

*REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE*

*MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE*

*UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU*

*FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION*

*DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE*



# **MEMOIRE DE MAGISTER**

*Spécialité : Architecture*

*Option : Architecture et Développement Durable*

*Présenté par :*

**ACHAB SAMIA EP CHERNAI**

**Elaboration d'un guide technique de réhabilitation du patrimoine  
(Habitat) de la période Ottomane**

*Devant le jury composé de :*

<b>M AIT TAHAR Kamal</b>	<b>Professeur</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Président</b>
<b>M. DAHLI Mohamed</b>	<b>Maitre de conférences (A)</b>	<b>UMMTO</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Mme. CHABOU Meriem</b>	<b>Maitre de conférences (A)</b>	<b>EPAU, Alger</b>	<b>Examinatrice</b>

**Soutenu le : / 06 / 2012**

## REMERCIEMENTS

Au terme de cet humble travail ,je tiens à exprimer mes vifs remerciements et ma profonde gratitude à mon encadreur, Mr Dahli Mohamed Maître de Conférences à l'université de Tizi-Ouzou, pour les précieux conseils, son soutien, le temps qu'il m'a accordé tout au long de la réalisation de mon travail de recherche et pour le travail de terrain ; qui a bien voulu m'encadrer et me supporter tout au long de l'élaboration de ce présent travail .Sans son aide et sa compréhension je n'aurais pu boucler ce travail.

Je tiens également à exprimer mon immense gratitude envers tous les membres du jury, qui ont accepté d'évaluer ce travail, je remercie M<sup>r</sup> AIT TAHAR Kamal d'avoir accepté et de m'avoir fait l'honneur de présider mon jury de mémoire, M<sup>me</sup> CHABOU Mériem d'avoir accepté l'examen de mon travail de recherche.

Je souhaite aussi remercier M<sup>r</sup> Toubal Ramdane et M<sup>me</sup> Bensalem enseignants au département d'architecture de Tizi-Ouzou pour leurs orientations, pour m'avoir soutenu et encourager dans la concrétisation de ce mémoire de Magister. Je remercie aussi, M<sup>me</sup> Baloul Nadia et M<sup>me</sup> boukhalfa Karima pour leurs orientations et leurs soutient.

J'adresse mes remerciements au personnel de notre bibliothèque du département d'architecture, pour leur assistance dans la collecte des documents en rapport à mon travail de recherche.

J'adresse à ma famille et par de la toute ma gratitude à mon père et à ma mère qui à eux seul, ont cristallisé tout au long de leurs existence non seulement tout les efforts que feraient des parents pour leurs enfants, mais surtout le sacrifice qu'on pu faire leurs génération pour que nous puissions avoir le droit d'accéder aux savoirs, car eux, du fait du joug colonial n'y avait pas eu droit. Que dieu me les protège.

J'adresse aussi mes remerciements à mes chers deux frères Kamel et Mohamed Larbi et mes adorables sœurs qui étaient toujours avec moi, qui m'ont soutenu et aidé dans les moments les plus difficiles.

A mon compagnon de vie et le père de mes enfants, mon très cher époux, qu'il trouve ici ma sincère reconnaissance, pour sa compréhension, sa tolérance, sa patience et son grand cœur ;

A mes anges Sadek Rayane, Imene et Mohamed Mehdi, qui malgré leur âge, étaient assez soucieux du mémoire de leur maman, bien qu'ils ne l'aimaient pas trop, parce qu'il les a privé de beaucoup de temps, qu'ils estiment leur appartenir, et à mon tour je trouvais que je ne pouvais jamais terminer mon mémoire vu leurs exigences incessantes et pressantes.

Mes gratitudes sont également destinées à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

## **ELABORATION D'UN GUIDE TECHNIQUE DE REHABILITATION DU PATRIMOINE (HABITAT) DE LA PERIODE OTTOMANE.**

### **Résumé :**

La richesse du patrimoine architectural de la période ottomane en Algérie, témoins d'une histoire et d'un savoir-faire riche de par son vécu et sa variété, présente aujourd'hui, des signes inquiétants de dégradation et de vieillissement qui posent de grands problèmes de réhabilitation en vue de sa préservation. Une grande partie de l'habitat de cette période se dégrade et se trouve menacer de démolition. Le manque d'outils de préservation, l'indifférence, la négligence, l'insuffisance, ou le manque d'entretien et de moyens financiers, à cela s'ajoutera aussi les transformations incontrôlées, participent à sa disparition lente et en partie à son abandon. Ce pan d'histoire mérite d'être préservé et revalorisé par les autorités publiques, locales et nationales.

La réhabilitation de ce lègue patrimonial abandonné, pourtant exceptionnel, sans connaissances suffisantes par rapport aux modes d'intervention et parfois sans le respect qui lui est dû, par le fait de manque d'intérêt et de personnel qualifié, où l'expérience a montré par le passé le plus récent que les entreprises parties à son secours se précipitant sur terrain en l'occupant avec des brouettes ,ont causé plus de dégâts que tout les facteurs naturels et humains réunis ,voulant bien faire ,sans toute fois maîtrisé la problématique des centres anciens .Les entreprises chargées des travaux ont vite transformé les chantiers de mise en valeur, en chantiers de démolition et malheureusement sans apporter un nouveau souffle à ces ensembles historique agonisant .Pour y remédier un guide technique de réhabilitation sera proposé qui permettra de cerner les méthodes les plus adéquates en vue de préserver ce patrimoine.

**Mots – clés:** patrimoine bâti, période ottomane, savoir-faire, dégradations, habitat, conservation, réhabilitation, préservation, guide technique.

# **DEVELOPMENT OF A TECHNICAL REHABILITATION GUIDE FOR THE PATRIMONY (HOUSING) OF THE OTTOMAN PERIOD.**

## **Abstract**

The wealth of the Ottoman period architectural heritage in Algeria, symbol of a history and a rich know-how thanks to its background and its variety, today presents signs of ageing and worrying levels of degradation which are causing serious rehabilitation concerns. A major part of the housing of that period degrades and finds itself threatened of demolition. Lack of conservation tools, indifference, carelessness, incapacity or lack of maintenance and financial means, added to uncontrolled transformation participate in its slow disappearance and to its partial abandonment. This piece of history deserves to be protected and revalued by public, local and national authorities.

The rehabilitation of this abandoned patrimonial legacy, although exceptional, without sufficient knowledge of intervention modes, and sometimes without the respect which is due to it, because of lack of interest and lack of qualified personnel, when most recent experiences have shown companies rushing to help and occupy the ground with wheelbarrows, have caused more damages than natural and human factors combined. When trying to help without sufficient knowledge on old specific buildings, Companies in charge of those works fast transformed these construction development sites into demolition sites and regrettably without bringing a new breath to these dying historical centers.

To remedy that, a technical rehabilitation guide will be suggested. This guide will help identify most adequate rehabilitation techniques to preserve this patrimony.

**Key words:** Patrimony of construction, ottoman period, know-how, damages, housing, conservation, preservation, rehabilitation, technical guide.

**عنوان :** إعداد دليل تقني لإعادة تهيئة التراث المعماري للحقبة العثمانية

## **ملخص:**

تعتبر هندسة التراث المعماري للعصر العثماني في الجزائر شاهدا على التاريخ و على المعرفة التي وصلت إليها هذه الحضارة, والتي أصبحت اليوم في حالة مثيرة للقلق من إهمال و تدهور حتى بات من الصعب إعادة تهيئتها و الحفاظ عليها.

جزء كبير من هذه المدن الأثرية مهددة بالانهيار و السبب يعود للتهاون و للامبالاة إضافة إلى نقص الإمكانيات المادية و البشرية , والتي أدت إلى الاختفاء البطيء لهذه الحضارة.

هذا الجزء التاريخي يستحق المحافظة عليه و إعادة تثمينه من قبل السلطات العامة و المحلية.

إن التجربة أكدت في الماضي القريب أن المؤسسات المعنية بإعادة تهيئة هذا التراث المهمل قد ارتكبت أخطاء جسيمة في حق هذه الثروة, إذ قامت بتحويل و رشات إعادة التقييم إلى ورشات تهديم دون إعطاء نفس جديد لمجموع التراث المعماري.

ولإعادة الاعتبار لهذه التروة الوطنية , نقترح في بحثنا هذا دليل تقني لإعادة التهيئة و الذي يسمح بتأطير و حصر الطرق الأكثر ملائمة للحفاظ على التراث المعماري .

**الكلمات الرئيسية :** التراث المعماري - العصر ( الحقبة) العثمانية - تدهور - مدينة - محافظة - إعادة تهيئة - الحفاظ دليل تقني.

## SOMMAIRE

# SOMMAIRE

Remerciements .....	I
Résumé .....	II
Abstract .....	III
ملخص .....	IV
<b>Chapitre Introductif .....</b>	<b>1-3</b>
<b>Premier Chapitre: Méthodologie d'une opération de réhabilitation et pratiques d'intervention</b>	
Introduction .....	4
I.1. Perspective et justification d'une politique d'intervention «la réhabilitation » .....	4
I.2. La réhabilitation en tant que processus .....	5
I.2.1. Objectifs et étapes d'une opération de réhabilitation .....	5
I.2.1.1. La connaissance .....	6
I.2.1.2. La réflexion du projet.....	6
I.2.1.3. la vie utile.....	6
I.2.2. Etapes d'une opération de réhabilitation .....	7
I.2.2.1. Le pré-diagnostic .....	7
I.2.2.1.1. Le rapport du pré-diagnostic .....	7
I.2.2.2. Etudes pluridisciplinaires (analyse.....	8
I.2.2.3 Programme d'études pluridisciplinaires.....	8
I.2.2.3.1. Domaine social.....	8
I.2.2.3.2. Domaine historique .....	8
I.2.2.3.3. Domaine architectural .....	9
I.2.2.3.4. Domaine constructif.....	10
I.2.2.3.5. Inspection des désordres.....	10
I.2.2.3.6. Relevé des désordres .....	12
I.2.2.3.7. Relevé des matériaux et techniques de mises en œuvre .....	12
I.2.2.3.8. Relevé des différentes installations .....	12
I.2.2.3.9. Relevé des abords de la construction.....	12
I.2.2.4. Diagnostic (synthèse .....	13
I.3. Pratiques d'interventions inhérentes à la préservation .....	14
I.3.1. La réhabilitation.....	14
I.3.1.1. La réhabilitation légère .....	15
I.3.1.2. La réhabilitation moyenne .....	16
I.3.1.3. La réhabilitation lourde.....	15
I.3.1.4. La réhabilitation exceptionnelle.....	15
I.3.2. L'entretien programmé (régulier).....	16
I.3.3. Entretien conservatoire .....	16
I.3.4. Entretien rénovateur .....	17
I.3.5. La préservation .....	17
I.3.6. La rénovation.....	17
I.3.6.1. L'amélioration de l'état existant .....	17
I.3.7. La mise en valeur.....	17
I.3.8. La restauration.....	18
I.3.9. La sauvegarde.....	18
Conclusion.....	18

## Deuxième Chapitre: Typologies structurelles et spatiales de l'habitat de la période ottomane

Introduction .....	20
II.1. Structure verticale «les murs porteurs et les arcatures» .....	20
II.1.1. Typologie de murs porteurs en maçonnerie de brique de terre cuite .....	21
II.1.1.1. Particularités observées dans les murs porteurs en brique de terre cuite .....	22
II.1.1.1.1. Présence de structures horizontales (rondin de thuya) dans les murs porteurs en brique de terre cuite.....	23
II.1.1.1.2. Présence d'une stratification irrégulière dans les Murs porteurs en brique de terre cuite .....	23
II.1.1.1.3. Arc de décharge dans les murs porteurs en brique de terre cuite .....	23
II.1.2. Typologie de murs porteurs en maçonnerie mixte .....	24
II.1.2.1. Différents types d'hourdage dans la maçonnerie des murs porteurs en maçonnerie mixte .....	24
II.1.2.2. Eléments de renforcement des murs porteurs en maçonnerie mixte.....	26
II.1.3. Typologie de murs porteurs en maçonnerie de pierre ou moellon de pierre calcaire .....	27
II.1.4. Nature des mortiers.....	28
II.1.5. Eléments porteurs et structure verticale flexible .....	29
II.1.5.1. Les colonnes .....	29
II.1.5.1.1. Articulation de l'arc relevé avec sa colonne .....	30
II.1.5.2. Les Arcades .....	30
II.1.6. Relation verticale .....	32
II.1.6.1. Détail de la Structure d'un escalier traditionnel .....	33
II.2. Structures horizontales.....	34
II.2.1. Fondations en maçonnerie .....	34
II.2.2. Les planchers.....	36
II.2.2.2. Les planchers à structures principale .....	37
II.2.2.3. Les planchers à structures principale en poutres équarries .....	37
II.2.2.4. Epaisseur et remplissage des planchers .....	38
II.2.3. Les voûtes.....	38
II.2.4. Les coupes.....	40
II.2.5. Les couvertures .....	41
II.2.5.1. Charpente traditionnelle à structure en bois .....	41
II.2.5.1.1. Platelage et tuiles .....	42
II.2.5.2. Couverture : plancher terrasse à structure en bois .....	43
II.3. Eléments d'architecture .....	43
II.3.1. Les revêtements de finition—enduit extérieur .....	43
II.3.1.1. Enduit à base de chaux .....	45
II.3.1.1.1. La chaux aérienne .....	45
II.3.1.1.2. La chaux Hydraulique.....	46
II.3.1.2. Composition de l'enduit extérieur .....	46
II.3.1.3. Les enduits en terre.....	46
II.3.2. Enduit intérieur.....	46
II.3.3. Les revêtements aux sols.....	47
II.3.4. Ornementation intérieure .....	48
II.3.5. Décors et éléments de façades.....	48
II.3.5.1. Ouvertures et éléments de façade extérieure .....	49
II.3.5.1.1. Typologie de portes dans la médina de la période ottomane .....	49
II.3.5.1.2. Chambranles de portes en marbre .....	49
II.3.5.1.3. Chambranles de portes en tuf.....	50
II.3.5.1.4. Les encorbellements.....	50
II.3.5.2. Décors à l'intérieur du patio .....	51

II.3.5.2.1. Les arcades .....	52
II.3.5.2.2. Les balustrades .....	53
II.3.5.2.3. Le marbre blanc .....	53
II.3.5.2.4. Les fenêtrés .....	53
II.3.5.2.5. Les portes intérieures .....	54
II.3.6. Les linteaux .....	54
II.4. Typologies spatiales et schéma architectural de l'habitation traditionnelle .....	55
II.4.1. Schéma d'organisation de la maison .....	57
II.4.1.1. Typologie maison Aloui .....	57
II.4.1.2. Typologie maison à Chbeck .....	58
II.4.1.3. Typologie maison à portique .....	59
Conclusion.....	60

### **Troisième Chapitre : Pathologies des matériaux et des structures**

Introduction .....	61
III.1-La dégradation du cadre bâti .....	62
III.2. Pathologies humides .....	63
III.2.1. Le ruissèlement .....	63
III.2.2. La condensation .....	63
III.2.3. Les remontées capillaires .....	64
III.3. Dégradation des matériaux .....	64
III.3.1. dégradation de la surface des murs .....	64
III.3.2. Pathologies affectant les enduits .....	65
III.4 Dégradation des éléments de décorations et de finitions.....	67
III.4.1. Dégradation des éléments en marbre et tuf.....	67
III.4.1.1. Les facteurs physiques .....	67
III.4.1.2. La contrainte thermique.....	67
III.4.1.3. L'action des sels .....	68
III.4.1.4. Les facteurs physico-chimiques .....	68
III.4.1.5. Dangerosité des produits manipulés .....	69
III.4.1.6. Les interventions incorrectes.....	70
III.5. Pathologies affectant les éléments structurels en bois.....	70
III.5.1. Pathologies dues à des origines physiques.....	72
III.5.1.1. Le retrait du bois .....	72
III.5.1.2 Fissurations graves et ruptures des assemblages.....	73
III.5.1.3. Défaillance structurelle du bois.....	73
III.5.2. Pathologies dues à des origines biologiques.....	73
III.6. Pathologies affectant les éléments structurels en maçonnerie de pierre .....	74
III.6.1. Remaniement effectué sur les murs .....	75
III.6.2. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité .....	76
III.6.2.1. Action de l'eau sur les éléments en argile.....	76
III.6.2.2. Action du gel et du dégel.....	79
III.6.3. Les altérations par des organismes biologiques.....	79
III.6.3.1. Action des algues et lichens .....	80
III.6.3.2. Action des végétaux supérieurs (arbres et plantes).....	80
III.6.4. Action de la pollution atmosphérique.....	81
III.6.4.1. Effet de la pollution atmosphérique sur les propriétés du parement en pierre.....	82
III.6.5. Autres formes de dégradation (la compatibilité pierre mortier/la compatibilité pierre-pierre).....	83
III.6.5.1. La compatibilité pierre mortier.....	83
III.6.5.2. Compatibilité pierre-pierre .....	84
III.6.6. Dégradation de la pierre due aux charges et aux tensions mécaniques .....	84
III.6.6.1. Actions des charges mécaniques .....	84

III.6.6.2. Action de la variation de température .....	84
III.6.6.3. Action mécanique (entraînant l'apparition de fissures dans le mur) .....	84
III.7. Pathologies structurelles dans les constructions aux murs épais .....	86
III.7.1. Pathologie coplanaire des parements du mur .....	86
III.7.1.1. Pathologie causé par une trop forte compression sur une large partie du mur .....	86
III.7.1.2. Manifestation de désordres causés par des charges ponctuelles .....	86
III.7.1.3. Manifestation de désordres causés par manque de rigidité des éléments collaborant .....	87
III.7.1.4. Manifestation de désordres causés par des différences de charges entre les murs transversaux .....	87
III.7.1.5. Manifestation de désordres causés par, Différence de rigidité entre les matériaux composant les murs mixte .....	88
III.8. Impact des tassements de l'ensemble « mur +fondations » .....	88
III.8.1. pathologie dues au mouvement différentiel des fondations .....	88
III.8.2. Fissuration des murs engendrés par les déformations des planchers .....	89
III.8.2.1. Ecrasement due à une charge localisée .....	89
III.8.2.2. Désordres et déformations induites par les fissures dans le mur renforcées par les tassements et les poussées d'ouvrages portés .....	89
III.8.2.2.1. Le basculement .....	90
III.8.2.2.2. Le flambement .....	90
III.8.2.2.3. Bombement et bouffement .....	90
III.8.2.2.4. Les ventres .....	90
III.9. Pathologie apparent sur le plan transversal aux parements du mur .....	90
III.9.1. Fractures internes verticales au niveau de la section du mur .....	91
III.9.2. Ecrasements et bombements au niveau des murs de façade .....	91
III.9.3. Déformations et fissures causées par les poussées des voûtes .....	91
III.10. Déformations, salissures et lésions dues aux causes externes .....	92
III.10.1. Pathologie atteignant l'enveloppe de la construction .....	92
III.10.1.1. Pathologies des murs de façade .....	92
III.10.1.1.1. salissures et lésion occasionnées par la présence de micro-organismes .....	93
III.10.1.1.2. Salissures occasionnées par la pollution atmosphérique .....	93
III.10.1.1.3. Dégradation des menuiseries d'ouverture (portes et fenêtres) .....	94
III.10.1.1.4. Dégradation affectant le toit .....	94
.Conclusion .....	94

## **Quatrième Chapitre : techniques et méthodes de réhabilitation**

Introduction .....	96
IV.1. Traitement de l'humidité .....	97
IV.1.1. Traitement contre les remontées d'eau par capillarité .....	97
IV.1.1.1. Par sciage dans le mur .....	97
IV.1.1.2. Par injection d'imperméabilisants (la résine à l'état liquide) .....	97
IV.1.1.3. Par extraction de l'eau introduite dans les murs .....	98
1. Par siphons atmosphériques .....	98
2. Par procédé Knapen .....	98
3. Par procédé Abal .....	99
IV.1.1.4. Imperméabilisation du mur contre les infiltrations latérales .....	99
IV.1.1.5. Le système de drain .....	100
IV.1.1.6. Le système de drain ventilé .....	101
IV.1.2. Traitement de l'humidité de condensation par ventilation .....	101
IV.1.2.1. Doublage ventilé .....	101
IV.1.2.1.1. Doublage ventilé du terre-plein .....	102
IV.1.2.1.2. Doublage ventilé des murs .....	102
IV.2. Action au niveau des sols .....	102
IV.2.1. Traitement des sols par des additifs .....	102

IV.2.1.1. Stabilisation des sols par ajout de liant : la chaux .....	102
IV.2.2. Amélioration de la portance du terrain par injections .....	103
IV.2.2.1. Injection classiques .....	104
IV.2.2.2. Injection de claquage .....	105
IV.2.2.3. Amélioration des caractéristiques du sol par injection et compactage .....	106
IV.3. Réhabilitation des structures horizontales et verticales dans la construction .....	106
IV.3.1. Les étalements .....	106
IV.3.2. Réhabilitation des structures horizontales dans la construction .....	107
IV.3.2.1. Réhabilitation des fondations .....	107
IV.3.2.1.1. Phase de l'intervention en sous œuvre .....	107
IV.3.2.1.2. Méthode et technique de consolidation .....	108
IV.3.2.1.3. Mode de blindage à prohiber .....	110
IV.3.2.1.4. Renforcement des fondations préexistantes .....	110
IV.3.2.1.4.1. Renforcement sous fondation par sous-œuvre en maçonnerie .....	110
IV.3.2.1.4.2. Reprise en sous œuvre de tout un mur de façade .....	111
IV.3.2.1.4.3. Reprise en sous œuvre par puits alternés .....	111
IV.3.2.1.5. Renforcement en sous œuvre par élargissement du mur porteur .....	112
IV.3.2.1.5.1. Renforcement en sous œuvre par élargissement de la fondation avec des poutres adhérentes en béton armée .....	113
IV.3.2.1.5.2. Renforcement de la fondation par poutres transversales .....	113
IV.3.2.1.6. Renforcement sous fondation profondes par des pieux en béton armé .....	114
IV.3.2.1.6.1. Pieux adhérents accolés aux deux côtés du mur .....	115
IV.3.2.1.6.2. Pieux adhérents accolés d'un seul côté du mur .....	115
IV.3.2.1.7. Renforcement sous fondation par des micro-pieux .....	115
IV.4. Réhabilitation des planchers .....	116
IV.4.1. Traitement au niveau du plancher .....	117
IV.4.1.1. Traitement du bois constituant le plancher par des substances .....	117
IV.4.1.1.1. Traitement du bois infecté par les champignons .....	117
IV.4.1.1.2. Traitement du bois infecté par les insectes .....	118
IV.4.1.1.3. Traitement du gauchissement et des fentes .....	119
IV.4.2. Traitement de la poutre porteuse .....	119
IV.4.2.1. Restauration de la poutre par renforcement .....	119
IV.4.2.2. Renforcement de solives porteuses par adjonction de profilés métalliques .....	120
IV.4.2.3. Restauration des extrémités des poutres (au niveau de leurs appuis .....	122
IV.4.2.3.1. Traitement au niveau de l'encastrement des solives .....	122
IV.4.3. Renforcement de planchers en bois en conservant la structure existante .....	123
IV.4.4. Renforcement de planchers en bois en conservant la structure existante par l'utilisation d'élément de renfort .....	123
IV.4.5. Reconstitution de toiture plate à partir d'une dalle en béton de chaux armée .....	123
V.5. Réhabilitation des constructions en maçonnerie .....	124
IV.5.1. Traitement des déformations des murs .....	124
IV.5.1.1. Traitement de voûte .....	126
IV.5.1.1.1. Cas de voûte enterrée .....	124
IV.5.1.1.2. Renforcement de voûte non enterrée .....	124
et surchargée (emploi des cintres)	
IV.5.1.1.3. Cas de voûte en péril –restauré en agissant sur la forme .....	125
IV.5.1.2. Traitement du déchaussement .....	125
IV.5.1.3. Traitement des efflorescences .....	126
IV.5.1.4. Traitement du salpêtre terreux (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> Ca .....	126
IV.5.2. Remplacements partiel ou total des pierres altérées .....	127
IV.5.2.1. Restauration de parties subsistantes .....	128
IV.5.2.1.1. Cohésion par injection de résines .....	128

IV.5.3. Techniques réparatrices des désordres dans le cours du mur .....	129
IV.5.3.1. Colmatage des fissures de largeur $\leq 2$ mm .....	129
IV.5.3.1.1. Reprise des coups de sabre ; fissure dépassant les 10 mm de large .....	129
IV.5.3.1.2. Reprise des fissures par injection .....	131
IV.5.3.1.3. Reprise des fissures inclinées transversales.....	132
IV.5.4. Reprise et renforcement au niveau des intersections de murs .....	132
IV.5.4.1. consolidation des intersections.....	133
IV.5.4.2. utilisation des fers plats pour liaisonner les murs .....	133
IV.5.4.3. Utilisation et pose de tirants, précontrainte extérieure .....	134
IV.5.4.3.1. Pose de tirants en renforcement du système d'arcature.....	135
IV.5.5. Renforcement des arcs, des voûtes et des coupoles	
avec des barres d'acier « taxidermie .....	135
IV.5.6. Renforcement par absorption des poussées inclinées « les contreforts .....	136
IV.5.7. Renforcement des murs structurants	
« enveloppe de la construction » par chainage .....	136
IV.5.8. Renforcement des murs avec des barres d'acier « taxidermies .....	136
IV.5.9. Reprise au niveau des bouffements .....	137
IV.5.10. Renforcement par enduit « mortier et grillage armé » .....	137
IV.5.11. Renforcement du mur par gainage au béton armé .....	138
IV.6. Renforcement de la structure porteuse par des polymères à fibre renforcée (PFR .....	139
IV.7. Réhabilitation des éléments en marbre et en tuf.....	140
IV.8. Le ravalement des façades.....	143
IV.8.1. Technique de ravalement des façades.....	144
IV.8.1.1. Ravalement de façades en pierre.....	145
IV.8.1.2. Ravalement de façades en brique de terre cuite .....	145
IV.8.1.3. Ravalement de façades recouvertes d'un enduit .....	145
IV.8.1.4. Traitement de finition par des hydrofuges de surface .....	146
IV.8.2. Méthode indiquée pour le ravalement (nettoyage) des façades .....	146
IV.8.2.1. Projection d'un brouillard alterné avec des phases de brossages –Nébulisation .....	146
IV.8.2.2. Le sablage .....	146
IV.8.2.2.1 Le micro - sablage .....	146
IV.8.2.3. L'hydrogommage .....	147
IV.8.3. Application de la peinture .....	147
Conclusion .....	148
<b>Conclusion Générale .....</b>	<b>149</b>
<b>Références bibliographiques .....</b>	<b>152</b>

## CHAPITRE INTRODUCTIF

## INTRODUCTION

Notre patrimoine bâti, reflet de plusieurs périodes, diversifié, se voit aujourd'hui affronter à l'usure du temps, en particulier celui de la période ottomane, même ayant bénéficié d'un intérêt particulier. Riche mais morcelé et fatigué, il se voit marqué en même temps par un manque d'entretien et d'interventions maladroites. L'insalubrité, le manque d'entretien, la dégradation du cadre de vie de ses habitants, sous la pression démographique pour ne citer que cela contribuent fortement à sa déperdition. Même la casbah d'Alger, citée classée en tant que patrimoine mondial en 1992 par l'UNESCO, n'a échappé à ce mal et est longtemps resté à la phase des travaux d'urgence, poussant les résidents eux même à intervenir d'une façon anarchique et inappropriée.

Face à ces dégradations, la nécessité de préserver ces legs s'est imposée et des projets de réhabilitation ont vu le jour, malheureusement, sans résultat probant, car faites de manière inadaptée souvent en rupture ou en inadéquation avec les techniques du passé, sans connaissances approfondies du bâti en question du point de vue organisationnel, spatial et structurel, et cela en premier lieu, par l'absence d'outils méthodologiques (*guide technique de réhabilitation*), permettant de mener une opération de réhabilitation correcte et contribuer à l'amélioration de cet état de fait, et ce dans la logique des politiques de résorption du cadre bâti vétuste, en associant la notion « **mieux vaut réhabiliter que reconstruire, mieux vaut améliorer que refaire** ».

Le guide de réhabilitation technique reste un outil indispensable pour la réussite de toute opération de réhabilitation sur le terrain. Il se compose d'une méthodologie d'approche qui consiste en un diagnostic, l'étape primordiale d'une opération de réhabilitation, à travers lequel un examen minutieux permettra de détecter les carences et les potentialités de la construction, passant obligatoirement par les phases du pré-diagnostic basé sur l'observation et une connaissance sur les caractéristiques du bâti en question, au cours duquel on découvrira le système constructif et les matériaux utilisés «les typologies structurelles et spatiales», les pathologies qui les affectent guideront la nature ainsi que la manière d'intervenir autrement dit, dans le respect de ses caractéristiques et valeur architecturales. Il arrive que par manque d'éléments pour la compréhension de cette construction, que l'on passe à une étape d'étude pluridisciplinaire qui touchera plusieurs domaines à savoir: architectural, historique, social et constructif. Le diagnostic viendra clôturer par une synthèse prédisant les défaillances et les pathologies affectant ses structures et ses matériaux, qui permettront d'apporter les réponses adéquates. L'hypothèse mieux connaître pour intervenir est sans aucun doute la clé de voute de la réussite dans l'élaboration d'un guide technique de réhabilitation.

## I. Problématique spécifique

Le patrimoine architectural de la période ottomane, répondant à une codification la rattachant à l'aire culturelle arabo-musulmane, est confronté à l'usure du temps et est presque totalement oublié. Ces centres anciens, qui gardaient leur cohérence et leur harmonie, tant que les pratiques conservaient les mêmes méthodes de bâtir, se voit de nos jours en prise aux changements brutale des techniques constructives et de nouveau matériaux, sans aucun ménagement pour l'héritage historique. Pendant l'occupation coloniale, les médinas ont connu, notamment après la destruction des remparts, une série de transformations ayant touché les plans d'alignements, d'aménagement et les extensions. Ces centres historiques ont été volontairement assimilés à des ensembles d'habitat précaire, où le rôle destructif de l'homme, tout au long des siècles d'ailleurs, tient une place prépondérante.

L'observation in situ (Casbah d'Alger et de Delys) nous a permis de remarquer que le caractère typologique du bâti ottoman avait été affecté, en plus de l'absence d'entretien, par des transformations et des densifications, empiriques, anarchiques et non contrôlées, ayant entraîné une plus grande vulnérabilité du bâti. L'analyse des causes, à l'origine de cette situation, nous a conduit à conclure que cela était, en grande partie, la conséquence de l'absence d'outils méthodologique d'intervention (*guide technique de réhabilitation*), lequel aurait permis d'effectuer des opérations de réhabilitation pertinentes d'une part et aurait autorisé, d'autres part, l'élaboration d'un capital de connaissances concernant les centres historiques. Base de données et savoir-faire utiles à de futures actions de sauvegarde et de mise en valeur de ce patrimoine bâti.

## II. Hypothèses

En réponse à la problématique de la vulnérabilité du patrimoine bâti de la période Ottoman nous avançons les hypothèses suivantes:

La dégradation du cadre bâti de la période Ottoman est le fait :

- du manque d'outil méthodologique et de politique de réhabilitation favorisant sa préservation et améliorant les conditions de vie des habitants ;
- d'une réhabilitation, basée sur aucun fondement scientifique (le diagnostic), faite sans connaissances des caractéristiques du bâti (différentes typologies spatiales et structurelle ainsi que des matériaux de base et leur processus de dégradation), des interventions de manière fragmentaire, dénuée de cohérences loin des savoir-faire.

## III. Objectifs de la recherche

En réponse à notre problématique nous nous fixons les objectifs suivants :

- ✘ De mettre à la disposition des pouvoirs publics et des spécialistes du patrimoine « **un guide technique de réhabilitation** », qui permettra une intervention en adéquation avec ce patrimoine, dans le respect de ses caractéristiques esthétiques et patrimoniales;
- ✘ D'acquérir une meilleure connaissance sur l'organisation spatiale, la conception technique, ainsi que les matériaux utilisés dans le bâti à l'époque ottomane, en répertoriant les typologies structurelles et spatiales les plus usuelles;
- ✘ D'analyser les facteurs et les mécanismes de dégradations dont souffrent les structures et les matériaux utilisés afin d'apporter des solutions et intervenir de manière respectueuse du bâti ancien.

### III-Présentation du guide technique de réhabilitation du patrimoine bâti (Habitat) de la période Ottoman

Le guide technique de réhabilitation, est un outil, basé sur une stratégie et une méthodologie, dont l'objectif est d'aider les différents intervenants concernés par la réhabilitation du patrimoine architectural lié à la période ottomane (début du 16<sup>ème</sup> siècle jusqu'au début du 19<sup>ème</sup> siècle).

Cet outil comprend une étude des caractéristiques et des typologies structurelles et spatiales (matériaux et technique constructives et schémas d'organisation spatiale les plus usuelles) de façon à proposer, après identification des pathologies, des réponses de renforcement ou de consolidation, cohérentes et compatibles avec les techniques constructives et les matériaux (compatibilité physico-chimique) originels. Il a pour objectif de promouvoir la connaissance des valeurs de cette architecture au moment de l'intervention et permettra au projeteur une bonne orientation dans ses choix de matériaux et des techniques, en cohérence avec les éléments constitutifs de ce patrimoine bâti, de ce fait une réhabilitation efficace et respectueuse en continuité avec les techniques du passé.

Ce guide part du principe de base que si l'on ne connaît pas, on ne peut pas intervenir, et par conséquent on ne peut pas réhabiliter. Il s'articulera donc sur trois parties complémentaires à savoir :

- Une méthodologie d'intervention ;
- L'étude des typologies structurelles et spatiales ;
- Les pathologies en rapport à ces typologies;
- La proposition de remèdes appropriés à ces pathologies en vue d'une réhabilitation correcte.

PREMIER CHAPITRE  
METHOLOGIE D'UNE OPERATION  
DE REHABILITATION ET PRATIQUES  
D'INTERVENTION

## Introduction

La réhabilitation est un processus d'intervention sur le bâti ancien, pour améliorer les conditions de vie des habitants sans porter atteinte aux valeurs patrimoniales de l'édifice. L'entretien, la préservation et la restauration sont aussi des opérations en plus de réhabilitation visant à rendre à des degrés différents, le bâti à son état d'origine, selon les objectifs à atteindre. La réhabilitation pourra, selon le cas et l'état de conservation du bâti ancien, connaître quatre niveaux d'intervention aussi importante l'une que l'autre : la réhabilitation légère (touchant l'enveloppe –nettoyage et réfection légère/au côté esthétique), la réhabilitation moyenne, la réhabilitation lourde et exceptionnelle qui englobe les interventions sur les structures verticales, horizontales et les fondations<sup>1</sup>.

Afin de faire aboutir ce processus de réhabilitation et arriver à une intervention en adéquation, on se familiarisera par des examens attentifs sur l'état de conservation de l'objet d'étude, ce qui aidera au bon choix quand aux travaux à entreprendre, il arrive que l'on se voit obligé de passer par la phase de l'étude pluridisciplinaire en vue d'une meilleure compréhension de l'œuvre architecturale, qui touchera plusieurs domaines : l'architecture, l'histoire, le social et le génie civil. Cette pluridisciplinarité interviendra sur les relevés tels que le relevé architectural, des désordres, des abords de la construction ainsi que le relevé photographique qui restera le seul témoin si l'objet en question venait à disparaître.

### 1.1. Perspectives et justification d'une politique d'intervention «la réhabilitation»

La préservation et la mise en valeur de l'architecture traditionnelle des centres historiques ou autre ne sont pas les seuls objectifs d'une opération de réhabilitation, mais aussi l'amélioration des conditions de vie des habitants<sup>2</sup>. Elle est justifiée par des problèmes sociaux, urbanistiques, économiques, environnementaux et patrimoniaux comme :

1. *Perspective sociale*: lutter contre la pauvreté, développer la cohésion sociale, éviter l'exclusion des usagers;
2. *Perspective urbanistique*: revitaliser les tissus résidentiels, améliorer les conditions d'habitabilité, revaloriser un environnement dégradé, rénover et améliorer les infrastructures;
3. *Perspective économique*: dynamiser et diversifier les activités économiques, améliorer l'attrait de la zone de sa propre ville ou région;
4. *Perspective environnementale*: améliorer la qualité environnementale de l'ensemble;
5. *Perspective patrimoniale*: conserver et mettre en valeur le patrimoine.

---

<sup>1</sup> Méthode Réhabimed pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Réhabimed, Aout 2005.

<sup>2</sup> Idem.

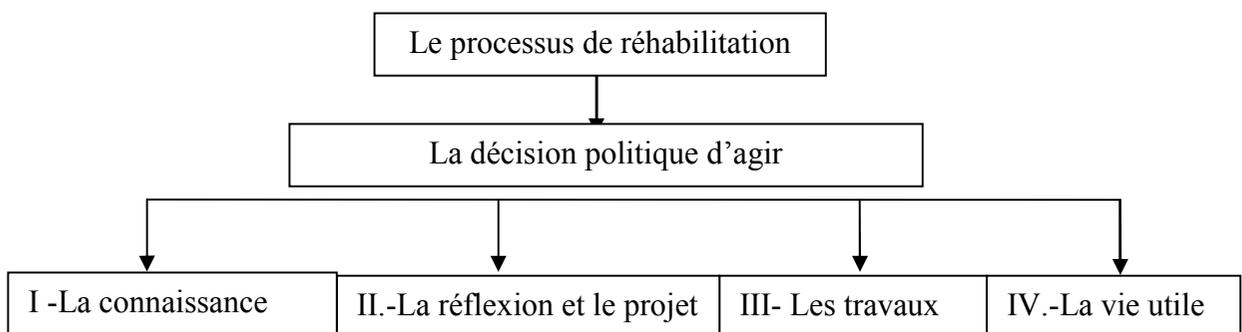
## I.2. La réhabilitation en tant que processus

C'est au début des années 70, que la prise de conscience dans la nécessité d'intervenir pour la récupération des zones urbaines s'est faite ressentir, dont le but des interventions était d'élaborer des stratégies préservatrices du patrimoine architectural et urbain et de revitaliser les villes après leur abandon, suite à des politiques urbanistiques expansionnistes. L'intervention étant spécifique, il est donc impossible d'élaborer un modèle de référence permettant d'établir des instruments d'intervention universels<sup>3</sup>. La réhabilitation doit être un moyen d'adaptation du bâti aux nouvelles normes de vie contemporaine, en conservant et promouvant, ses valeurs patrimoniales<sup>4</sup>.

### I.2.1. Objectifs et étapes d'une opération de réhabilitation

La réhabilitation répond à un processus méthodique de transformation et d'intervention programmé avec des objectifs clairs et bien définis, exigeant une action et une évaluation continue en adéquation avec les mutations de la zone considérée et de ces habitants pour une atteinte de confort minimum<sup>5</sup>. Pour en définir et hiérarchiser ses étapes, une étude approfondie de l'objet d'étude sera nécessaire, où le bâtiment sera étudié d'un point de vue architectural et constructif, de manière à comprendre tous les éléments architecturaux et architectoniques le composant, les relever, analyser ses matériaux de construction, son système constructif et organisationnel afin d'en cerner les techniques constructives et atténuer sinon effacer l'usure du temps, par une connaissance en la matière.

Toute intervention doit partir du principe de base: «si l'on ne connaît pas, on ne peut pas réfléchir et par conséquent on ne peut pas réhabiliter»<sup>6</sup>. Dans la pratique courante le processus de réhabilitation se schématise comme suit:



**Schéma 1.1:** Les quatre phases successives dans un processus de réhabilitation correcte

<sup>3</sup> N. Bouche. La réhabilitation en France. Les procédures les outils (ANAH), Paris.2000.

<sup>4</sup> Méthode réhabiMed pour la réhabilitation. Op cité

<sup>5</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH), Les aspects sociaux de l'amélioration de l'habitat ancien: Les opérations programmées, politique, bilan et expérience.

<sup>6</sup> Méthode réhabiMed pour la réhabilitation Op cité.

### I.2.1.1. La connaissance

L'opération de réhabilitation ne peut se faire sans une connaissance du bâtiment, de son environnement et de ces occupants. Elle s'effectue en deux étapes à savoir :

- ✓ les préliminaires : à travers un pré-diagnostic donnant une première idée objective de l'objet de l'intervention (le bâtiment et ses usagers);
- ✓ L'étude pluridisciplinaire : découverte du bâtiment basée sur une enquête disciplinaire soignée où seront analysés les domaines social, historique, architectural et constructif.

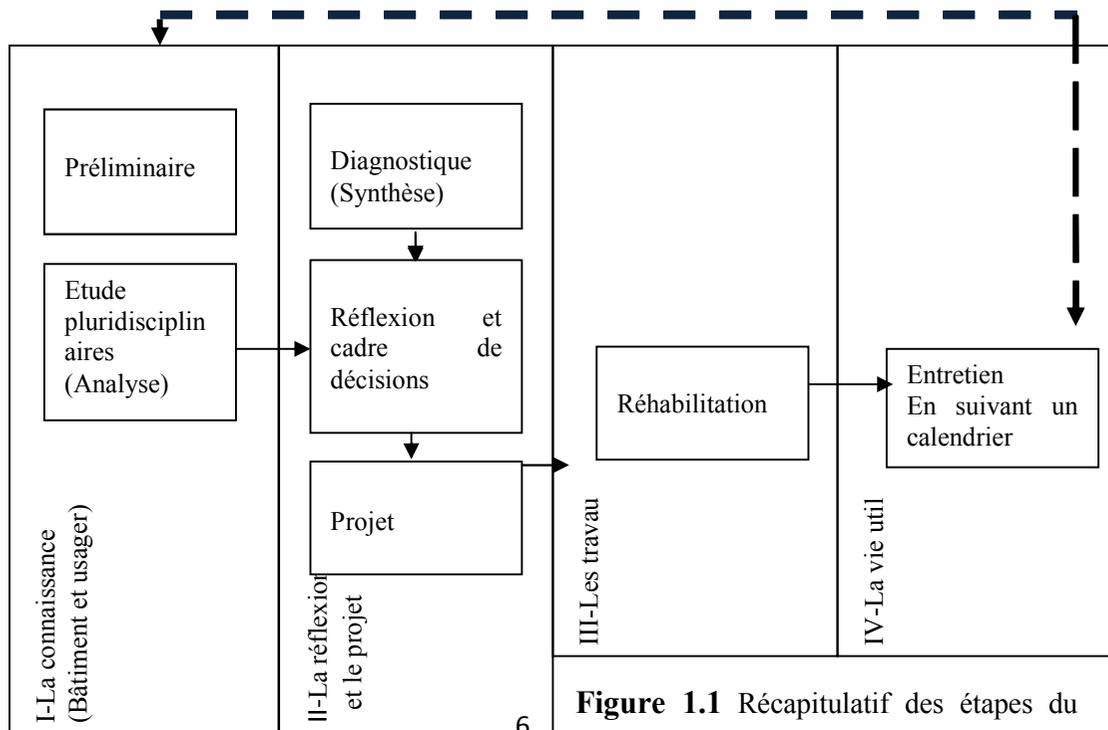
### I.2.1.2. La réflexion du projet

S'effectue en trois étapes après une connaissance du bâtiment et de ses usagers à savoir:

- ✓ Le diagnostic (synthèse): individualisation des problèmes, leurs causes, basé sur la synthèse des informations recueillies afin d'évaluer les potentialités et le déficit du bâtiment;
- ✓ Réflexion et cadre de décision : confirmation des critères de l'intervention, pour la réalisation des travaux compatibles avec la réalité du bâtiment tenant compte de ces valeurs patrimoniales;
- ✓ Le projet : rédaction du rapport sous forme de document de projet.

### I.2.1.3. La vie utile

L'entretien par de petites opérations de nettoyage, de réparation, et une inspection périodique pour en détecter ses déficits, ses nouveaux besoins et qu'il ne recommence pas à se dégrader, après sa réhabilitation.



**Figure 1.1** Récapitulatif des étapes du processus de réhabilitation

## I.2.2. Etapes d'une opération de réhabilitation

Intervenir de manière correcte sur un bâtiment, revient à identifier et rationaliser les interventions par rapport aux besoins des propriétaires, suivit d'une étude approfondie de l'objet d'étude, qui passera obligatoirement par trois phases à savoir: le pré-diagnostic, les études pluridisciplinaires et le diagnostic.

### I.2.2.1. Le pré-diagnostic

Point clé de l'étape d'inspection<sup>7</sup> du bâtiment, par une observation des désordres, on découvre le système constructif, les valeurs architecturales, les pathologies qui l'affectent, qu'elles soient d'ordre constructifs ou d'habitabilités<sup>8</sup>. On accordera particulièrement une attention aux descentes de charges et les parcours de l'évacuation des eaux, en effectuant une observation soigneuse quand aux effets de l'humidité et identifier son origine (sols, toitures, canalisation en mauvais état, condensation)<sup>9</sup>. Cet examen attentif permettra de déterminer la cause et la gravité d'éventuels désordres, une évaluation optimale des moyens à mettre en œuvre pour sa réhabilitation<sup>10</sup>. Parallèlement investiguer sur le statut légal du bâtiment afin de connaître les obligations et les restrictions urbanistiques dont il est l'objet (classification, autorisation et affectations de la planification urbanistique, degré de cataloguassions, de protection, hypothèques et recensement, etc.). Le degré de protection patrimoniale de la zone proprement dite et/ou du bâtiment, ainsi que détecter les statuts légaux des occupants du bâtiment: locations à loyer modéré logements occupés, sous loués<sup>11</sup> etc.

