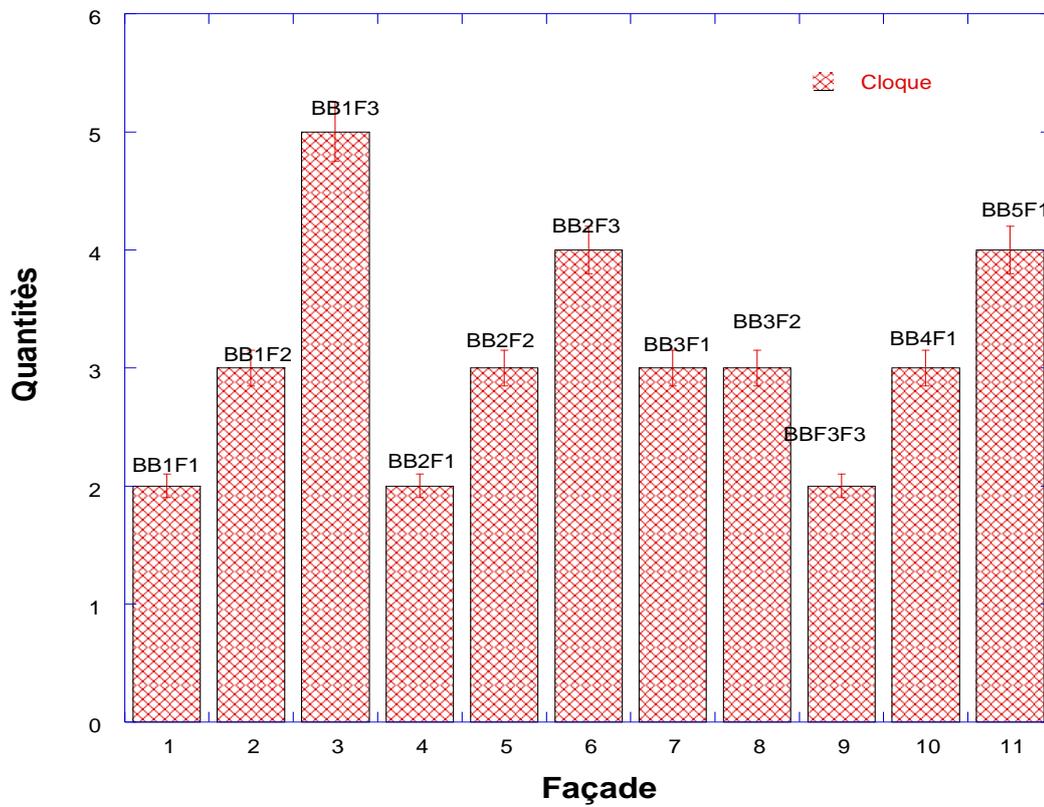


Figure IV.10. Histogrammes de degré cloquage sur les façades investiguées

Lorsqu'un problème d'incompatibilité chimique du revêtement existe, il est observé une courte phase de cloquage, rapidement suivie de craquelages, d'écaillages et de décollements. Le développement de tels défauts est évidemment accéléré dans le cas de poussées d'efflorescences en présence de sels et de forte d'humidité. Généralement, ces taches blanches se développent d'abord sur les lèvres des fissures, dessinant alors un craquelage révélateur.

La pollution atmosphérique combinée aux conditions atmosphériques particulières de la façade maritime algérienne joue un rôle important. C'est le cas aussi pour des parties de la façade soumises aux remontées capillaires dues à une porosité du béton des fondations. De façon général, les peintures à base d'acrylique présentent une faible résistance.

*Conclusion générale et
Perspectives*

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Pendant des décennies, la maintenance et la réhabilitation des bâtiments ont été principalement réalisés, basée sur des critères subjectifs, donc compromettant la sécurité des utilisateurs et conduisant à un parc bâti fortement dégradé. La planification efficace des stratégies de maintenance et d'intervention nécessite une connaissance et une compréhension profondes des processus et des mécanismes des dégradations des matériaux de construction mis en œuvre.