#### I.2.2.1.1. Le rapport du pré-diagnostic

Après la détection des déficits et des potentialités du bâtiment, le rapport du pré-diagnostic est établi par écrit, il devra évaluer son état de conservation, mettant en exergue sa qualité résidentielle potentielle<sup>12</sup>. Deux cas de figures peuvent être rencontrés dans l'intervention sur le bâtiment à savoir :

- ✓ ne présente pas d'altérations importantes, aucun changement important n'est prévu, on passe à son entretien, en élaborant un plan d'entretien préventif ;

---

<sup>7</sup> Méthode réhabiMed pour la réhabilitation op.cité.

<sup>8</sup> G. Duval, Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.

<sup>9</sup> Jean Coignet, Arts de bâtir traditionnels: connaissance et techniques de réhabilitation, EDISUD, Aix-en-Provence, 1987.

<sup>10</sup> Idem.

<sup>11</sup> N. Bouche. La réhabilitation en France. Les procédures les outils (ANAH), Paris.2000.

<sup>12</sup> Jean Coignet, Arts de bâtir traditionnels : connaissance et techniques de réhabilitation, EDISUD, Aix-en-Provence, 1987

- ✓ sinon passer à la phase d'études pluridisciplinaires, pour établir un diagnostic des bâtiments dont la structure porteuse est altérée, qui définira les origines de ses altérations, les moyens et les dispositifs à mettre en œuvre avant d'entamer sa réhabilitation<sup>13</sup>.

### I.2.2.2. Etudes pluridisciplinaires (analyse)

Phase de recueil d'informations, pour une connaissance et une compréhension de l'objet à étudier (dans sa consistance historique, physique, culturelle, esthétique...)<sup>14</sup>. Le succès de ces études est lié à la compétence de l'intervenant, à sa manière de les mettre en pratique et les diriger. Dans certain cas cette étape, devra être appuyée de tests spécialisés, en particulier pour des désordres importants observés, où des études spécifiques seront définies par le pré-diagnostic.

### I.2.2.3 Programme d'études pluridisciplinaires

A ce moment du processus on tient compte de l'échelle de l'intervention qui se fait en mode échelonné, basé sur des hypothèses émises lors du pré-diagnostic, auxquelles des études abordables et cohérentes seront planifiées, ce qui permettra la vérification ultérieure des premières établies. Ce programme d'étude touchera plusieurs domaines dont le social, l'historique, l'architectural, l'économique et le constructif<sup>15</sup>.

#### I.2.2.3.1. Domaine social

Les aspects socio-économiques sont basés sur l'enquête sociologique (détecter la situation sociale et problématique des unités familiales<sup>16</sup> : entassement, marginalisation, chômage, abandon, etc.)<sup>17</sup>. Un relogement éventuel sera planifié selon le type d'intervention<sup>18</sup>. La préservation de l'architecture traditionnelle est tributaire des études anthropologiques afin de documenter les manières d'habiter, et les rendre compatibles au différent mode de vie<sup>19</sup>.

#### I.2.2.3.2. Domaine historique (Etude historique et documentaire)

Il aide à fixer des critères d'intervention mieux fondés dans la réhabilitation car, d'une part la méthode historique/enquête dans les sources documentaires archives notariales, archives familiales, photographies anciennes aideront à sa compréhension et son évolution à travers ses

---

<sup>13</sup> Idem.

<sup>14</sup> Méthode RehabiMed .Op. Cité.

<sup>15</sup> Idem.

<sup>16</sup> Idem

<sup>17</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH), Les aspects sociaux de l'amélioration de l'habitat ancien : les opérations programmées, politique, bilan et expérience.

<sup>18</sup> Idem

<sup>19</sup> Méthode RehabiMed .Op. Cité

transformations<sup>20</sup>. D'autre part le bâtiment est un document historique, où on lit et on comprend son évolution, il peut être étudié comme culture matérielle par la méthode archéologique<sup>21</sup>, parallèlement à son relevé graphique tel que (plan, coupe, façade, plan cadastrale etc.)<sup>22</sup>. L'histoire orale et les récits appuyés sur des textes décrivant l'architecture du bâtiment, son organisation en plan, le nombre d'étage, la répartition des logements et les techniques de construction traditionnelles<sup>23</sup> utilisées constitue des renseignements très utiles. Les éléments propres à l'étude sont<sup>24</sup>:

- ✓ analyse des matériaux : forme, type, gabarit, appareillage et origine géographique;
- ✓ analyse des enduits et mortiers: composition physico-chimique, couleurs, stratification permettant l'identification, le repérage des transformations du bâti et remaniements (perçement et rebouchage d'ouvertures,..., etc).

#### I.2.2.3.3. Domaine architectural

La réhabilitation, la restauration ou la consolidation d'un patrimoine bâti, n'est possible que si un relevé géométrique de l'état des lieux (bâtiment et son environnement direct)<sup>25</sup> est effectué. Un ou plusieurs types de relevé nous permettrons d'atteindre un degré de précision : (graphique, architectural, photographique) avec une bonne documentation photographique ou vidéographique qui amènera plus de détails. Le relevé pourra être manuel, avec un mètre-ruban ou photogrammétrique, fait avec beaucoup de rigueur du fait qu'il est la base de données nécessaires à l'analyse architecturale du bâtiment et des travaux postérieurs prévus.

Le relevé architectural permet une connaissance et une compréhension du bâtiment, de son architecture. Il s'effectue par une reproduction sur la base d'un dessin, conformément à l'état existant à savoir: ses dimensions, ses proportions, son tracée géométrique, son mode de construction<sup>26</sup>. Il permet aussi l'inspection des valeurs architecturales du bâtiment (l'intégration dans le lieu, la configuration spatiale, une structure singulière, un type d'ornementation, etc.). Les appréciations devront être faites en consultant au préalable les

---

<sup>20</sup> J.P. Saint Aubin, Le relevé et la représentation de l'architecture .Relevés, dessins et Photographies, Documents et méthodes n° 2, Paris, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, 1992.

<sup>21</sup> C. Arnauld et J. Burnouf, l'archéologie du bâti médiéval urbain, les nouvelles de l'archéologie n°53-54.

<sup>22</sup> E. Rouger, Du principe d'analyse stratigraphique à l'archéologie d'élévation. Réflexion et méthode, dans Archéologie Médiévale. Paris 1998.

<sup>23</sup> F. Journot, Archéologie du bâti, dans la construction .les matériaux durs : pierre et terre cuite, coll. « Archéologiques », Paris, France, 2004.

<sup>24</sup> René Dinkel, L'Encyclopédie du patrimoine (Monuments historiques, Patrimoine bâti et naturel-protection, restauration, réglementation. Doctrines-techniques-Pratiques), éditions Les Encyclopédies du patrimoine, Paris, septembre 1997.

<sup>25</sup> J. P. Saint Aubin. Op. Cité.

<sup>26</sup> J-P Saint Aubin. Op. Cité

études déjà réalisées sur la typologie du bâtiment, et dans certains cas effectuer des études des aspects singuliers du bâtiment.

La stratigraphie est déterminée à travers un relevé enrichi par l'étude des transformations architecturale du bâtiment, basé sur l'étude historique, du fait qu'il subit des transformations en conséquence des besoins et des moyens de chaque époque (phases d'évolution dans sa construction/aux traces de reprise et ses transformations (entretien, réhabilitation)<sup>27</sup>.

Le parement qui caractérise l'architecture traditionnelle (couleur, texture, irrégularité des façades et des intérieurs) nécessitera une participation pluridisciplinaire du faite que l'utilisation des couleurs et des peintures, exigent une étude de base historico-artistique à la fois constructive des techniques traditionnelles d'exécution, traduite par l'analyse architecturale afin d'en comprendre les caractéristiques spécifiques: rapport des dimensions, modules, typologie architecturale, valeurs spatiales, ainsi que le repérage des parties originelles des transformations postérieurs.

Un relevé correct digne d'un support (documents) de base d'une intervention devra s'effectuer en plusieurs phases<sup>28</sup> utilisant les trois méthodes de relevé graphique à savoir: le relevé manuel, le relevé instrumental ou topographique et le relevé photogrammétrique<sup>29</sup>.

✓ **Relevé manuel:** consiste à prendre des mesures en utilisant les instruments de mesure classique: décamètre, niveau à eau, jalons d'alignement, fil à plomb, boussole...etc. Il sera dessiner en (croquis de tous les plans, les coupes et les élévations de la construction sur lesquelles seront reportées les dimensions et des indications descriptives, des commentaires ou des remarques prises sur chantier appelées minute de chantier<sup>30</sup>;

✓ **Dessin graphique:** développement du croquis, en dessin technique à échelle, on indiquera l'orientation le nord, la localisation, la date du relevé et son auteur<sup>31</sup>;

✓ **Relevé topographique:** consiste à utiliser des instruments de mesure optique pour le relevé des points inaccessibles<sup>32</sup> pour complément de vérification du relevé manuel ;

✓ **Relevé photogrammétrique:** documentation photographique illustrant l'état des lieux au moment du relevé, donnant plusieurs informations sur la volumétrie de l'édifice ainsi que

---

<sup>27</sup> F. Journot, Archéologie du bâti, Op. Cité.

<sup>28</sup> Livio de Luca. Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Méthodes, formalismes et outils pour l'observation dimensionnée d'édifices, in revue MIA, journal Vol.0, n°1.Mars 2006.

<sup>29</sup> J Coignet, Arts de bâtir traditionnels : Connaissance et techniques de réhabilitation, EDISUD, Aix-en-Provence, 1987.

<sup>30</sup> Méthode RehabiMed. Op. Cité

<sup>31</sup> J-P Saint Aubin. Op. Cité

<sup>32</sup> J Coignet, Arts de bâtir traditionnels, Op.cité.

les détails, les couleurs et les matériaux utilisés<sup>33</sup>, sur l'état du bâti reporté sur papier à l'aide de la photographie. Contrairement aux plans et aux élévations du relevé graphique qui cache beaucoup de connaissances. Utilisé aussi dans le cas de points inaccessibles.

#### I.2.2.3.4. Domaine constructif

Consiste en la reconnaissance de tous les éléments structuraux et constructifs du bâtiment et l'observation de ses lésions. La sécurité structurelle du bâtiment pourra être évaluée par une connaissance du sous-sol nécessitant une étude géotechnique, et l'analyse de la cohérence structurelle de l'ensemble, la capacité de résistance de la structure en vérifiant la connectivité du bâtiment (état et position) avec les infrastructures de base (réseaux d'assainissement, d'eau potable, d'électricité...).

La reconnaissance des éléments constituant le bâtiment, les désordres les affectant ainsi que l'observation des lésions y résultant, ne pourra s'effectuer qu'à travers l'inspection et le relevé des désordres, le relevé des matériaux et les techniques de mise en œuvres utilisées, le relevé des installations existantes et des abords de la construction.

#### I.2.2.3.5. Inspection des désordres

L'inspection visuelle s'effectue, pour déceler l'origine du désordre de part sa forme, la nature des déformations et leurs évolutions. L'inspection systématique des éléments constituant la construction sera effectuée du général vers le détail. Il arrive qu'elle ne suffise pas et donc une assimilation d'instrument de mesure précise sera nécessaire. L'inspection s'effectuera essentiellement sur les :

1. installations nouvelles et leurs impact sur le support (réseau électrique et sanitaire, nouveau matériau de construction, antennes et paraboles);
2. façades afin de déterminer les caractéristiques constructives des différentes étapes de sa construction ainsi que leurs influences sur la conservation et la stabilité de la structure ancienne;
3. propriétés des matériaux constitutifs, leur dimensionnement, leur mode d'appareillage et leur mise en œuvre;
4. couvertures, système constructif (plancher en bois, voute, charpentes en bois...), l'état des canalisations, des évacuations des eaux pluviales et des eaux usées, on vérifiera leur inclinaison, leur raccordement au réseau public ainsi que leur capacité;
5. conditions de confort à l'intérieur de la maison, hygrométrie, thermique et acoustique.

---

<sup>33</sup> Joaquin Monton. Application de la photographie digitale. Faire le relevé du bâti ancien in publication et Méthode réhabiMed. Op.cité.

#### I.2.2.3.6. Relevé des désordres

Consiste à réaliser une cartographie précise des désordres apparents tels (fissure et humidité), affectant les murs porteurs et les planchers à travers un examen attentif au niveau de la façade. Cette étude permet de préciser et localiser les lésions (direction, profondeur, causes à l'origine), les aplombs ou gonflement des murs, le degré des salissures (salpêtre ou cloquage de l'enduit) indiquant une présence d'humidité, leurs sens et dimension<sup>34</sup>, le degré d'altération et l'état de conservations de la construction et de stabilité au moment du relevé sera donnée avec précision grâce à la récolte de ces données. Les problèmes relatés devront être étudiés aussi scientifiquement que possible pour cela les intervenants seront assistés par un ensemble d'experts, chimistes, géologues, biologistes..., des sondages in situ seront effectués par un prélèvement d'échantillons, qui seront analysés au laboratoire<sup>35</sup>.

#### I.2.2.3.7. Relevé des matériaux et techniques de mises en œuvre

Permet de révéler les pathologies affectant les matériaux constitutifs en définissant leur nature, leur dimension, leur propriétés physiques, chimiques et mécaniques, leur état de conservation et leur degré d'altération<sup>36</sup>, les causes de leur altération: (climat, pollution, mouvement sismique, gel-dégel, action de l'eau, mouvement du sol...) et découvrir les différentes interventions: (entretien ou réhabilitation antérieure au cours desquels on a utilisé d'autres matériaux sans connaissances au préalable de leur compatibilité chimique ou physique avec les matériaux d'origine<sup>37</sup>).

#### I.2.2.3.8. Relevé des différentes installations

Il consiste à relever les installations existantes dans la construction, (eau, gaz, électricités) et identifier les rajouts, par rapport aux besoins de confort, mais surtout d'en définir l'incidence sur sa stabilité et son esthétique, ainsi que sa carence en matière d'installations d'équipements (inexistence ou la défaillance du réseau d'assainissement).

#### I.2.2.3.9. Relevé des abords de la construction

Permet de détecter l'origine de certains désordres, causés par l'environnement extérieur telle que l'eau de mer, la pollution de l'air, les pluies acide, fumée d'usine, humidité, concentration des sels, vibrations et bruits (réseaux routiers, aéroports, et chemin de fer)<sup>38</sup>.

---

<sup>34</sup> J.P. Saint Aubin. Op. Cite.

<sup>35</sup> CERTU/DHC. La Gestion des patrimoines immobiliers publics. Pré-diagnostic et approche opérationnelle. CERTU, Octobre 1995.

<sup>36</sup> F. Journot. Op. Cite

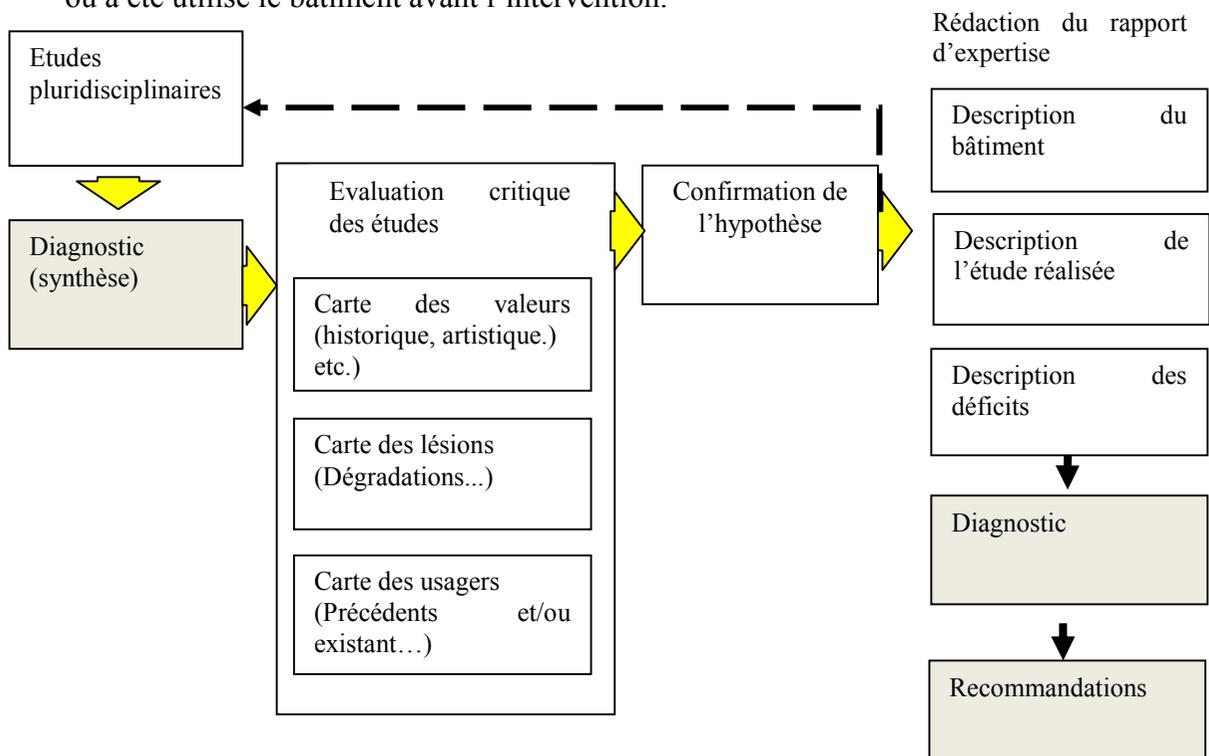
<sup>37</sup> Idem.

<sup>38</sup> Agence qualité construction (A Q C), premier regard sur l'état général d'un bâtiment, les aspects extérieurs et leur environnement.

#### I.2.2.4. Diagnostic (synthèse)

Etape tributaire d'un travail, basé sur des études pluridisciplinaires. Ordonner l'information est une étape primordiale en la fixant graphiquement sur le relevé géométrique complet du bâtiment qui sera complété par un relevé structurel qui permettra de noter les techniques constructives, les particularités et les désordres. Au cours de ses phases de relevé, on effectue des sondages, qui permettront de connaître la structure des planchers, l'état de leurs appuis, l'amplitude des déformations avec ou sans désordres, le dessin des fissures. Cet examen attentif permettra d'identifier des états architecturaux antérieurs, en particulier les surélévations et les modifications des percements<sup>39</sup>. Ces informations permettront de constituer trois types de cartes<sup>40</sup> :

- ✓ la carte des valeurs où l'on notera les valeurs spatiales, de couleur, historiques, artistiques de chaque partie ou de l'ensemble du bâtiment;
- ✓ la carte des déficits où l'on notera la problématique sociale, les prestations du bâtiment, les lésions et les dégradations;
- ✓ la carte des usages précédents et/ou existants sur laquelle on portera la manière dont il est ou à été utilisé le bâtiment avant l'intervention.



**Figure 1.2.** Schéma récapitulatif de la phase du diagnostic

<sup>39</sup> Jean Coignet, Arts de bâtir traditionnels connaissance et techniques de réhabilitation, EDISUD, Aix-en-Provence, 1987.

<sup>40</sup> RéhabiMed. Bulletin trimestriel du projet pour promouvoir la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Avril 2006.

### I.3. Pratiques d'interventions inhérentes à la préservation

« L'architecture mineure devient partie intégrante d'un nouveau monument, l'ensemble urbain ancien : une ville historique qui constitue en soi un monument, par sa structure topographique comme par son aspect paysager, par le caractère de ses voies comme par l'ensemble de ses édifices majeurs et mineurs, aussi comme pour un monument individuel, il conviendra de lui appliquer identiquement les lois de protection et les mêmes critères de restauration, de dégagement, de réfection et d'innovation »<sup>41</sup>. Pour la mise en valeur de l'habitat ancien, la question est comment faire de cet habitat une médiation entre la politique de l'habitat et celle de la protection du patrimoine. Toutes les expériences menées jusqu'au jour d'aujourd'hui sont restées insatisfaisantes quand aux opérations simplistes et isolées pour une prise en charge intégrative de l'habitat ancien dans une stratégie d'ensemble.

#### I.3.1. La réhabilitation

C'est une initiative publique ou privée destinée à la récupération d'un patrimoine construit (patrimoine architectural et urbain). Elle se différencie radicalement de la « rénovation » des années 60 : irruption brutale et négation du contenu social des centres anciens<sup>42</sup>, visant toujours à redonner usage aux bâtiments dont la majorité ne dispose pas du moindre type de protection patrimoniale, par la récupération et la mise à jour d'une fonction perdue ou endommagée en conciliant l'amélioration du fait d'habiter<sup>43</sup>.

La réhabilitation est devenue depuis quelque année l'un des moyens importants de la politique urbaine. Pour les villes moyennes elle constitue un outil de revitalisation économique, sociale et culturelle, c'est de cette manière qu'elle a permis d'intégrer l'habitat ancien dans le marché de la production de l'habitat, tout autant que dans la construction neuve. Mais elle ne doit pas conduire à une « disneylisation » du site ou à une ville-musée vidée de ces habitants ou encore devenir simplement une attraction touristique<sup>44</sup>.

Les solutions proposées dans une opération de réhabilitation, selon la gravité des dégâts observés, et après une étape de diagnostic peut connaître quatre niveaux d'intervention aussi importante l'une que l'autre. La réhabilitation légère, moyenne, lourde et exceptionnelle selon le rapport Nora<sup>45</sup> sur l'amélioration de l'habitat ancien<sup>46</sup>.

---

<sup>41</sup> Françoise Choay, Ed seuil op, cité p 110.

<sup>42</sup> M. Segaud, C. Bonvalet, J. Brun « Configurations architecturales et urbaine de l'habitat par Daniel Pinson » (paru dans « logement et habitat; l'état des savoirs », Ed La découverte, Paris 1998. pp298-304. <http://page.perco-orange.fr/d.pinson.urb/reppen/faulogement/htm>).

<sup>43</sup> Méthode Rehabimed architecture traditionnelle méditerranéenne I. Réhabilitation ville et territoire/F. Choay et p Merlin : Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, Edition PUF, 1988.

<sup>44</sup> Document pdf, la définition d'une stratégie pdf « Régénération urbaine enjeux d'une revalorisation du cadre bâti dans le sud ouest algérien », Sandra Guinand .p 164.

<sup>45</sup> N. Simon, E. Berrand, rapport sur l'amélioration de l'habitat ancien, Paris 1995.

### I.3.1.1. La réhabilitation légère

C'est une intervention sur des habitations assez bien conservées en vue d'en améliorer ou de doter cette dernière de nouveaux équipements, comme l'installation d'équipements sanitaire y compris les canalisations, d'électricité, la remise en état des peintures accompagnant ces agencements, elle ne concerne pas les interventions sur les parties communes de l'habitation ou l'installation de chauffage centrale. Afin d'éviter le déplacement éventuelle des habitants il sera impératif de veiller au bon déroulement du chantier par l'application de disposition particulières dans l'organisation de ce dernier.

### I.3.1.2. La réhabilitation moyenne

C'est une opération s'appliquant sur des habitations dont la structure porteuse ne présente pas de défaillances particulières. Elle vise à la doter de nouveaux équipements et/ou installations s'accompagnant de travaux, comme la réfection des peintures et des systèmes électriques, l'installation de systèmes de climatisation et de chauffage, qui généralement n'induisent pas de grand remaniement à l'intérieur du logement par la modification de cloisonnement contrairement à la réhabilitation légère, elle peut comprendre une intervention induisant de légers travaux sur les parties communes de l'habitation tels que la remise à neuf des peintures de la cage d'escalier et le ravalement de la façade sans reprise de toiture.

### I.3.1.3. La réhabilitation lourde

C'est une opération qui en plus des travaux cités précédemment comprend une redistribution des logements par étage et/ou des pièces dans le logement; l'intervention sur les parties communes de l'habitation est plus complète elle comporte en plus du ravalement des façades la réfection des toitures. Ce sont des travaux qui touchent le gros œuvre induisant des reprises de maçonnerie, de charpente et parfois de plancher.

### I.3.1.4. La réhabilitation exceptionnelle

C'est une opération d'intervention très lourde et très délicate, elle nécessite le déplacement des occupants en vue de remettre en état un bâti présentant un degré d'altération très important comprenant le renforcement des structures ou leurs remplacements si le besoin est par endroit (cage d'escalier, toiture; étanchéité, ) il arrive que cette dernière aille jusqu'à la reprise de structure porteuse de l'habitation si la stabilité de cette dernière s'avère atteinte en profondeur.

---

<sup>46</sup> Soukane .S. Préservation du patrimoine colonial (habitat) du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation. Mémoire de Magister, sous la direction de Mr Dahli M .UMMTO, mai 2010.

### I.3.2. L'entretien programmé (régulier)

L'entretien programmé est : « une action continue destinée à maintenir tout ou une partie d'un ouvrage sans modifications majeures de l'utilisation et de la valeur culturelle, il désigne un ensemble d'interventions simples et régulières appliquées sur un bâtiment par des moyens réduits qui puissent atténuer sinon supprimer les sources de dégradation qu'elles soient naturelles, aléas climatiques et/ou séisme ou bien anthropiques liés à l'usage, permettant ainsi l'utilisation d'un bâtiment dans la durée »<sup>47</sup>. Il est défini aussi par la charte de Burra<sup>48</sup> comme « l'action qui prodigue des soins protecteurs à la matière et au contexte d'un lieu ou d'un bien patrimonial ».

Cet entretien est assimilé à la réparation d'éléments endommagés action dite d'entretien corrective, mais il sera plus efficace et rentable de réaliser une action d'entretien préventive planifiée<sup>49</sup>, qui signifierai l'intervention sur un élément avant sa détérioration par la réalisation d'un calendrier gérant ses opérations d'entretien.

Aujourd'hui, l'entretien programmé est apparu pour désigner et confirmer que le processus d'entretien doit être incéré dans la gestion permanente du site et des bâtiments par des actions d'entretien concrète entre autre. Et à titre d'exemple:

- ✓ la protection des terrasses par une étanchéité adéquate selon la situation géographique et les conditions climatiques, et rétablissement des systèmes d'écoulement des eaux ;
- ✓ protection des surfaces les plus fragiles ;
- ✓ rétablissement de l'intégrité des surfaces (Façades) ;
- ✓ effectuer un désherbage et vérifier le bon drainage des eaux pluviales sur les sites.

### I.3.3. Entretien conservatoire

L'entretien conservatoire, privilégie une conception purement conservatrice de l'œuvre architecturale. P. Marconi juge ce mode d'entretien comme la plus inoffensive et respectueuse forme de rapprochement de l'édifice. Dans ce sens, il le préconise souvent en vue de la prévention et de l'élimination des dégradations.

Les principales causes de dégradations observées, lors de nos investigations in situ, sont essentiellement attribuées aux carences de ces pratiques anciennes inhérentes à l'entretien conservatoire. La déperdition des pratiques de badigeonnage à la chaux des surfaces ou de réparation des parties endommagées des murs (les enduits), ont engendré de graves altérations.

---

<sup>47</sup> M. Richa, « Les références générales de la restauration ». Op. Cité.

<sup>48</sup> Charte de Burra, charte d'ICOMOS Australie pour la conservation de lieux et de biens patrimoniaux de valeur culturelle; 1988.

<sup>49</sup> J. Perret, guide de la maintenance des bâtiments, édition le moniteur, Paris ,1995.

### I.3.4. Entretien rénovateur

L'entretien rénovateur fait appel aux opérations de reconstruction, de restauration, de récupération de réfection ou de consolidation. Ces pratiques intervenaient essentiellement sur les grandes demeures, en continuité avec la culture conservatrice locale. Il arrive que le recours à l'entretien rénovateur ne soit pas effectué, sans pour autant engendrer dans certains cas, des perturbations dans l'état de leur conservation.

### I.3.5. La préservation

F. Choay la définit comme : « action globale de protection du patrimoine architectural et naturel, contre l'action destructrice des hommes, par une législation appropriée et sa conservation dans le temps à l'aide de techniques d'entretien, de consolidation et de restauration, pouvant elles aussi ressortir une codification légale »<sup>50</sup>. Elle s'impose lorsque par manque de données, on se voit contraint à une conservation sous une forme où, la substance du lieu sous son état présent constitue en lui-même le témoignage d'une signification culturelle. Les techniques qui pourraient dénaturer cette signification culturelle ne sont pas tolérées<sup>51</sup>.

### I.3.6. La rénovation

Elle vise à redonner aux centres dégradés, une structure et une architecture compatible avec les exigences de l'hygiène et de l'esthétique<sup>52</sup>. Elle n'autorise pas d'effectuer n'importe quelle transformation et se fait dans le respect de la vocation de l'ensemble à rénover<sup>53</sup>.

#### I.3.6.1. L'amélioration de l'état existant

Elle consiste en une intervention sur l'état technique et les équipements en consolidant les structures existantes, en aménageant et en équipant les lieux par des équipements nécessaires répondant aux besoins et aux aspirations nouvelles pour assurer le confort dans le dit lieu.

### I.3.7. La mise en valeur

Elle a pour objectif la présentation du patrimoine à un public d'en tirer un profit par opposition à la conservation qui ne comprend pas d'opérations économiques<sup>54</sup>. F. Choay qualifie d'inquiétant<sup>55</sup> que l'on y intègre la notion de plus-value d'attractivité aux incidences économiques en plus des plus-values d'intérêt d'agrément et de beauté.

---

<sup>50</sup> F. Choay et P. Merlin. Op. Cite.

<sup>51</sup> Charte Burra, art 11 et 12.

<sup>52</sup> L. Jacqui gnonet, Y. M. Danan, Le droit de l'urbanisme Ed. EYROLLES, 1978.

<sup>53</sup> Idem.

<sup>54</sup> Boukhalfa K, Sauvegarde du patrimoine culturel dans le contexte du développement durable: cas de la ville de Bejaia, Mémoire de Magister, sous la direction de Mr Dahli M. UMMTO, Juin 2009.

<sup>55</sup> F. Choay, L'allégorie du patrimoine, Ed du Seuil .Paris 1992.

### I.3.8. La restauration

Ensemble d'opérations qui a « pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques du monument, elle est fondée sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques »<sup>56</sup>. Elle vise à régénérer les tissus anciens présentant un intérêt historique, artistique, ou culturel dans le respect de la trame existante et de l'architecture des bâtiments qui doivent être remis en état<sup>57</sup>. Les éléments destinés à remplacer les parties manquantes doivent s'intégrer harmonieusement à l'ensemble, faisant appel aux techniques modernes de conservation et de construction dont l'efficacité ont été démontrée par des données scientifiques et garantie par l'expérience et le principe de lisibilité et distinguabilité afin que l'intervention ne falsifie pas le document d'art et d'histoire dans sa lecture<sup>58</sup>.

### I.3.9. La sauvegarde<sup>59</sup>

C'est une action qui ne vise pas seulement à fixer l'état existant mais à créer aussi une certaine animation sociale à l'intérieur de la ville traditionnelle, tout en lui conservant sa valeur culturelle et symbolique; à travers la volonté de conserver le plus possible de maisons d'habitation on traduit le reflet de cette sauvegarde qui permettra de servir à de larges couches sociales cela une fois que leur mise en valeur est faite.

## Conclusion

*L'opération de réhabilitation, en architecture en général et du bâti ancien en particulier, est un des moyens d'améliorer les conditions de vie des habitants en le ramenant aux normes d'habilité, exigeant la conservation de ces valeurs d'authenticité traduites à travers sa typologie (organisation spatiale, système constructif, matériaux, etc.). L'état et le degré de dégradations dans lequel se trouve le bâti en question déterminera la nature de l'intervention préconisé à savoir: la réhabilitation légère, moyenne, lourde ou exceptionnelle.*

*C'est une opération qui nécessite une approche méthodologique permettant d'intervenir de manière efficace et correcte, en se rapprochant au maximum de la réalité du bâti, afin de contribuer à sa protection et à sa mise en valeur. Elle consistera donc en l'élaboration du diagnostic de l'état de sa conservation qui passera obligatoirement par des phases successives et complémentaires tels le pré-diagnostic à travers lequel on se familiarise avec*

---

<sup>56</sup> Charte de Venise 1964-Article 9

<sup>57</sup> L. Jacquignon et Y.M. Danan, le droit de l'urbanisme Ed EYROLLES l'appréciation de la qualité .1978.

<sup>58</sup> Charte de Venise : Charte internationale sur la conservation et la restauration des Monument et des sites, présentée lors d'IIIème Congrès international des architectes et des techniciens des monuments historiques, Venise, 1964. Adoptée par ICOMOS en 1965.

<sup>59</sup> W. Ostrowski in les ensembles historiques de l'urbanisme.

*le bâti, les études pluridisciplinaires permettant une connaissance approfondie sur le plan historique, architectural, constructif et socio-économique. Le diagnostic, permettant l'identification des pathologies, qu'elles soient d'ordre structurel ou en rapport avec sa stabilité et enfin proposer des solutions de reprise totale ou partielle ou de consolidation, de façon à promouvoir une réhabilitation adéquate et efficace respectueuse du point de vue de ses caractéristiques architecturales, esthétiques et patrimoniale.*

DEUXIEME CHAPITRE  
TYPOLOGIES STRUCTURELLES ET SPATIALES DE  
L'HABITAT DE LA PERIODE OTTOMANE

## Introduction

Dans ce chapitre nous présentons les différentes typologies structurelles et éléments architecturaux du patrimoine habitat relatifs à la période Ottomane en Algérie. Ce travail a été élaboré à la suite d'un recensement fait, sur la base de recherche documentaire et par investigation sur terrain à travers différents sites où ont été entreprises des opérations de réhabilitation, de restauration ou de démolition. L'état de dégradation dans lequel se trouve aujourd'hui ce patrimoine mineur (maisons), nous a aidés dans l'identification des matériaux de constructions et la lecture des techniques constructives. Etant diversifiées et variées, nous n'en présenterons que les plus récurrentes dans les centres historiques, ces techniques constructives seront utilisées comme références aux techniques les plus usuelles.

L'ensemble de ces typologies et composantes structurelles des constructions en maçonneries sera décomposé en différentes structures reparties comme suit:

- La structure verticale (les murs porteurs et les arcatures);
- La structure horizontale (les fondations, les planchers et les couvertures);
- Les éléments architectoniques (les encorbellements).

Durant cette période, plusieurs matériaux ont été utilisés, nous citons la brique de terre cuite, la chaux, la pierre (équarries ou moellons), la terre, la terre glaise, le sable, le marbre, le tuf, le bois, les clous. Les graviers sont utilisés dans leurs états d'origine, parfois ils sont mélangés pour constituer des mortiers (sable, terre et la chaux), ou des enduits (la chaux et le plâtre)<sup>1</sup>. Ces matériaux sont apparents surtout au niveau des constructions démolies sur site.

### II.1. Structure verticale «les murs porteurs et les arcatures»

La structure verticale des constructions auxquelles nous nous référons sont de types traditionnels. On y trouve essentiellement des structures porteuses (murs en maçonnerie) généralement appareillées en briques de terre cuite mais peuvent ne pas être homogènes. Elles peuvent être aussi bâties en pierre. Ces dernières se composent généralement de murs épais construits avec les matériaux disponibles sur le site, la brique de terre cuite et la pierre équarrie, ou moellon, constituent les matériaux de base. Après un premier examen, nous constatons que les murs se différencient entre eux par l'aspect de leur parement révélé sur les maisons détruites lors du séisme du 21 mai 2003, ou par l'état des enduits induits par le vieillissement ou la dégradation dû aux variations de températures, infiltration d'eau ou bien par la présence de champignons et de sels marins. Ces murs portent fréquemment des traces

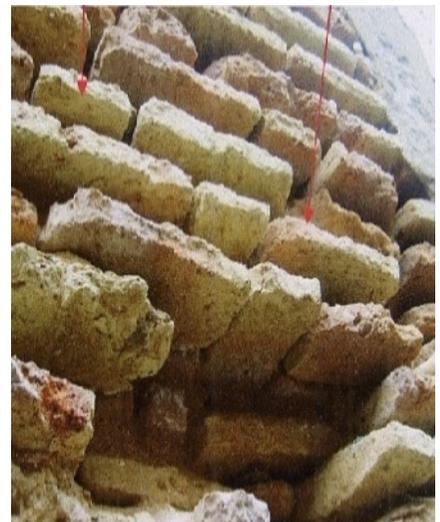
---

<sup>1</sup> Dr Thomas Shaw, Voyage dans la régence d'Alger au XVIII<sup>ème</sup> siècle. Traduit de L'anglais par E. Mc .Carthy (1830) « préparation des mortiers et substances pour coller le bois », Ed Grand Alger, livres, Alger 1830

de remaniements successifs (période coloniale et précoloniale). La superposition de ces murs n'a pas toujours été effectuée avec une grande précision (défaut d'aplomb). Ces derniers comportent aussi des structures en bois comme les linteaux au dessus de toutes les ouvertures fenêtres et portes, qui souvent, sont encadrées d'un chambranle en pierre. Parfois le linteau est surmonté d'un arc de décharge qui peut se trouver aussi au niveau des Kbou, des niches, des portes et des fenêtres, voire des chainages entiers. On y trouve aussi une structure verticale flexible représentée par un système d'arcatures composées de plusieurs éléments, parmi elles les colonnes et les arcades. Ces structures en maçonnerie mouvementées par les arcatures, les plates bandes et les linteaux sont associées à des planchers constitués de solives en bois. Continus dans leurs implantations, ces murs développent des liaisons structurelles. Ils sont le témoignage le plus vivant de l'architecture traditionnelle ottomane. Longtemps après son abandon et l'effondrement des toitures et des planchers, les murs sont encore debout comme pour témoigner de la pérennité de ce patrimoine. Dans les constructions types, les éléments constructifs jouent un rôle structurel, chacun d'entre eux épaulant l'autre. Les murs sont d'épaisseur variable, le plus épais, donc le plus chargé, se trouve au plus bas, d'une épaisseur variant de 40 à 80 cm au rez de chaussée et de 30 à 60 cm aux étages<sup>2, 3</sup>. Ces épaisseurs ainsi que leur poids augmentent leurs inerties et permettent de remarquables qualités d'isolation acoustique et thermique. Ces maçonneries sont hourdées avec des mortiers de chaux à prise lente.

### II.1.1. Typologie de murs porteurs en maçonnerie de brique de terre cuite

Ces murs de briques de terre cuite sont constitués de deux parement entre lesquels est damé un mortier à base de chaux, de terre, de pierrailles et de végétaux<sup>4,5</sup>. La brique utilisée est généralement de forme et d'aspect régulier, conçu avec une argile de qualité variable et d'assise de différentes dimensions (10×3×30 cm; 10×2,5×30 cm, 10×2,5×27 cm)<sup>6</sup>, (Photo 2.1.). Le mur ainsi conçu est souvent hourdé avec un mortier à base de chaux aérienne ou hydraulique et parfois ajouté à de la terre crue,



**Photo 2.1:** Mur détérioré hourdé en double parois de brique

<sup>2</sup> N. Ouargueli, « Les villas fahs d'Alger. » Mémoire de magistère. EPAU. Alger.

<sup>3</sup> Atelier Casbah (1980). Projet de valorisation de la casbah d'Alger. Plan d'aménagement Préliminaire. Ed Ministère de l'Habitat et de la construction

<sup>4</sup> Idem.

<sup>5</sup> Atelier Casbah (1980). Op. Cité.

<sup>6</sup> Idem

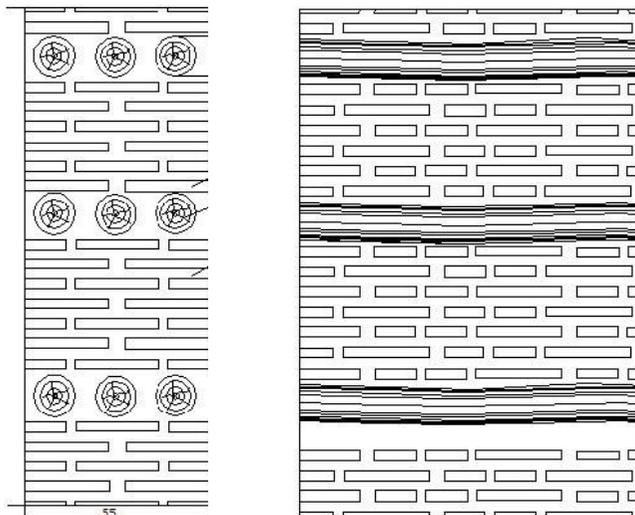
dont l'épaisseur peut aller de 2,5 cm à 3 cm<sup>7</sup>. Ce type de mur est appelé « un opus tectaceum »<sup>8</sup>. Cette technique constructive est utilisée dans la réalisation des murs intérieurs et des murs extérieurs qui varient en épaisseur allant de 0,60 m et pouvant atteindre 1,20 m. Leurs épaisseurs semblent découler davantage du choix de leur appareillage en profondeur (deux à trois rangées ou même une rangée d'éléments).

#### II.1.1.1. Particularités observées dans les murs porteurs en brique de terre cuite

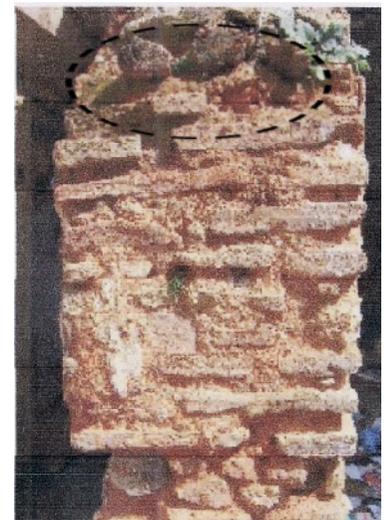
Dans ce type d'appareillage, la maçonnerie est réalisée par deux parois de briques de terre cuites de dimensions variables (3×10×20) cm, liée par un mortier de chaux et de sable, entre lesquelles est disposé un tout venant sur une épaisseur de 60 cm<sup>9</sup>. Ces techniques constructives vernaculaires amortissent et dispersent les chocs graduellement jusqu'à ce qu'ils s'annihilent, telles des ondes. On observe:

- Des rondins de thuya répartis en strates quasi régulières;
- Existence d'une stratification irrégulière en arrête et en épis de briques de terre cuite;
- Présence d'arcs de décharge maçonnés.

##### II.1.1.1.1. Présence de structures horizontales (rondin de thuya) dans les murs porteurs en



**Figure 2.1:** Renforcement du mur appareillé en briques de terre cuite par des rondins de thuya



**Photo 2.2:** Renforcement du mur par rondins de thuya

brique de terre cuite

<sup>7</sup> Idem

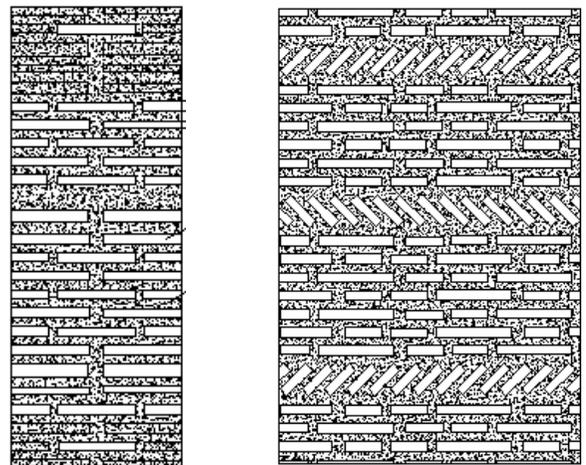
<sup>8</sup> J.P.Adam.(1989).La construction romaine .Matériaux et Technique .3<sup>ème</sup> Ed Picard .Paris.

<sup>9</sup> Atelier Casbah(1980).Op. Cité.

Des rondins de thuya en bois non équarris de diamètre allant de 8 à 13 cm, sont insérés dans toute la largeur du mur, répartis en strates quasi régulières, de couches différentes allant de 80 cm à 120 cm<sup>10,11</sup> (Photo 2.2). Utilisé pour le renforcement des angles<sup>12</sup>, le bois n'exerce aucune force de traction et assure ainsi une flexibilité dans ce dernier, qui atténue l'importance des fissures lors des sollicitations sismiques<sup>13,14</sup>, et renforce donc les murs contre les cisaillements et les inflexions. Du fait que ces murs soient constitués de deux matériaux, peuvent être assimilés à un opus testaceum renforcé ou à un opus - mixtum<sup>15</sup>. Dans cette maçonnerie rigide, cette disposition des rondins de thuya flexible joue le rôle d'un chaînage horizontal (Fig. 2.1) qui par la même occasion réduit le barycentre du mur<sup>16</sup>, et réduit les fissures lors des sollicitations sismiques ce qui préserve la construction<sup>17</sup>.

#### II.1.1.1.2. Présence d'une stratification irrégulière dans les Murs porteurs en brique de terre cuite

Deux types de strates irrégulières de briques dans l'appareillage des murs sont adoptés. L'une disposée en épis à 45° (oblique) (Fig. 2.2). ou en arrête (Fig. 2.3). L'autre à plat (horizontale) assimilé à un opus spicatum<sup>18</sup>. L'utilisation du même matériau dans cette stratification mais disposé différemment assure une diminution du barycentre, dans ces murs et réduit les fissures en cas de séisme de la même manière que dans l'opus mixtum<sup>19,20</sup>.



Figures 2.2 et 2.3: Mur à double states irrégulières horizontale et en oblique à

#### II.1.1.1.3. Arc de décharge dans les murs porteurs en brique de terre cuite

Des arcs de décharge, maçonnés en brique (arcs segments), jouent un rôle dans le renforcement de ses murs et la réduction du barycentre, augmentant ainsi leur résistance à la

<sup>10</sup> S. Missoum (2003). Alger à l'époque Ottomane. La médina et la maison traditionnelle. Ed Inas .Alger

<sup>11</sup> Revue « Vie des villes » in « Les techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger »

<sup>12</sup> Atelier Casbah(1980).Op. Cité

<sup>13</sup> A.A. Abdessemed-Foufa (2007).Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-résistantes adoptées durant le 18<sup>ème</sup> siècle dans les grandes villes du Maghreb Alger, Fès et Tunis .Thèse de doctorat en Architecture. EPAU. Alger.

<sup>14</sup> A .A Abdessemed-Foufa (2005).Contribution for a catalogue of earthquake resistant traditional techniques in Northern Africa/the case of the Casbah of Algiers. Algeria. EEEJ 2.05.Ed Patron. Bologne .Italie.

<sup>15</sup> J.P.Adam. (1989).La construction romaine .Matériaux et Technique .3 Emme Ed Picard .Paris.

<sup>16</sup> A.Lavorgna (1990).Technique et matériaux in San Lorezello à la recherche des anomalies qui protègent. Ed Ferrigni.Naples.Italie.

<sup>17</sup> A.A.Abdelssemed-Foufa (2005) et (2007) .Op. Cité.

<sup>18</sup> J.P.Adam.(1989).Op.Cité.

<sup>19</sup> A.A.Abdelssemed-Foufa (2005) et (2007) .Op. Cité.

<sup>20</sup> A.Lavorgna (1990).Op. Cité.

déformation et aux fissurations en cas de séisme<sup>21</sup>. Ces derniers jouent un rôle dans la réduction des fissures dues à la flexion de la maçonnerie (photos 2.3 et 2.4).

### II.1.2. Typologie de murs porteurs en maçonnerie mixte (de pierre ou moellon de pierre calcaire et de brique de terre cuite)

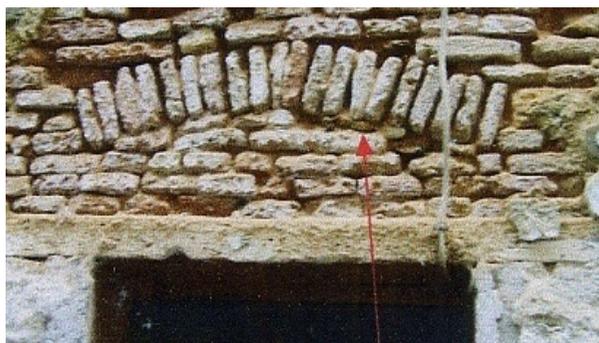
Ces maçonneries traditionnelles sont appareillées de façon hétérogène, composées de deux matériaux d'assises différentes mais régulières; la brique de terre cuite et la pierre. Pour la plupart en brique de terre cuite ou peu cuite où sont interposées des rangs de pierre (murs composites en moellon / brique de terre cuite ou pierre (tuf) / brique de terre cuite), cette maçonnerie en brique de terre cuite est aussi combinée avec la maçonnerie en pierre, qui est utilisée soit comme remplissage (fourrure en moellons brut hourdé pour les murs épais, deux parements) soit en construisant le parement extérieur en brique de terre cuite apparentes et les murs côté intérieur en moellons<sup>22</sup>, le plus fréquemment nue mais qui pourra éventuellement recevoir un enduit de protection. (Photo 2.5). L'épaisseur des murs varie en fonction des moellons utilisés et du type d'appareillage. Dans certains murs, des structures particulières apparaissent destinées à former des chainages horizontaux ou verticaux, à traiter l'encadrement des percements et en particulier le linteau en arc et en plate bande.

#### II.1.2.1. Différents types d'hourdage dans la maçonnerie des murs porteurs en maçonnerie mixte

Dans cette catégorie de murs lors de nos investigations, nous avons distingué des murs :



**Photo 2.5:** Mur en brique de terre cuite renforcé par un arc de décharge.



**Photo 2.3:** Mur en briques terre cuite renforcé par un arc de décharge.

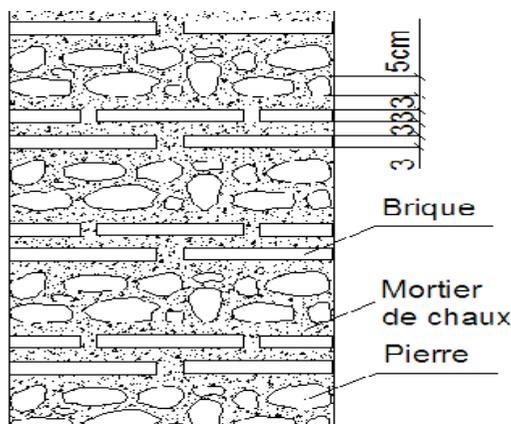


**Photo 2.4:** Mur plein en briques en terre cuite renforcé par un arc de décharge.

<sup>21</sup> Idem-et A.A. Abdelssemed Foufa (2005) et (2007) .Op. Cité

<sup>22</sup> Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée .Op. Cite.

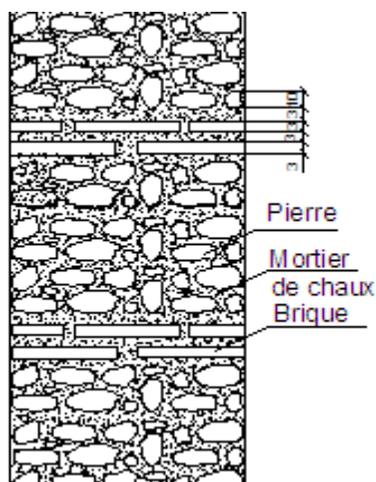
- à proportions égales d'utilisation de la pierre et de la brique de terre cuite (Photo 2.6 et



**Figure 2.4 et Photo 2.6 :** Mur mixte, à proportion égale de brique en terre cuite et de pierres (moellons).

Fig. 2.4) ;

- où l'utilisation de la pierre est majoritaire, constituant une stratification irrégulière (Fig. 2.5), ou bien constitué dans sa majorité de brique de terre cuite, ces appareillages hourdés au mortier de chaux<sup>23</sup> ;



**Figure 2.5:** Mur mixte, à grande proportion de pierre moellons.

**Photo 2.7 :** Mur mixte, à majorité de pierres angulaires de couleur bleu

- à appareillage mixte de briques de terre cuite et de pierres de couleur bleu, de dimension d'environ 40 à 45 cm de large et 20 à 30 cm de haut (Photo 2.7).

Ces murs sont appelés « opus- mixtum »<sup>24</sup>. Les éléments de brique et de pierre sont joints par appareillage de plusieurs manières, mais les plus usuels sont les doubles atteignant une épaisseur de mur allant de 40 à 55 cm, et même parfois pour les appareillages triples pouvant

<sup>23</sup> S. Missoum (2003). Alger à l'époque Ottomane, Op.cité, et Atelier Casbah(1980).Op. Cité

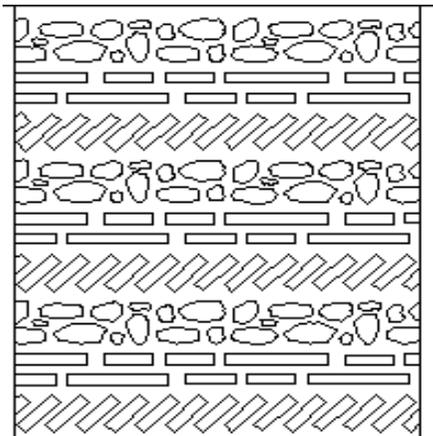
<sup>24</sup> J.P.Adam.(1989).Op. Cité.

atteindre une largeur de 70 cm. L'utilisation de ces deux matériaux différents contribue ainsi à la réduction des fissures dans les murs lors des sollicitations sismiques<sup>25,26</sup>.

### II.1.2.2. Éléments de renforcement des murs porteurs en maçonnerie mixte

Comme vu précédemment, dans le cas des murs hourdés en briques de terre cuite, quelques particularités ont aussi été observées dans ce type d'appareillage mixte. Ces murs ont, en général, une épaisseur de 55 à 60 cm<sup>27</sup> tels que :

- Deux types de strates irrégulières de briques de terre cuite dans le double appareillage de maçonnerie en brique de terre cuite et moellons (Fig. 2.6), où la maçonnerie de brique de terre cuite se présente. L'une est disposée en épis à 45° (oblique), l'autre à plat (horizontale) assimilé à un opus spicatum<sup>28</sup> ;
- Des rondins de thuya en bois non équarris de diamètre allant de 8 à 13 cm, insérés dans toute sa largeur, utilisés pour le renforcement des angles<sup>29</sup>, où le bois n'exerce aucune force de traction assurant ainsi une flexibilité dans ce dernier qui atténue l'importance des fissures lors des sollicitations sismiques<sup>30,31</sup>. Du fait que ces murs soient constitués de deux matériaux, ils peuvent être assimilés à un opus testaceum renforcés ou à un opus -



**Figure 2.6:** Mur mixte, à double strate de brique de terre cuite et de moellons



**Photo 2.8:** Mur mixte renforcé par un arc de décharge.

<sup>25</sup> A.A Abdessemed-Foufa (2005).Op. Cité.

<sup>26</sup> A.A.Abdessemed-Foufa (2007).Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-resistantes adoptées durant le 18<sup>ème</sup> siècle dans les grandes villes du magreb Alger, Fès et Tunis .Thèse de doctorat en Architecture. EPAU.Alger.

<sup>27</sup> Atelier Casbah(1980).Op. Cité.

<sup>28</sup> J.P.Adam.(1989).Op. Cité.

<sup>29</sup> S. Missoum(2003).Alger à l'époque Ottomane, Op.cité, et Atelier Casbah(1980).Op.Cité

<sup>30</sup> A.A.Abdessemed-Foufa (2007).Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-resistantes adoptées durant le 18<sup>ème</sup> siècle dans les grandes villes du magreb Alger, Fès et Tunis .Thèse de doctorat en Architecture.EPAU.Alger.

<sup>31</sup> A.A Abdessemed-Foufa (2005). Contribution for a catalogue of earthquake resistant traditional techniques in Northern Africa/the case of the Casbah of Algiers. Algeria.EEEJ 2.05.Ed Patron.Bologne .Italie.

mixtum<sup>32</sup>. Dans cette maçonnerie rigide, la disposition des rondins de thuya flexible joue le rôle d'un chaînage horizontal qui réduit le barycentre du mur<sup>33</sup> et réduit les fissures lors des sollicitations sismiques<sup>34</sup>.

Des arcs de décharge maçonnés en double appareillage de brique de terre cuite et de pierres équarries arcs segments, (Photo 2.8), pour le renforcement des murs et la réduction du barycentre, augmentant leur résistance à la déformation et aux fissurations en cas de séisme<sup>35</sup>. Ces derniers réduisent les fissures dues à la flexion de la maçonnerie mixte. Les murs des sous sol et des rez de chaussée sont généralement construit en appareillage de maçonnerie mixte.

### II.1.3. Typologie de murs porteurs en maçonnerie de pierre ou moellon de pierre calcaire

Les murs hourdés en pierre sont de plusieurs types, les plus usuels sont ceux hourdés en pierre calcaire, équarrie ou composite de moellons posés en boutisse assurant la liaison de la maçonnerie à deux rangs<sup>36</sup>. Leur épaisseur varie de 0,50 m à 0,60 m et peut atteindre 1 m. Les mises en œuvre sont celles disponibles à proximité de la construction (pierres calcaires de différentes dureté et perméabilité, de divers formes et grosseurs). C'est le matériau le plus utilisé dans ce type de mur, en appareillage à deux parements égaux entre lesquels est damé un mortier à base de chaux, de terre, de pierraille et de végétaux<sup>37</sup>, constituant le remplissage intermédiaire et assurant la liaison des deux parements (Photo 2.9). Nous distinguons aussi une stratification irrégulière de pierre dans l'appareillage des murs, disposée à plat (horizontale) assimilé à un opus spicatum<sup>38</sup>. L'autre catégorie de murs est en pierre, disposée à 45° en épis «opus spicatum»<sup>39</sup> (Photo. 2.10).



**Photo 2.9:** Mur hourdé en appareillage de pierre Casbah de Dellys.



**Photo 2.10 :** Mur à double strates irrégulières horizontale et en oblique à 45°.

<sup>32</sup> J.P.Adam.(1989).La construction romaine .Matériaux et Technique .3 ème Ed Picard .Paris.

<sup>33</sup> A.Lavorgna (1990).Technique et matériaux in San Lorezello à la recherche des anomalies qui protègent. Ed Ferrigni.Naples.Italie.

<sup>34</sup> A.A.Abdelssemed-Foufa (2005) et (2007) .Op.Cité.

<sup>35</sup> Idem-et A.A.Abdelssemed-Foufa (2005) et (2007) .Op.Cité

<sup>36</sup> J.Coignet, L.coignet. Maçonnerie de pierre, matériaux et techniques, désordres et interventions. Eyrolles.2006.

<sup>37</sup> Euromed héritage .Architecture traditionnelle méditerranéenne Op. Cité.

<sup>38</sup> J.P.Adam.(1989).Op. Cité.

On trouve également l'introduction de chaînages horizontaux en briques de terre cuite ou en pierre de taille, permettant l'amélioration des performances constructives du mur<sup>40,41</sup>.

Et de la même manière ce dispositif permet :

- La compensation des formes irrégulières des moellons en reprenant leurs assises;
- La possibilité de réduire l'épaisseur et d'élever le mur du fait que les chaînages assurent une meilleure stabilité et cohésion;
- L'encaissement sans compromettre l'équilibre de la construction des violentes sollicitations sismiques;
- La liaison des appareillages des deux parements par des pièces transversales;
- La présence de chaînage d'angle en renforcement des angles du mur réalisés en brique de terre cuite par des blocs de pierre équarris.

#### II.1.4. Nature des mortiers

Les murs sont souvent hourdés au mortier à base de chaux et de terre et parfois associé à une quantité de sable<sup>42</sup>. Des tessons de terre cuite écrasés sont parfois ajoutés, dont la poudre plus ou moins fine permet d'accélérer la prise et d'augmenter la dureté du mortier<sup>43</sup>. Ce mortier permet de lier les briques entre elles, s'emploie avec une épaisseur avoisinant celle de la brique (2 à 3 cm). Le mortier d'hourdage à base de chaux et de terre (stabilisée), souvent utilisé pour les parements appareillés en maçonnerie mixte, a une prise lente, permettant un malaxage et une mise en œuvre. Les mortiers d'hourdage rencontrés sont réalisés à base de mortier de chaux<sup>44</sup>.

Sa perméabilité est minimisée par le stabilisant (chaux) qui limite les variations saisonnières de son volume<sup>45</sup>. Il confère au mur une moins bonne cohésion interne que le mortier de chaux. La résistance à la compression de la maçonnerie est aussi moins importante<sup>46</sup>, la forte perméabilité de ce mortier augmente les risques de dégradation dus aux remontées capillaires et aux pluies, ce qui a induit l'application de l'enduit extérieur en mortier de chaux afin de protéger le parement, cette étanchéité réalisée lui permet ainsi une plus grande pérennité<sup>47</sup>. Le mur est souvent recouvert d'un crépi composé de terre de chaux et

<sup>39</sup> Idem.

<sup>40</sup> J.Coignet ,L.Coignet .Op. Cité.

<sup>41</sup> A.A.Abdessemmed-Foufa (2007). Op. Cité.

<sup>42</sup> Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée .Op. Cite.

<sup>43</sup> Y-M froidevaux .techniques de l'architecture ancienne .Construction et restauration. Troisième édition .Madriaga.1993.

<sup>44</sup> Atelier Casbah(1980).Op. Cité .ET J.P.Coignet, Op.cité. 2006.

<sup>45</sup> Jean Coignet, Laurent Coignet, maçonnerie de pierre « matériaux et techniques, désordres et interventions », édition EYROLLES, paris .2007

<sup>46</sup> Idem

<sup>47</sup> J.Coigne et L.Coignet, maçonnerie de pierre « matériaux et techniques, désordres et interventions », op,cité, et Euromed héritage .Architecture traditionnelle méditerranéenne Op. Cité.

d'une petite quantité de sable, réalisé sur une épaisseur d'environ 2 cm. Sa finition est assurée par un enduit de chaux.

### II.1.5. Éléments porteurs et structure verticale flexible (colonnes et arcatures)

Ces maisons sont dotées d'une structure verticale flexible, composée par un système d'arcatures portant les coursives des galeries. Ce système comporte les colonnes et les arcades. Il a été relevé deux types d'arcs, avec la particularité dans les formes. La souplesse de ce système et sa flexibilité permettent de franchir les écartements variables entre les colonnes et de s'adapter aux parcelles qui souvent, ne sont pas de géométrie régulière. L'arc en ogive est un élément de contreventement de la structure flexible entre le portique et les murs des appartements<sup>48,49</sup> et raccorde la galerie et le mur porteur pour la soutenir à ce dernier, et l'arc brisé outrepassé qui lui, compose la façade de la galerie.

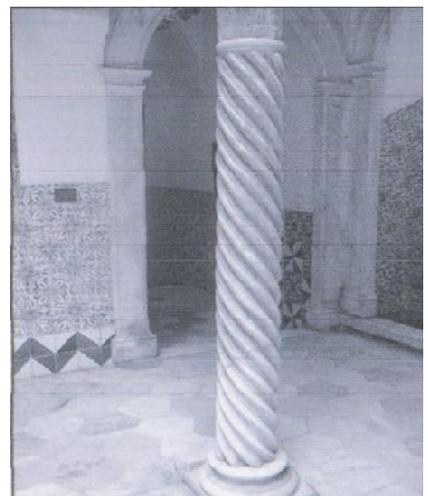


**Photo 2.11:** Colonne en tuf

#### II.1.5.1. Les colonnes

Pour une grande majorité, les colonnes datent de la période antique et ont été réemployées. Ces éléments sont en formes de fût réalisés en tuf (Photo 2.11), elles sont aussi en marbre. Les plus récurrentes sont les colonnes torsadées, réalisées en marbre ou en tuf. Elles sont composées de pierre (marbre blanc ou de pierre calcaire).

Les formes des colonnes sont circulaires ou octogonales, couronnées par des chapiteaux: reliant la section carrée du tailloir à l'arrivée de deux arcs contigus à celle circulaire de la colonne. Ce dernier est réalisé en marbre permettant une sculpture de reliefs à volute et floral ou en tuf avec des sculptures plus simples. La volute représente différents ordres: dorique, corinthien ou ionique. Les colonnes au niveau du rez de chaussé sont torsadées du chapiteau à la base (Photo 2.12). Par contre à l'étage, la torsade est interrompue juste avant l'appui de la barre supérieure de la balustrade de cette hauteur la



**Photo 2.12:** Colonne torsadée du chapiteau à la base se trouvant au rez de chaussée

<sup>48</sup> A .A . Abdessemed Foufa (2007) Op. Cité

<sup>49</sup> Revue « Vie des villes » in « Les techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger »

colonne sera de section octogonale jusqu'à la base. Au niveau du rez de chaussée les colonnes torsadées sont parfois à demi-hauteur<sup>50</sup>.

L'abaque : Élément de raccordement entre le pilier support et le franchissement de l'espace. Lorsque la colonne et le chapiteau sont en marbre, ce dernier est en marbre, par contre si le chapiteau et la colonne sont en tuf ce dernier sera construit en briques de terre cuite comme les arceaux. Deux types d'abaques ont été relevés :

- A angles moulurés sur leurs quatre côtés, reçoivent la retombée latérale de quatre arcs;
- Ceux qui couvrent le long d'une arcade, sont profilés, moulurés vers l'axe vertical de l'arc et parfaitement planes sur la façade.

#### II.1.5.1.1. Articulation de l'arc relevé avec sa colonne

Deux techniques constructives assez particulières sont a relevées<sup>51</sup>:

- 1- articulation composée par la superposition de trois rondins de thuya à une assise de deux rangées de briques de terre cuite (photo 2.13);
- 2-articulation réalisée par la superposition perpendiculaire de deux rangées de trois rondins de thuya à une assise de deux rangées de briques de terre cuite (Photo 2.14).



**Photo 2.13** : superposition une rangée de trois rondins de thuya à une assise de deux rangées de briques de terre cuite



**Photo 2.14**: articulation avec deux rangées de trois rondins sur une assise de deux rangées de briques de terre cuites

#### II.1.5.2. Les Arcades

La maison traditionnelle appartient au système des arcades à deux niveaux. Le support de cette galerie avant le séisme de 1716 était constitué de poutres sur poteaux (plates-bandes)<sup>52</sup>.

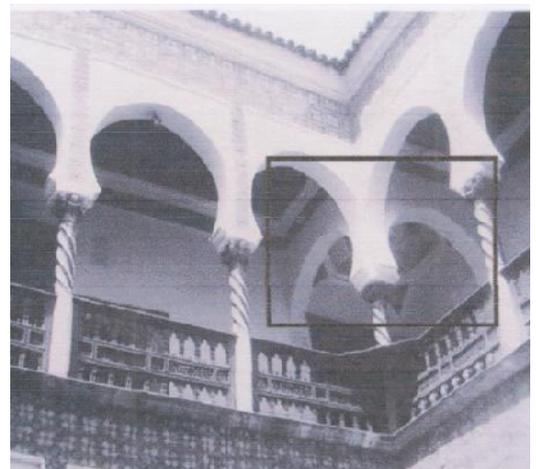
<sup>50</sup> A Ravereau, Op. Cité

<sup>51</sup> A.A.Abdessemed Foufa-département d'Architecture, Université de Blida Algérie et Djilali Benouar département de Génie civil Laboratoire dans l'environnement de Bab-Ezzouar Alger «Les Techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger.

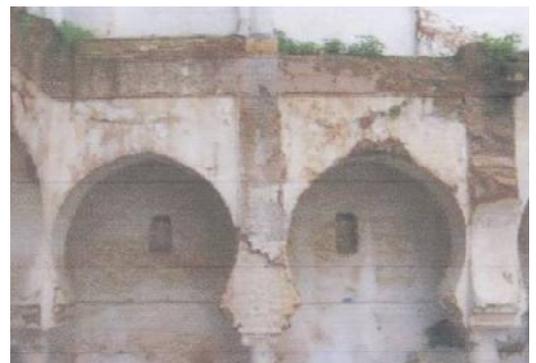
Le nombre de galerie dépend du type d'association avec les maisons mitoyennes, de la taille de la parcelle, et de la position du *wast al dar* au sein de cette dernière. En général, il permet une répartition au maximum de quatre galeries. Si le *wast al dar* est à un latéral de la parcelle, il réduit le nombre de chambre mais peut offrir la possibilité des quatre galeries.

La galerie des maisons modestes est plus étroite que les galeries des palais et des grandes demeures. On constate cette différence dans l'arc de contreventement (Photo 2.15) qui s'adapte à toutes les largeurs sans pour autant en modifier la hauteur (de l'arcade)<sup>53</sup>. Cette souplesse est conférée à l'arc ogival. Le nombre d'arcs composant les galeries varie d'un à trois et rare sont celles qui en comporte quatre. Il est à noter que les types les plus représentatifs sont<sup>54</sup> :

- L'arc outrepassé, en « forme de fer à cheval » est resserré à la base, reste le plus adapté;
- L'arc outrepassé brisé au sommet est le plus usuel et orne toute les galeries du *wast al dar*. Il relie les colonnes du patio et est construit à quatre centres. (Photo 2.16);
- L'arc en plein cintre où l'écartement entre les colonnes, la hauteur entre la naissance de l'arc et son sommet, est assuré par leurs grandes souplesses. Il orne aussi les grandes portes et ouvertures;
- L'arc en ogive s'adapte facilement à toutes les variations de largeurs des galeries sans varier sa hauteur grâce à sa flexibilité et joue le rôle de contreventement des murs et de la galerie<sup>55</sup>. Renforce souvent les angles du *wast al dar* sous galerie (Photo 2.17).



**Photo 2.15:** Galerie avec des arcs de contreventements (arcs ogivales)



**Photo 2.16:** Arc brisé outrepassé



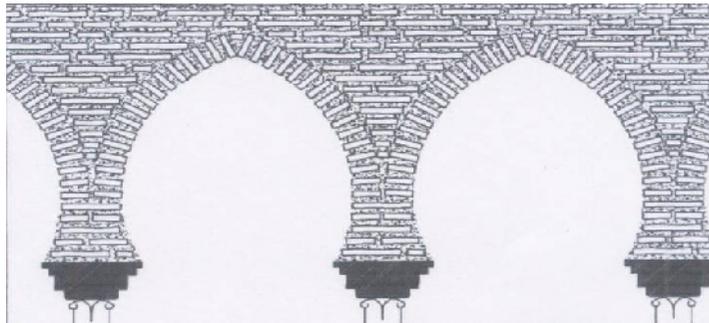
**Photo 2.17:** Arc en ogive de contreventement.

<sup>52</sup> Idem.

<sup>53</sup> Revue « Vie des villes » in « Les techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger »

<sup>54</sup> S. Missoum (2003). Alger à l'époque Ottomane. La médina et la maison traditionnelle. Ed Inas. Alger.

Ces arcs sont réalisés en briques de terre cuite, où le rayon et la forme de l'arc sont donnés par la disposition de ces dernières (briques) en claveau rayonnant (Photo 2.17 et Fig.2.7). La retombée des quatre arcs de l'angle est supportée par l'abaque des angles et chaque arcature



**Figure 2.7:** Typologie constructive d'un arc en ogive

se prolonge et se développe jusqu'au mur qui lui est épais et plus solide formant la façade des appartements (photo 3.15). La technique constructive de l'articulation de cet arc avec sa colonne<sup>56</sup>, permet au système d'arcade d'être préservé grâce au détail constructif préventif, contribuant à la résistance parasismique<sup>57</sup>. Le monolithisme est assuré par des poutres en bois raccordant les façades des galeries à celles des murs porteurs, ce qui évite ainsi aux parois extérieures de s'écarter des parois intérieures<sup>58</sup>.

Le tracé en anse de panier reste néanmoins plus rare que le tracé en ogive et en plein cintre outrepassé. Il apparaît comme un apport relativement récent par rapport aux tracés précédents.

#### II.1.6. Relation verticale (escaliers)

Dans la majorité des maisons, les escaliers épousent l'irrégularité du terrain. La régularité structurelle du plancher traditionnel est interrompue pour la réalisation des trémies bâties pour ces cages d'escaliers. L'escalier est généralement situé dans l'un des coins de l'habitation, entouré de murs mitoyens. Il peut occuper des endroits différents de la maison selon les cas:

- A l'entrée afin de ne pas empiéter sur la surface de la maison;
- Dans l'une des pièces pouvant être consacrée totalement au bloc de service;
- Parallèlement et dans la continuité du mur de façade (Photo 2.18);
- Réduit à un latéral rétréci et parallèle à une galerie.

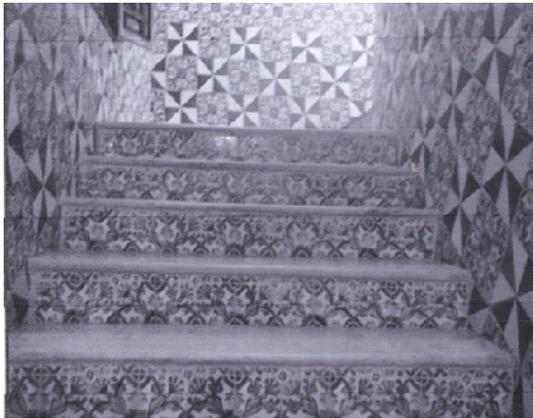
<sup>55</sup> A .A .Abdessemed Foufa (2007) Op. Cité

<sup>56</sup> A.A.Abdessemed Foufa-département d'Architecture, Université de Blida Algérie et Djilali Benouar département de Génie civil Laboratoire dans l'environnement de Bab-Ezzouar Alger «Les Techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger. »

<sup>57</sup> Idem

<sup>58</sup> A.A.Abdessemed Foufa- et Djilali Benouar.Op.Cité et MUCH (2003) .les règles parasismiques Algériennes .R.P.A 99 addenda 2003.Ed CGS .Alger.

Les escaliers sont à volées droites circonscrits par des murs porteurs. Un palier marque chaque changement de direction. Les marches sont recouvertes de dalles de marbre blanc, dans les grandes demeures, et de grés dans celles plus modestes, ainsi que des contre-marches qui sont décorés de carreaux vernissés. Dans quelques palais, l'escalier aboutissant sur le patio, est composé de marches et de contres marches revêtues de marbre blanc, accompagnée d'une main courante sur une hauteur de 0,59 m (cas de dar Aziza). Il arrive que l'on trouve parfois dans les murs des escaliers des niches creusées, dans lesquelles on dépose des chandelles afin d'éclairer la nuit ou même quelques objets décoratifs.



**Photo 2.19 :** escalier avec soubassement et contre marche avec carreaux vernissés.

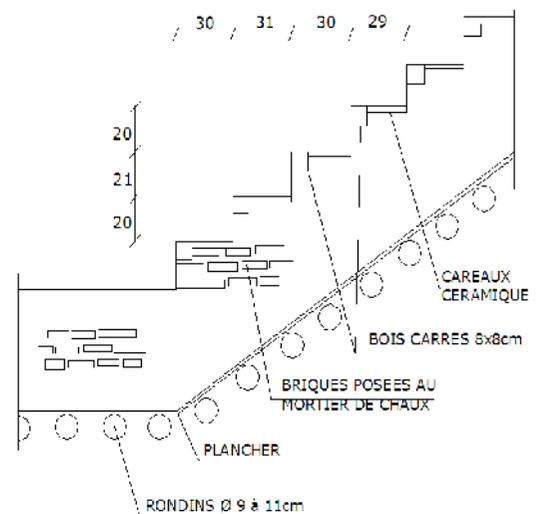


**Photo 2.18:** escalier conçu Parallèlement et au mur de façade à Dellys

Dans les maisons modestes, le soubassement et les contres marches sont décorés de carreaux vernissés. Dans les palais ou grandes demeures, en plus du décore des contres marches en carreaux vernissés, le soubassement des murs est décoré de Carreaux de faïence. (Photo 2.19)

#### II.1.6.1. Détail de la Structure d'un escalier traditionnel

L'escalier est constitué de marches en briques, maçonnées au mortier de chaux posées directement sur les planches précédant des rondins de bois, disposés perpendiculairement à l'axe de la volée (Fig. 2.8), de la même manière que les solives supérieures supportant le plafond<sup>59</sup>, où au début et à la fin de chaque volée ce dernier est



**Figure 2.8:** illustrant le détail de la structure d'un escalier traditionnel

<sup>59</sup> S. Missoum (2003). Alger à l'époque Ottomane. La médina et la maison traditionnelle. Ed Inas. Alger. et A Ravereau, Op. Cité.

marqué par une poutre plus importante que les autres supportant les différentes inscriptions<sup>60</sup>. Les escaliers de services sont recouverts de rondins en bois. Par contre les escaliers des palais sont couverts par une coupole au niveau des paliers et d'une série de voutes d'arêtes<sup>61</sup>.

## II.2. Structures horizontales: (Fondations-Planchers-et couvertures)

La structure horizontale est définie par les planchers (toutes les constructions du rez de chaussé et de l'étage sont plafonnées, sauf au niveau du sous-sol qui lui est vouté d'arêtes ou en berceau, et les couvertures (toitures terrasses). Lors de nos investigations, nous avons pu identifier deux types de franchissements horizontaux :

- l'une à ossature en bois (les planchers);
- l'autre en maçonnerie (coupoles et voûtes).

Dans les maisons originelles, deux types de planchers à ossature en bois ont été relevés. Ceux réalisés et portés par des solives, pouvant être soit des rondins de thuya non équarris avec de légère irrégularité, soit de poutrelles équarris dans des essences diverses. Nous avons relevé deux types pour les planchers portés par des rondins de thuya :

- L'un réalisé par des rondins de thuya non équarris sur lesquels sont disposés des voliges de bois (des planches);
- L'autre réalisé par des rondins de thuya non équarris sur lesquels sont disposés des branchages du même type de végétaux.

Les planchers réalisés par des solives en bois équarries portent des voliges de bois. Ces différents planchers sont constitués d'importantes charges de terre coulées sous forme de chape en terre. Pour certaines constructions en raison de la présence de galerie, il a été observé une particularité par la présence de deux planchers<sup>62</sup>.

- ✓ Les couvertures sont des terrasses accessibles identiques aux planchers des étages courant;
- ✓ Les couvertures maçonnées sont représentées par les voûtes et les coupoles:
  - **Les coupoles** recouvrent généralement les galeries et les k'bous;
  - **Les voûtes**, en berceau se trouvent dans les vestibules, les voutes d'arêtes au niveau des rez de chaussée et dans les portiques ou couvrant le sas d'une porte d'entrée.

### II.2.1. Fondations en maçonnerie -(traditionnelle)

Lors de nos investigations in situ nous n'avons pas pu observer les fondations, nous nous sommes alors inspirés de documents bibliographiques<sup>63</sup>. Les fondations sont identiques quelques soient les caractéristiques du terrain.

<sup>60</sup> .Idem.

<sup>61</sup> Driouèche, mémoire de magister « Dar Aziza ». « Contribution à l'enrichissement de l'architecture palatine : Dar Aziza, mémoire de Djenina d'Alger »Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Alger, 2001

<sup>62</sup> André Ravéreau «La casbah d'Alger, et le site créa la ville », éditions Sindbad ,1989. 1 et 3 rue Fentrier paris 18

Lorsque les sols ne sont pas marécageux, le mur a un empattement qui lui donne sensiblement une épaisseur double de celle qu'il a en élévation<sup>64</sup>. Cet empattement existant sous les murs porteurs forme une semelle filante dont la largeur peut sensiblement atteindre le double de celle du mur (Fig. 2.9). De même que les murs porteurs sont harpés l'un dans l'autre au niveau de leurs intersections. Les semelles correspondantes sont appareillées ensemble<sup>65</sup>.



C'est une maçonnerie de pierre relativement plus grosse que celle du mur. Elle est réalisée en grosses pierres, de pierres plates, galets ou moellon brut ou équarris qui atteint 40 cm de côté et sert d'assise au mur<sup>66</sup>. Le mur de fondation ainsi élaboré est constitué d'une couche drainante de cailloux concassés qui servent de base aux premiers appareillages<sup>67</sup>, hourdée au mortier de chaux ou de terre sinon mixte<sup>68</sup>. La profondeur du mur de fondation peut aller de 0,30 m au minimum à 1.20 m au maximum<sup>69</sup>. Ces fondations sont remplies aussi dans des tranchées, se prolongeant à peine à une hauteur d'un mètre du bon sol<sup>70</sup>.

**Figure 2.9:** Fondation posées sur le bon sol

Sur les terrains d'allure horizontale, les fondations de la maison sont bâties au même niveau. Sur un terrain en pente, les semelles de fondations sont horizontales et en gradins, chaque changement de niveau est renforcé par un mur porteur d'une hauteur allant jusqu'à 1,00 m.

Les caractéristiques de la maçonnerie de fondations sont comme suit<sup>71</sup> :

- Une largeur au minimum égale à l'épaisseur du mur en élévation ou égale au double de ce dernier, c.à.d. supérieure en moyenne d'une vingtaine de centimètres;
- Les matériaux qui le constituent (type et nature où les pierres utilisées sont différentes de celles utilisées en élévation : pierres plus régulières et plus dures et moins poreuses);
- Quand la morphologie du terrain est accidentée, la hauteur du mur de fondations peut atteindre 1,00 m (cette dernière élevée en sous bassement).

<sup>63</sup> Atelier Casbah 1980, op, cite.

<sup>64</sup> S.Chaning . op Cité.

<sup>65</sup> Félibien andré, »Des principes de l'architecture avec un dictionnaire des termes propres, paris ; 1690.

<sup>66</sup> Idem

<sup>67</sup> A.A Abdessemed-Foufa, Op. Cité.

<sup>68</sup> Les travaux établis par l'Atelier Casbah 1980, « projet de valorisation de la casbah d'Alger. Plan d'aménagement préliminaire Ed Ministère de l'habitat et de la construction Sous l'égide de l'UNESCO durant les années 1980

<sup>69</sup> Euromed Héritage. Architecture Traditionnelle en méditerranée, op, cite.

<sup>70</sup> Atelier Casbah 1980 ,op ,cite

<sup>71</sup> S.Chaning.Op.Cite.

Les murs en maçonnerie des fondations sont très solides, mais les mouvements sismiques, les poussées de terre et les infiltrations d'eau solubilisant lentement les liants par remontée capillaire et rongant les mortiers et les joints entraînent l'instabilité de l'ouvrage. Néanmoins la morphologie traditionnelle des îlots composant les centres historiques (en termes de groupement de maison caractéristique de la période ottomane) est un facteur important de la stabilité de l'ensemble murs-fondation (par épaulement).

### II.2.2. Les planchers

Lorsque les planchers ne sont pas bâtis sur des voûtements en maçonnerie, ces derniers sont composés de solivages en bois portés de mur à mur par des poutres en bois.

- Le plancher a toujours une portée principale de mur à mur dans le sens de la largeur. Cette portée est franchie par des poutres qui forment l'ossature primaire du plancher.
- L'ossature secondaire porte de poutre à poutre. Cette portée secondaire est franchie par:
  - ✓ Un solivage (rondins de thuya);
  - ✓ Un voligeage (des planches);
  - ✓ Ou un branchage.

La structure porteuse des planchers, réalisée en rondins de thuya ou solives en bois, est constituée par les poutres composant la structure primaire qui reporte la charge des planchers sur les murs porteurs. Les appuis des poutres sont posés directement sur les murs recouvrant toute sa largeur<sup>72</sup>, pour plafonner des pièces dont la portée est inférieure à 5,50 m<sup>73</sup>. Cet ensemble est souvent laissé à l'état brut visible en sous-face, parfois revêtu d'une couche de chaux ou de plâtre, qui contribue à l'isolation acoustique.

#### II.2.2.1. Les planchers à structure principale en rondins de thuya

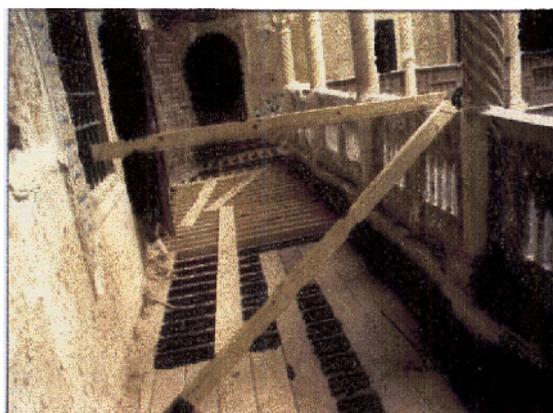
La structure des planchers est primaire, elle se compose de rondins, leur diamètre varie entre 8 et 13 cm, espacés de 15 à 20 cm. La structure secondaire est constituée de poutrelles en bois, les voligeages, disposées transversalement à ces poutres principales (Photo 2.20). Entre le plancher de la galerie et de la pièce adjacente figure deux structures différentes. Les rondins du plancher de la pièce se placent au dessus de ceux de la galerie, (Fig. 2.10), lesquels s'appuient sur le mur intérieur de la pièce et sur les arcs qui entourent le *wast -al-dar*<sup>74</sup>. Ce décalage en hauteur des deux planchers permet de bien les ancrer à la maçonnerie existante entre les solives assemblées par clouage. Le module correspond à peu près à celui des carreaux de faïences ou celles de la brique de terre cuite environ de 13 cm<sup>75</sup>.

<sup>72</sup> A. Ravéreau (1985). La Casbah d'Alger et le site créa la ville. Ed Sindbad.

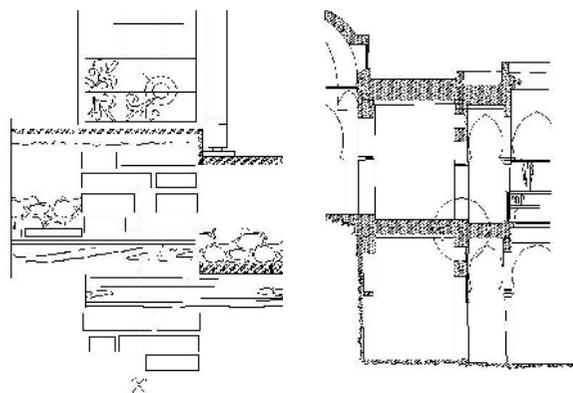
<sup>73</sup> S. Missoum (2003). Alger à l'époque Ottomane. La médina et la maison traditionnelle. Ed Inas. Alger.

<sup>74</sup> S. Mimouni. (2003), La médina et la maison traditionnelle. Op.Cité.

Cette superposition au travers de voligeage en bois permet un déplacement par roulement ou les frottements assurent une stabilité aux planchers lors des secousses sismiques<sup>76</sup>.



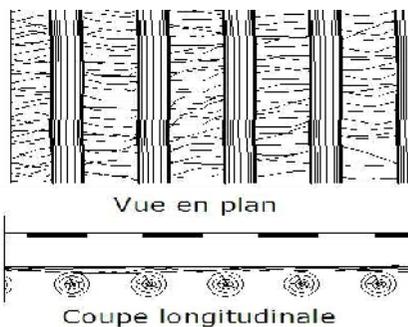
**Photo 2.20:** Disposition de solive dans le plancher de la galerie.



**Figure 2.10:** Détail de typologies constructives « différence de niveau par la superposition de rondin de thuya »

### II.2.2.2. Les planchers à structures principale en rondins de thuya et branchage

Dans certains planchers (les plus anciens)<sup>77</sup>, à la place des planches posées perpendiculairement aux solives, ce sont des nids de branches et une disposition briques de terre cuites mise à plat en chevrons, recouverte d'une couche de chaux vive qui vont le constituer<sup>78</sup>. Sinon ces derniers sont constitués du nid de branchages, des morceaux de pierre ou de brique de terre cuite posé sur le solivage.



**Figure 2.11:** Plancher sur rondins de thuya. branchages.

### II.2.2.3. Les planchers à structures principale en poutres équarries

Les planchers réalisés par des solivages (poutrelles équarries) sont disposées de la même manière que les poutres en rondin de thuya. Ces derniers portent des voligeages (planchettes en bois), scellés par clouages (Photo 2.21) qui vont former la surface de répartition



**Photo 2.21:** Plancher sur solives équarries et voligeages

<sup>75</sup> A.Ravéreau (1985).La Casbah d'Alger et le site créa la ville. Ed Sindbad.Op.Cité

<sup>76</sup> A.A.Abdessemed-Foufa (2005) .Op.Cité;Et (2007).Contribution pour la redécouverte des techniques constructives traditionnelles sismo-resistances adoptées durant le 18<sup>ème</sup> siècle dans les grandes villes du magreb Alger, Fès et Tunis .Thèse de doctorat en Architecture. EPAU.Alger.

<sup>77</sup> Euromed heritage, Architecture traditionnelle en méditerranée .Op. Cite.

<sup>78</sup> Atelier Casbah(1980).Projet de valorisation de a casbah d'Alger .Plan d'aménagement Préliminaire .Ed Ministère de l'Habitat et de la construction

supportant le poids des matériaux constituant la dalle<sup>79</sup>. Ces planchettes de bois de 2 à 3 cm d'épaisseur pour une largeur de 10 à 15 cm constituent la couche support assemblée aux solives par simple clouage formant ainsi la surface sur laquelle vient s'ajouter une couche de terre et de pierraille.

#### II.2.2.4. Epaisseur et remplissage des planchers

L'épaisseur du plancher varie entre 30 et 40 cm. Le voligeage soutient d'importantes charges de terre et de pierraille ou de morceaux de brique en terre cuite avec au dessus une couche de mortier de chaux sur lequel on dispose un revêtement de différentes qualités de carreaux en terre cuite (Photo 2.22), posée sur une surface damée et égalisée par un mortier de chaux<sup>80</sup>. Sinon le nid de branchage porte un remplissage de morceau de brique de terre cuite hourdée avec de la terre crue damée. Ce remplissage répartit la charge et servira d'isolant phonique et thermique, il sera revêtu au sol par un dallage scellé au mortier de chaux<sup>81,82</sup>. La section du bois des planchers est en général assez faible par rapport à leur portée. La charge importante de la terre engendre une flèche très sensible à la structure des planchers<sup>83</sup>; ce fléchissement des solives (Photo 2.22), est réduit par le rapprochement et l'encastrement des poutres primaires dans le mur<sup>84</sup>.



**Photo 2.22** flèche induite par le poids de la terre entraînant le fléchissement des solives

#### II.2.3. Les voûtes

Nous avons observé deux types de voûte dont l'organisation géométrique correspond à des tracés simples :

- La voûte en berceau qui supporte les planchers des vestibules et certains espaces en sous sol (Photo 2.23);
- La voûte d'arête recouvre certaines skiffa, les volées d'escaliers ainsi que les plafonds dans les sous sol.



**Photo 2.23:** voûte au niveau du sous-sol.

<sup>79</sup> A. A. Abdessemed-Foufa (2005).Op. cite.

<sup>80</sup> A.Ravéreau (1985).Op. Cité .et Euromed Héritage. Architecture Traditionnelle en méditerranée, op, cite

<sup>81</sup> S.Missoum (2003) . Op. Cité.

<sup>82</sup> Euromed Héritage. Architecture Traditionnelle en méditerranée, op, cite

<sup>83</sup> Euromed heritage, Architecture traditionnelle en méditerranée .Op. Cite.

<sup>84</sup> A.Ravéreau (1985).La Casbah d'Alger et le site créa la ville. Op Cité.

Les voûtes d'arrêtes sont construites avec un appareil à rang parallèle aux génératrices, sinon à appareil en arrêtes de poissons (Photo 2.24), il en résulte deux voûtes en berceau à directrices identiques (même forme, même corde et même flèche)<sup>85</sup>.

Les voûtes à pans ou quartiers sur plan pentagonal ou octogonal, agrémentées de petits voutains surbaissés (Hémisphériques ou ogivale) couvrent quelques espaces des grandes demeures comme les alcôves. Quand le pan est rectangulaire, les directrices seront pour l'une un demi cercle et pour l'autre une demi ellipse (flèches identiques mais cordes différentes)<sup>86</sup>.