Cette recherche a pour objectif de proposer une méthodologie de diagnostic de l'état sanitaire des revêtements de peintures basée sur l'analyse statistique des données de terrain. Ces données sont collectées via une enquête concernant la dégradation des peintures de façades extérieures des bâtiments en service d'une cité d'AADL localisée dans la façade maritime (Ain Bénian). La dégradation est définie par un certain nombre de facteurs qui contribuent ensemble à la détérioration des surfaces peintes mettant ainsi fin à leur durée de vie. Des fiches de relevés ont été exploitées pour la compilation des données. Par suite, des cartographies de dégradations observées des revêtements de peintures ont été établies.

Ce mémoire est scindé en deux parties dont la première a été consacrée à une revue des connaissances relative aux types de façades de bâtiments, les différents revêtements rencontrés ainsi que les types et les travaux de peinture au sens de la réglementation en vigueur. Quant la seconde partie, elle a été dédiée à la récolte de données *in situ* sur l'état sanitaire des peintures de façades extérieures. Les bâtiments et le site de l'étude ont été présentés en détail (climat, environnement, etc.). Une profonde inspection visuelle et un inventaire des anomalies ont été réalisés. La collecte de données est basée sur une étude purement visuelle de l'état des revêtements de peinture et elle concerne les paramètres qui ont la plus grande influence. Pour quantifier les dégradations identifiées et leurs mécanismes selon leur niveau de gravité, des échelles ou des indices d'évaluation qualitative et quantitative ont été choisies sur la base des référents normatifs existant notamment les normes ISO dédiées aux travaux de peinture de façades. Ainsi, l'évaluation prend en compte l'intensité, l'extension et la localisation des dommages détectés. La localisation de ces dommages a été identifiée via les cartographies des altérations réalisées sur les différentes façades investiguées. À travers le diagnostic effectué, il a été mis en exergue l'état de dégradation prématuré des façades peintes des bâtiments des logements AADL occupés par les utilisateurs finaux pendant une durée de 05 années.

Néanmoins, il convient de signaler que les données récoltées à travers le site investigué constituent un seul échantillon (un seul point) de variables ou facteurs influant sur l'apparition des anomalies. Il y a lieu de procéder à d'autres investigations concernant d'autres bâtiments localisés dans divers localités et exposés à un ensemble de facteurs différent d'une région à une autre. Ainsi, comme perspectif de ce travail, d'autres sites seront expertisés et étudiés afin d'enrichir la banque de données et de procéder à l'application des méthodes statistiques notamment la modélisation par régressions linéaires pour l'évaluation de l'incidence des différents facteurs intervenants.

Par ailleurs, il est important de signaler que la méthode adoptée dans le cadre de cette recherche peut être élargie à d'autres types de dégradations et matériaux liés aux ouvrages de bâtiment et de génie civil. En effet, la démarche suivie peut contribuer inévitablement à caractériser l'état de la conservation du parc d'habitation qui permettra d'estimer l'état de dégradation si aucune action de réparation ou de réhabilitation n'est entreprise. Enfin, cette étape de diagnostic, souvent négligée par les acteurs du domaine, constitue une étape importante et indispensable dans la démarche de gestion d'ouvrages durables.