Les voûtes sont montées sans coffrage et l'oblicité des joints allée à la viscosité du liant (argile et de la chaux) permettent de maintenir le claveau en place pour terminer un des arcs élémentaires dont la juxtaposition va former la voûte. L'adaptation du cintre en deux à une portée inférieure à celle de son diamètre a probablement donné les voûtes en berceau brisé ou ogivales<sup>87</sup>. Ce procédé de pose, se fait avec de la brique de terre cuite et cherche à limiter le porte à faux d'un empilement de claveaux en créant des joints d'appuis intermédiaires inclinant l'axe de pose (sommier /claveau /clé) vers les murs de refends, le remplissage des interstices et de l'extrados se fait à base de chaux. Cette voûte est maçonnée dans la continuité des murs porteurs, hourdée au mortier (de chaux pouvant être associé à des débris de brique concassée ayant une bonne adhérence à la brique)<sup>88</sup>.

Les voûtes en berceau sont construites entre deux murs avec un appareil à rang longitudinal. Elles suivent la pente d'un escalier pour former son couvrement (Photo 2.25). Dans les palais, la naissance de la voûte est marquée par un bandeau saillant qui peut être en briques de terre cuites ou en pierre (matériaux plus dure), qui



**Photo 2.24:** Voutes croisées en arête recouvrant un escalier dans une grande demeure



**Photo 2.25:** Voutes en berceau recouvrant l'escalier

<sup>85</sup> Idem.

<sup>86</sup> Idem.

<sup>87</sup> Idem.

<sup>88</sup> Euromed Héritage. Architecture Traditionnelle en Méditerranée .Op. Cite.

peut être différente de celles appareillées dans le mur. De ce fait, les voûtes sont totalement solidaires des structures verticales en maçonnerie qui les portent<sup>89</sup>.

Ceci étant analysé à partir de l'observation de l'appareil de l'intrados. Les voûtes de dimensions réduites, allant de 1 à 2 m, sont constituées par un simple blocage de demi brique posée avec des joints réduits et de la chaux. C'est une technique constructive lourde utilisée pour asseoir la structure de la construction, où mécaniquement, l'ossature du plancher est compatible avec les structures en maçonnerie qui travaillent à la compression. Cependant des désordres limités, peuvent être observés sur les voûtes dont la pérennité de la structure n'est affectée que par :

- des tassements de fondation des murs porteurs ;
- des percements intempestifs.

Les poussées de ces voûtes (les arcs exercent des forces obliques sur leurs supports requérant ainsi une épaisseur plus importante par rapport aux murs qui ne reçoivent que des planchers), sont plus ou moins importantes, mais sont bien maîtrisées car elles ont une géométrie simple et s'expriment le plus souvent en sous-sol. Elles sont contrebutées soit par les terres en place soit par le voûtement des maisons voisines<sup>90</sup>. Elles se comportent comme une « coque » à peu près indéformable et ne transmettent aux murs porteurs que des charges verticales<sup>91</sup>.

#### II.2.4. Les coupoles

Les coupoles recouvrent certains espaces et palier d'escalier surtout dans les palais. Celles des galeries sont portées en partie par ses murs et par deux arcs doubleaux qui s'accrochent aux colonnes et aux murs de la galerie. Les coupoles des k'bous ont la même configuration que celles de la galerie avec des dimensions plus importantes et des hauteurs plus élevées.

Ces dernières à plans polygonales résultent de la juxtaposition sur un plan octogonal ou carré, de section de berceaux ayant la même directrice (Photo 2.26). Le



**Photo 2.26:** Coupole recouvrant une chambre princière

raccordement au plan carré couvert se fait soit par des arcs diaphragmes, des pendentifs (voute sphérique), des voutements en trompe (voute conique) ou en cul de fond (demi-

<sup>89</sup> Idem

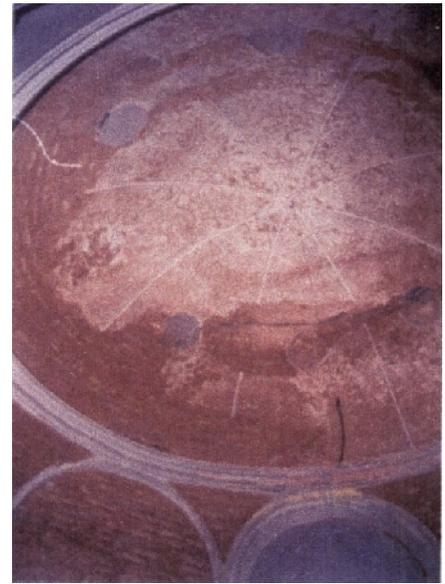
<sup>90</sup> S. Mimouni. (2003), La médina et la maison traditionnelle. Op. Cité. Et A. Ravéreau (1985). La Casbah d'Alger et le site créa la ville. Ed Sindbad .Op. Cité

<sup>91</sup> Euromed Héritage. Architecture Traditionnelle en Méditerranée .Op. Cite.

coupole)<sup>92</sup>. Ces coupoles sont supportées par les trois murs de l'alcôve et par une arcade en plein cintre, structure remplaçant le quatrième mur.

La structure en brique de terre cuite est maçonnée avec des joints minces (photo 2.27). L'épaisseur des coupoles est le plus souvent d'une brique. Les très petites coupoles de la portée d'environ 2 m peuvent avoir l'épaisseur d'une demi-brique de 12 à 14 cm<sup>93</sup>.

L'épaisseur des murs porteurs varie de 0,30 à 0,50 m et la structure même de la coupole en brique de terre cuite permet de franchir des portées de 5 m<sup>94</sup>. Les briques de terre cuite sont posées suivant la forme circulaire au mortier (chaux, chaux et éclats de brique et terre) servant aussi de remplissage des vides laissés entre les briques<sup>95</sup>. Ces dernières sont calées de manière à obtenir une légère inclinaison au premier rang de brique. Les joints des briques sont décalés d'un rang à l'autre. Cette inclinaison des assises annulaires successives, constituant la forme de la coupole s'oppose au glissement de la rangée de brique de base.



**Photo 2.27:** Coupole couvrant une chambre chaude assises annulaires successives,

## II.2.5. Les couvertures

### II.2.5.1. Charpente traditionnelle à structure en bois

C'est une charpente simple à un ou deux versants, elle a une portée limitée de 4 à 5 m, qui tels un plancher oblique, est composé d'une poutre principale de grande section (tronc naturel ou équarri) constituant la panne faîtière ancrée dans les murs refends maçonnés de façon à donner la forme triangulaire et la pente à la charpente (Photo 2. 28). Les poutres secondaires, en bois massif, sous forme de sciages de moyennes ou fortes sections<sup>96</sup>, sont posées en simple appui sur les murs porteurs et assemblées par embrèvement sur la poutre principale et portant les voliges. Leurs appuis sur



**Photo 2.28:** une charpente simple, portant de la tuile canal

<sup>92</sup> S.Missoum (2003). Op. Cité.et A. A. Abdessemed-Foufa (2005).Op. Cite.

<sup>93</sup> A.Pulikowski ,Citadelle d'Alger,1980,Dossier PKZ.

<sup>94</sup> Idem.et Euromed héritage. Architecture

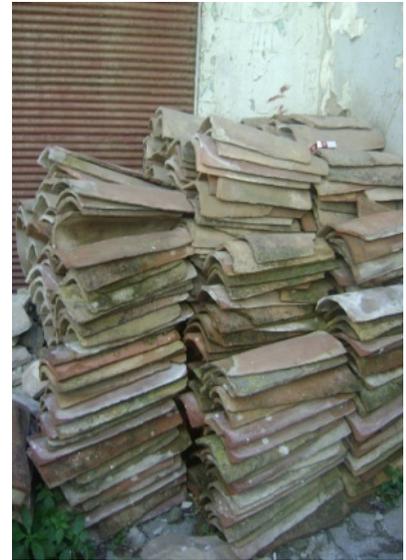
<sup>95</sup> Euromed héritage. Architecture tradition. op.citénelle en méditerranée MEDA. Brochée.

<sup>96</sup> M.Toussaint .Nouveau manuel complet d'architecture ou traité de l'art de bâtir, librairie encyclopédique Roret, paris 1837.

les murs sont espacés et portent un platelage plus ou moins complexe (où les planches sont scellées à la structure par simple cloutage) portant lui-même les tuiles, et formant parfois une sous toiture relativement étanche<sup>97</sup>.

### II.2.5.1.1. Platelage et tuiles

Le platelage est constitué de planche de bois dur, formant le niveau de pose des tuiles canal (Photo 2.29) qui est la plus répandue. Les tuiles de courant sont bâties au mortier de chaux sur le platelage ainsi que quelques tuiles de couverts par rangée<sup>98</sup>, qui permet d'obtenir une étanchéité à l'air et à l'eau. Cette tuile a conduit les constructeurs à adopter le compromis d'une pente relativement faible de 30 à 35%, permettant de conserver sur chaque tuile une remontée de l'eau (par capillarité et celles soufflées par le vent). Le recouvrement des tuiles au 1/3, leur épaisseur moyenne étant de 2 cm et leur marge d'adaptation, l'une dans l'autre, de 5 mm. Lorsque la pente de la toiture est de 30 %, la pente unitaire du canal de la tuile n'est plus que de 22%<sup>99</sup>.



**Photo 2.29:** tuiles canal

### II.2.5.2. Couverture : plancher terrasse à structure en bois

La conception des toitures terrasses est étroitement liée à leurs utilisations dans les constructions relatives à cette période. Ces dernières sont accessibles<sup>100</sup> (Photo 2.30). Les planchers des terrasses ont la même composition structurelle en bois que les planchers des étages inférieurs. La nature de l'exploitation de ces terrasses impose des critères de choix influant sur leur épaisseur, le choix des matériaux en



**Photo 2.30** toiture terrasse accessible

fonction de leurs caractéristiques. La protection contre les infiltrations d'eau est assurée par une couche de chaux qui ne constitue pas une étanchéité totale contre les infiltrations des

<sup>97</sup> Euromed héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée MEDA. Brochée

<sup>98</sup> D. Montharry, M. Platzer. La technique du bâtiment tout corps d'état. Le Moniteur ; 4<sup>ème</sup> édition..Paris 2004-2007.

<sup>99</sup> J. Coignet « art de bâtir traditionnels ».Op. Cité.

<sup>100</sup> A. Ravéreau (1985).Op. Cité

eaux, elle assure une évaporation de la vapeur d'eau (ce qui a permis une bonne préservation des éléments en bois)<sup>101</sup>.

Le plancher terrasse est rempli avec une couche de terre plus importante (constituant le mortier de coulage fait à base de terre battue mélangée parfois à du sable ainsi que des mortiers de terre coulée)<sup>102,103</sup>. En plus de la pose d'une couche d'étanchéité en surface, constituée d'un mortier étanche réalisé à partir de chaux, de sable, de briques de terre cuites concassées, parfois d'huiles et de cendres d'épaisseur allant de 1 à 2 cm, finit par l'application d'un lait de chaux et rarement un revêtement de briques posées, donnant des épaisseurs variant de 50 cm jusqu'à 1,00 m. Cet ensemble assure également une bonne isolation acoustique et thermique<sup>104</sup> ainsi qu'une bonne rigidité<sup>105</sup>.

Le décalage en hauteur des planchers dans certaines constructions, se répercute sur les planchers de la terrasse. Ces différences de niveau sont matérialisées par de petites murettes d'environ 20 cm de haut et de large délimitant ainsi ces surfaces coupées par des barbacanes qui permettent l'écoulement des eaux<sup>106</sup>. Sur certaines terrasses anciennes et sans transformations, on peut lire les surfaces des appartements<sup>107,108</sup>.

Lors de nos investigations sur site nous avons relevé aussi un plancher terrasse formé de rondins de thuya d'une longueur d'environ 2,50 m. Il supporte un voligeage qui reçoit un agglomérat de gravats et de cailloux, vient ensuite une couche de terre régularisée en surface par un mortier de chaux. L'ensemble constitue la forme de pente. L'étanchéité était assurée par le revêtement en mortier de chaux vive posée en surface.

Notons aussi que ce sont les murs, séparant les galeries des pièces qu'elles distribuent, qui reçoivent les conduites de récupération des eaux pluviales. Ces descentes d'eau composées d'éléments en poterie de formes cylindrique et conique s'emboîtent l'un dans l'autre sont soit recouvertes d'un enduit ou bien elles restent à leurs état naturel. Cette analyse et nos observations nous montrent que les charpentes et les couvertures des terrasses de la période ottomane sont les ouvrages les plus vulnérables de ces constructions.

## II.3. Eléments d'architecture

### II.3.1. Les revêtements de finition–enduit extérieur-

<sup>101</sup> Yves-Marie Froidevaux « techniques de l'architecture ancienne » construction et restauration troisième édition, Mardaga, Belgique 1993.

<sup>102</sup> EuroMed héritage, Architecture traditionnelle en méditerranée .Op. Cite.

<sup>103</sup> S.Mimouni. (2003), La médina et la maison traditionnelle .Op. Cité

<sup>104</sup> AA.Abdelssemmed- Foufa.(2005).Op.Cite.

<sup>105</sup> MUCH (2003) .les règles parasismiques Algériennes .R.P.A 99 addenda 2003.Ed CGS .Alger.

<sup>106</sup> A. Ravéreau (1985).Op. Cité

<sup>107</sup> Idem

<sup>108</sup> Atelier casbah (1980) et /G. Marçais « maison et villas, musulmanes d'Alger »

Ce sont des enduits appelés aussi enduits de façade, destinés à protéger le parement contre les eaux de pluies<sup>109</sup>, préparés traditionnellement sur chantier. Les enduits sont composés d'un mélange fait à base de sable lui donnant son aspect et sa couleur, d'eau de gâchage et de liant traditionnel, la chaux (Photo 2.31), des adjuvants<sup>110</sup> (poudre de charbon de bois et d'huile) forment ainsi le mortier d'enduit ou crépi<sup>111</sup>.

Des enduits au mortier à base de terre et de chaux et d'adjuvants naturels<sup>112</sup> sont aussi utilisés avec un rajout de sable variable<sup>113</sup>, appliqués sur les matériaux constituant les façades. Pour les revêtements courants, ils sont réalisés en une épaisseur de 30 à 35 mm<sup>114</sup>. Ce choix est lié à la nature du support pour une cohésion optimale<sup>115</sup>. Ces enduits sont appliqués manuellement, en deux à trois couches de mortier (dans les riches demeures)<sup>116</sup>. Donnant ainsi l'aspect du parement qui peut être lissé ou taloché<sup>117</sup>. La porosité graduelle de ces couches permet une certaine perméabilité à l'air<sup>118</sup>. Ces enduits ont des fonctions essentielles conçues selon les critères de qualités suivants :



**Photo 2.31:** Enduit sur murs en maçonnerie (sable, chaux, eau de gâchage).

- Bonne adhérence par accrochage: selon le type d'appareillage dans le mur<sup>119</sup>;
- Assurer une protection de la façade contre les intempéries. Imperméabiliser la maçonnerie, tout en la laissant respirer, libérer vers l'extérieur l'humidité qu'elle referme;
- Avoir la capacité de suivre les déformations de la structure sans fissures, « Souplesses à l'intérieur et dureté à l'extérieur»<sup>120</sup>(souplesse et déformabilité);
- Assurer une bonne finition. Les mortiers de chaux grasses font leur prise sans retrait, les enduits n'ont pas de fissures de faïençage, conférant ainsi un bon aspect de surface.

<sup>109</sup> J.Coignet « art de bâtir traditionnels ».Op. Cité.

<sup>110</sup> Jacky Jeannot,Bruno Pignal, Pascale Scarato ,architectes dplg ,Cahier techniques N° 2 « le bâti ancien » , « pisé, terre d'avenir » ,2<sup>ième</sup> édition ,02-2001.

<sup>111</sup> Atelier casbah (1980)

<sup>112</sup> Euromed héritage architecture, méditerranéenne, Op, Cité

<sup>113</sup> Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques op, Cité

<sup>114</sup> Idem et atelier casbah (1980) Op, Cité.

<sup>115</sup> ABC daire du particulier enduits extérieur, Union régionale des CAUE D'île de France

<sup>116</sup> Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques op, Cité

<sup>117</sup> ABCdaire , Op, Cité

<sup>118</sup> Construire en Terre Cratère p 238-239 et Traité de construction en terre, edit.2, Parenthèse, 1995, p 330-333.

<sup>119</sup> Techniques et pratique de la chaux, Ecole d'Avignon 2<sup>e</sup> Edition, Eyrolles troisieme tirage 2004, paris

<sup>120</sup> S. Chaning Op, Cité.

Néanmoins, il a été constaté sur des enduits de certaines constructions, quelques particularités: Le crépi très mince, à l'origine 3 à 5 mm, empêchait l'évaporation rapide de l'humidité des murs. Il semblerait que la résistance de la structure des murs était assurée par la teneur et par l'équilibre de l'humidité dans le mortier dans le mur entier. La teneur en sable du crépi semble assez faible ce qui nous pousse à présumer une addition de plâtre<sup>121</sup>. Les enduits des pièces principales, sont réalisés avec une épaisseur de 5 à 7 mm. Leurs composition étant pratiquement la même que celle de la brique lui a octroyé l'avantage de permettre aux briques de respirer et de ne pas créer l'incompatibilité chimique, qui nuirait à son adhérence. Plusieurs endroits ont, en effet, gardé leur enduit d'origine qui est demeuré dans un état assez satisfaisant, qui pourrai laisser à penser qu'il peut encore le rester. Les décapages muraux ont permis de distinguer deux types:

- L'un de couleur rougeâtre, constitué de terre et de grains de chaux plus ou moins gros. Les proportions et la qualité de la terre sont variables;
- L'autre de couleur blanchâtre, parsemée de taches grisâtres et composé essentiellement de chaux, mélangée à de petits galets. Le mortier qui à servi d'enduit est très résistant.

La résistance de ces murs dépend du taux d'humidité du mortier. Cette dernière est régulée par un crépi ou par un enduit à base de chaux, qui permet la respiration des murs. Il est important de signaler que ces murs étaient régulièrement blanchis à la chaux<sup>122</sup> qui constituait leur finition. Actuellement, la plupart de ces murs ont reçu un enduit en ciment et une couche de peinture glycérophthalique ou vinylique (Photo 2.32).



**Photo 2.32:** Mur ayant reçu un enduit au ciment et une peinture vinylique

### II.3.1.1. Enduit à base de chaux<sup>123</sup>

#### II.3.1.1.1. La chaux aérienne

Les mortiers à base de chaux aérienne se caractérisent par leur faible résistance à la compression (5 MPa), et sa grande perméabilité à la vapeur d'eau. Ces caractéristiques font de cet enduit une couche protectrice pour le mur extérieur qui leur confère respirabilité et beauté.

<sup>121</sup> Atelier Casbah, Op, Cité ET E.Olivier .Technologie de construction .Collection Technicien de la construction .Tome 1,6<sup>ième</sup> édition actualisée.et AA.Abdelssemed- Foufa.(2005).Op. Cité.

<sup>122</sup> Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques op, Cité et Euromed héritage architecture, méditerranéenne, Op, Cité

<sup>123</sup> M. Dahli, cours P-G, Module : Matériaux de construction et expression architecturale .Chaux aérienne et chaux Hydraulique,2008/2009.

Pour une meilleure ouvrabilité, elle peut être batardée avec de la chaux hydraulique<sup>124</sup>. Sur un mur de pierre, l'enduit à la chaux aérienne pâtit de sa faible résistance au cycle de gel/dégel. Souvent ces derniers sont gardés en appareillages de pierre apparente, sinon rejointe avec un mortier à la chaux hydraulique.

### II.3.1.1.2. La chaux Hydraulique

Ces enduits à base de chaux hydraulique sont utilisés et bien adaptés aux constructions anciennes avec un appareillage de mur hourdé en maçonnerie de briques cuites, de pierre ou mixte (pierre et brique de terre cuite), ainsi que pour les constructions dont les fondations ne sont pas très profondes. Ils imperméabilisent la maçonnerie tout en la laissant respirer. Ils sont dotés d'un retrait réduit et sont plus résistant que les enduits à base de chaux aérienne avec une résistance allant de 10 à 20 M Pa. La chaux hydraulique dont la prise se fait en présence d'eau est utilisée dans les fondations et les murs enfouis (sous-sol, bas des murs au rez de chaussée). Les murs en élévation sont hourdés au mortier de chaux aérienne.

### II.3.1.2. Composition de l'enduit extérieur : «le sable»

Il est de plusieurs grosseurs allant de 0,1 à 3,0 mm.<sup>125</sup> La taille et la couleur du grain de sable permet aux enduits à la chaux des finitions diverses donnant la possibilité de varier la pigmentation et la structure de finition, talochée ou lissée.

La résistance mécanique optimale d'un enduit est obtenue par un dosage maîtrisé des matériaux qui le constitue. Trois compositions d'enduit sont utilisées selon l'usage:

- **Le gobetis** est l'enduit d'accrochage qui doit être plus riche en liant (où il est préférable d'utiliser de la chaux hydraulique pour une bonne adhésion au mur<sup>126</sup>;
- **Le corps-d'enduit** est un enduit moins riche en liant donc plus maigre. Il est composé de chaux aérienne ou un mélange de chaux aérienne et de chaux hydraulique qui permet d'assurer l'étanchéité à l'eau rendant ainsi le mur imperméable<sup>127</sup> ;
- **L'enduit de finition** donne l'aspect fini, il se compose que de chaux aérienne.

### II.3.1.3. Les enduits en terre

Fait à base de terre argilo-sableuse, cet enduit ne contient pas d'élément supérieur à 2 mm, on rajoute de la chaux jusqu'à 10 % si elle est trop argileuse. L'enduit est réalisé en trois couches. La première couche plus rugueuse est réalisée avec plus d'argile ou de chaux<sup>128</sup> Pour

<sup>124</sup> Jacky Jeannet, Bruno Pignal, Pascale Scarato, architectes dplg Cahier technique N°1 la chaux, « mise en œuvre, Enduits et décors », 3<sup>ème</sup> édition, ed pisé, terre d'avenir, Dec 1998.

<sup>125</sup> Idem

<sup>126</sup> Traité de construction en terre (CRATERE), Editions parenthèse

<sup>127</sup> Idem

<sup>128</sup> Traité de construction en terre (CRATERE), Editions parenthèse.

en améliorer les qualités adhésives. L'enduit de finition est taloché fin, on le ré-humidifie lorsque cet enduit commence à s'assécher pour éviter l'effet de « farinage »<sup>129</sup>

### II.3.2. Enduit intérieur

Les enduits intérieurs, de couleur blanche ou blanc cassé, sont appliqués généralement en deux couches. La première est effectuée à la chaux aérienne mélangée à de la terre argileuse, ou à base de chaux aérienne mélangée à du sable<sup>130</sup>. La deuxième, effectuée avec un mélange beaucoup plus riche en chaux aérienne pour les arêtes et les soubassements sinon effectuée à la chaux aérienne qui confère à l'espace un aspect plus agréable. Ce dernier est aussi apprécié pour ses propriétés de régulation hygrométrique et assainissant<sup>131</sup>. Les badigeons à la chaux qui entretiennent et nourrissent l'enduit est très employé pour les finitions des murs intérieurs.



**Photo 2.33 :** Enduit à base de terre argilo-sableuse et chaux

### II.3.3. Les revêtements aux sols

Les revêtements au sol diffèrent selon le type de demeure, modeste ou noble. Nous ne citerons que les matériaux les plus récurrents. La plupart des patios sont dallés de marbre quand ce dernier est fondé sur le sol, et qu'il n'est pas construit sur des voûtes. Lorsqu'il recouvre des espaces de service, il est supporté par des voûtes<sup>132</sup>. Le pavement central du patio est en:

- Marbre dans les palais et grandes demeures;
- Carreaux en céramique de grandes dimensions (20 cm) dans les maisons modestes.

Le revêtement du sol du rez-de-chaussée est en carreaux de marbre de forme hexagonale, octogonale ou carrée, de couleur blanche analogue à celles qui pavent le patio, mais de dimensions plus réduites (15 cm de côté). Le revêtement des sols des pièces et des galeries de l'étage est en carreaux de céramique de dimension 20 à 22 cm de côté souvent assemblés par

<sup>129</sup> Terre crue, technique de construction et de restauration Editons Eyrolles.

<sup>130</sup> Euromed héritage architecture, méditerranéenne, Op, Cité

<sup>131</sup> Terre crue, technique de construction et de restauration, Op, Cité

<sup>132</sup> Idem.

quatre pour révéler des motifs floraux de forme circulaire de 22 à 36 cm de diamètre)<sup>133</sup>. Les revêtements des espaces de service sont en tomettes de terre cuite de formes octogonale et triangulaire<sup>134</sup>. Des céramiques en forme de tomettes, composées de pièces hexagonales de 10 cm de côté en terre cuite de couleur naturelle, pavent les patios et les chambres dans les maisons modestes (photo 2.34) ainsi que des tomettes alternées de cabochons vernissés ou des triangles vert équilatéraux.



**Photo 2.34 :** Revêtement de la galerie d'une demeure modeste en céramique en forme de tomettes.

#### II.3.4. Ornementation intérieure

Les carreaux de faïences richement décorés, recouvrent les murs intérieurs de la maison dès l'entrée, sur toute la base du mur jusqu'au niveau des fenêtres où elle les encadre comme pour les mettre en valeur. On les retrouve aussi en revêtement ainsi qu'en sous bassement des murs adjacents cela aussi au niveau des escaliers (Photo 2.35).



**Photo 2.35 :** Revêtement mural en carreaux de céramique importés

#### II.3.5. Décors et éléments de façades

Le décor de façade est défini par un travail sur l'enveloppe même de la maison qu'elle reçoit lorsqu'elle est enduite. Toutes les façades sur rue ne diffèrent guère, qu'il s'agisse de maison modeste ou de palais, elles offrent toutes la même expression. Les rares ouvertures, quant elles existent, sont étroites et souvent protégées et placées très haut au dessus du sol et presque toute possèdent des encorbellements<sup>135</sup>. L'habitation traditionnelle se définit par son introversion organisation très répandue autour de la méditerranée. Le décor à l'intérieur du patio se traduit par l'application de carreaux de céramiques aux motifs composés de formes géométriques très harmonieuses et des carreaux de céramiques aux motifs fleuris et colorés.

<sup>133</sup> TOUARIGT. A. influence du contexte d'édification sur la production architecturale palatine à Alger vers la fin de la période ottomane-Cas de dar Moustapha pacha-Mémoire de magister, sous la direction de Mr Khelifa, EPAU, Alger, Avril 2002.

<sup>134</sup> CORPUS euromed héritage Architecture traditionnelle en méditerranée

<sup>135</sup> A. Raymond (1985). Les grandes villes arabes à l'époque ottomane. Ed. sinbad.

### II.3.5.1. Ouvertures et éléments de façade extérieure

Les ouvertures sur l'extérieur de ces maisons modestes ou des palais sont généralement de formes rectangulaires ou carrées, moyennes ou petites, discrètes avec des grilles droites en saillies ou bâties au nu du mur. Aucune décoration ou ornementation particulière n'est perceptible, sauf celle située à proximité de l'entrée «accès principal».

Les fenêtres à grille en saillie sont généralement protégées par une dalle de schiste<sup>136</sup>. Il arrive aussi qu'à l'étage, les fenêtres soient inscrites dans un cadre rectangulaire en maçonnerie ou dans un arc en plein cintre. La porte d'entrée, témoin de la valeur et de l'ancienneté de la maison se différencie d'une habitation à une autre essentiellement par leur décoration, soit au niveau de l'encadrement ou de la porte elle-même. La porte extérieure, est généralement en bois massif et s'inscrit dans un dormant en arcature, constituant l'encadrement qui dans les grandes demeures ou palais est en marbre blanc et dans les maisons plus modeste en tuf. On distingue deux types d'expression de ce dernier :

- Simple arcature en tuf;
- Arc en plein cintre, s'inscrivant dans un contour de forme rectangulaire avec des moulures.

#### II.3.5.1.1. Typologie de portes dans la médina de la période ottomane

Architecture introvertie, la porte est le seul élément de communication avec son environnement, traduisant ainsi la principale expression de richesse extérieure, par sa décoration, sa forme et sa texture. Deux types de portes que nous avons identifié témoignent de cette expression que nous avons synthétisé dans le tableau ci après :

<b>Portes droites</b>	<b>Portes à arc</b>
✓ Avec auvent	✓ Portes à arc brisé
✓ Sans auvent	✓ Portes à arc surbaissé
✓ Sous arc brisé sous arc surbaissé	✓ Portes à arc outrepassé
✓ Sous arc plein cintre	✓ Portes à arc plein cintre
✓ Sous arc outrepassé	

#### II.3.5.1.2. Chambranles de portes en marbre

Le chambranle de marbre blanc se présentant à l'extérieur des habitations encadre souvent les baies surmontées d'une corniche. Celui-ci se présente légèrement en saillie et s'inscrit dans un rectangle et s'ouvre d'une baie arquée en plein cintre. Il est composé de deux piliers, et l'arcature, qui se compose d'un claveau au niveau de la clef et deux pièces écoinçons.

<sup>136</sup> N. Ouargueli .Les villas Fahs d'Alger. Mémoire de magistère EPAU. Alger; et L. Golvin (2003), Palais et demeures d'Alger à la période ottomane .Ed. Inas. Alger.

Les piliers, de forme généralement rectangulaire, sont sculptés de filets et de moulures rectilignes qui dessinent des rectangles de différentes dimensions ou de motif sculpté en demi-relief, d'aspect floral (Photo 2.36), posé sur un piédestal pourvu de moulures. L'élément qui rassemble les deux piliers est composé d'une arcature, dessinée par deux arcs concentriques de plein cintre, qui s'interrompt au niveau de la clef par un claveau qui ressort en saillie.

Dans une même demeure, certains chambranles se différencient par leurs dimensions et par l'aspect de leurs ornements qui demeurent presque imperceptibles.



**Photo 2.36:** chambranle en marbre, sans claveau au niveau de la clef

#### II.3.5.1.3. Chambranles de portes en tuf

Ils encadrent les baies moins exposées au regard, ou celles dans les maisons modestes, ils se composent d'une simple arcature en plein cintre constituant son contour arqué (Photo 2.37), posée sur deux modestes piliers, généralement au bord droit et continus, pour certains chambranles leur aspect est semblable à ceux conçus en marbre, ou avec une dissemblance qui réside dans l'arcature continue et sans claveau à sa clef, et son ornementation demeure différente et moins riche en éléments.



**Photo 2.37:** chambranle en tuf à arcature continue sans claveau avec sculptures.

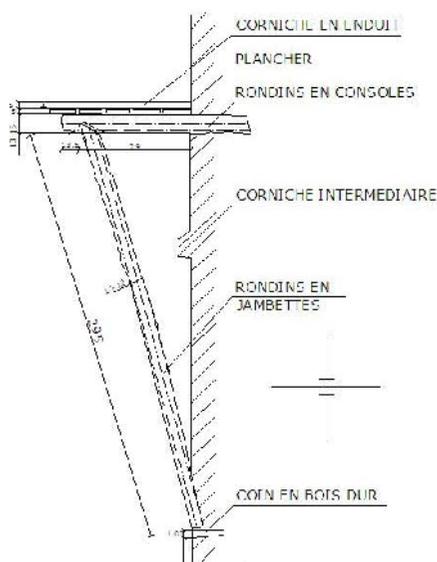
#### II.3.5.1.4. Les encorbellements

Le kbu est l'élément retenu comme typique de l'architecture traditionnelle ottomane, dominant dans la volumétrie des palais et des maisons<sup>137</sup>. La majorité des façades possèdent des encorbellements faisant une saillie sur la rue, elles reposent sur les solivages que supportent des rondins placés en console<sup>138</sup> (Fig. 3.12, photo 2.38).

Ces encorbellements traduisent des alcôves qui sont soutenues par un double système de rondins l'un horizontal et l'autre incliné (Fig. 2.12). Ils sont supportés par des rondins de thuya en bois horizontaux (photo 2.38) souvent décorés d'une rangée de brique de terre cuite,

<sup>137</sup> Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques –Cours de post-graduation de l'école polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme EPAU-Alger « ALGERIE PERSPECTIVES DE LA RECUPERATION »1993 ed du CENTRO ANALISI SOCIALE PROGETTI s.r.l Rome Via Flaminia ,217.

<sup>138</sup> P.Guion (1940).Images du vieil Alger. Alger.



**Figure 2.12:** Détail d'appui de l'encorbellement.



**Photo 2.38:** Encorbellement supportés par des rondins de thuya en bois horizontaux

posés à plat ou inclinés selon le cas<sup>139</sup>. Ils sont composés par des éléments qui permettent le renforcement dans les pièces réalisant ainsi un système en forme de « T » (Fig. 2.12). Ces derniers sont souvent rectangulaires et ont, en moyenne, les dimensions de 2,50 m sur 1,20 m. Néanmoins, l'enfoncement peut varier de 12 à 60 cm selon le cas, mais ils ont la particularité de souvent s'inscrire dans une arcature brisée outrepassée<sup>140</sup>. La saillie des planchers est soutenue à son extrémité par les mêmes rondins, constituant les jambages en rondins de bois qui forment un angle avec le mur porteur (Fig. 2.12).

Les rondins de thuya sont réalisés dans la continuité du plancher, débordant légèrement des murs extérieurs avec leur plus grande partie encastrée dans le mur porteur vers l'intérieur, maintenus par des solives transversales de même type, encastrées dans les murs. La largeur de l'encorbellement équivaut les 2/3 de la hauteur du jambage<sup>141</sup>. Ce dernier minimise la fréquence oscillatoire, qui permet à l'encorbellement de ne pas osciller pour lui permettre d'osciller à petite amplitude lors les secousses sismiques, et le prévient de la rupture<sup>142 143</sup>.

### II.3.5.2. Décors à l'intérieur du patio

<sup>139</sup> A.Ravéreau (1985).Op. Cité.

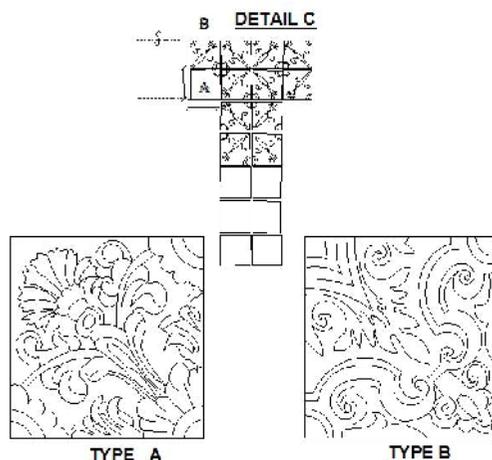
<sup>140</sup> Atelier Casbah (1980) Op. Cité.

<sup>141</sup> A.A.Abdessemed Foufa-département d'Architecture, Université de Blida Algérie et Djilali Benouar département de Génie civil Laboratoire dans l'environnement de Bab-Ezzouar Alger «Les Techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger. ».

<sup>142</sup> Idem.

<sup>143</sup> A.A.abdessemed-Foufa (2005) Op .Cite.

L'intérieur est composé de matériaux pour la plupart nobles (marbres, céramiques, bois) avec des décorations très élaborées. Qu'ils s'agissent d'un palais ou d'une demeure simple, le patio se développe sur une surface plus ou moins carrée et est surélevé du sol par une légère différence de niveau qui le sépare de la galerie. Cette différence est changeante à chaque angle de ce dernier où l'on notera aussi que certaines bases de colonnes sont par conséquent



**Figure 2.13:** Céramique à l'intérieur du patio



**Photo 2.39:** Vue de l'intérieur montrant la façade du patio ajourée d'arcades.

enfoncées de quelque centimètre dans le plancher de la galerie. Le patio se compose d'une ou deux galeries à quatre côtés et de deux plans verticaux où les façades décorées présentent à la fois leurs propres murs et les façades des chambres. Le premier est caractérisé par une façade ajourée d'arcades (Photo 2.39). A la hauteur du premier niveau, ce dernier est surmonté d'une ceinture de carreaux de céramique (Fig. 2.13) qui définissent les lignes forces ainsi qu'à la limite de la terrasse par le même type de ceinture au dessus de laquelle est dressée une ligne de tuiles généralement vertes<sup>144</sup>.

### II.3.5.2.1. Les arcades

Les façades dans le patio dans les grandes demeures sont ajourées par deux types d'arcs. Nous avons l'arc en ogive qui est un élément de contreventement de la structure flexible<sup>145</sup>,



**Photo 2.40** intérieure d'un patio dans une maison modeste dessinant des arcs en plein cintre.

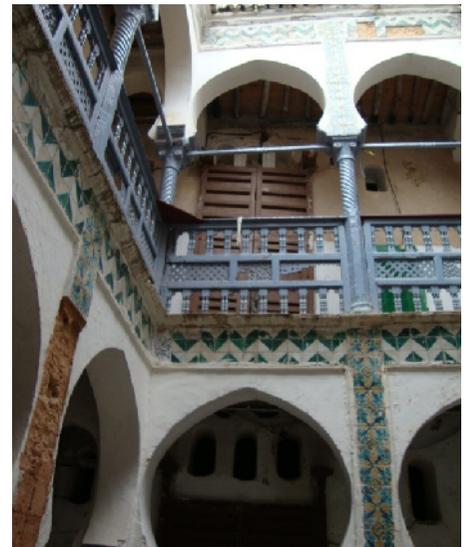
<sup>144</sup> Ouarguéli N. Les villas Fahs d'Alger. Mémoire de magistère EPAU. Alger, et L. Golvin (2003), Palais et demeures d'Alger à la période ottomane. Ed. Inas. Alger.

<sup>145</sup> AA. Abdelssemmed-Foufa. (2007). Op. Cité

raccordant la galerie aux murs porteurs et l'arc brisé outrepassé qui compose la façade. Par contre dans les maisons modestes, la façade intérieure du patio se résume généralement à une rythmique d'arcs en plein cintre (photo 2.40).

#### II.3.5.2.2. Les balustrades

C'est un garde du corps en bois, fixé entre deux colonnes demi torsadée à section octogonale, et situées au premier et deuxième niveau (Photo 2.41). Plusieurs formes géométriques simples et complexes, sont utilisées dans la conception de cette balustrade. Elle se compose de trois registres horizontaux : les registres supérieur et inférieur sont souvent identiquement constitués par un assemblage à double colonnettes avec des sculptures finement élaborées le tout, surmonté par un couronnement. Dans la partie centrale, le bois est ajouré en dentelles décorées d'arabesque<sup>146</sup>.



**Photo 2.41:** balustrade en bois richement décorée.

#### II.3.5.2.3. Le marbre blanc

C'est un matériau généreusement utilisé dans les grandes demeures et les palais essentiellement pour les colonnes et les chapiteaux, dans les cadres des fenêtres, et les portes à un seul battant. Ces plaques de marbre sont parfois richement sculptées traduisant par différents motifs floraux.

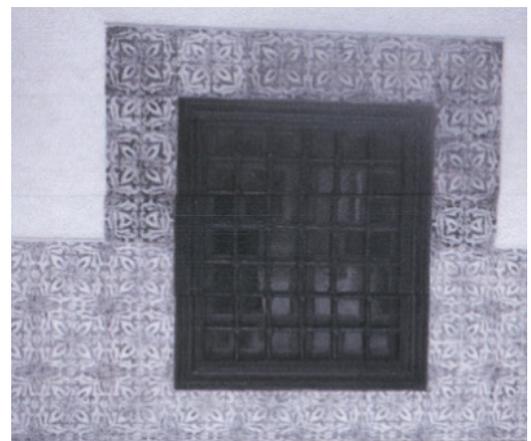
*Les tirants* : C'est une tringle en bois ouvragé, encastrée dans l'abaque qui vise à consolider l'arcature (Photo 2.42).



**Photo 2.42:** Tirant encastré dans le chapiteau en marbre blanc

#### II.3.5.2.4. Les fenêtres

Toutes les fenêtres du patio ont les mêmes caractéristiques. Elles sont de forme rectangulaire ou carré avec deux vantaux massifs en menuiserie de bois et fermés par des grilles (Photo 2.43). Elles sont entourées d'une rangée de carreaux en céramique reprenant les mêmes motifs. Néanmoins, il existe



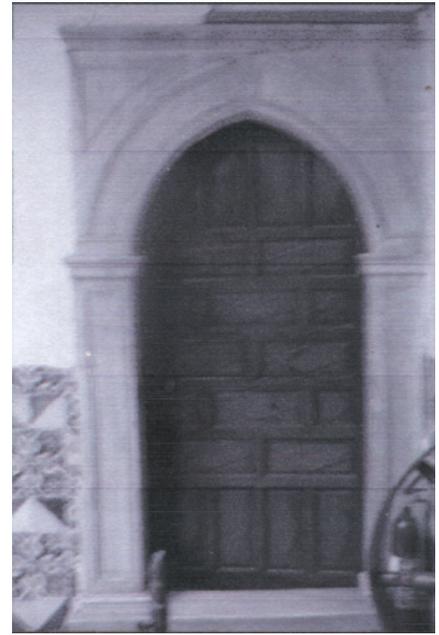
**Photo 2.43 :** fenêtre donnant sur le patio protégée par une grille.

<sup>146</sup> L. Golvin (2003), Palais et demeures d'Alger à la période ottomane .Ed. Inas .Alger.

une légère différence constatée dans la sculpture des cadres en marbre, surtout dans les grandes demeures et les palais.

#### II.3.5.2.5. Les portes intérieures (porte d'entrée donnant vers des espaces intérieurs)

Portes en bois, au décor sculpté, elles se différencient d'une habitation à une autre, par leur décoration soit au niveau de l'encadrement ou des panneaux de porte (Photo 2.44). Porte originelle avec cadre datant de la période ottomane, ces encadrements présentent un arc brisé outrepassé et un arc en plein cintre sur deux pieds droits. Leur forme rectangulaire très allongée est encadrée par des moulures, qui distinguent ses différentes parties. Nous percevons deux pieds droits de l'arc noyé dans le mur, puis le passage de ces derniers à la courbure de la baie, simulant ainsi des tracés de chapiteaux, et enfin une bordure supérieure de la porte sous forme de corniche saillante.



**Photo 2.44:** porte en bois massif à un battant,

#### II.3.6. Les linteaux

Ils en existent plusieurs types et sont constitués généralement d'une unique pièce de bois équarris, ou parfois fractionné, constitué de deux ou trois éléments bruts rondin de thuya (Photos 2.45; 2.46), ou éléments équarris posés en longueur dans la profondeur du mur. Il arrive que ce dernier soit encastré dans le mur avec un arc de décharge bien que les portes et les fenêtres aient des formes rectangulaires aux dimensions moyennes.

Lors de nos investigations sur site, il a été constaté dans les maçonneries des franchissements des ouvertures (portes et fenêtres) exécutés de deux manières:



**Photo 2.45:** Linteau fractionné (en rondins de thuya).



**Photo 2.46:** Linteau en trois pièces fractionnées de bois équarris

- Sous forme d'arcature: franchissements des ouvertures, exécutés par des arcatures maçonnées en briques de terre cuite ou de pierre, où plusieurs formes ont été observées ;
- des arcades en plein-cintre et des arcades en anse de panier (Photo 2.47) ;
- Par des plates bandes avec des portes et fenêtres de forme quadrangulaire (Photo 2.48).



**Photo 2.47** : Franchissement des ouvertures sous forme d'arcature.

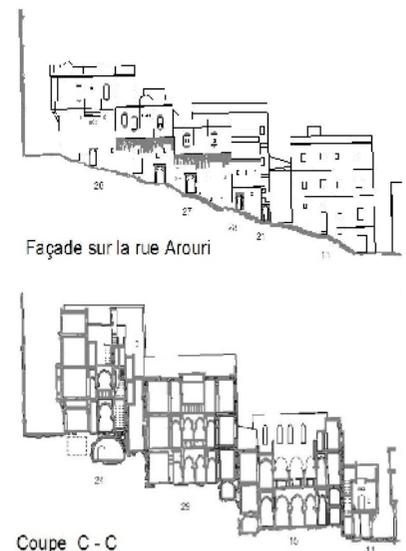


**Photo 2.48** : Franchissement des ouvertures sous forme de plates bandes.

#### II.4. Typologies spatiales et schéma architectural de l'habitation traditionnelle

Les maisons se composent, en général, d'un rez de chaussée, de deux étages d'habitations et sont souvent selon le cas (topographie du terrain) complétées par un sous-sol (avec citerne et cave) et une terrasse habitable<sup>147</sup> (Fig. 2.14). La maison dans les médinas en Algérie hériterai les arcades de la cour par l'Espagne musulmane, tandis que les encorbellements aux étages, soutenus par des rondins en bois, dériverai de la Turquie<sup>148</sup>. Les formes architecturales de la maison s'adaptent dans la taille de la parcelle qui est appelée à se densifier de plus en plus et nous assistons donc à une saturation des parcelles ensuite à une occupation des étages supérieurs<sup>149</sup>.

De conception simple, structurée à partir d'une organisation spatiale pour la plupart symétrique et concentrique, petite ou grande, malgré la déformation des



**Figure 2.14:** façade et coupe sur l'îlot entre les rues sidi Driss hamidouche et aroundi N'fissa, Smala

<sup>147</sup> Revue Africaine ,LXVI(1925),f.66,p 472 et F.Cresti ,situation et transformation urbaine d'Alger au XVI e siècle d'après les descriptions littéraire et iconographie de la ville ,en sciences sociales panorama,1985,f.10.

<sup>148</sup> G Marçais ,salle ,anti salle ,recherche sur l'évolution d'un thème de l'architecture domestique en pays d'Islam ,en annales de l'institut d'études orientales X(1952),p.274-301, à qui Revaut fait référence )

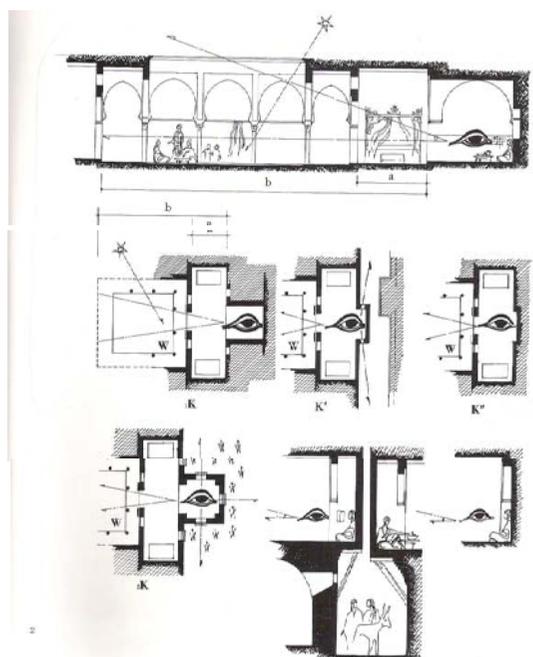
<sup>149</sup> Mme Chareb Oumelkheir Mémoire de magister (2003), Op. Cité p.151.

parcelles et l'irrégularité du tissu, cette maison comporte des espaces de natures différentes mais complémentaires, édifié autour d'une cour intérieure, qui est un élément extérieur introverti. Cet espace central de regroupement familial a également le rôle de régulateur thermique et de source de lumière (Fig. 2.15.), tournant vers l'extérieur des murs aveugles, sans fenêtres. Une logique gère l'ensemble de cette organisation. Les différents espaces, le jeu des portes en chicane, les seuils qui marquent la limite de chaque espace et de chaque étape...

Cette maison est composée par des espaces collectifs matérialisées par le patio (West Eldar) et la terrasse (Stah) et d'espaces privés constitués d'une répétition de Beyts (pièces souvent en forme de T). Elle est multiple car l'unité se reconstitue dans l'espace central commun qu'est la cour-le patio<sup>150</sup> (Fig. 2.15.), disposées sur les quatre cotés de la cour, sont longues et étroites; le mur du fond est creusé d'un espace, le kbou qui dans certains logements existe sous forme de décrochement plus ou moins important apparaissant sous forme d'encorbellement sur la façade<sup>151</sup>.

Chaque beyt se présente sur la cour avec sa propre façade, parfois décorée, qui l'individualise<sup>152</sup>. Les formes géométriques régulières de la cour carrée et des pièces rectangulaires sont obtenues, par la négociation qui se fait pour la première dans les galeries, en absorbant une partie de la déformation, pour les deuxièmes dans les espaces annexes qui les bordent du coté extérieur, un dernier rattrapage est négocié dans l'épaisseur des murs extérieurs et également dans les angles occupés par les services.

L'espace domestique est édifié dans un rapport extérieur/intérieur répondant ainsi à un système d'hierarchie qui se concrétise à travers une série de moments filtre où les dispositifs d'accès/protection de la maison : ruelle ou impasse-couloir ou impasse d'entrée (Driba)-chicane d'entrée (Skiffa)-l'entrée vers l'intérieur. Cet axe extérieur/intérieur, de la rue au centre de la maison à partir du passage vestibule (Driba) la porte une fois franchie, le parcours à effectuer n'est jamais direct<sup>153</sup>.



**Figure 2.15** Espaces recevant air et lumière depuis le patio

<sup>150</sup> Grandet Denis. Architecture et urbanisme islamique, op, cité.

<sup>151</sup> Ravereau André: La Casbah d'Alger, et le site créa la ville. Editions Sindbad, Paris, 1989.

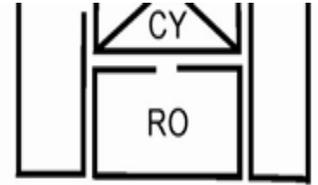
<sup>152</sup> Grandet Denis. Architecture et urbanisme islamique. Office des publications Universitaires. Alger. 1986.

<sup>153</sup> Sakina Missoum (2003) « Alger à l'époque ottomane, la médina et la maison traditionnelle » Edition SARL INAS Alger

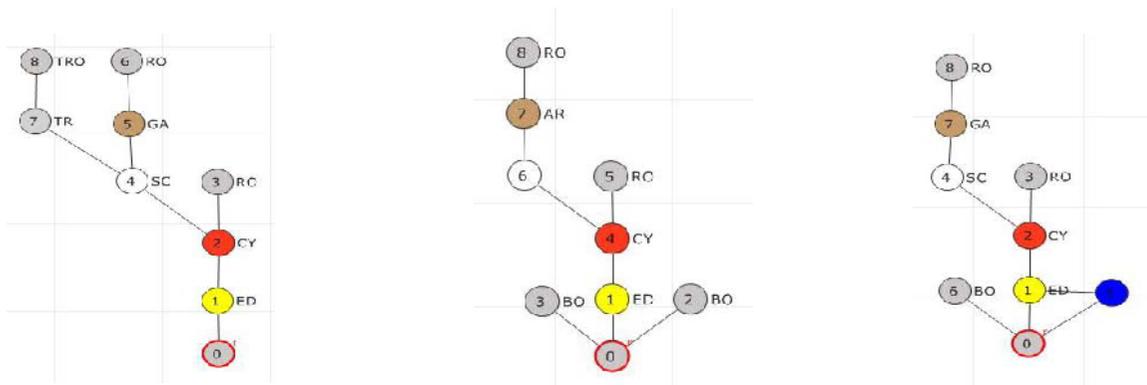
### II.4.1. Schéma d'organisation de la maison

Il est le même pour toutes les maisons même si l'articulation hiérarchisée des Beyts dépend de l'ampleur et de la configuration d'une maison à l'autre. Il reflète d'une part l'organisation de la famille en noyaux à statuts différenciés et hiérarchisés, et d'autre part, l'organisation de l'espace en éléments distincts coordonnés<sup>154</sup> (Fig. 2.16).

- ✓ Dispositif d'entrée (ED): désigne l'entrée-conçue comme un espace tampon entre extérieur et intérieur. Il y'a une variété de Skiffa dans la médina d'Alger; avec couloirs, places assises, et parfois avec une salle pour les invités masculins;
- ✓ (CY): espace ouvert entouré par des arcades et les murs des espaces de vie ex: les chambres;
- ✓ Chambre (RO): la pièce est l'espace de vie dans les maisons et prend plusieurs formes.



**Figure 2.16 :**  
Organisation spatiale commune aux maisons  
Source Grandet Denis



**Figure 3.17.:** Evolution du programme spatial de la maison / aux proportions et aux surfaces

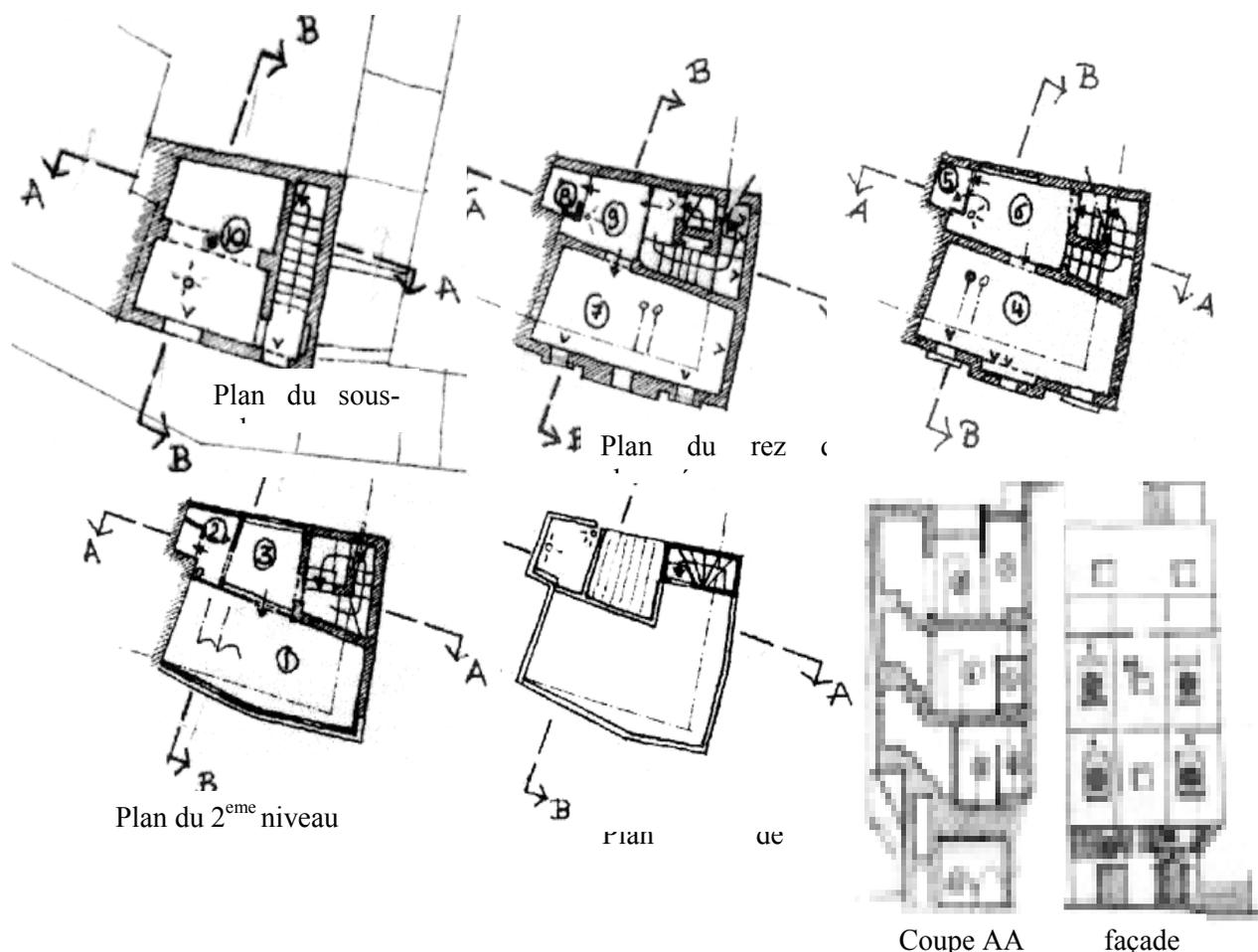
Le programme spatial de la maison évolue par des stations d'adaptation, quand il s'agit de tenir dans un contexte urbain irrégulier, souvent l'adaptation prend la forme d'élimination des éléments tels que des salles ou des services, mais rarement, presque jamais, un espace comme la cour ou le périphérique d'entrée (Skiffa) qui restent les gènes du programme principal. Tel qu'en atteste la figure 3.17. L'analyse menée par l'Atelier Casbah a identifié quelques types supplémentaires qu'on observe dans le bâti (les maisons à Chbeck, Aloui et à portique<sup>155</sup>).

#### II.4.1.1. Typologie maison Aloui

<sup>154</sup> Grandet Denis. Architecture et urbanisme islamique. Office des publications Universitaires. Alger. 1986.

<sup>155</sup> Cf. Atelier Casbah cité op .pp 43-55.

Située à l'angle ou devant la rue, cette typologie s'exprime par une forme bâtie de petite dimension de 30 m<sup>2</sup><sup>156</sup>, dont le volume s'élève en hauteur reposant sur un local au rez de chaussée. La maison s'organise autour d'un escalier et assure son éclairage et son aération par les ouvertures de la pièce conçue, de bonne dimension et de façon à ce qu'elle gagne l'espace de la rue à l'étage par des encorbellements.



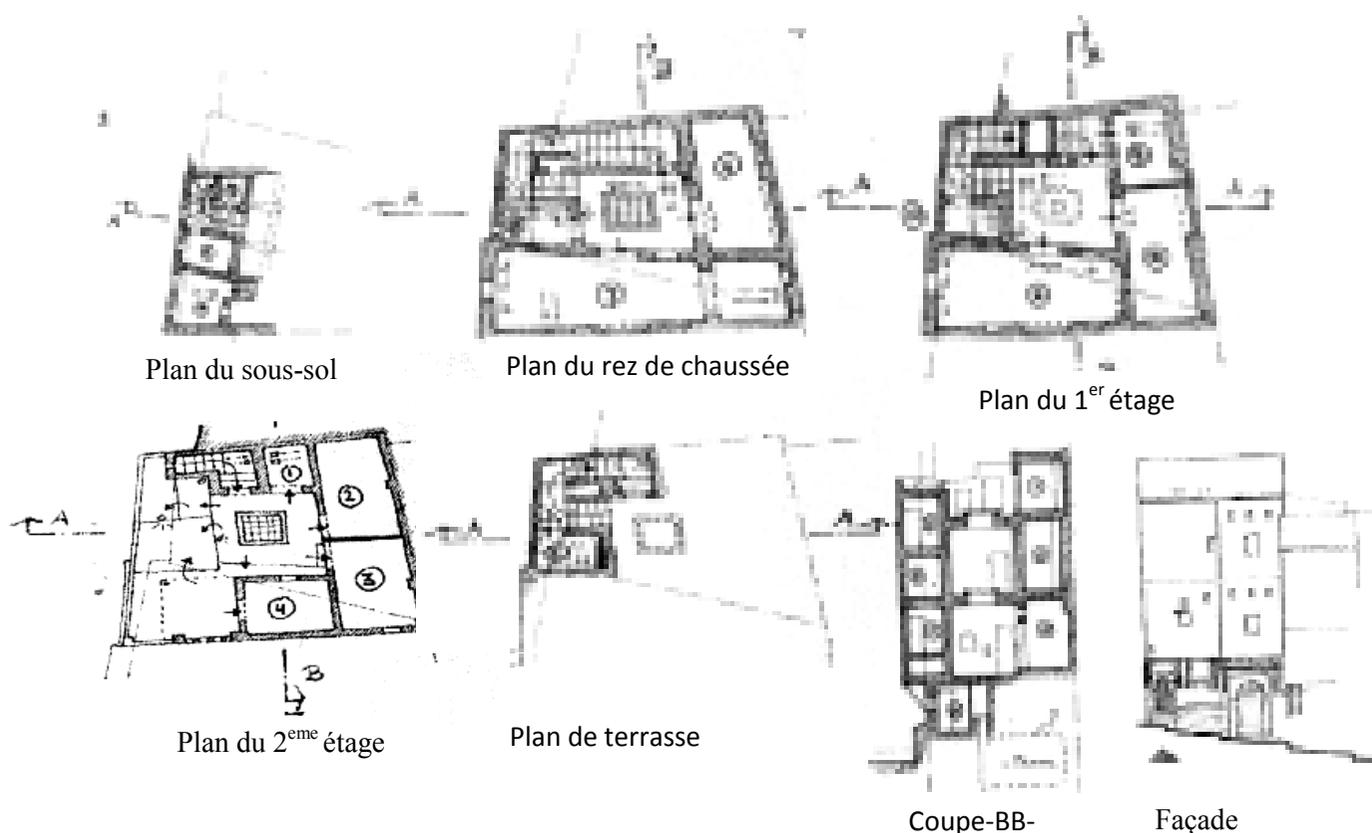
**Figure 2.18** : Maison Aloui

#### II.4.1.2. Typologie maison à Chbeck (un treillis qui recouvre parfois la cour)

Elle s'identifie par les petites dimensions de la forme bâtie, dont l'organisation se structure autour d'un patio couvert et percé par un Chbeck, formé par une grille métallique supportée par des linteaux en bois. Le patio prend place à l'étage car les possibilités en surface le permettent. Ce type d'habitation développe des niveaux supérieurs sur la porte d'entrée de la maison voisine, ou dans la conception des pièces et pour acquérir les surfaces suffisantes, peut

<sup>156</sup> Document PDF, Corpus Euromed héritage «l'architecture traditionnelle méditerranéenne, maison de la médina d'Alger»Création de la fiche 23/02/01, modifiée 03/05/01.

s'étaler jusqu'à la parcelle avoisinante. Un bloc de services, situé sur un des cotés de la maison, regroupe les circulations et les pièces de services<sup>157</sup>.



**Figure 2.19** : La maison à Chbeck

#### II.4.1.3. Typologie maison à portique

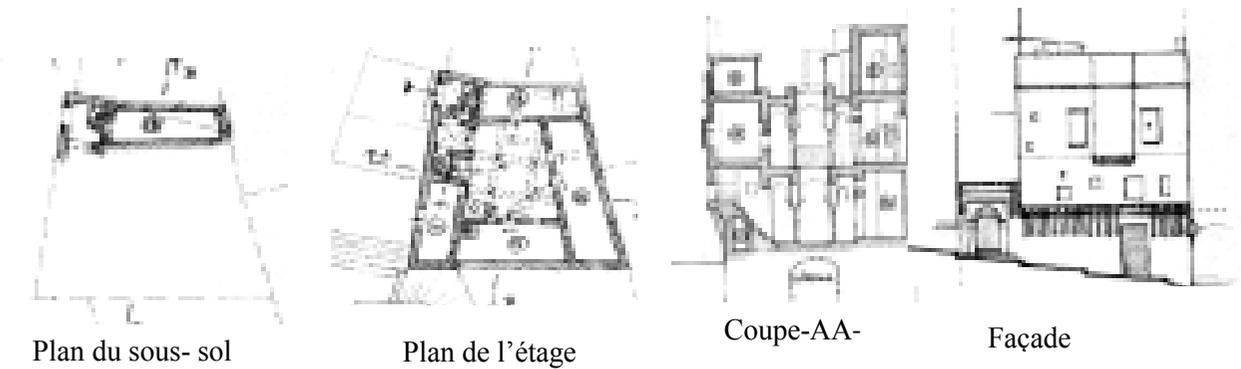
Dans la maison à portique se développe le patio qui s'impose comme échelle d'organisation et de structuration propre à cette typologie. Il se présente en West-ed-dar<sup>158</sup> entouré de portiques à une, deux, trois ou quatre arcatures sur deux, trois, ou quatre côtés, l'arc peut s'appuyer directement sur le mur<sup>159</sup>. Cette typologie offre plus de création architecturale et urbaine car à partir du niveau de l'étage, la maison permet à l'habitation voisine de s'insérer à elle. Une belle pièce caractérise cette typologie et se situe au deuxième niveau avec des niches décorées et un kbou<sup>160</sup> permettant depuis la place assise de cet endroit une vue de l'espace ouvert pouvant aller jusqu'à 8 ou 10 m.

<sup>157</sup> Document pdf, corpus Euromed héritage « l'architecture traditionnelle méditerranéenne, maison de la médina d'Alger » création de la fiche : 23/02/01, modifié 03/05/01.

<sup>158</sup> La désignation du patio, espace central ouvert dans la conception de la maison dans la médina d'Alger à l'époque turque.

<sup>159</sup> Document pdf, corpus Euromed héritage « l'architecture traditionnelle méditerranéenne, maison de la médina d'Alger » création de la fiche: 23/02/01, modifié 03/05/01.

<sup>160</sup> Espace d'encorbellement gagné sur la rue dans l'axe de la belle pièce face à la porte ouverte donnant sur l'arc de la galerie.



**Figure 2.20** : Maison a portique

### Conclusion

*Les typologies structurelles, du patrimoine bâti relatif à la période ottomane, sont riches et variées et d'innombrables éléments architectoniques leurs sont associés. Ces typologies traditionnelles sont multiples et présentent une diversité structurelle qui se définit par l'utilisation des techniques constructives associées à l'utilisation de matériaux adaptés à ces structures. Celles-ci se présentent en murs porteurs en brique de terre cuite, en pierre plus ou moins équarries ou encore mixtes avec des briques de terre cuite et pierre en moellons/pierres équarries, hourdés au mortier de chaux et/ou en terre.*

*Les planchers traditionnels en bois sont à structure porteuse en rondins de thuya, poutres équarries avec une structure secondaire en voligeages (planchettes en bois) et branchage pour les plus anciens. Le kbu élément typique de l'architecture ottomane est présent dans le paysage de nos médinas et révèle une des caractéristiques de ces maisons. Le patio, résultant des valeurs sociales et culturelles de ces communautés, structure l'espace de ces maisons. Autour de cet élément central, les façades sont richement décorées et composées par l'utilisation de matériaux pour la plupart noble (marbres, céramiques, bois) avec des décorations très élaborées. Ces éléments qui composent cette typologie d'habitat leurs confèrent richesse, qualité architectonique et architecturale qui constitue sa valeur.*

*Aborder la réhabilitation de manière correcte est tributaire de la connaissance approfondie de ces différentes typologies et de la maîtrise des techniques constructives relatives à cette période, ainsi que la connaissance éventuelle des pathologies. Une bonne identification liées à ces dernières (point que nous abordons dans le chapitre qui suit) nous permettra d'obtenir des résultats en concordance avec la réalité du terrain.*

TROISIEME CHAPITRE  
PATHOLOGIES DES MATERIAUX  
ET DES STRUCTURES

## Introduction

L'étude des pathologies est une étape primordiale pour l'élaboration du projet de réhabilitation ou autre. Ces pathologies se manifestent généralement en surface des éléments constructifs, mais il arrive parfois où le matériau de construction est affecté de l'intérieur, attaques du bois par des termites par exemple. Ce dernier est très présent dans les constructions de la période ottomane. Nos investigations sur terrain nous ont permis d'identifier deux types de phénomènes à savoir:

- **Les altérations:** Elles donnent la mesure du temps de la construction, qui permet d'en évaluer sa valeur d'antiquité, elle consiste en des modifications du matériau qui du point de vue de sa conservation n'induisent pas obligatoirement une détérioration ;
- **Les dégradations:** Elles peuvent, en fonction des cas, par négligences compromettre l'existence de la construction et de ce fait devront faire l'objet d'une attention particulière. Les transformations dont souffre le matériau, le conduisent à une dégradation avancée qui mettrait en danger son intégrité ainsi que sa permanence<sup>1</sup>.

Il convient donc de prêter une attention particulière sur les différents éléments structurels et constructifs liés à ces typologies d'habitat, ainsi qu'à son environnement. Nos observations réalisées sur l'état de dégradation des maçonneries, nous ont permis de constater la perte de forme des éléments par détachement de parties des matériaux utilisés tels que:

- des dégradations occasionnent l'érosion superficielle ou profonde, qui entraîne une décohésion du matériau, des cavités et des désagrégations;
- les phénomènes de dégradations des éléments en bois (par attaque d'insectes, xylophages, formation de champignons et de moisissures).

Ces observations, nous ont également permis de relever aussi des faits précis par rapport aux dégradations, sur les murs et en particuliers les parois extérieures, ainsi que d'apprécier les systèmes constructifs sur certains plans:

- connaître leur composition matérielle;
- reconnaître le long processus d'adaptation ou d'inadaptation de la construction à son propre vieillissement.

Dans ce cas de figure, certains désordres expriment l'ajustement des éléments porteurs de la construction, aux diverses modifications de son environnement. Par contre d'autres sont des désordres évolutifs qu'il importerait d'identifier afin d'en arrêter le cours.

---

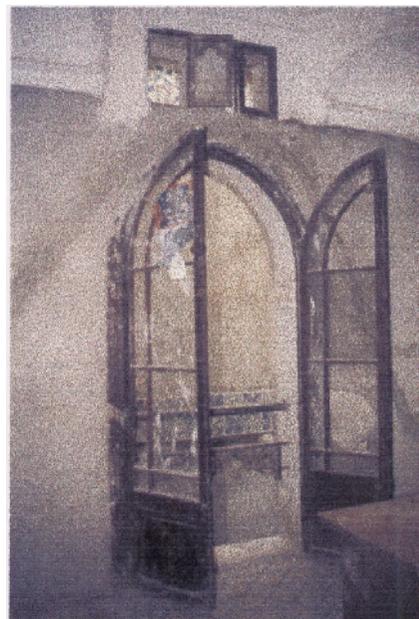
<sup>1</sup> Idem.

La dégradation des matériaux de construction par décomposition induit l'altération de leur compacité, qui dans la majorité des cas conduit à l'écroulement de la bâtisse<sup>2</sup>. Cette étude pathologique nous permettra d'établir un diagnostic, donnant la possibilité d'assurer une intervention correcte. Pour y arriver il nous faudra analyser les lésions et leurs typologies «les pathologies» et les causes qui les provoquent.

### III.1-La dégradation du cadre bâti

Le surpeuplement, la surcharge des éléments de construction, l'utilisation abusive de l'eau et des détergents font que la situation du bâti dans nos médinas se détériore à un rythme accéléré. Cette dégradation n'est pas l'effet du hasard, mais obéit à une logique qui est due à de nombreux facteurs<sup>3</sup> que nous citerons ci-dessous :

- La sur-occupation des espaces, l'éclatement de la famille patriarcale et des relations familiales, l'hétérogénéité de la structure d'occupation des maisons induisent certaines transformations telles que la modification de la volumétrie par les surélévations, l'évolution du patio et son mode d'exploitation qui ne constitue plus une source de vie sociale, de lumière de la maison ;
- Evolution économique et sociale des habitants;
- Facteur démographique, surexploitation des espaces;
- Modification de l'espace de la cour;
- Dépréciation du système de filtres et de protection de l'intimité par la «oukalisisation» et par l'installation de certains équipements et services logés dans les étages voûtés (cuisines, hammams, buanderies...), allant à l'encontre de la cohérence initiale, altérant l'habitabilité des cellules élémentaires (aérations...);
- Les modifications nombreuses dans le détail (Photo 3.1), comme la fermeture systématique des portes des appartements, le calfeutrage du vide des arcades, le cloisonnement des galeries du patio, le calfeutrage des fenêtres sur patio, la réduction de l'espace habitable, la privatisation des cellules élémentaires de leurs prolongements extérieurs, entraînent un



**Photo 3.1:** Baie française, vitrée et pourvue de garde -

<sup>2</sup> Gob A. et Drouguet N. « La muséologie histoire, développement, enjeux actuels » (2003) p.142 :« maintenir un degré d'humidité relative HR<60% » Les champignons responsables des taches de moisissures produisent les spores lorsque le degré d'humidité relative dépasse les 60%.

<sup>3</sup> B .Declève et J .Fobbelets nous ont énuméré quelque raison de dégradation dont nous avons repris quelques uns et les ont enrichis par d'autres, dans leur document qui a pour intitulé: Typologie et morphologie dans la médina : Enseignement de la tradition (D'après : Fiches Typologiques-1981).

désintéressement de l'espace collectif, le manque d'entretien et la non réparation des dégâts occasionnels ;

- L'humidification des espaces et des structures du fait des carences d'aération et/ou de la vétusté, la transformation ou la dégradation des réseaux de fluides non entretenus ;
- L'altération des éléments du patio: colonnes, enduits décors et protection, menuiseries etc., par refus de la prise en charge de l'espace et/ou transformations anarchiques et mal maîtrisées, et c'est la dégradation générale de l'espace architectural.

Parmi les perturbations qu'ont connues ces constructions traditionnelles nous citerons :

- Les surélévations (Photo 3.2), et les transformations internes anarchiques, portent atteinte à la stabilité de l'ouvrage (fondations inadaptées), et déséquilibre les proportions et l'esthétique qu'offrait la volumétrie de tout l'ensemble;
- La disparition des éléments de contreventement;
- L'absence d'entretien des maisons et surtout de l'étanchéité des terrasses;
- L'utilisation de matériaux incompatibles avec les structures anciennes;
- La démolition sans étaie préalable des maisons mitoyennes, désorganise la macrostructure de l'îlot;
- L'infiltration des eaux par ruissellement, par capillarité, et l'humidité des condensations (taux d'occupation par pièce élevé) attaque la surface interne des murs;
- La vétusté et la saturation des réseaux d'égouts, dégrade les sols et les fondations.



**Photo 3.2:** Sur -élévation illicite

### III.2. Pathologies humides

Comme pour toutes les constructions en brique de terre cuite, en pierre et moellon ou mixte, les pathologies humides sont généralement causées par le ruissèlement, la condensation et les remontées capillaires. La présence d'eau est source de réactions chimiques et de dissolution.

#### III.2.1. Le ruissèlement

C'est un écoulement d'eau le long d'un mur de façade, entre autre à cause d'une absence de passe de toiture, pouvant induire des infiltrations à travers son enduit fissuré (Photo.3.3).

#### III.2.2. La condensation

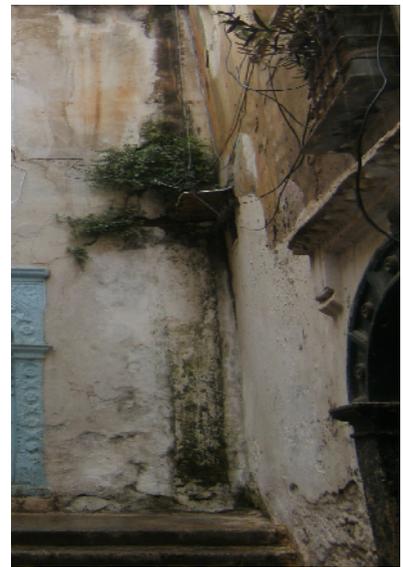
C'est une accumulation d'humidité sous un enduit étanche ou sous une cloison non hygroscopique, qui se manifeste généralement par des décollements d'enduit.

### III.2.3. Les remontées capillaires

Remontées des eaux du sol par capillarité à travers le mur causées par une absence ou détérioration de l'étanchéité à sa base

### III.3. Dégradation des matériaux

Elle concerne les dégradations des surfaces des murs, essentiellement dans les zones d'usures à savoir: escaliers, toiture-terrasse, bas des murs, induits par le manque de résistance des enduits à l'effet du temps, à l'érosion et manque d'adhérence à la structure porteuse. Elle concerne aussi les éléments de finition tels que (portes et fenêtres en bois, et les carrelages, peinture et faïence).



**Photo 3.3:** Cloquage de l'enduit / accumulation d'humidité

#### III.3.1. dégradation de la surface des murs

Ces dégradations peuvent être aussi bien intérieur qu'extérieur, elles se manifestent généralement par:

- De fines fissures filiformes dans l'enduit; fissures grossières de gonflement; éclatement de surface de mortier; décollement et ouvertures de joints mortier.

L'eau qui s'infiltré ou coule le long des murs, fait que les enduits gonflent et les mortiers se détachent. Il peut aussi en résulté des traces visibles par des souillures et des efflorescences d'hydrate de chaux.

Les constructions dans les médinas subissent l'impact d'un environnement pollué, apparaissent alors, certains dommages par les altérations dans la qualité des enduits (Photo 3.4), souvent attribuées aux vapeurs acides de l'atmosphère. Certaines constructions proches de la mer, subissent les inconvénients liées au climat marin.



**Photo 3.4:** Détérioration de l'enduit par vieillissement

### III.3.2. Pathologies affectant les enduits

Ces pathologies sont souvent dues à une mauvaise mise en œuvre, à un manque d'entretien, au vieillissement des enduits, au phénomène naturel inhérent au temps<sup>4</sup>, et/ou à une réfection locale inadaptée, pouvant amener les pierres et les briques de terres cuites à se détacher et même à tomber (Photo 3.5).

Et ont pour cause :

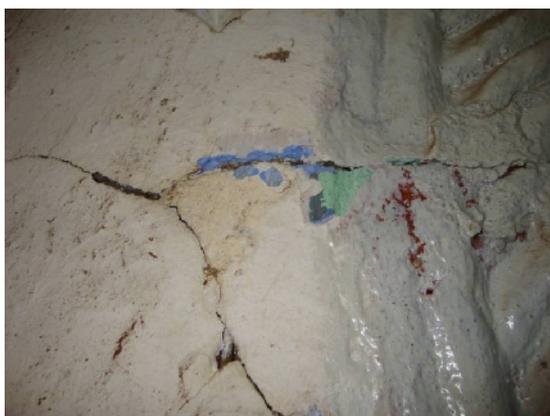
- **physique** résultant des actions de dilatations et de tractions sous l'influence du climat et des variations thermiques entraînant avec le temps des décollements ou des fissures (Photo 3.5) ;
- **chimique** résultant des actions de dissolution du liant (Photo 3.6) (la chaux), action des bactéries cryptophages et des moisissures du à la présence d'humidité
- **L'intervention de l'homme par :**
  - ✓ Des installations irraisonnées de parabole et de poteau électrique de boîte de dérivation, causant fissuration et effritement de l'enduit;
  - ✓ La méconnaissance des procédés traditionnels en matière de protection des surfaces et l'incompatibilité



**Photo 3.5:** Gonflement, Décollement en plaques de l'enduit



**Photo 3.6 :** Vieillesse de l'enduit, décollement et



**Photo 3.7 :** Application de peinture vinylique



**Photo 3.8:** Réfection de l'enduit à base de mortier de ciment

physico-chimique enduit au ciment/support (Photo 3.8) et peinture vinylique (Photo 3.7).

<sup>4</sup> Ecole d'Avignon « technique et pratique de la chaux » 2<sup>e</sup> Edition EYROLLES, 3<sup>e</sup> tirage 2004 ; Paris France.

Facteurs D'altération	Les pathologies (effet visibles), mécanisme d'altération	Les causes à l'origine des dégradations
Physico-chimiques	Le gonflement, décollement en plaque, cloquage a la surface.	-manque d'adhérence (vieillessement des enduits, cristallisation de sels sous un enduit ou couche d'enduit) -gel pendant la prise -incompatibilité de liant
	L'effritement/désagrégation de l'enduit	-sous dosage, sable trop fin -évaporation prématurée d'eau de gâchage -mauvaise prise du liant -talochage ou lissage tardif -gel
Physico-chimiques et /ou mécaniques	<p><b>Le faïençage</b> (petites fissures linéaires superficielles/ à la surface de 20 cm<sup>2</sup>);</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Les microfissures</b> (discontinues avec une largeur inférieure à 0,2 mm) ;</li> <li>- <b>Les fissures</b> (entre 0,2 mm et 2,0 mm) ;</li> <li>- <b>Les lézardes</b> (affectant l'enduit et le support <math>\geq 2,0</math> mm)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-surdosage en liant ou humidification trop importante du support</li> <li>-mortier trop fluide à l'application</li> <li>-dessiccations trop rapide /support pas assez humide, trop de soleil ou de vent</li> <li>-déformation thermique : T°: J .et.N</li> <li>-mouvement du support (tassement des murs sol non stable fondations insuffisantes)</li> </ul>
Physico-chimiques	(Les spectres, les fantômes, apparition de joints), les efflorescences, les auréoles,	<ul style="list-style-type: none"> <li>--différences de porosité de matériaux différents humidification différentielle dans le mur entre pierre/ briques et joints)</li> <li>-migration des sels a la surface de l'enduit, ou chaux non carbonatée.</li> <li>-enduit trop fin épaisseur insuffisante</li> <li>-mortier trop maigre trop perméable</li> <li>-maçonnerie trop récente</li> <li>-conditions atmosphériques défavorables lors de l'application (froid et humidité)</li> </ul>
Anthropique et/ou Physiques	Le Cloquage	<ul style="list-style-type: none"> <li>-mauvaise préparation du support</li> <li>-talochage ou lissage trop hâtif</li> <li>-séchage trop rapide mur insuffisamment humidifié.</li> </ul>
Biologiques	Les désordres esthétiques / taches et désagrégations en surfaces	Développement de bactéries cryptophytes, moisissure du à la présence d'humidité

**Tableau 3.1: Récapitulatif des différentes pathologies des enduits <sup>5 6</sup>**

<sup>5</sup> Ecole d'Avignon « technique et pratique de la chaux » 2° Edition EYROLLES, 3° tirage 2004 ; Paris France et M.Olivier Laboratoire geomateriaux de L'ENTP E. E.P du CNRS n° J 0160 « Restauration des structures en terre crue en fonction de

### III.4 Dégradation des éléments de décorations et de finitions

- les grilles quadrillées en fer des fenêtres qui donnent sur le patio ont pour la plupart disparu;
- les revêtements au sol eux aussi pour la plupart sont abimés;
- Les lucarnes (parties en retrait éclairant l'intérieur des coupoles, ont été obstruées pour certaines et brisées pour d'autres).

#### III.4.1. Dégradation des éléments en marbre et tuf : (chambranles de portes, colonnes)

Le marbre subit plusieurs dégradations et altérations dues à différents facteurs, physiques, physico-chimiques, biologiques et les facteurs anthropiques.

##### III.4.1.1. Les facteurs physiques

Il existe deux formes de contraintes mécaniques (forces qui tend à modifier la forme et l'intégrité du matériau), qui apparaissent à l'intérieure comme à l'extérieure du matériau<sup>7</sup>.

- ✓ La contrainte mécanique extérieure, appliqué sous forme de charge peut faire des dégâts, en particulier dans le cas d'effort de traction où la résistance du matériau est faible ainsi que dans les parties qui reçoivent plus de charges, en particulier les futs des colonnes, les chapiteaux...etc. En générale dans les structures en marbre de la construction même s'il ne se produit aucune fracture macroscopique, la contrainte peut être la cause d'une déformation permanente et de la formation de fissures microscopiques<sup>8</sup>.
- La contrainte mécanique intérieure se manifeste par l'action de la corrosion des tiges en fer ou agrafes, provoquant une augmentation du volume du métal, la détérioration provoque alors une multiplication des fissures et l'éclatement du marbre<sup>9</sup>.

##### III.4.1.2. La contrainte thermique

La variation de température dans les constructions fragilise le marbre et accélère leur dégradation<sup>10</sup>; Il est à noter que le coefficient de dilatation thermique du marbre reste insignifiant par rapport à d'autres matériaux: Si on prend les variations dimensionnelles dues au changement de température de 30°C pour des pièces d'un mètre de long: est de 0,15 mm pour le marbre, par contre elle est de 0,25 mm pour le granit et de 0,7 mm pour l'aluminium<sup>12</sup>.

leur technologie de construction » ; et Bayol, M.G.(1991). Contribution à l'étude de l'influence de la succion sur les comportements des sols non saturés compactés DEA de Génie Civil-

<sup>6</sup> Traité de construction en terre ;op Cité ;et Baloul N.« Conservation et valorisation du patrimoine architectural en terre dans le sud de l'Algérie. Le cas des ksour du Twat-Gourara » Mémoire de Magister, sous la direction de Mr Dahli M .UMMTO,

<sup>7</sup> Giorgio Torraca .Matériaux de construction poreux, ICCROM, Rome, 1986, p.86.

<sup>8</sup> Idem p.24.

<sup>9</sup> Idem p.37.

<sup>10</sup> Idem p.25.

<sup>11</sup> Idem p.29.

<sup>12</sup> Giorgio Torraca, op, cité, p 29.

### III.4.1.3. L'action des sels

La faible porosité du marbre, assure une protection contre les attaques et les altérations causées par ces sels, par contre, un marbre démunie de son épiderme n'en est pas à l'abri. Elle se manifeste par:

- L'apparition de sels soluble rependus sur les surfaces en pierre, soumises à l'action de la pluie et de l'humidité tel: les colonnes en tuf des galeries; cette pénétration saline mise en évidence par la coloration blanchâtre à la surface (Photo 3.9); enlève à l'élément les caractéristiques chromatiques qui lui sont propre;
- L'ensemble des parties décoratives sont envahies par des abrasions et rendant la lecture de la décoration difficile, les revêtements au sol sont détériorés (Photo 3.10);



**Photo 3.9** Détérioration de la colonne en tuf/petite tache de coloration blanchâtre



**Photo 3.10:** Revêtement au sol en marbre abimé

- Une rupture de la continuité par rapport à la structure florale aux niveaux des chapiteaux, architraves et encadrements de porte; qui est aussi observée aussi aux niveaux des structures artistiques réalisées en marbre (Photo 3.11).



**Photo 3.11:** Clef du chambranle de la porte remaniée

### III.4.1.4. Les facteurs physico-chimiques

**L'eau à l'état solide:** Le cycle gel/dégel, fragilise le matériau et provoque également le détachement et l'éclatement des grains de matériau en question<sup>13</sup>.

L'action du gel-dégel pour le marbre se traduit par un détachement des plaques en surface, des cassures et une fragmentation des angles<sup>14</sup>.

<sup>13</sup> Coque (R) –géomorphologie, Sieme édition, Paris, 1977, p 100.

<sup>14</sup> Marc Mamillan, pathologie et restauration des constructions en pierre, Rome, 1977, p 21.

- L'eau à l'état liquide (*eau de pluie, eau de la nappe phréatique, ainsi que les condensations*);
- **L'eau de pluie** par son action mécanique, altère le marbre dépourvu de son épiderme. Dans ce cas l'eau est très agressive car en contact avec la surface de marbre peut libérer ces grains et provoquer le phénomène de la désagrégation. Cette eau de pluie fait des réactions chimiques et agit comme un solvant, surtout en présence de l'anhydride sulfureux et le gaz carbonique<sup>15</sup>.
- **L'action de la nappe phréatique (eau souterraine)**  
L'altération des éléments en marbre posés directement sur le sol, est due au mécanisme de l'humidité ascensionnelle, l'eau chargée des sels par remontée capillaire, pénètre dans la structure du marbre et provoque des contraintes internes lors de son évaporation<sup>16</sup>.

- **L'action de condensation**

La porosité du marbre blanc augmente avec son âge: ceci en rapport avec les phénomènes internes de fissurations causées par les cycles thermiques<sup>17</sup> La condensation se manifeste à la surface du matériau sous forme d'un film d'eau très mince, provoquant plus de dégâts que l'action directe de l'eau de pluie ou celle provenant du sol, elle peut générer la détérioration du marbre en deux phases:

- Phase d'humidification la nuit: Par l'attaque des acides;
- Phase d'assèchement le jour: Par la cristallisation des agents polluants<sup>18</sup>

- **L'action de la pollution atmosphérique**

La dégradation induite par la pollution atmosphérique se traduit par une croûte noire qui apparaît dans les zones non exposées à la pluie, la dégradation peut se poursuivre sous cette croûte discontinue et perméable à l'eau qui recouvre souvent un matériau peu cohérent et désagrégé<sup>19</sup>.

### III.4.1.5. Dangers des produits manipulés

Les produits utilisés dans la restauration /conservation, peuvent avoir un effet néfaste sur le marbre. Ex utilisation des acides spéciaux ou des bases fortes, etc., Ces produits même s'ils ne provoquent pas des dégâts immédiats, peuvent se manifester ultérieurement.

---

<sup>15</sup> Talobre J.A, La mécanique des roches et ses applications, 3ième édition, Paris, 1967, p 38.

<sup>16</sup> Giorgio Torraca, op, cité, p 11.

<sup>17</sup> Giorgio Torraca, op, cité, p 42.

<sup>18</sup> Idem.

<sup>19</sup> Vasco F, Pollution atmosphérique et altération de la pierre ,In la dégradation et la conservation de la pierre UNESCO, Venise,1988,p 91.

### III.4.1.6. Les interventions incorrectes

Des erreurs sont commises, tels que les mauvaises opérations de restauration, comme l'utilisation des tiges en fer lors d'assemblages des constructifs en marbre, l'absence de joints de dilatation quand la roche est taillé pour des exigences décoratives et non suivant les caractéristiques de la roche elle-même, c'est-à-dire taillé parallèlement au plan de stratification, ce qui induit facilement la formation de fissures<sup>20</sup>.

- Représentant un diagnostic «constat de l'état de conservation d'élément en marbre trouvé sur site tels encadrement de fenêtre sculpté, pavement au sol, marche d'escaliers -les méthodes d'intervention seront relatées dans le Chapitre IV-

Facteurs d'altération	Causes	Mécanismes d'altération
<b>Physiques</b>	contraintes mécaniques (rouille, mortier de pose)	Coloration rouge Cassures, micro-Fissures ;
<b>physico-chimiques</b>	la pollution atmosphérique ; l'humidité	Taches noires, Suie et poussière
<b>biologiques</b>	algues lumière /humidité (milieu favorable)	Coloration verte, Coloration grise Croissance d'herbes Dépôt d'insectes (araignée)
<b>anthropiques</b>	Travaux de restauration : Incrustation, chaux plâtre, ciment -temps et déplacement) -liant bitumineux	Cassures ou /et microfissures Coloration brune (peinture) Coloration jaune (peinture) Usures Morcellement Coloration noire Trace de crayon

**Tableau 3.2 : Récapitulatif des différentes pathologies du marbre**

### III.5. Pathologies affectant les éléments structurels en bois

Le bois est un matériau que l'on retrouve sous diverses formes, rondins en bois de thuya<sup>21</sup>, solives, voliges pour planchéage, planches et pièce de bois, planchettes...etc. Le séisme de mai 2003 a révélé dans ces constructions l'originalité dans la mise en œuvre des éléments

<sup>20</sup> Decirquez D. Les méthodes de conservation des marbres, in le marbre dans l'antiquité, les grandes périodes d'exploitation Grèce, Haute empire et époque tardive, p.46.

<sup>21</sup> Espèce d'arbre de la famille des cupressacées.

structurels en bois. Ce matériau est employé d'une manière différente d'un domaine à l'autre, on le voit utilisé, au cours des travaux de maçonnerie, sous forme d'un chaînage horizontal. En charpenterie ou en menuiserie, ce matériau forme l'ossature de plancher, ainsi que la plupart des éléments ouverts (portes, fenêtres, balustrades et autres).