RÉFÉRENCES

- [1] “Facades and interfaces - SteelConstruction.info.” https://www.steelconstruction.info/Facades_and_interfaces (accessed Sep. 26, 2021).
- [2] “Alger - Cité Diar El Mahçoul : Alger : Côte algérienne : Algérie : Routard.com.” https://www.routard.com/photos/algerie/1509830-alger___cite_diar_el_mahcoul.htm (accessed Nov. 07, 2021).
- [3] “Types de façades : comparatif et différences | Cupa Pizarras.” <https://www.cupapizarras.com/fr/actualite/types-de-facades/> (accessed Sep. 26, 2021).
- [4] “(141) Pinterest.” https://www.pinterest.ca/lau_dup/kabylie-paysages/ (accessed Nov. 07, 2021).
- [5] “Definition de Façade légère.” <https://www.batiproduits.com/batiwiki/facade-legere/definition/E3C92DD0-1E37-4B85-A751-6F63746A3C37/> (accessed Nov. 16, 2021).
- [6] “REVETEMENT - Dictionnaire du BTP - Eyrolles.” <https://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP/definition.html?id=7987> (accessed Sep. 26, 2021).
- [7] “Tous les types de revêtements muraux.” <https://www.m-habitat.fr/murs-facades/revetements-muraux/> (accessed Sep. 26, 2021).
- [8] “Quel revêtement choisir pour la façade de sa maison ?” <https://www.maisonapart.com/edito/construire-renover/renovation-extension/quel-revetement-choisir-pour-la-facade-de-sa-maiso-9570.php> (accessed Sep. 26, 2021).
- [9] “Définition d’un revêtement de peinture.” <https://www.metaltop.fr/content/572-definition-revetement-peinture> (accessed Sep. 26, 2021).
- [10] T. D. E. Peinture and P. Batiment, *Travaux de peinture pour batiment*. .
- [11] L. E. S. Composants and D. E. S. Denrees, “Les composants des denrees,” pp. 1–17.
- [12] “ISO 4618:2014(fr), Peintures et vernis — Termes et définitions.” <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:4618:ed-2:v1:fr> (accessed Sep. 26, 2021).
- [13] P. Measures and R. Methods, “Common buildin defects,” [Online]. Available: <https://www.bca.gov.sg/Professionals/Iquas/gpgs/Painting/PCommondefects.pdf>.
- [14] B. Fitzsimons and T. Parry, “A Comprehensive Field Guide: Coating Failures and Defects,” *Corrosionpedia*, vol. 5, p. 46, 2017, [Online]. Available: <http://www.ppcoatings.co.uk/wp-content/uploads/2016/06/Coating-Failure-Defects.pdf>.
- [15] P. Ouest, N. La, U. F. R. Spse-master, and P. M. P. Sta, “Chapitre 4 : Régression linéaire,” pp. 1–15.
- [16] “Le climat, la météo par mois et la température moyenne à Guyoville (Algérie) -

Weather Spark.” <https://fr.weatherspark.com/y/47106/Météo-habituelle-à-Guyoville-Algérie-tout-au-long-de-l'année#Sections-Clouds> (accessed Sep. 26, 2021).

- [13]. Mwasha, A., R.G. Williams, and J. Iwaro, *Modeling the performance of residential building envelope: The role of sustainable energy performance indicators*. *Energy and Buildings*, 2011. **43**(9): p. 2108-2117.
- [14]. Garrido, M.A., P.V. Paulo, and F.A. Branco, *Service life prediction of façade paint coatings in old buildings*. *Construction and Building Materials*, 2012. **29**: p. 394-402.
- [15]. Pereira, C., et al., *Urgency of repair of building elements: Prediction and influencing factors in façade renders*. *Construction and Building Materials*, 2020. **249**: p. 118743.
- [16]. Norvaišienė, R., A. Burlingis, and V. Stankevičius, *Impact of acidic precipitation to ageing of painted facades' rendering*. *Building and Environment*, 2007. **42**(1): p. 254-262.
- [17]. Uchaeva, T.V. and V.I. Loganina, *Analysis of the risk at the finishing of the building products and construction of paint compositions*. *Case Studies in Construction Materials*, 2018. **8**: p. 213-216.
- [18]. Aktas, C.B. and M.M. Bilec, *Service life prediction of residential interior finishes for life cycle assessment*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2012. **17**(3): p. 362-371.
- [19]. Dias, J.L., et al., *Neural networks applied to service life prediction of exterior painted surfaces*. *Building Research & Information*, 2014. **42**(3): p. 371-380.
- [20]. Leira, B., et al. *Degradation analysis by statistical methods*. in *Eighth International Conference on Durability of Building Materials and Components, 8 dbmc*. 1999.
- [21]. Maia, M., R. Morais, and A. Silva, *Application of the factor method to the service life prediction of window frames*. *Engineering Failure Analysis*, 2020. **109**: p. 104245.
- [22]. Gaspar, P. and J. Brito, *Assessment of the Overall Degradation Level of an Element, Based on Field Data*. 2005.
- [23]. Gaspar, P. and J. Brito, *Limit States and Service Life of Cement Renders on Façades*. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2011. **23**: p. 1396-1404.
- [24]. Oral, M., E.L. Oral, and A. Aydın, *Supervised vs. unsupervised learning for construction crew productivity prediction*. *Automation in Construction*, 2012. **22**: p. 271-276.