Dans des conditions appropriées le bois est connu comme un matériau très durable, néanmoins lors des investigations menées sur terrain, le constat des dégradations sur certains de ces éléments structurels s'interprètent, par des fissures et des altérations, témoins d'une présence de leurs principaux ennemis tels;

- **les agents abiotiques**: la radiation solaire, le froid (variations de température);
- **la pluie** (variation d'humidité);
- **les agents biotiques** (les insectes et les champignons);
- ainsi que des problèmes structurels causés par des dégâts induits par une dégradation de la matière, ayant pour cause:
  - des insectes affectant sa résistance;
  - des champignons ainsi que d'autres processus biologiques dégradant, qui se traduisent par l'altération de ses structures au niveau des parties affectées par l'eau.
- ✓ du aussi a la différence de taux humidité entre l'intérieur et l'extérieur, par les tensions qui donnent naissance à des déformations, voire a l'apparition de gerces, provenant de la contraction du bois lorsqu'il sèche et de la perte non uniforme d'humidité<sup>22</sup>.
- ✓ Ces désordres pouvant être accentués par des déformations liés a un sous dimensionnement de ses structures ajoutés au phénomène d'humidité, résumé dans le principale cycle générateur de désordre suivant<sup>23</sup>:
  - ***Sous-dimensionnement et /ou surcharge et /ou humidité = déformation = entrée d'eau = pourrissement.***

La structure des planchers formée de rondins en bois de thuya, s'altère dans ces points d'appui à cause des moisissures, des parasites ou des insectes<sup>24</sup>; sa dégradation peut aussi être d'origine accidentelle a savoir: fuites aux niveaux des terrasses (planchers effondrés, étanchéités défectueuses ...), de canalisations ou contact avec un Corp.-humide. A cela peut-être ajoutés les nombreux séismes qu'a connus l'Algérie, qui a chaque fois secouent et endommagent la structure; les tremblements de terre posent des problèmes de prévention et exigent pour les destructions même partielles qu'ils causent, des interventions de restaurations importantes.

<sup>22</sup> Cahiers du centre technique du bois et de l'ameublement, d'après les résineux français, septembre 1984.

<sup>23</sup> J Coignet « arts de bâtir traditionnels : « connaissances et techniques de réhabilitations » EDISUD, 1987.

<sup>24</sup> Cahiers du centre technique du bois, Op.cité.

### III.5.1. Pathologies dues à des origines physiques

#### III.5.1.1. Le retrait du bois

L'expansion (*le gonflement*) ou la contraction (*le retrait*) du bois qui se courbe et se déforme en cas de charges permanentes<sup>25</sup>, est due au changement des conditions d'humidité et de température car: (les variations du pourcentage d'humidité induisent des variations de la masse volumique du bois et des variations dimensionnelles)<sup>26</sup>.

Lorsque le retrait est empêché par des assemblages, le bois se fend (Photo 3.14), ces fentes de retrait peuvent se répartir en petites tailles ou être singulières avec des profondeurs assez remarquables, formant des pièges à eau favorisant le développement de substances néfastes et des champignons de pourriture très dangereux, qui diminuent leurs résistances mécaniques, voire même les annulent. On distingue trois types de pourriture:

- pourriture brune ou cubique induisant une perte de résistance pouvant être totale;
- Pourriture blanche ou fibreuse, le bois atteint un niveau important de dégradation et de perte de résistance (Photo 3.12);
- pourriture molle, responsable du
- ramollissement du bois en présence d'un taux d'humidité élevé. Cette attaque est constatée sur des éléments en contact avec la terre<sup>27</sup>.



**Photo 3.12:** Pourriture blanche cause de dégradation et de perte de résistance du bois



**Photo 3.13 :** Rupture de la poutre par cisaillement et flexion



**Photo 3.14:** fléchissement du bois probablement dû à une sollicitation excessive.

<sup>25</sup> Julius Natterer, Op. Cite

<sup>26</sup> Cahiers du centre technique du bois et de l'ameublement, d'après les résineux français, septembre 1984.

<sup>27</sup> Université de colombie-britannique(UBC).Op. Cite.

### III.5.1.2 Fissurations graves et ruptures des assemblages

Le gonflement dû à l'humidité du bois, alternés avec le retrait, contribuent à défaire les assemblages qui sont les points les plus sensibles d'une structure. Les bois sous dimensionnés ont des flèches importantes sous l'effet des charges et surcharges, qui déforment leurs planéité, entraînant des fissurations, due à une mauvaise conception, à une sous estimations de ses effet de retrait et de ses effort de traction transversale<sup>28</sup>, (Photo 3.13).

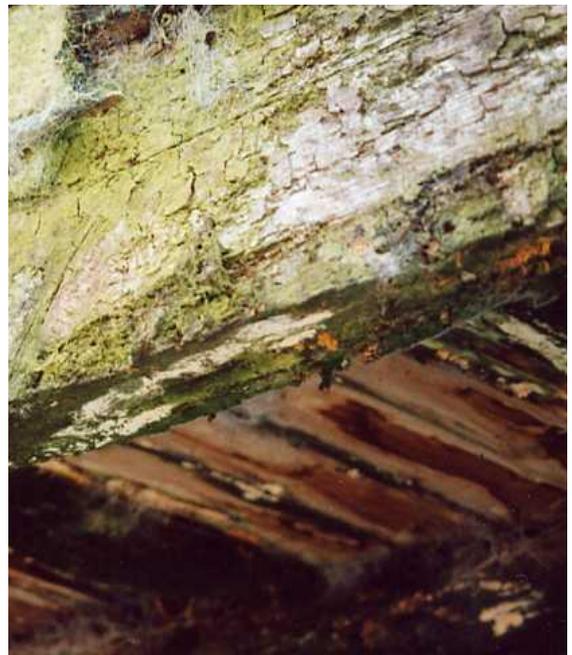
### III.5.1.3. Défaillance structurelle du bois

Un sous dimensionnement, une mauvaise transmission des efforts, et/ou une surcharge, peuvent entraîner une baisse de résistance de la structure en bois (Photo 3.14). Cette structure soumise à des niveaux de contrainte dépassant sa résistance, occasionnent sa défaillance structurelle par une sollicitation excessive du bois<sup>29</sup> et se traduisant par: le fendillement ou le tassement de ces éléments en bois, le fléchissement, l'apparence de nouvelles fissures ou des interstices entre différentes parties d'une structure par leurs affaissement<sup>30</sup>

### III.5.2. Pathologies dues à des origines biologiques

Sous l'action des agents abiotiques (insectes, champignons) le bois se dégrade. Le taux d'humidité (variant de 20 % à 30% d'humidité)<sup>31</sup>, l'emplacement de la pièce en bois et sa mise en œuvre, favorisent le développement de champignons et/ou le risque d'attaques de termites et d'insectes de cycle larvaire<sup>32</sup>.

Ces désordres dus à l'action des champignons<sup>33</sup>, par la présence de conditions d'humidité et de température, accompagner du manque de ventilation, favorise leurs proliférations, causant sa dégradation<sup>34</sup>, (Photo 3.15)



**Photo 3.15:** Développement de champignons altérant le bois

<sup>28</sup> Michel Houeix, fiches pathologiques bâtiment, Agence Qualité construction(AQC), SMABTP .paris2003

<sup>29</sup> Michel Houeix. Op. Cité

<sup>30</sup> Julius Natterer, Traité de génie civil, construction en bois, matériaux, technologie et dimensionnement, presse polytechnique et universitaire Romande, Lausanne 2004.

<sup>31</sup> Julius Nattere, OP, Cité

<sup>32</sup> Michel Houeix, fiches pathologiques bâtiment, Agence Qualité construction(AQC), SMABTP .paris2003

<sup>33</sup> Université de Colombie britannique (UBC).fiche techniques sur la protection du bois : causes et conséquences.2002, Forintek Canada corp.

<sup>34</sup> Idem

Ce phénomène se manifeste par la présence de fissures, par le changement de couleur et d'odeur ainsi que la diminution de sa densité<sup>35</sup>. Ces champignons de pourriture prolifèrent dans les points d'accumulation d'eau, soit dans des fentes ou bien au niveau de sa surface selon son positionnement dans la construction. Ils apparaissent aussi dans les parties du bois encastrées dans le mur ou au niveau d'autres éléments de la structure à l'endroit ou plusieurs éléments en bois joint constituent le plancher.

D'autres champignons, tels que les moisissures sont repères à la formation de spores, de couleur foncée, sur la surface du bois, ou d'un corps sous forme pelucheuse. Il existe aussi des champignons chromogènes<sup>36</sup> responsables du bleuissement, qui contrairement aux moisissures pénètre à l'intérieur du bois, augmente son hygroscopicité, ce qui favorise l'apparition de pourritures plus destructives.<sup>37</sup> Réduisant sa résistance, sa densité et par conséquent sa durabilité.

<b>Facteurs d'altération</b>	<b>causes</b>	<b>Mécanisme d'altération</b>
<b>-Biologiques</b>	par contact avec des organismes xylophages -insectes, -moisissures	-Diminution de la densité Réduction de la résistance présence de fissures
<b>-Physiques</b>	Par changements d'humidité	-Gonflement et retrait du bois, induisant des variations dimensionnelles, présence de fissures
<b>-Mécanique</b>	Par des surcharges importantes	-fluage -discontinuité des sections résistantes

**Tableau 3.3 Récapitulatif des pathologies du bois**

### III.6. Pathologies affectant les éléments structurels en maçonnerie de pierre

#### Introduction

L'altération de la pierre est provoquée, par l'adaptation de ses éléments internes aux conditions atmosphériques, et environnementales, sous l'action de facteurs physiques, chimiques et biologiques<sup>38</sup>. Dans notre cas, ces différentes altérations sont liées pour la plupart au syndrome des constructions face à la mer.

<sup>35</sup> Julius Natterer, Traité de génie-civil, Construction en bois, Matériaux, Technologies et dimensionnement, presse polytechniques et universitaire Romande, Lausanne 2004

<sup>36</sup> Université de Colombie britannique (UBC).fiche techniques sur la protection du bois : causes et conséquences.2002, Forintek Canada Corp.

<sup>37</sup> Idem

<sup>38</sup> Pellizzer et Sabatini, 1976; Amoroso et Fassina, 1983; Karpuz et Pasamethoglou 1992.

La pierre équarrie ou sous forme de moellons, est le matériau le plus utilisé, appareillé en parement mixte, ou simple. La dégradation de la construction elle-même, par manque d'entretien dans son ensemble et/ou du matériau de construction lui-même, constituent les causes essentielles des principaux problèmes rencontrés.

Dans les murs en pierre, les principales causes de dégradation (fissures...) sont:

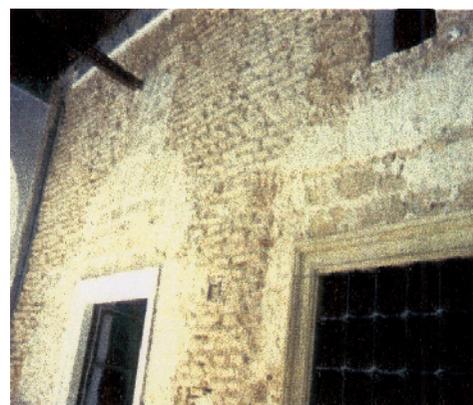
- Humidité provenant de la pluie, des infiltrations d'eau des condensations d'humidité par endroit, (présence de puits bassin d'eau réservoir, etc.), engendrant des répercussions sur les éléments en argile de la pierre et par conséquent conduisent à la cristallisation des sels dans sa microstructure provoquant des contraintes internes.
- Les causes chimiques et l'influences des facteurs biologiques (l'érosion) et de la pollution atmosphériques (soufre et dioxyde de carbone, entraînent l'altération des éléments composants de la pierre.
- Les causes mécaniques (charges et pression), qui forcent la solidité des éléments en pierre.

Ces désordres sont aussi dus en partie à l'action de l'homme à travers des remaniements effectués pendant et après la période coloniale.

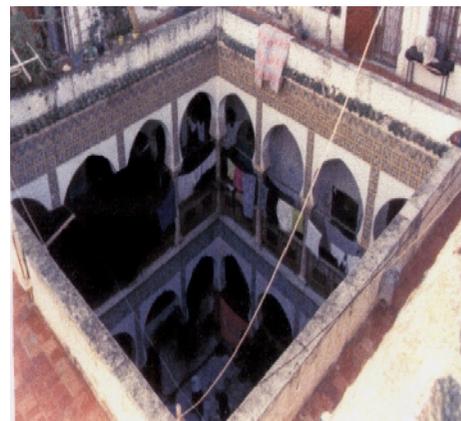
### III.6.1. Remaniement effectué sur les murs

Sur certains murs, on note des traces de remaniement au niveau des contours de baie de la période française, par encastrement et scellement en mortier de ciment, souvent à l'endroit de l'élargissement ou au rétrécissement des percées (il devait y avoir une baie ou une percée à la période ottomane (Photo 3.16).

Nous remarquerons aussi que plusieurs de ces constructions, notamment les palais ont subis quelques transformations à savoir même des surélévations illicites par les squatteurs (Photo 3.17), des cloisonnements ainsi que l'exécution de certaines ouvertures comme les porte en bois, dont elles sont munies, datent pour la plupart de la période coloniale française. Les perturbations dans les murs le prouvent.



**Photo 3.16:** Traces d'anciennes ouvertures arquées ré-obstruées



**Photo 3.17:** maison squattée – Dar Mustapha Pacha-

### III.6.2. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité (production d'altération chimiques autant que physiques)

L'action de l'eau associée à d'autres facteurs, accentue la dégradation de la pierre. La rétention par gonflement, exemple de l'argile contenu dans la pierre<sup>39</sup>, ainsi que les caractéristiques de sa microstructure conditionnent le mouvement des eaux. Cette humidité, est la cause de la plupart des changements physiques et chimiques, survenant dans la structure des éléments en pierre. L'eau crée de façon directe l'érosion des éléments de pierre, et de façon indirecte par le biais du transfert de sels solubles et de leur cristallisation. L'effet du changement continu d'humidité et de sécheresse: rythme d'humidité qui est l'une des causes principales de la formation de croûtes<sup>40</sup>

#### III.6.2.1. Action de l'eau sur les éléments en argile et cristallisation des sels (la perte de matière par dissolution, création de pores et de cavitations)

Il s'agit d'une altération du matériau qui modifie son comportement par rapport à l'eau induite par des causes:

##### ✓ *d'humidité de condensation hygroscopique*

Les nitrates, les chlorures, les carbonates, les sulfates exercent dans les pores lorsqu'ils cristallisent des pressions qui détériorent les matériaux. Ces substances chimiques solubles dans l'eau, lorsque le mur s'évapore, restent retenus dans ses porosités où ils cristallisent; il se forme alors une poudre blanchâtre ou une croûte ou encore une sorte d'excroissance spongieuse de sel appelé aussi efflorescence (Photo 3.18).



**Photo 3.18:** Efflorescence sur un mur.

##### ✓ *d'humidité provenant de sources de vapeur*

Les sous sols attirent vers eux la vapeur d'eau du terrain, qui l'entoure en plus de l'eau condensée et des points de pénétration d'eau liquide (pluie). Ces espaces au paravent étaient ventilés, l'eau liquide était drainée et conduite jusqu'au point de réserve (puits), mais le changement d'usage et l'introduction de fenêtres trop étanches ont été la cause d'apparition de pathologies dues à la condensation manifestées par la croissance de colonies biologiques (bactéries et champignons), sur les parements aux points les plus froids du mur et/ou les moins ventilés (coins, angle etc.);

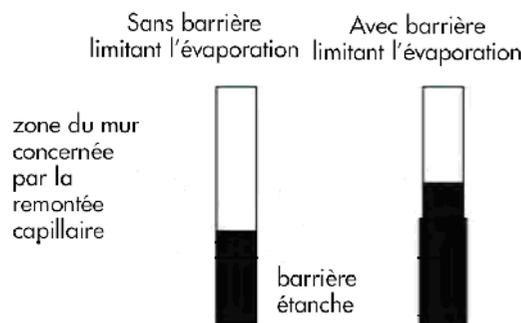
<sup>39</sup> Y-M Froidevaux, Techniques de l'architecture anciennes. Construction et restauration. Troisième édition. Mardaga. 1993

<sup>40</sup> D-Stefan Moraru, (L'humidité dans les bâtiments causes, effets, remèdes) Bucarest, 1984.

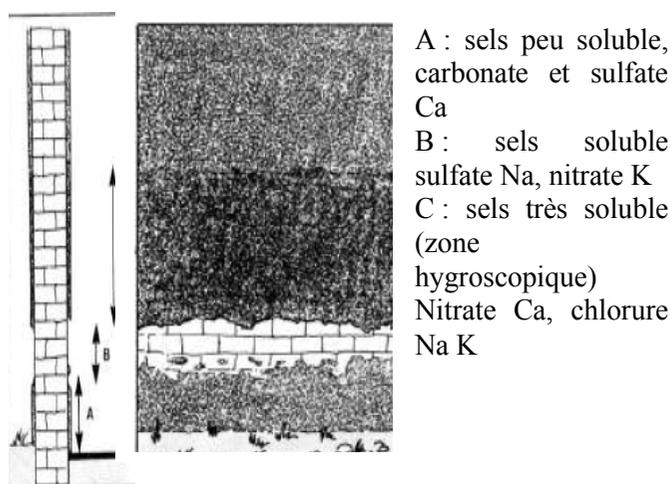
✓ **L'humidité par filtration d'eau de pluie, pénètre dans le parement par l'intermédiaire de deux mécanismes :**

- Par mécanisme d'absorption et de succion au travers des pores du matériau;
- Par filtration à travers des joints et des pathologies commencent à apparaître lorsque les mortiers de fixation ou de joint se détériorent (variation de température, effet du temps);
- Ou par remonté capillaire L'augmentation du volume par l'absorption d'eau, entraîne l'apparition de force mécaniques dans sa composition qui désorganise la pierre<sup>41</sup>, (Fig.3.1).

Ces sels solubles très néfastes proviennent: des processus chimiques liés à la pollution, du sol par des remontées capillaires, dans la roche posée sans isolation horizontale, ou introduit par les mortiers et les enduits. Ils pénètrent dans les pores ou dans les fissures de petite taille de la pierre<sup>42</sup>, (Fig.3.2). Après l'évaporation du mur, ces sels solubles (ex: des sulfates) vont cristalliser dans les parties les plus hautes de la zone d'imprégnation, il se forme des taches, des efflorescences, des suintements, des dépôts plus ou moins mous (sulfate de sodium) durs et compacts (sulfate de carbonate de calcium) des films vitreux (sulfates de potassium). Ces sels en se cristallisant causent plus de dommages dans les pores et les microfissures de la pierre mais néanmoins ils provoquent une accélération du développement des croûtes, provoquer par des tensions mécaniques et réduction de la surface de la pierre par des cavassions, séparation de petites parties de la pierre et craquellement<sup>43</sup>.



**Figure 3.1.** Augmentation de niveau d'ascension capillaire d'après Arnould<sup>46</sup>



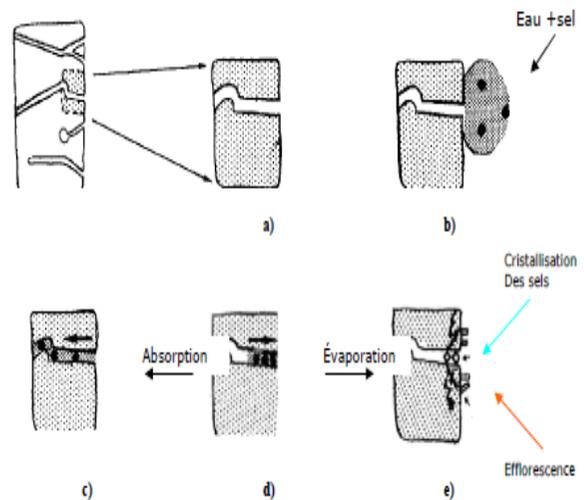
**Figure 3.2:** Répartition des sels à l'échelle d'une maçonnerie soumise à des remontées capillaires d'après Arnould<sup>47</sup>

<sup>41</sup> Idem

<sup>42</sup> M-ANGELI, J-P BIGAS, B-MENENDEZ, R-HEBERTI ET C-DAVID, (Altération par les sels des pierres de construction). Université de Cergy-Pontoise, Laboratoire (CNRS UMR 7072).

<sup>43</sup> Y.M Froidevaux Op.cité.

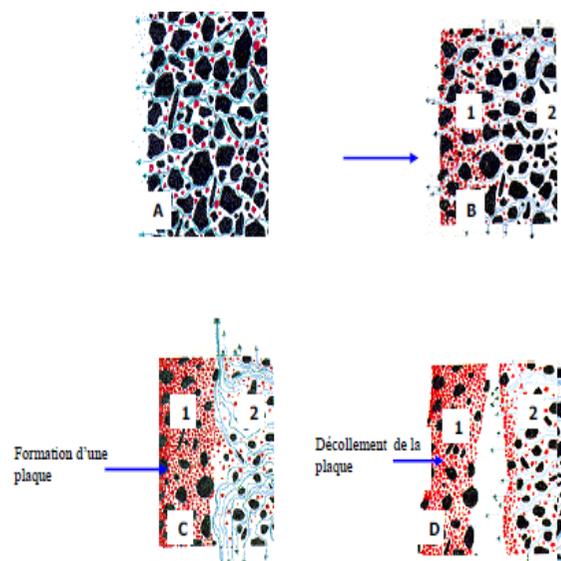
**a**-section d'un matériau poreux.  
**b**-dépôt d'une goutte d'eau salé sur le matériau.  
**c**-diffusion d'eau salée à travers le réseau poreux du matériau par capillarité.  
**d**-évaporation d'eau absorbée du matériau par phénomène de séchage.  
**e**- les sels se cristallisent à l'extérieur provoquant des efflorescences, des fractures à la surface du matériau.  
**f**-cristallisations des sels à l'intérieur du pore avec des contraintes mécaniques qui fracture à l'intérieur du matériau.



**Figure 3.3** : mécanisme d'action d'eau chargée de sels sur la pierre d'après Arnould<sup>47</sup>

Cette concentration en sels à la surface de la pierre provoque la détérioration de ces éléments, entraînant aussi la détérioration des enduits et des mortiers, causé par des tensions en surface, il en résulte de petite fissuration, séparation des enduits de la surface de la pierre causant une destruction graduelle<sup>44</sup> (Fig.3.3).

Ces altérations sont classées en encroutements, plaques ou désagrégation sableuses, en fonction de leurs structures, de leur morphologie et des mécanismes qui les génèrent<sup>45</sup>. Les plaques se développent sur des pierres qui se distinguent des éclatements du aux gels et des décollements résultant des dilatations hydriques car celles-ci peuvent toucher le mur entier. Ces plaques prennent naissance en bordure des joints par un décollement qui progresse vers la partie centrale jusqu'à sa chute, la nouvelle surface en retrait par rapport au mur est protégée des



**Figure 3.4**: schéma d'une chronologie d'une altération en plaque<sup>52</sup>

<sup>44</sup> RILEM, Altération et protection des Monuments en pierre. Actes du Symposium International. Colloque UNESCO. Bulletin RILEM 13, no75, Paris, 5-9 juin 1978.

<sup>45</sup> PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierres monumentales en France) CNRS édition/ Ministère de la culture, Paris 1990.

effets de ruissèlement mais favorise la formation d'encroutement et surtout de désagréations sableuses<sup>46</sup> (Fig.3.4) phénomène observé surtout sur les murs en pierre de la casbah de Dellys.

- A- Représente l'état initial de la circulation d'eau à travers la pierre qui suit un chemin direct ;
- B- Présence de deux zones : la première est poreuse, la deuxième moins poreuse due au transport de matière par l'eau. L'eau trouve des difficultés à traverser la deuxième zone ;
- C- La zone 2 devient imperméable l'eau ne peut plus circuler à travers due à la formation d'une plaque ;
- D- sous l'action des forces de l'écoulement d'eau la plaque se décolle de son substrat.

### III.6.2.2. Action du gel et du dégel

La répétition des séquences, de gel/dégel entraîne une diminution de la cohésion de la pierre. Lors du gel, l'eau augmente de 9% de volume, ce phénomène entraîne des tensions mécaniques dues à la glace provoquant des ruptures, d'abord microscopiques et ensuite macroscopiques. La dégradation de l'élément de pierre, résulte de l'atteinte de valeur de la teneur en eau dans les pores dite « critique »<sup>47</sup>, au delà de laquelle le matériau subit des altérations, cette valeur critique, varie selon les caractéristiques de structures poreuses de 60 % à 100 % du volume totale des vides<sup>48</sup>. Le mécanisme de gélification dépend: des conditions climatiques, des propriétés du milieu poreux de la pierre de la situation des pierres dans la construction et enfin de pierre sèche ou fortement imbibée d'eau.

### III.6.3. Les altérations par des organismes biologiques

Sur les murs en pierre, des organismes biologiques peuvent se développer à savoir: les algues, les mousses, les lichens et les végétaux supérieurs qui par leurs fonctions, leurs métabolismes, ou leurs manifestations visibles peuvent créer des altérations physiques, chimiques ou des « maladies de la pierre »<sup>49</sup>, dépendant de la constitution des roches et du milieu



**Photo 3.19:** Prolifération de salissures vertes due à une humidité permanente

<sup>46</sup> J. POCHON, (facteurs biologiques de l'altération des pierres), Paris, 1982.

<sup>47</sup> M. Mamillan, Pierre de carrière et produits manufacturés. Centre Technique et de documentation. Cated. 2003.

<sup>48</sup> F. Virolleaud. Le ravalement : Guide technique, réglementaire et juridique. Le moniteur 1990.

<sup>49</sup> J. PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierres monumentales en France) CNRS édition/ Ministère de la culture, Paris 1990.

environnant<sup>50</sup>. Le climat méditerranéen chaud et humide favorise le développement de ce mécanisme d'altération où certaines bactéries non perceptibles à l'œil nu (sulfobactérie et nitrobactéries)<sup>51</sup> trouvent un milieu favorable à leurs proliférations.

### III.6.3.1. Action des algues et lichens

Les murs sont souvent recouverts en présence d'humidité, peu ou pas éclairé, par des algues et divers micro-organismes provoquant la formation de dépôt noirs, visqueux, le plus souvent à l'intérieur de la maison en présence d'humidité et à l'abri du soleil direct par de nombreuses salissures vertes. Cette végétation prolifère généralement dans les soubassements de façade (Photo 3.19), ou les endroits en contact avec le sol, du fait qu'ils restent humides par remonté des eaux par capillarité<sup>52</sup>. Les champignons et/ou la présence d'algues sur un parement nous aide à localiser rapidement une zone d'humidité sur les éléments le composant.

Cette présence est, aussi associée à la présence de mousses observées en particulier sur les joints de mortier de pieds de murs humides qui font écran de son évaporation<sup>53</sup> (Photo 3.20).

Les algues et Les champignons sont les organismes biologiques, les plus répandus, qui causent l'érosion des matériaux pierreux dues aux modifications chimiques entraînées par ces derniers.

La dégradation physique de la pierre par les lichens est la pénétration de ces racines qui lui permettent de s'accrocher aux murs.

À l'emplacement où se développent les algues on observe souvent une humidité supérieure à la teneur en eau d'équilibre du fait que pour croître la végétation a besoin d'eau; engorgé dans le mur<sup>54</sup>. Ce fait d'humidification et de séchage successif de la pierre engendre des détériorations et des dégradations de la matière en surface et en profondeur.

### III.6.3.2. Action des végétaux supérieurs (arbres et plantes)



**Photo 3.20:** Présence de mousses / à une présence au moins temporaire d'eau

<sup>50</sup> M. Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement Centre d'assistance technique et de documentation CATED.2000.

<sup>51</sup> J.COIGNET, L-COIGNET, Op, Cite

<sup>52</sup> M.Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement Centre d'assistance technique et de documentation CATED.2000.

<sup>53</sup> R.collombet ; l'humidité des bâtiments anciens, éditions du Moniteur, Paris, 1985.

<sup>54</sup> M.Mamillan .Restauration des bâtiments en pierre Centre International d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels .1972

Par défaut d'entretien, des algues, des mousses se développent, sur lesquelles les pollens des végétaux supérieurs, trouvent un milieu favorable à leurs prolifération; Les racines de ces végétaux peuvent faire éclater les roches elles-mêmes ou les joints par pression continue<sup>55</sup>, qui accentue la dégradation et la détérioration de cette maçonnerie, elles concourent non seulement à la dégradation physique mais apportent des éléments chimiques agressifs favorisant l'humidification du milieu<sup>56</sup>, accentuant son altération (Photo 3.21).



**Photo 3.21:** Présence de plantes (le figuier) dans un mur

#### III.6.4. Action de la pollution atmosphérique (soufre et oxydes de carbone)

Les transformations de l'environnement atmosphérique, est due à la pollution d'origine industrielle. L'apport à l'état sec ou humide (pluie ou brouillards acides) et des particules véhiculés par le vent, entraîne la dégradation et la réduction de la résistance de la pierre au temps<sup>57</sup>. Les principaux polluants atmosphériques responsables des dégradations sont: les dioxydes de soufre SO<sub>2</sub>, les oxyde d'azote NO<sub>2</sub>, les hydrocarbures HC et les composés organiques volatils, l'azote O<sub>3</sub> .., etc. Ces gaz agissent soit directement, soit dissous dans l'eau<sup>5859</sup>. Les principales dégradations qui affectent les matériaux sous l'action de composés chimique et /ou biologique sont présent dans le tableau ci-après.: Classification de l'agressivité d'environnement atmosphérique (d'après PR nf en 12500 de novembre 1996)<sup>60</sup>

Type d'environnement	Description
<b>Atmosphérique rural</b>	Atmosphère de zone rurales et de petites villes, sans contamination significative par des agents corrosifs (dioxyde de soufre, chlore, engrais chimique, herbicides pesticides etc.
<b>Atmosphérique urbain</b>	Atmosphère de zones à forte densité de population mais concentration industrielle. Contamination modérée par des agents

<sup>55</sup> J.PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierres monumentales en France) CNRS édition/ Ministère de la culture ,Paris 1990.

<sup>56</sup> J.PHILLIPON, (La dégradation de la pierre), Institut de formation des restaurateurs d'œuvre d'art (ENP-IFROA) France 1997.

<sup>57</sup> J.G PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE, Op, Cite

<sup>58</sup> J.G Faugère, J.DUFOIR, J-G SALINIERES influences des nuisances urbaines sur la dégradation des immeubles anciens in Actes du VI congrès mondial pour la qualité de l'air, Paris, 1983.

<sup>59</sup> G.VALLIERE, Le ravalement de façade mode d'emploi/nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes, Eyrolles, 1998.

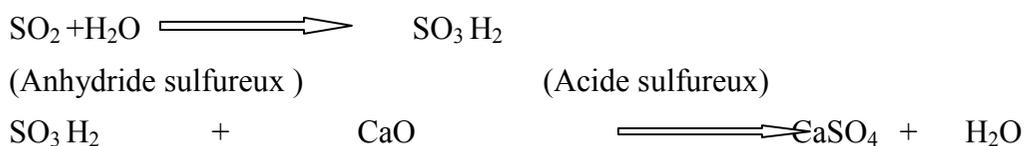
<sup>60</sup> Gestion des sites pollués. Version O Partie III. BRGM Edition, juin 2000.

	corrosifs (dioxyde de soufre, dioxyde de carbone...)
<b>Atmosphérique industriel</b>	Atmosphère de zones marines et de zones maritimes subissant fortement l'influence de la mer, cela dépend de la topographie et de la direction du vent dominant. Forte contamination par des agents corrosifs (dioxyde de soufre, dioxyde de carbone.)
<b>Atmosphérique Maritime</b>	Atmosphère de zones marines et de zones maritimes subissant fortement l'influence de la mer, cela dépend de la topographie et de la direction du vent dominant. Contamination plus ou moins forte par des agents corrosifs (principalement les chlorures).
<b>Atmosphérique maritime et industriel (atmosphère mixte)</b>	Atmosphère à proximité des côtes et des zones de concentration industrielle ou de leurs environs situés sous le vent dominant (dioxyde de soufre, chlorure, etc.)

**Tableau 3.4: Les différents types d'environnements atmosphérique**

### III.6.4.1. Effet de la pollution atmosphérique (salissures, air et eau) sur les propriétés du parement en pierre

La dégradation du parement de pierre peut être accentuée par un taux de pollution atmosphérique élevé, modifiant leurs propriétés, modification minéralogique de sa couche superficielle sans qu'il n'y est de lésions apparentes. Le dioxyde de soufre est le polluant fondamental impliqué dans la détérioration de la pierre dans un milieu rural moins pollué<sup>61</sup>, après évaporation, la cristallisation des sels dissous dans l'eau forme une couche plus dure sur la pierre calcaire, qui contribue à sa protection naturelle de sulfate calcique (CaSO<sub>4</sub>)<sup>62</sup>; Contrairement à un parement de pierre, exposé à une atmosphère plus polluée en milieu urbain et industrielle. Les agents polluants sont le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), et les oxydes de soufre (SO<sub>2</sub>)<sup>63 64</sup>, entraînant des modifications dans la pierre calcaire expliquant la décohésion de plaque à sa surface exposée aux intempéries<sup>65</sup>; Ce phénomène est concrètement expliqué par le biais des réactions chimiques et du schéma suivant:



<sup>61</sup> P.WATKISS, N-EYRE, M-HOLLAND, A-RABL et N-SHORT (Effets de la pollution atmosphériques sur les matériaux de construction) AEA Technology, UK, Janvier 2001.

<sup>62</sup> F-Virolleaud. Le Ravèlement : guide technique, réglementation et juridique, Le Moniteur, 1990.

<sup>63</sup> Y-M Froidevaud, Op, Cité.

<sup>64</sup> K-BECK (étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité) Thèse de doctorat Université D'ORLEANTS octobre 2006.

<sup>65</sup> M-ANGELI, J-P. BIGAS, B-MENENDEZ, R-HERBERTIR, et C-DAVID, Op. Cite.

(Acide sulfureux)

(Calcaire)

(Sulfate de Calcium)

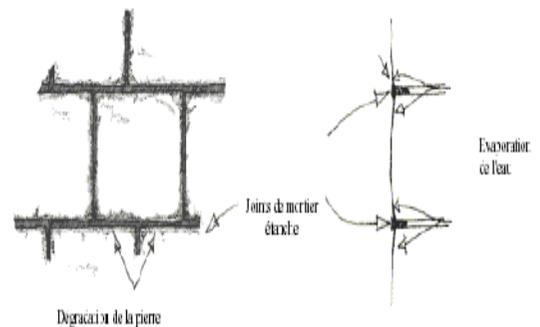
Facteurs d'altération	causes	Mécanisme d'altération
chimique	Sels solubles cristallisés/réaction chimique avec sels	Efflorescences
Chimique et/ou physique	Organismes biologiques (algues, lichen); Présence et attaque d'animaux présence de plantes	Efflorescences Erosion - éclatement par pénétration de racines
chimique	par pollution	Erosion (décohésion de plaque)

**Tableau 3.5.:Récapitulatif des différentes pathologies causées par des lésions chimiques.**

III.6.5. Autres formes de dégradation (la compatibilité pierre mortier/la compatibilité pierre-pierre)

III.6.5.1.La compatibilité pierre mortier

Les éléments de pierre utilisés dans l'appareillage des murs, sont assemblés avec des mortiers à la chaux, on remarquera peu ou pas d'altération, sur les pierres bordant les joints car, les chaux utilisées sauf exception sont des chaux aériennes ou à faible indice d'hydraulicité. Ces mortiers à la chaux, sont dépourvus de sels nocifs et sont très perméables, ils ne font pas obstacle à la continuité hydrique entre les pierres, contrairement au mortier moderne à base de ciment silicaté imperméable, riche en sels (Fig. 3.5) ou de chaux fortement hydraulique, utilisés dans les chantiers de restauration pour parer à des problèmes sans connaissances requises sur le savoir faire (incompatibilité physico-chimique), pensant à la rapidité dans l'intervention et non à sa durabilité dans le temps, du fait que ce mortier conduit un creusement rapide avec le départ d'une plaque ou en désagrégation sableuse<sup>6667</sup>.



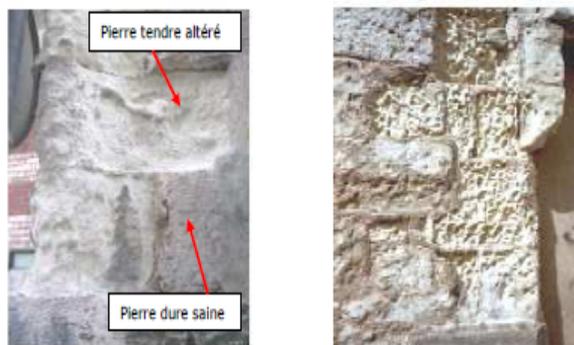
**Figure 3.5 :** Schéma d'altération des pierres liées avec un mortier étanche J-PHILLIPON

<sup>66</sup> P.BRANDOIS ET F-BABICS (Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie) Direction de l'architecture et du patrimoine France juin 2006.

<sup>67</sup> J.PHILLIPON, (La dégradation de la pierre), Op, Cité.

### III.6.5.2. Compatibilité pierre-pierre

La juxtaposition des éléments de pierre d'aspect similaire, mais de nature petro-physique différentes utilisées dans les maçonneries (Photo 3.22); pierre tendre /pierre dure...etc. accélère souvent la dégradation de l'une d'elle, du fait que l'homogénéité de circulation des fluides est empêchée; l'eau est moins drainée, accumulant les sels dissous qui favoriseront sa dégradation.



**Photo 3.22:** Pierre d'aspect similaire attestant des degrés d'altération différents

### III.6.6. Dégradation de la pierre due aux charges et aux tensions mécaniques

#### III.6.6.1. Actions des charges mécaniques

Les sollicitations trop importantes, font que des contraintes apparaissent, pouvant provoquer la rupture de la pierre. Trois (03) facteurs influent sur la résistance mécanique du matériau de pierre à savoir :

- **La pierre posée en délit:** certaines pierres deviennent de qualité beaucoup plus faible lorsqu'elles sont sollicitées parallèlement aux lits de stratification naturelle;
- **Le mauvais remplissage des joints :** Lorsqu'ils sont partiellement bourrés ou la qualité de dosage ou de collages du mortier est de mauvaise qualité. Des concentrations peuvent entraîner la rupture des blocs par poinçonnement car la surface du mur n'est pas uniformément sollicitée<sup>68</sup>;
- **La teneur en eau dans les pierres tendres:** les résistances mécaniques des pierres poreuses saturées d'eau<sup>69</sup> sont plus faibles que celles des pierres sèches.

#### III.6.6.2. Action de la variation de température

La variation de température provoque une décohésion interne et un cisaillement entre les cristaux<sup>70</sup>. L'altération se manifeste sous forme d'éclatement de la matière, de fissuration, et d'écaillage. Des éléments de pierre joint avec un mortier; ne trouvant pas assez d'espace libre pour se dilater éclatent<sup>71</sup>

#### III.6.6.3. Action mécanique (entraînant l'apparition de fissures dans le mur)

<sup>68</sup> L.LOGEAIS, Les maçonneries dans leurs fonctions de paroi, Annales de L'ITBTP no 303, mars 1973.

<sup>69</sup> J.PHILIPPON, Op, Cité.

<sup>70</sup> F. Virollaud, Op. Cité.

<sup>71</sup> M.Mamillan, Restauration des bâtiments en pierre, OP, cite.

- ✓ Certaines fissures interprètent les ruptures dans le mur, exprimant l'ajustement de ses éléments, à son poids propre, à ses surcharges, et aux réactions des fondations. Les réorganisations structurelles du mur tel :( translation, rotation, « naissance d'arcs » etc.) sont permise grâce à la résistance à la traction du mortier de chaux par sa plasticité
- ✓ Ces fissures peuvent se trouver à l'interaction murs -planchers, murs- charpente<sup>72</sup>, résultant de fluages différents correspondant à des désordres murs-fondations parfois associés à des désordres des voutements. Ces fissures peuvent se lire directement sur les enduits anciens et trois cas de figures peuvent se présentées<sup>73</sup>:
  - le déplacement du mur est resté sensiblement contenu dans son plan vertical, il s'agira ici d'un désordre structurellement limité à l'ensemble mur +fondations;
  - le déplacement de ce dernier s'est accompagné par des déformations avec des creux et /ou des bosses apparent sur la planéité du mur, ici le désordre a peut être provoqué des réactions secondaires au niveau des planchers, des escaliers ou des charpentes, surtout si ces déformations secondaires sont situées au niveau de leurs appuis.
- Des désordres plus importants, peuvent apparaitre correspondants, à la convergence des effets successifs assez complexes dont certaines seront énumérées ci-dessous:
  - Tassement des fondations et éventuellement des ruptures localisées.
  - Altération du mur en maçonnerie par les eaux;
  - Rupture d'un linteau résultant d'un tassement;
  - Des poussées qui résultent d'un désordre dans un plancher, un escalier, une charpente.
  - Poussée insuffisamment équilibrée d'une voûte, etc.
  - fissures entre deux parties d'un mur en alignement au niveau d'un coup de sabre (appareillage défectueux, rajout tardif mal liaisonné, remaniement sur façade);

Ces déformations interprètent l'état limite de stabilité du mur traduites par l'apparition des effets suivant: il s'agira de les identifier au plus vite, afin d'éviter sa tombée en ruine.

- Aplomb en S (flambement);
- Déformation extrêmes des percements;
- Fissures et profils d'extension de parties du mur;
- Appareil déstructuré;
- Mortier altéré par l'humidité (les pluies et les remontées par capillarités, etc.).

---

<sup>72</sup> Ministère de la culture et de la communication de la république française, direction de l'architecture et du patrimoine .ouvrage de charpente en bois, fascicule technique. France, Février 2002.

<sup>73</sup> J.Coignet « Art de Bâtir traditionnel » Op.cité.et Pietro Brenda « Bâtiments en Maçonnerie » analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, 1993, édition du centro analisi sociale progetti S.r.l Rome, Via Fllaminia, 217 pages.

### III.7. Pathologies structurelles dans les constructions aux murs épais (brique de Terre cuite, pierre ou mixte)

La structure verticale des constructions auxquelles nous nous référons se compose des murs épais recensés où la brique de terre cuite et la pierre constituent les matériaux de base hourdés au mortier de chaux et/ ou de terre assurant l'adhérence des différentes pièces. Les pathologies se traduisent par l'apparition de fissures, de lézardes ou de déformations, dont la formation, la localisation et la dynamique constituent les données essentielles du diagnostic.

#### III.7.1. Pathologie coplanaire des parements du mur

Elle se manifeste sous forme de lézardes, de fissures ou de tassements sur le parement superficiel et généralement le traverse, de part et d'autre en y traduisant un dommage.

##### III.7.1.1. Pathologie causé par une trop forte compression sur une large partie du mur (surélévation tardive ou sur exploitation).

Elle se manifeste sous forme de fissures coïncidant à la direction des lignes isostatiques à la compression d'un matériau, recevant plus de charge admissible qui engendre des fractures par ex : la partie inférieure d'un mur. (Photo 3.23). Les premiers symptômes de la fracture sont l'affaissement ou la détérioration des joints horizontaux, du fait que l'élasticité du mortier est plus faible que celle des moellons, ces derniers se manifestent sous forme de fissures zigzaguant entre les joints de mortier en suivant les jointures de briques ou de pierres (Photo 3.24).



**Photo 3.23:** Fluage du linteau induisant des fissures de part et d'autre.



**Photo 3.24 :** « Coup de sabre » à cause de tassement différentiel du sol

##### III.7.1.2. Manifestation de désordres causés par des charges ponctuelles



**Photo 3.25:** Fissure démarrant à la hauteur du plancher

Ce sont des fissures inclinées de part et d'autres de l'élément à l'origine de la surcharge (ex: appuis de poutres), ou de fissures suivant une ligne verticale sous l'élément en

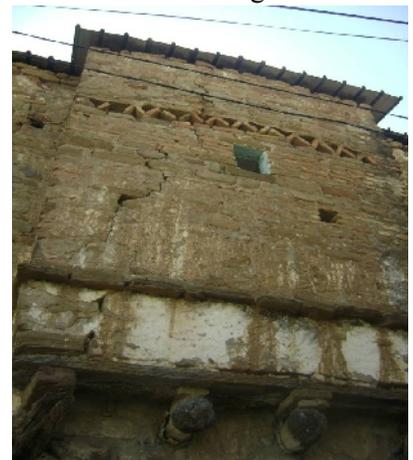


**Photo 3.26:** Fracture verticale dans l'angle du mur

question<sup>74</sup> (Photo 3.25).

III.7.1.3. Manifestation de désordres causés par manques de rigidité des éléments collaborant (linteau en bois, déformabilités des fondations sous l'effet de poussée de charge du mur de façade)

Déformation des linteaux en bois provoquant la formation de fissures, suivant un arc de décharge due à la décompression d'une partie du mur et l'effet de la charge ponctuelle de la poutrelle sur ce dernier.



**Photo 3.27:** Fissure démarrant à partir du sommet

III.7.1.4. Manifestation de désordres causés par des différences de charges entre les murs transversaux.

Elle se manifeste par la formation d'une fracture verticale, dans l'angle du mur, qui supporte la charge du plancher et le mur transversal, il en résulte une perte de continuité des éléments constructifs, qui produit ainsi une excentricité des charges induisant à long terme des déformations (Photo 3.26).



**Photo 3.28.** Surélévation tardive sur des constructions

III.7.1.5. Manifestation de désordres causés par,

<sup>74</sup> Yves-Marie Froidevaux « techniques de l'architecture ancienne » construction et restauration troisième édition, Mardaga, Belgique 1993

## différence de rigidité entre les matériaux composant les murs mixte

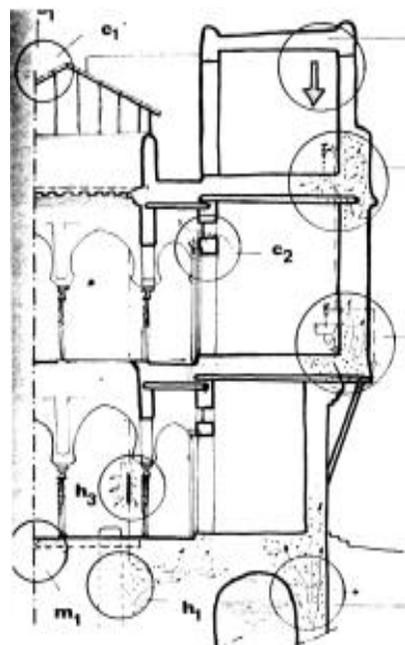
Elle se trouve sur des murs mixtes, subissant des efforts de cisaillement, due à la différence de rigidité (matériau de plus faible rigidité empêchés par celui de plus grande rigidité)<sup>75</sup>.

Ces fissures démarrent larges à partir du sommet du mur pour s'affiner au fur et à mesure au bas (Photo 3.27), du fait de manque de chaînage d'autant plus que les murs sont très hauts par rapport à leur épaisseur entraînant le risque de provoquer leurs renversement.

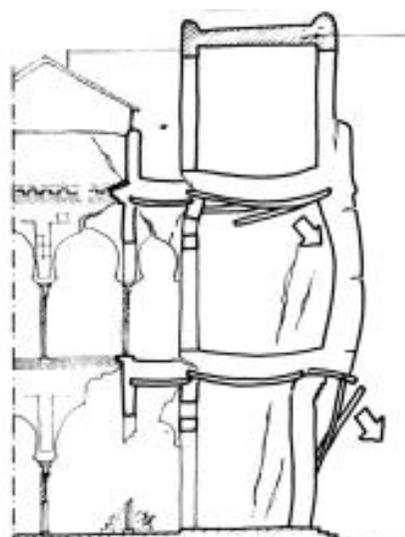
## III.8. Impact des tassements de l'ensemble « mur + fondations » sur l'apparition de fissures dans le mur

- Charge trop forte à l'origine; (faute de calcul de fondation);
- Surélévation tardive augmentant la charge sur le sol (Photo 3.28 et Fig.3.6);
- Diminution de la portance des murs pouvant résulter des ouvertures en sous œuvres. sans précautions;
- Le tassement du sol peut aussi résulter d'une diminution de sa portance, provoquée par des actions et des causes extérieures à la construction à savoir:
  1. Présence d'eau dans le sol;
  2. Ouverture de tranchée à la périphérie du mur qui supprime l'appui de la voûte au sol;
  3. l'effet dominos si les murs des constructions sont adossés les uns aux autres;
  4. Les vibrations dues à la circulation mécanique engendrent eux aussi de légers affaissements.

## III.8.1. pathologie dues au mouvement différentiel des fondations



**Figure 3.6:** Schéma des points de fracture prioritaires / tensions de traction



**Figure 3.7** Déformations par fluage induisant une déformation du mur.

<sup>75</sup> Yves-Marie Froidevaux « techniques de l'architecture ancienne » construction et restauration troisième édition, Mardaga, Belgique 1993

<sup>76</sup> Pietro Brenda « Bâtiments en Maçonnerie » analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, 1993, édition du centro analisi sociale progetti S.r.l Rome, Via Flaminia, 217pages.

Ces pathologies sont essentiellement dues à trois facteurs qui sont les suivants :

- aux mouvements de terrain;
- aux caractéristiques des fondations (fondation détériorée, ou sous dimensionnée);
- à l'influence des poussées des constructions proches.

### III.8.2. Fissuration des murs engendrés par les déformations des planchers

Due au dépassement de la capacité portante du mur suites aux sollicitations excessives des ouvrages adjacents, à savoir les planchers et les mouvements différentiels entre les deux catégories d'ouvrages<sup>77</sup>. (Fig. 3.7).

#### III.8.2.1. Ecrasement due à une charge localisée

Ce sont des fissures verticales ou inclinées à 45°<sup>78</sup> dues au fléchissement des planchers en bois :

- soit par altération du matériau bois lui-même;
- soit par sollicitation excessive du plancher (flèche d'une poutre la déplaçant de son appui provoquant une réaction horizontale dans le mur)<sup>79</sup> (Fig. 3.7);

L'origine de ces déformations peut résulter<sup>80</sup>:

- d'un manque d'aplombs, qui se traduit par des dissolutions entre les parties de murs insuffisamment ou non harpées.

#### III.8.2.2. Désordres et déformations induites par les fissures dans le mur renforcées par les tassements et les poussées d'ouvrages portés

Le mur peut subir des déformations engendrées par un manque de cohésion de la maçonnerie et la déformation sous l'effet de forces appliquées par les ouvrages portés (arcs, voutes, planchers et charpentes) au niveau de leurs appuis dans le mur (Photos 3.29; 3.30); poussées pouvant être



**Photo 3.29:** Fissure sous solive sous plancher / tassement



**Photo 3.30:** Apparition de fissures dans le mur d'allure oblique

<sup>77</sup> P. Maurice .Les maçonneries dans leurs fonctions porteuses Annales de l'ITBTP N° 290, Février, 1992. Supplément Série gros œuvre N° 13.

<sup>78</sup> Pietro Brenda « Bâtiments en Maçonnerie » analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, 1993, édition du centro analisi sociale progetti S.r.l Rome, Via Flaminia, 217pages.

<sup>79</sup> J.Coignet « Art de Bâtir traditionnel » Op.cité.

<sup>80</sup> Idem.

renforcées ou déclenchées par le tassement de la fondation. Nous en énumérons quelques types à savoir:

#### III.8.2.2.1. Le basculement

C'est un déplacement du mur sans gravité quand il n'engendre pas de déformations ponctuelles et que son contre-fruit ne dépasse pas 2 à 3 mm par m de hauteur<sup>81</sup>.

#### III.8.2.2.2. Le flambement

Perte de la planéité du mur par désolidarisation de ces éléments et des parements<sup>82</sup>, induisant son écroulement<sup>83</sup>.

#### III.8.2.2.3. Bombement et bouffement

Le bouffement se produit, s'il y a désolidarisation des parements constituant le mur, par une fissure intérieure et parallèle (Photo 3.31), au niveau des appuis localisés d'un ouvrage porté. C'est un cas grave et évolutif de flambage, si la déformation est de l'ordre de 5cm par m de hauteur<sup>84</sup>.

#### III.8.2.2.4. Les ventres

Ils résultent d'un défaut de planéité, mais les deux parements restent en contact l'un avec l'autre. Ils peuvent intéressés toute la longueur ou une partie du mur; causé par l'introduction de corps étrangers (pièces de bois formant chainage, ou le remaniement de façades<sup>85</sup>. Qu'il s'agisse d'un flambement, d'un basculement, d'un ventre ou d'un bouffement, le diagnostic est nécessaire et urgent car ils sont pour la plupart des indicateurs de désordres évolutifs.



**Photo 3.31:** Fissure intérieure, parallèle à ses parements (désolidarisation).

### III.9. Pathologie apparent sur le plan transversal aux parements du mur

Elles apparaissent sous forme de déformations transversales des parements concernés, et se manifestent sous forme de fractures verticales au niveau des sections internes des murs, d'écrasement et de bombements des façades causé éventuellement par des poussée des voutes.

<sup>81</sup> J. Coignet, L. Coignet, « Matériaux et techniques désordres et interventions », Op, Cité.

<sup>82</sup> Pietro Brenda « Bâtiments en Maçonnerie », Op. Cité.

<sup>83</sup> Idem.

<sup>84</sup> Idem.

<sup>85</sup> Idem.

### III.9.1. Fractures internes verticales au niveau de la section du mur

Fracture du mur causée par un excès de compression, réduisant sa capacité portante en partageant le mur en deux<sup>86</sup> (Photo 3.32). Peu visibles, elles progressent à l'intérieur du parement jusqu'à provoquer la chute d'éléments, sans l'apparition d'une quelconque déformation. Cette forme de rupture, présente le plus de risque à l'écroulement, exigeant ainsi à court terme des mesures d'urgences qui renforceront les éléments endommagés<sup>87</sup>.



**Photo 3.32:** Déformations causées par des effets prolongés de sollicitation

### III.9.2. Ecrasements et bombements au niveau des murs de façade

Ce sont des déformations causées par des effets prolongés de sollicitations horizontales ou verticales sur le mur, ainsi que les actions chimiques et mécaniques sur les dits matériaux<sup>88</sup>. Il en résulte des bombements sous l'effet de déformations lentes induites par l'effet de charges centrées ou décentrées, qui sont transmises par les planchers (Photo 3.33).

Les poussées des couvertures, les déplacements de fondations, les effets de la température et de l'humidité sont plus fréquemment la cause des écrasements<sup>89</sup>, pouvant être causées aussi sous l'effet de l'humidité, sur les murs comportant des chainages horizontaux, par les champignons et les insectes. Les ouvrages s'affaiblissent et perdent leurs résistances induisant une instabilité au sein de ce même mur (Photo 3.33).



**Photo 3.33:** Bombement sur le mur de façade

### III.9.3. Déformations et fissures causées par les poussées des voûtes

Ayant été conçu en appareillage de maçonnerie qui travaille à la compression; les voûtes présentent des désordres en général limités; la pérennité de leur structure est affectée par des tassements de fondation des murs porteurs et par des percements intempestifs.

<sup>86</sup> Pietro Brenda « Bâtiments en Maçonnerie » analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, op, cité.

<sup>87</sup> Idem

<sup>88</sup> Yves-Marie Froidevaux « techniques de l'architecture ancienne » construction et restauration troisième édition, Mardaga, Belgique 1993

<sup>89</sup> Idem.

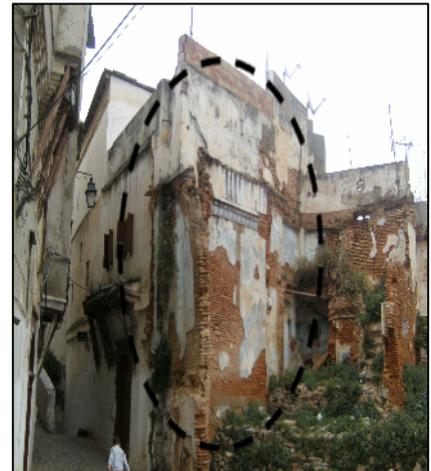
Tableau 3.6: Différentes pathologies causées par des lésions mécaniques	
Lésions	Type
Déformations	-tassement -flambement -effondrement -gauchissement
Fissures	Flèche : -par charge -par dilatation –contraction
Fissures superficielles	-par support -par finition
Détachement	-finitions continues -finitions par éléments

### III.10. Déformations, salissures et lésions dues aux causes externes

Ce sont des maifets engendrés par des phénomènes naturels telque le vent ,la poussière ,le sable,la neige ,le choc, l’incendie, le seisme qui occasionnent parfois des désordres considérables , souvent renforcés par un manque d’entretien.

#### III.10.1. Pathologie atteignant l’enveloppe de la construction

Ces pathologies sont souvent liées a des causes externes dues à la neige, au vent, au sable et poussière ainsi qu’a des défauts d’entretien, comme elles peuvent se traduire sous forme de lésions physiques sur les façades liées à la présence d’humidité et de salissures (Photo 3.34).



**Photo 3.34:** Effondrement d’une construction

#### III.10.1.1. Pathologies des murs de façade

Les façades font l’objet d’agressions, résultant souvent de la combinaison de plusieurs facteurs tel que les dépôts de poussières sur les façades engendrés par les activités des hommes. Le développement de micro–organisme, qui modifie les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux, qui aboutissent souvent à une détérioration des éléments sa protection.

### III.10.1.1.1. salissures et lésion occasionnées par la présence de micro-organismes

Ce sont des salissures d'origine biologique telles que les moisissures, les algues, les lichens et les mousses. Les murs présentant des salissures vertes et de couleur noire peuvent prendre différentes teintes, dépendant de la nature des micro-organismes (Photo 3.35). Ces salissures peuvent se présenter sous une teinte rougeâtre par le fait de la mise à nu du parement en pierre ou en briques. Cette couleur peut être d'origine végétale, causée par des micro-organismes de type de champignons microscopiques présents dans la pierre; l'humidité et le vent transportant les substances utiles à leur développement<sup>90</sup>, favorise leur apparition, comme elles peuvent être d'origine minérale dues à des grains de pyrite ou à des oxydes de fer constitutifs du support en structure métallique (grilles et verrières) créant ainsi des trainées ocres ou rougeâtres<sup>91</sup>.



**Photo 3.35:** Développement de bactéries cryptophytes

### III.10.1.1.2. Salissures occasionnées par la pollution atmosphérique

Ce sont des salissures, formant une sorte de pellicule grasse, diagnostiqué par projection d'eau, si des perles d'eau se constituent une intervention est nécessaire<sup>92</sup> Elles sont causées aussi par des particules restées en suspension dans l'air rejetées par les véhicules et les usines etc..) <sup>93</sup>. La façade humide, et rugueuse, aidé le vent facilite le dépôt de particules, un encrassement noirâtre apparaît. En période hivernale, ces particules déposées, entraînées par l'eau, engendre des salissures sur les façades (Photo 3.36)



**Photo 3.36:** salissure causée par la pollution atmosphérique

<sup>90</sup> C. Carrie, D. Morel. Salissures de façades, étude effectuée sous la direction du RAUC (centre de recherche d'architecture d'urbanisme et de la construction). Eyrolles 1975.

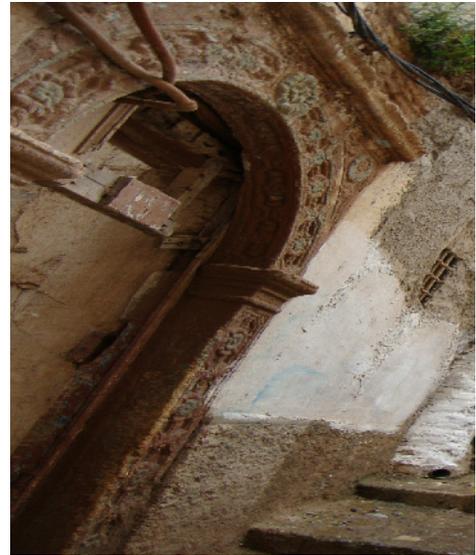
<sup>91</sup> Idem.

<sup>92</sup> A. Caussariou, T. Gaumart. Guide pratique de la rénovation de façades pierre, béton, brique. Eyrolles 2005

<sup>93</sup> D. Garnier, G. Bajeux. Diagnostic avant Nettoyage ou ravalement d'une façade comportant de la pierre, in revue technique du bâtiment et des constructions industrielles N° 201

### III.10.1.1.3. Dégradation des menuiseries d'ouverture (portes et fenêtres)

Les menuiseries en bois, souvent richement élaborées se voient détériorées, par leur exposition aux intempéries ainsi qu'à la variation de température (Photo 3.37). L'attaque de l'eau les dégradent très vite, ajouté au phénomène lié aux agents biotiques.



**Photos 3.37** : Menuiserie détériorée

### III.10.1.1.4. Dégradation affectant le toit

Les toitures terrasses et à versants nécessitent un entretien permanent, car les infiltrations d'eau occasionnent des désordres sur les éléments constitutifs de ces couvertures. L'entretien et la révision régulière de l'état des tuiles, des conduits d'aération ainsi que de toutes les zones de raccordement est une nécessité pour une meilleur pérennité des constructions.

## Conclusion

*La situation actuelle de nos médinas est préoccupante, de nombreuses habitations sont dans un état de dégradation avancé, mais également insalubres et en situation de grand inconfort. Les causes principales de désaltération et de dégradation des matériaux qui constituent les structures de ces constructions, sont essentiellement dues à la présence d'humidité sous toutes ses formes tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des habitations.*

*Ces dégradations sont d'ordres physique, chimique ou mécanique. L'ampleur de leur impact sur la construction est fonction des caractéristiques des matériaux utilisés, des facteurs environnementaux et de l'état des éléments qui la protège, les enduits, les toitures...etc.*

*L'état de portance des sols, l'état des fondations, les conditions environnementales qui entourent la construction, le type de matériaux utilisés, la forme et la taille de la structure ainsi que les connexions entre éléments, contribuent énormément dans le comportement structurel dont dépendra le type d'intervention.*

*En agissant de manière efficace et rapide tenant compte des caractéristiques structurales et de la compatibilité physico-chimique entre les éléments constitutifs de ces constructions, nous contribuerons à réduire les interventions des habitants dans leurs appartements qui par méconnaissance contribuent à la destruction de la forme et des matériaux traditionnels.*

*L'action de l'homme, la réduction de l'efficacité structurale par des phénomènes naturels combinés à une augmentation de l'action mécanique, occasionnent la dégradation de la*

construction engendrent des impacts négatifs sur leur pérennité et leur témoignage historique.

Dans le cas d'une réhabilitation d'ensemble de la construction, un diagnostic technique total sera établi avant l'intervention proprement dite, dans le cas d'un simple ravalement on procédera à un examen de ces différents désordres souvent apparents en effectuant un sondage sur la maçonnerie afin d'en détecter d'éventuelles faiblesses. L'état des murs (lézardes et déformations), nécessitent des interventions lourdes. Selon le cas, on procédera à la consolidation de la structure par une reprise au niveau des fondations, sinon à la mise en œuvre de chaînages armés, de contreforts ou de tirants<sup>94</sup>; que nous aborderons plus en détails dans le chapitre suivant sur «méthodes et techniques de réhabilitation des structures».

---

<sup>94</sup> Idem

QUATRIEME CHAPITRE  
TECHNIQUES ET METHODES  
DE REHABILITATION

## Introduction

Ce dernier chapitre de notre travail de recherche est consacré aux différentes solutions apportées aux pathologies présentées au chapitre précédant. Ces dernières sont d'ordre physique, chimique et mécanique, et souvent apparaissent sous la présence d'eau. En effet la dissolution de la matière solide qui compose le matériau de base provoque, soit des gonflements suite à leur cristallisation ou tout simplement un délavage source de perte de masse et donc de diminution de densité et de résistance mécanique et de durabilité. La stabilité des ouvrages soumis à une telle contrainte nécessite une intervention permettant d'éliminer la présence d'humidité sous ses formes variées.

A l'effet de l'humidité s'associe l'instabilité des sols sur les quels repose la construction, nous pouvons distinguer des sols gonflants avec un fort retrait en été ou en présence de canicules et des sols présentant des défaillances en termes de résistance. Les injections sous différentes formes restent les solutions les plus appropriées.

Les différentes solutions apportées pour résoudre les pathologies présentes sur un site sont structurées par élément porteur à savoir les fondations, les planchers intermédiaires, les planchers terrasse et enfin les murs porteurs. Des méthodes adaptées seront envisagées en fonction du type de structure horizontale ou verticale.

La réhabilitation de ces ouvrages devra tenir compte des interactions entre les effets induits par les structures verticale et horizontale et devra donc traiter les désordres dans les murs et au niveau des ouvrages portés. Il est recommandé de réaliser ces travaux en même temps et parfois même de procéder au renforcement et raccordement des planchers, charpentes, et voutes avant toutes réparations finales sur les murs porteurs.

En outre, la longue durée des travaux de réhabilitation de ces constructions imposera une consolidation semi-permanente. Un étaielement de l'édifice à réhabiliter sera nécessaire et fait l'objet d'une étude propre et d'une évaluation de l'état statique de la construction avec pour objectif la consolidation optimale avec un minimum d'intrusion. Les interventions nécessitent une connaissance et une surveillance de toutes les possibilités de mouvements pendant les travaux, un contrôle de la mise en charges des nouveaux éléments; et enfin une vérification de la stabilisation de tous les mouvements après l'intervention.

Le ravalement des façades, altérées par de multiples agents agresseurs, sera la dernière phase de l'intervention, et dont le traitement fera appel à des techniques appropriées selon, la nature des parements, le degré de délabrement et d'encrassement de ces dernières.

## IV.1. Traitement de l'humidité

### IV.1.1. Traitement contre les remontées d'eau par capillarité

Ce traitement consiste, essentiellement, à créer « une barrière étanche », mécaniquement par sciage des murs, ou par injection dans la maçonnerie de produits imperméabilisants.

#### IV.1.1.1. Par sciage dans le mur

On réalise une saignée dans le mur à 40 cm du sol extérieur fini<sup>1</sup>. Cette opération se fait par tranche, généralement d'un mètre<sup>2</sup> tout le long du mur. On y placera une feuille imperméable et résistante telle que des plaques métalliques inoxydables, qui seront soudées entre elles au niveau des raccords. On peut encore introduire **un mortier étanche de résine époxyde**<sup>3</sup>. Ce remplissage sera compacté énergiquement pour éviter tout vide résiduel. On peut également disposer dans ces tranches **un feutre bitumé** bloqué avec du mortier fortement compacté<sup>4</sup>.

***Une fois réalisée l'opération sur tout le périmètre, la construction reposera sur le nouveau matériau étanche qui a été inséré.***

#### IV.1.1.2. Par injection d'imperméabilisants (la résine à l'état liquide)

Création d'une barrière étanche par le forage dans la partie basse du mur, de trous d'une quinzaine de centimètres inclinés vers le bas et en quinconce<sup>5</sup>, (Fig. 4.1). On injecte ensuite les produits imperméabilisants (liquides hydrofuges, siliconâtes, latex) dans chaque orifice qui se diffusent soit par gravité puis par capillarité dans la microstructure, soit sous l'effet de la pression d'injection. Le liquide ainsi introduit se polymérise, après un certain temps, et colmatra les



**Figure 4.1:** trous forés afin d'injecter des produits imperméabilisants.

<sup>1</sup> Emile Olivier professeur technique du bâtiment, des méthodes Les Maçonneries, technologies de construction, tome II, 5<sup>e</sup> Edition revue, Technique et Document Lavoisier, paris 1990.

<sup>2</sup> Emile Olivier professeur technique du bâtiment, Technologie des matériaux, tome I, Technique et Document Lavoisier, paris 1990.

<sup>3</sup> M. Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement .centre d'assistance technique et de documentation CATED.2000.et J.Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité.

<sup>4</sup> Emile Olivier, technique du bâtiment, Technologie des matériaux, tome I, Op, Cité.

<sup>5</sup> Idem.

vaisseaux capillaires dans les maçonneries en formant un gel qui constituera « une barrière étanche<sup>6</sup> ». Procédé très utilisé sur les chantiers des sites et centres historiques<sup>7</sup>.

#### IV.1.1.3. Par extraction de l'eau introduite dans les murs

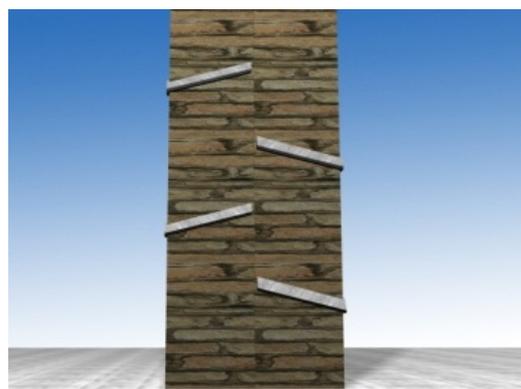
Procédés qui visent à assécher les murs par l'évacuation de l'eau présente dans ces ouvrages.

##### 1. Par siphons atmosphériques

##### 2. Par procédé Knapen



**Figure 4.2:** Assèchement du mur par prismes munis de grilles encastées



**Figure 4.3:** Alternance des appareils sur les deux faces du mur.

Utilisés dans le cas où, le mur est inaccessible de l'extérieur. Ce procédé permet de ventiler le mur, et consiste à introduire dans sa largeur à environ 30 cm du sol<sup>8</sup> (Fig. 4.2) (dans un forage réalisé en quinconce avec une inclinaison de 10°), un siphon de section triangulaire protégé par une grille en laiton ou des petits siphons en terre réfractaire absorbante<sup>9</sup>, le nombre d'élément introduit dépendra de la quantité d'eau à évacuer<sup>10</sup>. Un meilleur procédé peut être réalisé en alternance avec des appareils sur les deux faces (Fig.4.3)<sup>11</sup>.

Le principe d'assèchement se produit comme tel<sup>12</sup>:

<sup>6</sup> J.Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité et S.Louong. Pour traiter les locaux humides : les résines polymérisables in cahiers technique du bâtiment N°50.Décembre 1982.

<sup>7</sup> Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques –Algérie perspectives de la récupération-Cours de post-graduation de l'école Polytechnique d'Architecture et d'urbanisme –EPAU, Alger.

<sup>8</sup> Emile Olivier professeur technique du bâtiment, des méthodes Les Maçonneries, technologies de construction, tome II, 5<sup>e</sup> Edition revue, Technique et Document Lavoisier, paris 1990.

<sup>9</sup> Idem.

<sup>10</sup> J.Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité ; et Y.Baret.Traiter d'humidité, comprendre les origines de l'humidité, diagnostiquer les désordres, évacuer l'humidité, prévenir son retour .Eyrolles.2007.

<sup>11</sup> Emile Olivier, technique du bâtiment, des méthodes Les Maçonneries... tome II, Op. Cité

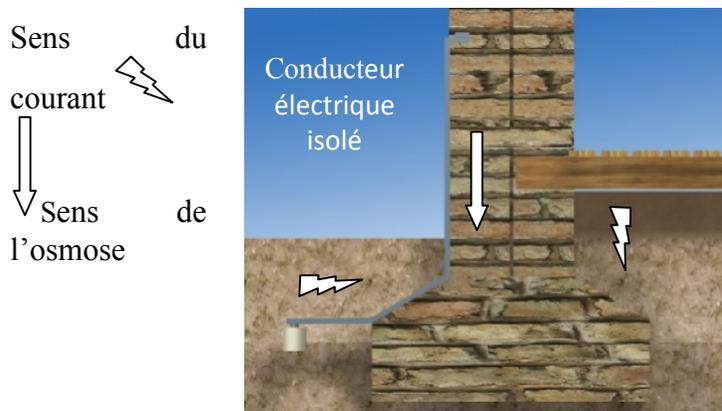
<sup>12</sup> Humidité ascensionnelle dans le bâtiment in revue CSTC N°1 Mars 1980.

- Aspiration de l'eau contenue dans le mur par l'élément de terre cuite (effet capillaire); Accumulation dans les segments inférieurs de l'air humide (plus lourd, il s'évacue par gravité et suit le sens de l'inclinaison, et sous l'effet de la ventilation naturelle l'air sec, plus léger, passe dans la partie supérieure du tube).

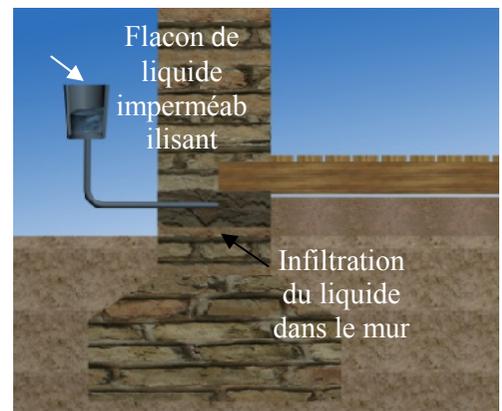
### 3. Par procédé Abal

Il consiste en l'association avec les siphons d'assèchement, des bandes en cuivre étamées qui agiront sur les courants **d'électro-osmose** décrit ci-dessous.

Elle consiste à assécher le mur dans lequel on aura foré des trous et fixé des sondes reliées par un fil métallique (anode) et placé une prise à la terre (cathode) dans le sol humide (Fig. 4.4).



**Figure 4.4** : Electro –osmose Ruban de cuivre scellé dans le mur



**Figure 4.5** : Injection d'hydrofuge

Saturés d'eau ; puis se déplace de l'anode vers la cathode, il en résultera l'inversement du flux capillaire ce qui asséchera le mur. Cependant, lorsque le courant est interrompu, l'humidité réapparaît, auquel cas on y injecte des produits de phorèse (qui obturent les pores et les capillaires) à travers des tubes raccordés à des flacons scellés dans les trous auparavant effectués dans le mur. Les électrodes peuvent être débranchées au bout de deux (02) ans et l'assèchement par ce procédé est irréversible<sup>13</sup> (Fig. 4.5).

#### IV.1.1.4. Imperméabilisation du mur contre les infiltrations latérales

Consiste à réaliser avec des dalles de béton moulées très compactes et étanches, un contre mur qui empêchera tout contact entre le mur et le terrain. Un vide d'air pour la ventilation est

<sup>13</sup> M .Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement .centre d'assistance technique et de documentation CATED.2000 Et J .Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité.

assuré par des saillies aux quatre coins du contre mur, ainsi les eaux de ruissèlement s'écouleront vers le bas et seront récoltées par une cunette et évacuées par un drain<sup>14</sup>.

#### IV.1.1.5. Le système de drain

Les parois verticales en contact avec le terrain étant constituées de matériaux capillaires, la solution consiste dans ce cas à assainir le terrain<sup>15</sup>. On éloignera l'eau du mur accessible par un drain périphérique qui sera complété par la réfection et l'imperméabilisation des enduits enterrés (ex: Plaque imperméable même sous pression) et par un drainage vertical (Fig. 4.6)<sup>16</sup> avec protection de l'imperméabilisation pendant le déversement de l'agrégat par un mur de bloc, une planche ou le plus couramment avec un tissu moderne de géotextile<sup>17</sup>. Le drainage devra être recouvert d'un revêtement perméable (gravier, sable, ou pavés à joints ouverts).

Dans le cas où les fondations sont réalisées en maçonnerie irrégulière, leur imperméabilisation nécessitera la séparation du drainage par la construction d'un mur parallèle à la fondation à imperméabiliser<sup>18</sup>.

Des tuyaux perforés ou en terre cuite perméable créeront une ventilation au niveau de la cunette du drain, l'enduit étanche pourra être substitué par des bardages ondulés ou des plaques de béton en préservant une mince lame d'air contre le mur<sup>19</sup>.

On tentera de favoriser au maximum l'évaporation de l'eau au niveau de ces éléments par<sup>20</sup>:

- L'utilisation de revêtements à base de mortiers doués d'une grande perméabilité;
- Ou ventilation des espaces.

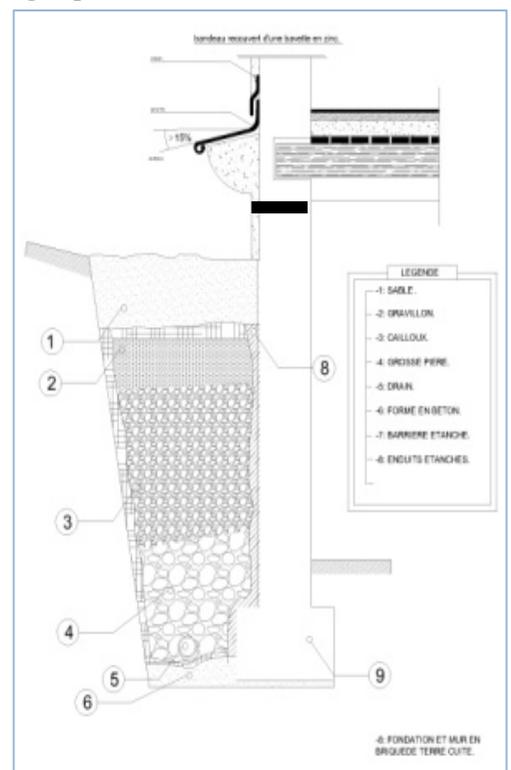


Figure 4.6: Système complexe du traitement en sous-bassement

<sup>14</sup> CEBTP .Etude des méthodes de luttes contre les remontées d'eaux par capillarité. Décembre 1983.

<sup>15</sup> A.Bouineau étude de l'assèchement des murs soumis a des remontées capillaires.

<sup>16</sup> CEBTP .étude des méthodes de luttes contre les remontées Op .Cité.

<sup>17</sup> J.Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité et CEBTP .étude des méthodes de luttes contre les remontée, Op. Cité

<sup>18</sup> Idem.

<sup>19</sup> Idem.

<sup>20</sup> CEBTP .étude des méthodes de luttes contre les remontées...Op. Cité

#### IV.1.1.6. Le système de drain ventilé

Il consiste à réaliser contre le parement, une tranchée ouverte qui permettra d'abaisser la hauteur d'évaporation des eaux capillaires. Ce système ouvert ne peut être généralisé, présentant un danger public, en revanche une tranchée couverte bien ventilée, sous réserve, qu'aucun enduit ou jointement étanche ne s'oppose à l'évaporation de l'humidité du mur, contribuera à assainir le mur au niveau inférieur en plus de le protéger de l'humidité latérale<sup>21</sup>.

#### IV.1.2. Traitement de l'humidité de condensation par ventilation

Dans les maisons anciennes, les mortiers, les enduits et les sols étaient réalisés avec des matériaux hygroscopiques (capables d'absorber et de restituer l'humidité sans subir de dégradation), les réfections faites avec des matériaux inadaptés et l'installation de menuiseries étanches à l'air ont fortement contribué au phénomène de condensation.

La condensation est le phénomène commun lié aux problèmes d'humidité dans la maison. Elle se manifeste sur les parois des murs relativement froids, secs et imperméables sous forme de gouttelettes ruisselantes, engendrant des taches, moisissures et champignons. Un simple nettoyage des parois et une aération des espaces surtout en hiver suffisent pour y remédier. L'aération doit être régulièrement au niveau des pièces humides de la maison, en laissant les fenêtres entrouvertes, tout en prenant le soin de faire des petites perforations dans le bas des portes de ces espaces, sinon on installera une bouche d'aération par ventilation mécanique d'extraction (V.M.E). Solution efficace pour traiter l'humidité dans les espaces mal aérés.

Dans la cuisine, le système de hotte sera utile pour évacuer les vapeurs d'eau culinaires, ou à défaut un aérateur doté d'un dispositif mécanique sur la vitre sera installé. Les conduits de ventilation situés dans les cuisines et les salles d'eau restent aussi efficaces pour la prise en charge de l'humidité ascensionnelle, dont la hauteur sur le mur sera réduite du fait de la relative sécheresse de l'air ambiant.

##### IV.1.2.1. Doublage ventilé

Le doublage ventilé des murs et des sols sur terre -plein est la technique la plus appropriée pour éliminer la vapeur d'eau. L'efficacité de ce procédé est tributaire d'une bonne aération par une ou plusieurs prises d'air sur l'extérieur. Les vides créés devront être raccordés à une ou plusieurs ventilations en toiture. Ainsi, il en résultera une séparation du volume habitable de toutes les parties humides de la structure par un vide ventilé en permanence.

---

<sup>21</sup> J.Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité

#### IV.1.2.1.1. Doublage ventilé du terre-plein

Le principe consiste à décaisser le terre-plein en fonction du niveau fini du sol au rez de chaussé afin de le reconstituer en posant successivement<sup>22</sup>:

- Une aire de gravier de 5 cm environ ;
- Des hourdis creux de 12 cm posé à l'envers ;
- Un dallage en béton de chaux avec ajout d'une charge de bille d'argile de 8 cm ;
- Le revêtement de sol.

Le vide du terre-plein résultant des vides des hourdis ne doit pas être inférieur à 6 cm et doit être en communication avec le vide d'air se trouvant entre la cloison de doublage et les murs.

#### IV.1.2.1.2. Doublage ventilé des murs

Ce procédé de doublage de la cloison ne doit pas avoir de contact avec le mur humide et doit correctement être isolé du vide d'air ventilé. L'épaisseur du vide ne doit pas être inférieure à 6 cm de façon à ce que la viscosité de la lame d'air mince et humide ne s'oppose pas à sa ventilation. En cas de défaut de ventilation du vide, l'air resté immobile se sature d'humidité qui se condense par manque de ventilation sur les cloisons et dans les hourdis. La solution de la cloison ventilée a souvent été utilisée avec ou sans l'association du terre-plein ventilé et a donné d'excellents résultats<sup>23</sup>.

### IV.2. Action au niveau des sols

#### IV.2.1. Traitement des sols par des additifs

Ils sont utilisés, pour réduire le gonflement, le traitement à la chaux peut constituer un traitement en soi. Mais pourra se poser alors le choix de l'opportunité: Quand traiter un sol à la chaux?

***Une étude de reconnaissance géotechnique préliminaire est donc nécessaire pour déterminer les caractéristiques du sol, et notamment sa teneur en argile.***

Il faudra déterminer le pourcentage de chaux à utiliser, chaque sol réagissant différemment au traitement. Par ailleurs, l'ajout de certains additifs modifie considérablement les propriétés du sol<sup>24</sup>

#### IV.2.1.1. Stabilisation des sols par ajout de liant : la chaux<sup>25</sup>

---

<sup>22</sup> J. Coignet connaissance et techniques de réhabilitation, Op cité

<sup>23</sup> Idem.

<sup>24</sup> Idem

<sup>25</sup> P. Perret : Contribution à l'étude de la stabilisation des sols fins à la chaux : étude globale du phénomène et applications. Thèse docteur-ingénieur-INSA de Rennes.1982.

La teneur en eau d'un mélange sol/chaux est inférieure à un sol non traité (sol initial) en raison<sup>26</sup>:

- Du phénomène d'hydratation de la chaux, réaction immédiate et fortement exothermique<sup>27</sup>;
- De l'évaporation de l'eau : Evaporation d'une quantité d'eau du sol par réaction exothermique et d'autre part, aération du sol par le malaxage du mélange;
- De l'apport de la matière sèche qui diminue la teneur en eau.

La stabilisation à la chaux est une technique classique qui a connu beaucoup d'applications pour la stabilisation des sols fins, sensibles à l'eau et au gel. Elle est indiquée pour améliorer les caractéristiques portantes du sol environnant ou sous ouvrages existant sur sol argileux.

D'autres procédés utilisant la chaux offrent des perspectives nouvelles. La technique d'injection de lait de chaux dans le sol, sous pression, à une profondeur courante de 1,50 m voir à 12 m. Technique américaine qui permet la stabilisation des remblais ou des terrains naturels où une déficience de leur portance est établie.

#### IV.2.2. Amélioration de la portance du sol par injections

Ce sont des techniques qui s'appliquent à des sols meubles, roches, ou des remblais. L'instabilité de la construction étant due à la défaillance de ces terrains, le renforcement et la réhabilitation des structures de ces constructions peut faire appel à des traitements de sols sur lesquels reposent leurs fondations. Le choix de l'injection est fonction de paramètres liées à<sup>28</sup>:

- L'importance de l'ouvrage/à son histoire;
- Les objectifs à atteindre selon la nature des problèmes à résoudre: arrêter les déformations induites, augmenter la capacité portante, et assurer l'étanchement du sol en conséquence de l'environnement;
- L'étude géotechnique du terrain à traiter a pour finalité l'amélioration ou le renforcement.
- La nature physico-chimique des terrains;
- La composition chimique des eaux baignant ces terrains;



**Photo 4.1:** Consolidation par injections superficielles

<sup>26</sup> ECOLE D'AVIGNON, « Technique et Pratique de la chaux ».Deuxième Edition 2003,Eyrolles.

<sup>27</sup> M. Dahli, cours P-G, Module : Matériaux de construction et expression architecturale .Chaux aérienne et chaux Hydraulique, 2008/2009.

<sup>28</sup> Guide stress réparation et renforcement des fondations .Op .Cité.

- Les conditions et l'état de chargement de ces terrains par les structures voisines et sus-jacentes ainsi que les déformations admissibles de ces dernières.

En plus des paramètres cités ci-dessus on tiendra compte:

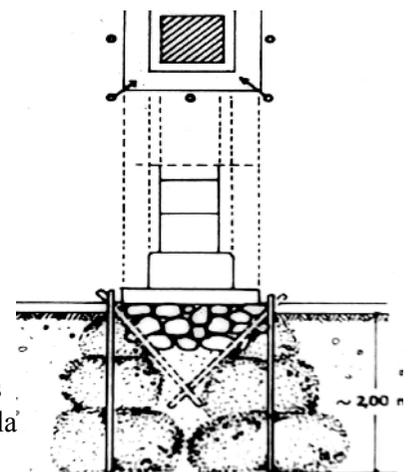
- **Pour les terrains rocheux** : du régime d'écoulement avant intervention et son optimisation après celle-ci;
- **Pour les terrains meubles** : du régime piézométrique, ainsi que la perméabilité de chacune des couches stratigraphiques, des terrains à étancher avant l'intervention, et celle à obtenir après. Le procédé pour supprimer ou réduire la déformabilité du sol soumis à des charges (Photo.4.1)<sup>29</sup> consiste à traiter par injection sous pression dans ce sol un mortier à base de ciment ou autres liants, à l'aide de forage effectué selon un maillage primaire et secondaire (Photo.4.1)<sup>30</sup>. Il offre la possibilité de réduire les risques d'érosion des parties fines ou solubles du sol, de même qu'il réduit l'étanchement des sols et diminue les débits d'infiltration. De cette manière, il assure une protection par rapport aux agents agressifs ou polluants risquant de s'infiltrer<sup>31</sup>.

#### IV.2.2.1. Injections classiques

Technique de confortement envisagée dans le cas où des perturbations et des déformations ne sont pas très avancées et que l'arrêt de leur évolution est constaté. Le souci majeur dans ce cas est d'améliorer les caractéristiques de déformabilité et de résistances de ces terrains et de diminuer sa perméabilité<sup>32</sup>. Cela en comblant les vides tels que les fissures induites sur terrains meubles, rocheux ou granulaires, sans occasionner de déformations ni de déplacement



**Photo 4.2:** Injections superficielles



**Figure 4.7:** Injections profondes commune à la fondation et au sol

<sup>29</sup> S. Chaning, la chirurgie des structures, réhabilitation structure enveloppe. Centre d'assistance technique et de Documentation (CATED).1993.

<sup>30</sup> S. Chaning, la chirurgie des structures, réhabilitation structure enveloppe. Centre d'assistance technique et de Documentation (CATED).1993.

<sup>31</sup> H. Cambefort ; injection des sols. Eyrolles 1964.

<sup>32</sup> Idem.

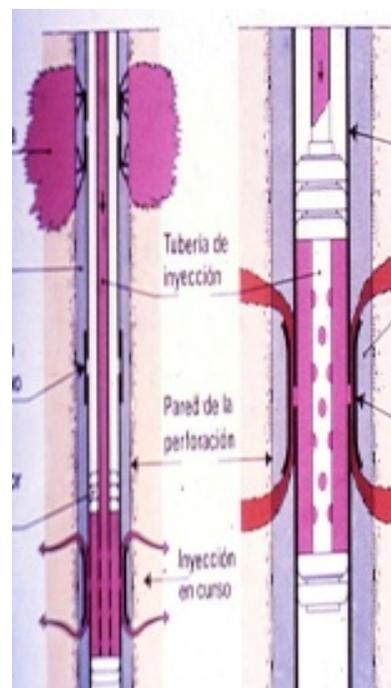
de ces terrains. Ce comblement se fait, par remplissage des fissures par des coulis<sup>33</sup>. Selon le degré d'altération diagnostiqué cette intervention peut faire appel à un traitement superficiel ou/et profond (Photo 4.2 et Fig. 4.7).

#### IV.2.2.2. Injection de claquage

Ce procédé est utilisé pour rétablir une transmission de charge entre le sol et les fondations<sup>34</sup> qui au fil du temps perdent leurs fonctions. Il permet aussi de combler des vides dans les fondations en moellons déstabilisés<sup>35</sup>.

Le principe de l'injection de claquage se fait par séquence d'opérations successives à savoir:

- Forage dans le sol, mise en œuvre du tube à manchette, l'espace annulaire est rempli avec un coulis de gaine<sup>36</sup>;
- Equipement du tube à manchettes par un flexible d'injection, muni à son extrémité d'un double obturateur qui réalise une très bonne étanchéité de part et d'autre de la manchette permettant une injection sélective<sup>37</sup>;
- Injection à l'obturateur double par passes remontantes, la bonne exécution est tributaire de la quantité, de la pression maximale d'injection et du temps de prise entre deux passes (Fig.4.8). C'est un procédé qui complète des résultats déjà obtenu par injection classique, à la différence qu'il provoque la rupture du terrain, induisant un mouvement dynamique de ce dernier<sup>38</sup>.



**Figure 4.8:** système d'Injection à obturateur double

Les petites fractures dans le sol, engendrées par l'opération, sont comblées d'un coulis permettant ainsi d'améliorer n'importe quel terrain par injections répétées à des endroits bien défini. De même, ce procédé provoque, en cas de tassement, des soulèvements contrôlés après étaieement des structures horizontales et verticales de la construction<sup>39</sup>.

Deux cas de figures peuvent se présenter selon que l'on agisse sur un terrain perméable ou très peu perméable au coulis. Dans le premier cas, la fissuration est obtenue par un débit

<sup>33</sup> CRITERRE .Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection .Op. Cité.

<sup>34</sup> Keller fondations Spéciales SPA Le procédé Soilfrac .Brochure 61-02 F.

<sup>35</sup> H. Cambefort ; injection des sols. Eyrolles 1964.

<sup>36</sup> Keller fondations Spéciales SPA Le procédé Soilfrac .Brochure 61-02 F.

<sup>37</sup> Idem.

<sup>38</sup> Guide stress réparation et renforcement des fondations .Op .Cité.

<sup>39</sup> CRITERRE .Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection .Op. Cité.

d'injection supérieur à sa capacité d'absorption<sup>40</sup>; dans le deuxième cas la fissuration est obtenue par une pression d'injection supérieure à la résistance de l'endroit considéré.

#### IV.2.2.3. Amélioration des caractéristiques du sol par injection et compactage

Son principe consiste à introduire sous pression, sans claquage ni imprégnation du sol, un mortier dans des forages de 100 mm de diamètre et de 0,5m à 2,0 m de hauteurs de tranche, pour l'amélioration des caractéristiques géotechniques par refoulement du sol environnant.

Cette technique d'intervention peut aussi bien être combinée aux autres procédés de consolidations. Il est utilisé pour :

- **Consolider sous les fondations** des ouvrages sujets à des tassements;
- **Améliorer des sols**, en augmentant leur portance ;
- **Confortement des fondations préexistantes**, par augmentation de la capacité portante du sol (dans le cas de tassement ou d'augmentation des charges);
- **Comblent des vides par remplissage** des cavités induites, par des ruptures accidentelles d'adduction d'eau, sous des voies de circulation;
- **Augmenter la densité de sols à porosité élevée** (remblais non consolidé).



**Photo 4.3:** colonnes de fondations (béton/sol)

L'injection se fait par séquence successive<sup>41</sup> (Photo 4.3):

- Mise en place du tube d'injection par battage ou par forage;
- Compactage horizontal statique ;
- Répartition homogène du compactage par colonnes alternées. Pour un compactage optimal, on procède à un maillage primaire large puis en inter maille par des colonnes secondaires.

### IV.3. Réhabilitation des structures horizontales et verticales dans la construction

#### IV.3.1. Les étaielements

Les étaielements de consolidation, en partie ou en totalité, sont les moyens de donner momentanément et de façon artificielle, une nouvelle stabilité à la construction. Ce système devra être indéformable, soigneusement triangulé, effectué en prenant le soin « de connaître avec exactitude, comment les constructions ont été faites, quels ont été les procédés employés,

<sup>40</sup> Keller fondations Spéciales SPA Le procédé Soilfrac .Brochure 61-02 F.

<sup>41</sup> Keller Fondations, Brochure 66-01 F. op.cité.

leurs appareillages ...etc. De façon à « parer d'avance à ses défauts et profiter de ses qualités »<sup>42</sup>, Des mesures de protection spécifiques à l'étai seront de mises (protection des impacts, épaufrures ou taches (tanin, rouille) provenant de l'étai lui-même par du papier Kraft, Tissu non tissé (BIDIM))<sup>43</sup>, l'entailage se fera des éléments les moins atteints vers les plus atteints.

*Les étais doivent être simples et éventuellement progressifs. Ils sont appliqués de sorte à reprendre sans créer de nouvelle contrainte, la charge des ouvrages. Ils ont pour but :*

- **la consolidation d'urgence** se fait après apparition d'un désordre soudain, et permet d'arrêter temporairement le mouvement qui menace la construction et le public.
- **la consolidation semi – permanente** : Indiquée lorsque l'opération de restauration est soumise à des latences dues à des considérations budgétaires.

*Ces étaitements devront être réalisés avec du bois sec et non cassant, calculés et disposés de manière à permettre l'intervention sur une maçonnerie suffisamment dégagée.*

## IV.3.2. Réhabilitation des structures horizontales dans la construction

### IV.3.2.1. Réhabilitation des fondations

La configuration topographique, la nature du sol, et la destinée du bâtiment guideront le mode de consolidation des fondations. Les fondations nécessitent une intervention adaptée, dont le but sera de remédier à des défauts, de conception, de réalisation ou induits par des dégradations divers (affaissements, augmentation des charges, modification de la géométrie de la structure survenues depuis sa construction, tremblement de terre, etc...). Pallier également à un vieillissement prématuré, par des moyens de consolidation dont l'intervention requiert une connaissance du type et des caractéristiques de celles-ci<sup>44</sup>. L'étude de la portance et du type de sol des fondations fera aussi l'objet d'une attention particulière. On procèdera aussi au repérage de l'existence d'une voute de cave)<sup>45</sup>. On tiendra compte des modifications et des réparations survenues au cours de la vie de cette construction.

#### IV.3.2.1.1. Phase de l'intervention en sous œuvre

---

<sup>42</sup> Violet le Duc (Eugène), Dictionnaire raisonné de l'Architecture Française du X<sup>e</sup> au XVI<sup>e</sup> siècle ; Articles : Restauration, voûte, étai, étauçon (chandelles), étrésillon, tirant, ancre...p.344.

<sup>43</sup> Benjamin Mouton, Centre des hautes études de Chaillot « structures et consolidations ; ETAIEMENTS», Décembre 1999.

<sup>44</sup> Guide Stress, Réparation et renforcement des fondations syndicat National des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRESS) .2008.

<sup>45</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBT).Terrassement en sous œuvre et fondations, 1964 rééditer 1994.

Le travail en sous – œuvre s'exécute obligatoirement par phase<sup>46</sup> :

- **Première phase** : « les étalements » ;
- **Deuxième phase**: exécution du sous –œuvre ;
- **Troisième phase**: Remise en charge.

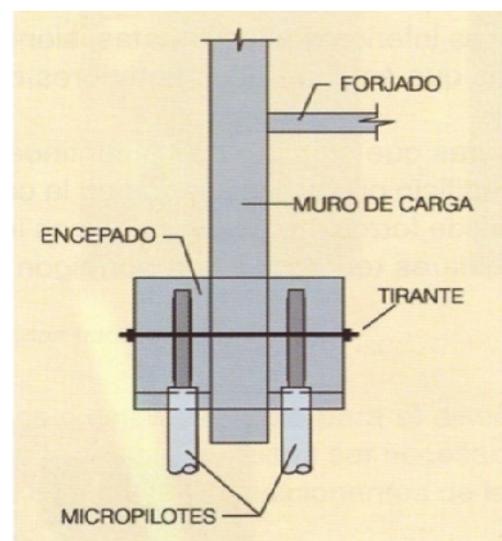
Cette intervention en sous œuvre est conditionnée par<sup>47</sup> :

- Les causes qui motivent la réparation ;
- Le degré de détérioration ;
- Les problèmes spécifiques inhérents à la construction ou à son environnement immédiat ;
- Les techniques de réparations connues, maîtrisées et disponibles ;
- Les budgets nécessaires et leurs disponibilités.

#### IV.3.2.1.2. Méthode et technique de consolidation

Les méthodes, de consolidation/renforcement, et les méthodes de traitements dans les travaux de réparation sont nombreuses, et touchent aussi bien le sol que les fondations, après avoir vérifié l'état de la structure, (Fig. 4.9 et Photo 4.4). Pour cela, il sera nécessaire de :

- Consolider les fondations préexistantes, en réalisant des semelles en béton armé, des sous œuvres en maçonnerie ou des puits;
- Utiliser des  $\mu$ -piles à l'aide de pieux ou de  $\mu$ -pieux;
- Consolider en réalisant des parois moulées;
- Injecter des produits chimique en vue d'améliorer la perméabilité des sols, si nécessaire;
- Mettre en place des tirants avec boulons d'encrage, drainer...etc.



**Figure 4.9 et photo 4.4** : Reprise en sous œuvre pour le renforcement des fondations.

<sup>46</sup> Guide Stress .réparation et renforcement des fondations .op. Cité.

<sup>47</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité

Les aléas les plus fréquemment rencontrés lors de travaux de consolidations sont<sup>48</sup>:

- Les éboulements au niveau de la zone d'intervention;
- Le risque de rencontrer des canalisations d'eau, d'assainissement, des câbles électriques, des canalisations de gaz ...etc.
- D'induire, suite à la décompression du sol ou de la vibration des engins, des lézardes, des fissures, des tassements et parfois même un effondrement partiel ou total.

Pour éviter ces aléas, il faudra prendre des mesures avant et au cours des travaux :

- **Avant l'entame des travaux de consolidation**
  - En sous œuvre, conserver la stabilité des murs et des structures par un système d'étaisements, et d'étrésillonnement pour les ouvertures<sup>49</sup> ;
  - Avant la reprise en sous œuvre prévoir le renforcement de l'excavation par blindage ou par une amorce sous chaque mur porteur perpendiculaire au mur à reprendre<sup>50</sup>.
- **Au cours des travaux de consolidation**
  - Des poussées, horizontales ou obliques en sous œuvre sont exercées (voutes ou construction avoisinantes), et sont absorbées par la butée des terres<sup>51</sup>. Ce système de compensation s'affaiblit/terrassements, une mise en place d'étaisements et/ou des tirants avec ancrages, sera nécessaire<sup>52</sup>, qui seront maintenus tant que les poussées ne seront pas totalement absorbées par le nouveau dispositif de renforcement définitif;
  - Afin d'éviter le vidage des maçonneries supérieures lors de la reprise de fondation, une injection de mortier, avec ajout éventuel de chaux hydraulique, au-dessus de la fondation jusqu'à une certaine hauteur pourra être faite. On pourra, injecter de la chaux sous réserve d'une bonne fluidité<sup>53</sup>. Cette injection se fera par séquences, en vérifiant les étaisements des piles que l'on veut reprendre<sup>54</sup>;
  - Si la fondation à reprendre s'appuie sur le sol sans semelles de répartition et se compose d'une maçonnerie en moellon, on construira sous cette fondation, une poutre continue en béton armé par tronçons successifs jusqu'au bon sol<sup>55</sup>.

---

<sup>48</sup> Guide Stress .réparation et renforcement des fondations .op. Cité.

<sup>49</sup> G. Duval. Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.

<sup>50</sup> Info maçonnerie. Reprises-en sous œuvre. L'artisanat du bâtiment. CAPEB JURA. Février.2008

<sup>51</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous –œuvres1964 rééditer 1994.op. Cité.

<sup>52</sup> Idem.

<sup>53</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité.

<sup>54</sup> G .Duval .op. Cité.

<sup>55</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous – œuvres...1964 rééditer 1994.op. Cité.

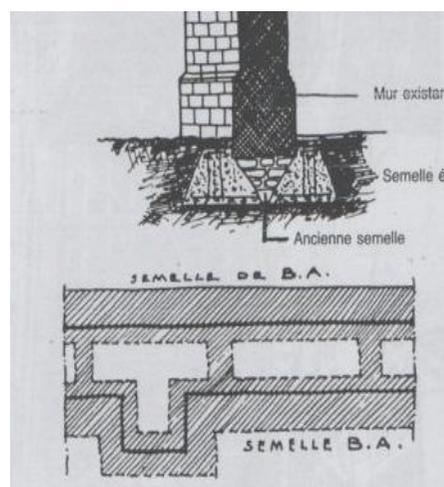
#### IV.3.2.1.3. Mode de blindage à prohiber

Les accidents par éboulement sont particulièrement graves voir mortel. Ils sont la conséquence d'un sol hétérogène, par nature (faille, plans de glissement, venues d'eau), ou par action de l'homme. Pour les prévenir, il faudra prévoir un<sup>56</sup> :

- Blindage par une seule planche, à la partie supérieure des parois de la fouille en tranchée ou d'une paroi isolée;
- Blindage par cadres verticaux espacés sans liaison longitudinale entre eux;
- Blindage de parois inclinées sans précautions;
- Blindage d'une partie de fouille comportant un vide non comblé.

#### IV.3.2.1.4. Renforcement des fondations préexistantes

Les fondations des ouvrages anciens sont souvent de type superficiel. Leur réparation et/ou renforcement, en raison de leur ancienneté, n'est pas une intervention type. Le choix du type d'intervention se fera en fonction, des conditions de charge de la partie solide, des fondations originales et des améliorations faites au terrain., la largeur et la profondeur du nouveau support ainsi que la longueur des tranchées d'excavation à effectuer sous ces fondations. Après examen de l'état de conservation de la maçonnerie de la fondation (Fig.4.10) préexistante, toutes les parties délabrées ou qui ne sont plus appropriées, devront être remplacées. Les travaux de démolition et de reconstruction des anciennes fondations s'effectueront selon la technique de «coudre et découdre »<sup>57</sup>.



**Figure.4.10:** Elargissement de la base

#### IV.3.2.1.4.1. Renforcement sous fondation par sous-œuvre en maçonnerie

C'est une consolidation de fondations utilisée dans tous les cas où les fondations sont à une faible profondeur, sans sous-sol (sans cave). Elle consiste en la construction d'une nouvelle fondation plus large sous la fondation existante en troublant le moins possible la stabilité du

<sup>56</sup> Guide Stress .réparation et renforcement des fondations .op. Cité.et Eugène Dubois. « La prévention dans le bâtiment et les travaux publics ».compléter et mis à jour par Gilbert Ardoun, Ed Eyrolles ; paris 1979.

<sup>57</sup> Mme Bensalem S. Cours P-G, Module : Patrimoine, «Technique de restauration», 2008/2009 et Georges Duval, Restauration et réutilisation des monuments anciens, Mardaga, 1990.et site de l'Iccomos.

système de maçonneries. Il faudra l'effectuer en la divisant en plusieurs phases d'environ 2m de long, simultanées mais pas par tronçons successifs.

#### IV.3.2.1.4.2. Reprise en sous œuvre de tout un mur de façade

1. Diviser la fondation préexistante en « chantier » d'environ de 3 à 4 m de longueur de façon à ce qu'ils soient situés à l'endroit des colonnes, des baies et les pleins de la façade de la construction constituant ainsi « des chantiers de vides » et « des chantiers de pleins » ;
2. Les numéroter en chiffre romain en commençant par la numérotation des chantiers de vide en continuant et en terminant par les chantiers de pleins ;
3. L'intervention débutera par le chantier de vide N°I qui consistera de creuser le terrain contre la maçonnerie de façon à atteindre le plan de la fondation préexistante selon le cas de figure qui se présente on optera pour deux solution :
  - L'effectué d'un côté seulement du mur si celui-ci ne dépasse pas un mètre de largeur ;
  - dans le cas contraire on creusera des deux côtés.
4. La base de la fondation préexistante atteinte, le chantier est subdivisé en deux ou plus sous chantier de longueur allant de 1,00 à 1,50 m. La nouvelle fondation sera effectuée en briques fortes et mortier de ciment en prenant le soin d'arrêter la nouvelle maçonnerie à une rangée de brique (7 à 8 cm) de distance du plan inférieur de la fondation préexistante.

Le chantier I terminé on passera par le même procédé au sous-chantier N°II, lors de l'exécution de la nouvelle maçonnerie il faudra:

- Pour pouvoir la rattacher étroitement à celles qui seront réalisée dans les sous chantiers limitrophes, des harpes seront laissées de part et d'autre de cette dernière.

Entre la nouvelle maçonnerie et le plan inférieur, on procède à l'insertion perpendiculairement à cette dernière de robustes chevilles de bois dur, qui seront enfoncé tous les jours pendant une durée de trois à quatre jours, ces chevilles seront remplacées par une rangée de brique une fois le retrait effectué, prenant surtout le soin de bien remplir les vides de mortier.

Dans le cas où la hauteur sous fondation jusqu'au bon sol inférieur ou égal à 2,00 m et que la terre à peu de consistance on devra procéder comme suit :

- diviser la hauteur sous fondation en deux nouveaux sous-chantiers égaux.

#### IV.3.2.1.4.3. Reprise en sous œuvre par puits alternés

Deux cas de figure peuvent se présenter, lors de la conception de projets de restauration de constructions mitoyennes, lors du traitement de leurs fondations:

- Soit le mur construit-en sous œuvre est destiné à soutenir une seule construction et donc, la fondation de la construction mitoyenne sera indépendante ;

- Ou bien, le mur en question sert de fondation commune, et dans ce cas les fondations des bâtiments mitoyens seront solidaires.

Dans ces deux cas, afin de ne pas déstabiliser l'ouvrage, le mur en sous œuvre à reconstruire et son terrassement seront exécutés par tronçons alternés de longueur variable selon la nature du sol. Ainsi les tranches en exécution seront séparées par des tranches totalement achevées ou non encore entamées (principe des puits alternés) (Fig. 4.11).

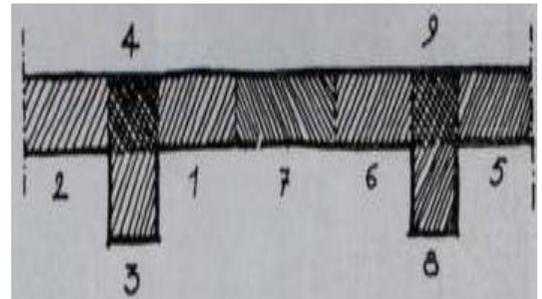


Figure 4.11: Reprise par partie /différentes phases de travail /au mur existant

#### IV.3.2.1.5. Renforcement en sous œuvre par élargissement du mur porteur

C'est une intervention qui s'effectue sous la fondation à renforcer permettant de stabiliser le mur (Fig.4.12). Son principe consiste, en un procédé qui se déroulera en deux phases<sup>58</sup>

- **Première phase** : Consolidation d'un versant du sous œuvre:
  - Creuser en dessous de la semelle par tranche de deux mètres (Fig.4.12 bis) ;
  - Couler une semelle en béton armé, sous la fondation à consolider. On coulera un versant de la semelle, en prenant soin de réserver des aciers d'attente que l'on reliera au ferrailage de la semelle sur le versant opposé (le ferrailage et ses dimensions



Figure 4.12 : stabilisation du mur par élargissement de la semelle après étaielement.

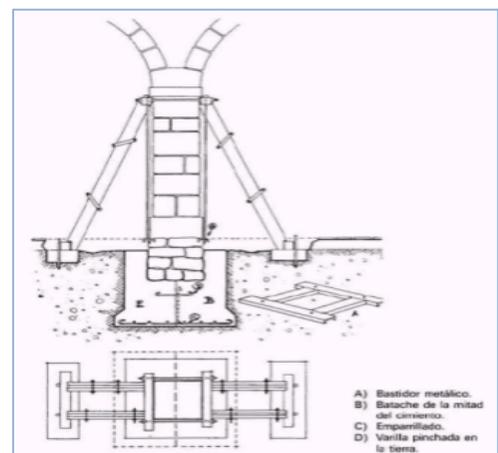


Figure 4.12 bis: Reprises-en sous sol

dépendront de la charge qu'elle devra supporter);

**Deuxième phase** : Reproduire les mêmes opérations sur le versant opposé de la semelle.

<sup>58</sup> G .Duval . Op. Cite.

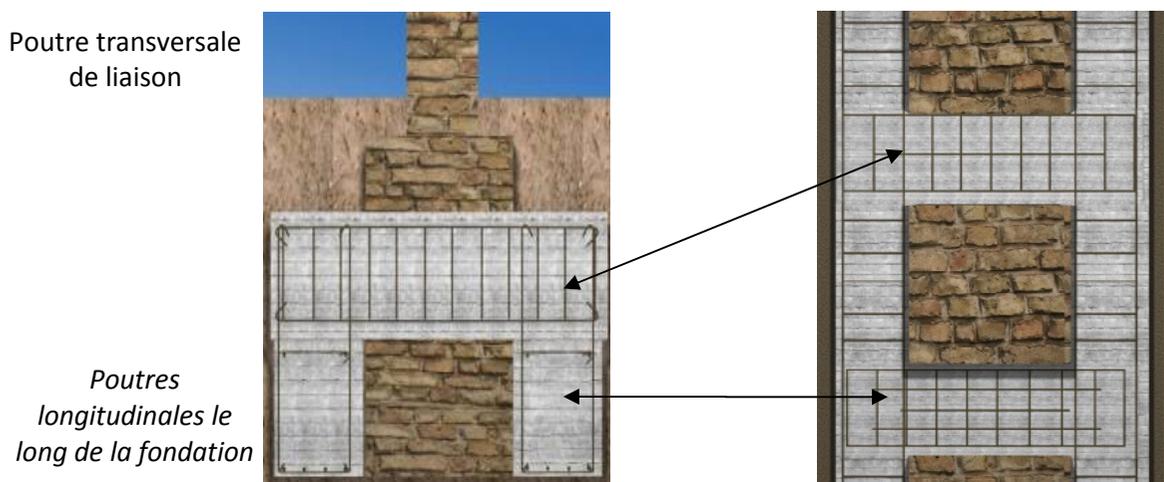
#### IV.3.2.1.5.1. Renforcement en sous œuvre par élargissement de la fondation avec des poutres adhérentes en béton armée

Elle consiste en l'exécution de deux poutres en béton armé, sans déblais en sous œuvre, coulées en adhérence sur la fondation préexistante. Ces dernières sont à intervalles réguliers reliées entre elles par des poutres transversales de liaisons, coulées dans des cavités creusées transmettant ainsi aux poutres longitudinales, les charges reçues de la maçonnerie des fondations qui les transmettent au sol.

#### IV.3.2.1.5.2. Renforcement de la fondation par poutres transversales

Ces poutres seront exécutées comme dans le cas précédent, en adhérence à l'ancienne maçonnerie de la fondation (Fig.4.13), cette technique nécessite un système d'échafaudage maintenu en place pendant toute la période d'exécution; la reprise consistera par étape à :

- A laisser des fers d'attente, au point où seront réalisées les poutres transversales de liaison;
- La reprise des poutres longitudinales terminée, procéder au percement des cavités dans lesquelles seront coulées les poutres transversales de liaison au dessus des poutres longitudinales ;
- Rattacher l'armature de ces poutres aux fers d'attente laissés dans les poutres longitudinales. (Fig.4.13)

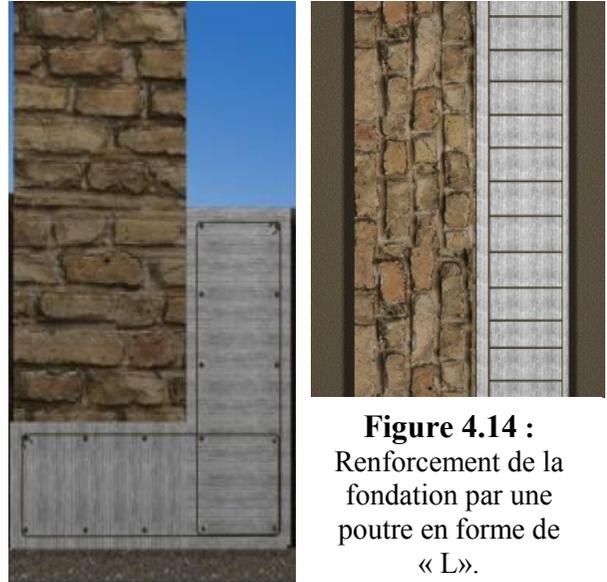


**Figure 4.13:** Renforcement des fondations par des poutres longitudinales rattachées par des poutres transversales.

Les poutres longitudinales et les traversines sont coulées les unes après les autres. Afin d'éviter les effets du retrait, il est nécessaire de mouiller abondamment la maçonnerie et/ou utiliser des bétons spéciaux anti-retrait. Certaines mesures sont à respecter qui se résument :

- Favoriser la liaison «structurelle»<sup>59</sup> entre les parties en béton armé et la maçonnerie de la fondation en créant des niches irrégulières dans l'ancienne maçonnerie;
- Attendre au moins dix jours avant de mettre sous charges ces structures coulées; afin de permettre au béton de développer une résistance mécanique suffisante.

D'autres modes de consolidation des fondations existent aux moyens de poutres en béton armé tels indiqués par la (Fig. 4.14) où la poutre est en forme de «L» joue un double rôle, celui de sous fondation ,mais aussi de soutènement de la maçonnerie de fondation; les deux poutres en adhérence relie la maçonnerie de la fondation à celle qui s'élève de la base ,cela en se rattachant au doublage de la maçonnerie en élévation.



**Figure 4.14 :**  
Renforcement de la fondation par une poutre en forme de « L ».

#### IV.3.2.1.6. Renforcement sous fondation profondes par des pieux en béton armé

L'emploi de pieux en béton armé est une technique appliquée lorsque le sol est de faible résistance<sup>60</sup>, elle consiste en l'implantation de pieux en profondeur en dessous de la fondation existante à un niveau en mesure de supporter les charges de l'ouvrage, après des sondages

effectués au préalable. Ces pieux sont enfoncés par rotation de façon à éviter des perturbations dangereuses pouvant affecter les maçonneries anciennes<sup>61</sup>; Ce renforcement en sous œuvre de murs par des pieux en béton armé coulé peut être exécuté de deux manières<sup>62</sup> :

1. Lorsque la perforation des murs en maçonnerie est possible sur les deux côtés, on utilise le procédé de pieux adhérent accolé des deux côtés de ce dernier de manière intercalée (Fig.4.15);



**Figure 4.15:** Procédé de pieux adhérent accolé des deux côtés du mur de fondation

<sup>59</sup> S. Chaning, Op. Cité.

<sup>60</sup> P. Brenda .Bâtiment en maçonnerie, Analyse des déséquilibres statiques et technique de consolidations, 1993 EPAU Snap.

<sup>61</sup> G. Duval ; op.cité.

<sup>62</sup> P. Brenda .Bâtiment en maçonnerie .op. Cité.et Guide Stress .réparation et renforcement des fondations .op. Cité.

2. Sinon lorsque ce n'est pas possible, on utilise le procédé de pieux adhérent accolé d'un seul côté (Fig.4.16).

#### IV.3.2.1.6.1. Pieux adhérents accolés aux deux côtés du mur

Les pieux sont coulés en adhérence des deux cotés à la fondation, reliées par paires à leurs extrémités par l'intermédiaire de traversine coulée dans une cavité forée; deux longrines longitudinales posées à droite et à gauche de cette dernière relieront les extrémités des pieux aux traversines, permettant aux armatures de cet ensemble d'être étroitement liées entre elles (Fig.4.15)<sup>63</sup>.

#### IV.3.2.1.6.2. Pieux adhérents accolés d'un seul côté du mur

Lorsque les conditions ne permettent pas le forage des pieux internes (hauteur sous plafond insuffisante, impossibilité de déposer le revêtement au rez de chaussée). Le renforcement de la fondation préexistante, se fera de la manière suivante<sup>64</sup>:

- Fouiller le sol du côté extérieur du mur de la façade à environ 1/3 du niveau bas de la fondation;
- Enfoncer le pieux du côté extérieur de la construction ;
- Relier l'extrémité du pieux, à une console coulée dans une cavité forée dans la fondation (Fig.4.16) ;
- Une longrine longitudinale posée parallèlement au mur de façade, reliera les extrémités des pieux aux consoles. Les armatures de cet ensemble sont liées entre elles (Fig.4.16).



**Figure 4.16:** procédé de pieux adhérent accolé d'un seul côté



**Figure 4.17:** Consolidation de fondations anciennes

#### IV.3.2.1.7. Renforcement sous fondation par des micro-pieux

Appliquée dans le cas où le sol est de faible résistance ainsi que dans la consolidation de fondations anciennes en maçonnerie<sup>65</sup>. Elle consiste à implanter les micros pieux de faible diamètre (150 à 200 mm) qui peuvent être employés dans des endroits exigus, enfoncés dans

<sup>63</sup> S. Chaning, Op. Cité.

<sup>64</sup> Idem et Guide Stress .réparation et renforcement des fondations .op. Cité.

<sup>65</sup> P. Brenda .Bâtiment en maçonnerie, Analyse des déséquilibres statiques et technique de consolidations, 1993 EPAU Snap.



- Remplissage de terre ou (d'argile expansée, matériau léger) ;
- Isolant hygrométrique;            - Mortier de pose à base de chaux ;            - Revêtement;
- **Quand aux planchers à refaire**, ils seront entièrement vidés en gardant en place les rondins et solives en bonne état de conservation, le traitement des éléments porteurs atteints se fera sur site, les éléments détériorés seront remplacés par des éléments nouveaux de la même nature du bois d'origine.

La durabilité des structures en bois est très importante. Leur consolidation consistera à les maintenir aérés surtout au niveau de leurs parties encastrées dans les murs en enrobant l'embout à l'aide d'un produit étanche, et à les rendre ignifuges, les désinfecter et les durcir par l'utilisation de résines ou de substances chimiques adaptées à cet effet<sup>72</sup>.

La finition de l'ensemble des éléments composants le plancher seront enduits par une application de produits colorants et de protection tels (peintures, époxydes).

Nous reviendrons par cas, sur les méthodes pour y remédier dans les titres qui suivent.

#### IV.4.1. Traitement au niveau du plancher

La remise en état du plancher consiste à éliminer les poussées horizontales au niveau des appuis des poutres, et supprimer leurs flèches, réduire leurs fractures par des traitements appropriés (ex renfort par scellement de pièces en bois ou de barres métalliques (profilés en acier) avec des tiges boulonnées. etc.), qui vont collaborer à l'absorption des efforts, ou procéder au recalage de leurs appuis afin d'en diminué à l'extrême ou éliminer la pente induite par un tassement<sup>73</sup>.. Sa mise en œuvre passe obligatoirement par un relevé détaillé, des étaitements du plancher et la réduction de la flèche des poutres.

##### IV.4.1.1. Traitement du bois constituant le plancher par des substances

L'attaque du bois par la pourriture ou les insectes reste une cause majeure de leur hérissément diminuant leur résistance mécanique qui cause des désordres au sein même des planchers. Les solutions résident à des traitements relatifs à chaque situation sinon à titre préventif<sup>74</sup>.

##### IV.4.1.1.1. Traitement du bois infecté par les champignons

Le bois atteint sera traité en purgeant la partie pourrie et enfumer les éléments en bois en injectant en profondeur un produit fongicide qui reste un traitement employé a titre curatif ou à titre de préventif. Dans les zones à risque d'humidité, il faudra éliminer au préalable par un

<sup>72</sup> Idem.

<sup>73</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité et J.Coignet et L. coignet op.cité

<sup>74</sup> Les techniques de réhabilitation : consolidé les matériaux, méthodes et substances pour le traitement et la réparation des éléments de bois op.Cité.

traitement curatif en profondeur, par injection de dissolvant organique. Les pesticides non solubles dans l'eau sont préconisés mais doivent présenter les conditions suivantes<sup>75</sup>:

1. Haute efficacité et effet relativement long ;
2. Capacité d'atteindre facilement les cellules des petits insectes ;
3. Ne pas laisser de trace sur l'élément traité.

Néanmoins une bonne aération ainsi qu'un bon éclairage par une bonne exposition au soleil reste le moyen naturel qui contribuera énormément à leurs éliminations.

#### IV.4.1.1.2. Traitement du bois infecté par les insectes (Le Lyctus, l'anobium, le termite.)

La résistance par les moyens naturels reste la moins coûteuse, mais dépend énormément des conditions climatiques à savoir : lumière, humidité, chaleur, et pression atmosphérique. Mais au cas échéant passer aux moyens physique qui consiste à<sup>76</sup> :

1. Utilisation d'appas pour attirer les insectes ;
2. Constructions de barrière et perforation de trous dans leurs lieux de passage ;
3. Procéder au ramassage de leurs œufs à la main ;
4. Eliminer toutes sources de leur nourriture.

Le moyen chimique reste le plus efficace, en utilisant des pesticides, répondant aux caractéristiques spécifiques d'action rapide et d'effet continu et non dangereux pour les éléments en bois (ex: l'application de produits à base de pentachlorophénol ou autres appliqué par trempage ou par injection dans des trous effectués tous les 30 cm sur les parties ligneuses) Le traitement chimique doit durer à titre préventif deux années successives. Afin de s'assurer de l'extermination totale des espèces. Les techniques utilisées sont<sup>77</sup>:

1. pulvérisation du pesticide à l'aide de pulvérisateur ayant une pompe spéciale;
2. Une immersion dans le pesticide;
3. L'enfumage.

Dans la réhabilitation sur des éléments en bois déjà en œuvre, il est préférable d'utiliser l'application au pinceau ou la pulvérisation, et l'injection avec ou sans pression pour des pénétrations profondes ainsi que des injections au sol aux abords de cette dernière (ex: Les termites: pose d'appâts de cellulose traités avec un inhibiteur de la chitine.)

---

<sup>75</sup> Idem

<sup>76</sup> Idem

<sup>77</sup> Yves-Marie Froidevaux .op. Cité.

#### IV.4.1.1.3. Traitement du gauchissement et des fentes

Il consiste en un renforcement de l'élément en bois par l'application d'une peinture ou l'injection d'huiles essentielles permettant de conserver une quantité d'humidité interne à l'élément en bois qui équivaut la quantité d'humidité externe de l'environnement en utilisant des cires mélangées afin de stabiliser la relation entre le bois et son environnement.

Les polymères sont aussi utilisés dans les parois des cellules de bois d'éléments gauchis, tels des produits au phénol formaldéhyde qui l'atteignant en profondeur permettra de stabiliser la forme du bois courbé.

#### IV.4.2. Traitement de la poutre porteuse

On procède à la pose d'élément de renfort en bois ou en profilé en acier collaborant à l'absorption des efforts sur ces poutres, permettant la réduction des effets de fluages du bois. Le positionnement de ces renforts est souvent latérale, inférieure ou supérieure par rapport à l'élément à renforcer. Détériorées dans leurs zones d'encastrement au niveau du mur, ces dernières pourraient être traitées, par des méthodes suivant des techniques réparatrices appropriées<sup>78</sup> après étaieage (Fig. 4.18)



**Figure 4.18:** étaieage du solivage avant traitement.

##### IV.4.2.1. Restauration de la poutre par renforcement

Le procédé se déroulera en deux étapes consistant en :

1. la pose de part et d'autre de la poutre défaillante, des moises d'une longueur égale au  $\frac{2}{3}$  à sa portée et centré sur l'axe de cette dernière ;
2. la mise en tension de la poutre dans son plan verticale longitudinale, par la pose d'un câble ancré soit à ces deux extrémités soit dans le cours de la maçonnerie constituant son appui; et mis en tension par un tendeur lanterne, par l'intermédiaire de deux bielles verticales posées à  $\frac{1}{6}$  de sa portée au niveau des deux extrémités de la poutre, et vont



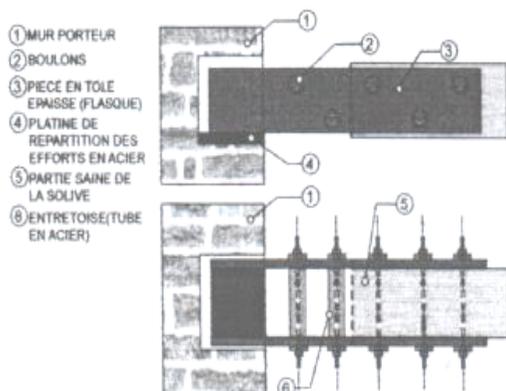
**Figure 4.19:** Redressement de la poutre par sa mise en tension.

<sup>78</sup> Yves-Marie Froidevaux .op .cité.

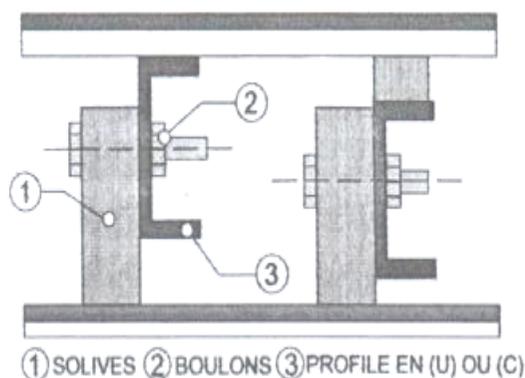
exercer une poussée verticale de bas en haut et de ce fait redresseront la poutre en réduisant son fléchissement (Fig. 4.19).

#### IV.4.2.2. Renforcement de solives porteuses par adjonction de profilés métalliques

Le renforcement des appuis de la poutre ou des structures détériorées permet d'assurer une meilleure portance et aide à supporter une augmentation des charges. Les profilés en acier renforçant les solives prennent appui soit directement sur la structure existante soit sur une structure intermédiaire (Fig. 4.20); cette résolution donne la possibilité d'intervenir sans dépose du plafond existant. Parmi ces procédés on citera les profilés métallique de type C ou



**Figure 4.20:** Réparation d'un appui de solive par des profilés métalliques en acier



**Figure 4.21:** Moisage de solives en bois par profilés en U et C pour renforcement.

U, disposés de part et d'autre ou des deux côtés de la pièce en question, de façon entrecroisé afin de limiter et réduire les risques de torsion; ainsi sur ce nouveau profilé sera fixé et calé les solives défectueuses au paravent traité<sup>79</sup> (Fig. 4.21). De cette manière on renforce le plancher par la réalisation de solivages métalliques de substitution, logés entre les solives existantes en bois, reprenant les charges; sans pour autant utiliser les solives existantes.

#### IV.4.2.3. Restauration des extrémités des poutres (au niveau de leurs appuis)

La poutre ou poutrelles en bois perdant leurs appuis, détériorées dans leurs zones d'encastremets au niveau du mur seront récupérées par des méthodes suivant des techniques réparatrices appropriées<sup>80</sup>, elles consisteront à :

- Déposer la poutre, et placer une poutre en fer ou en béton armé; Poser une poutre de rive en acier perpendiculairement aux solives ou carrément aux poutres fléchissantes. Ces dernières seront scellées dans le mur adjacent et serviront de nouvel appui aux solives.

<sup>79</sup> ANAH. Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point, diagnostics et démarches à entreprendre treize exemples de techniques de réhabilitation, visites et contrats d'entretien. 2<sup>ème</sup> édition. Le Moniteur.1989.

<sup>80</sup> Yves-Marie Froidevaux .op .cité.

Deux semelles de répartitions en béton armé sont coulées et posé sous les deux extrémités de la poutre en IPN posé en renfort par lesquelles la répartition de charge s'effectuera dans les murs en maçonnerie<sup>81</sup> (Fig. 4.22);

- En cas de poutre équarrie cisailée, on procédera à son rassemblement au moyen de scellement de tiges filetées boulonnées sur deux plaques métalliques placées de part et d'autre du scellement<sup>82</sup> (Fig. 4.20);
- En cas de poutre présentant des pourritures aux endroits de son ancrage dans le mur (extrémités sont vermoulues et n'ont plus de résistance mécanique) la technique réparatrice consistera essentiellement à :
  - Purger le bois des parties pourries si la distance par rapport au mur est inférieur à 10 cm être posé sur un corbeau neuf réalisé en pierre ou coffré et coulé en béton armé en créant un chanfrein afin de protéger le nez du corbeau<sup>83</sup> (Fig. 4.23) ;

Sinon la remplacer par une pièce de même dimension et essence<sup>84</sup>, forer des trous dans l'élément sain sur sa partie supérieure, placer des barres en polyester puis sceller en remplissant le vide de mortier en résine époxy créant une zone étanche à l'humidité<sup>85</sup>; ou procéder à sa recomposition avec deux moises qui reprendront appui dans la niche après réfection et reconstitution du point d'appui dans la maçonnerie par la pose de plaquette en (bois dur,

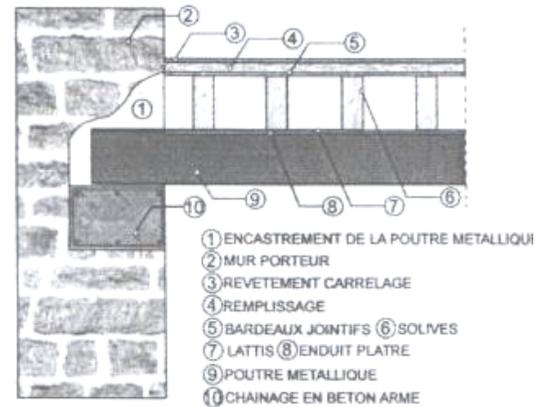


Figure 4.22 : Réparation d'un appui de solive

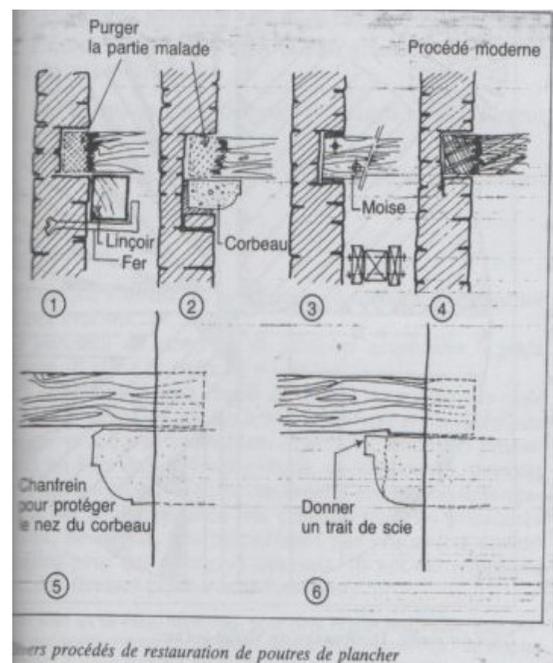


Figure 4.23 : Procédés pour appui des solives et poutres de planchers

<sup>81</sup> S.Chaning. Op. Cité.

<sup>82</sup> Idem

<sup>83</sup> J.Coignet et L. coignet op.cité, et Yves-Marie Froidevaux. Op.cité.

<sup>84</sup> S.Chaning. Op. Cite

<sup>85</sup> Idem.

terre cuite, ou pierre), ou avec du plâtre. En assurant lors de son ancrage un vide pour sa ventilation et consolider les assemblages par des fers boulonnés.

#### IV.4.2.3.1. Traitement au niveau de l'encastrement des solives<sup>86</sup>

Le phénomène d'absorption de l'humidité des maçonneries dans les zones d'encastresments consistera à assurer la ventilation au niveau du point d'ancrage en enrobant l'embout encastré avec de l'ardoise ou de la tuile<sup>87</sup> ou encore par la pose au niveau du point d'appui d'une baguette (Fig. 4.24) en (bois dur, terre cuite, pierre) ou encore refaite avec du plâtre en prenant le soin d'assurer un vide entre la maçonnerie et la section verticale de l'embout ancré de 2 à 3 cm<sup>88</sup>. d'autres procédés sont aussi utilisés présentés dans la (Fig. 4.23).



Figure 4.24 : Ventilation et pose d'une baguette.

#### IV.4.3. Renforcement de planchers en bois en conservant la structure existante par le rajout d'une seconde rangée de profilé métallique

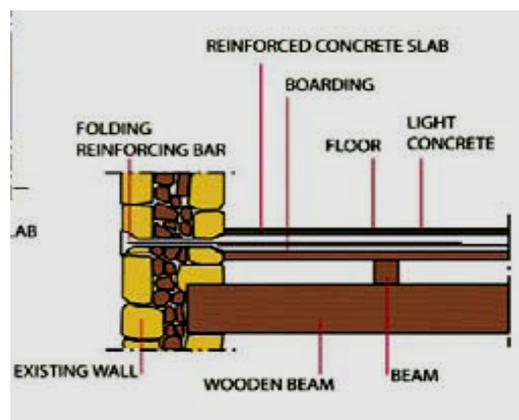
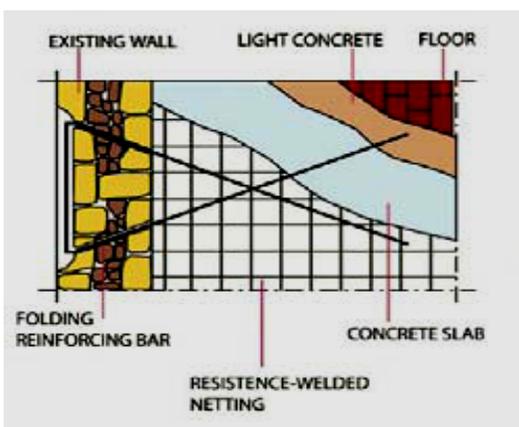


Figure 4.25 : Renforcement du plancher par des profilés métallique

Le procédé consiste à conserver la structure porteuse (la poutraison du plancher existant), après avoir étayé les solives conservées (traitées) et entièrement dégarnis l'ancien plancher; à rajouté une seconde rangée de profilé métallique, cette structure mixte réalisée permet d'exploiter au mieux les caractéristiques des deux matériaux, créant ainsi une meilleur rigidité et une meilleure résistance grâce à l'augmentation des performances du plancher (Fig.4 .25).

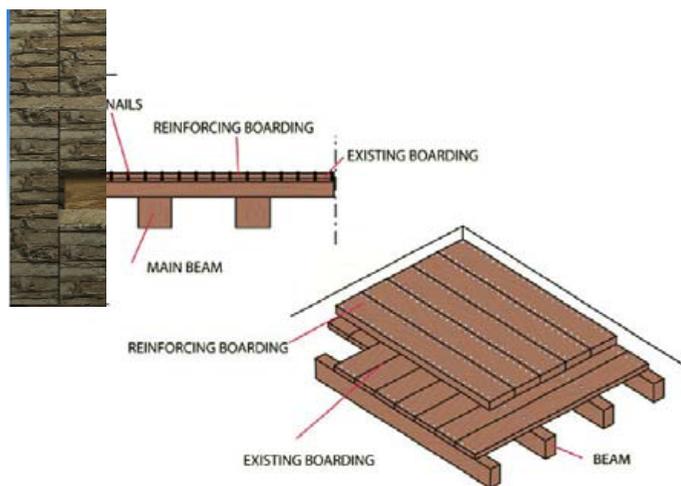
<sup>86</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité.

<sup>87</sup> Idem

<sup>88</sup> J.Coignet et L. coignet op.cité

#### IV.4.4. Renforcement de planchers en bois en conservant la structure existante par l'utilisation d'éléments de renfort

C'est une solution qui consiste à garder la structure existante et la composition (remplissage et revêtement du plancher). Après étaieage des poutres et solives existantes et dégarnissage du plancher existant; réparation, renforcement ou remplacement et traitement des poutres défaillantes, de le renforcer par des éléments de renfort (solivages: planchettes) (Fig. 4.26) posée perpendiculairement au solivage existant assemblé par clouage. Ce dernier sera ancré dans une engravure d'environ 15 cm de profondeur dans la maçonnerie parallèlement aux poutres porteuses permettant ainsi une amélioration de la portance en réduisant le poids de ce plancher.



**Figure 4.26 :** Renforcement du plancher par des éléments en bois

#### IV.4.5. Reconstitution de toiture plate à partir d'une dalle en béton de chaux armée

Le procédé consiste à reconstituer la toiture par une dalle en béton de chaux armée de feuille de palmier broyé en conservant la structure porteuse en bois original. Du point de vue expérimental, cette technique à permis de connaître le dosage et les différents types de chaux à utiliser ainsi que les pouvoirs d'adhérence entre un matériau végétal (les feuilles de palmier) et la chaux. Des essais en laboratoire ont permis de tester les différents comportements à la compression dans des dosages différents.

#### IV.5. Réhabilitation des constructions en maçonnerie

Les maçonneries sont pourvues en élévation de beaucoup de renforcements liaisons et chainages en longueur et en épaisseur (en bois ou en pierre de récupération) cela n'a pas empêché l'apparition de pathologies relevées sur ces derniers qui sont principalement des fissures pour la plupart légères et diffuses des éléments du parement (pierre ou briques de terre cuite). Des dépôts d'agrégats superficiels salins dus à la proximité de la mer, la formation de champignons et de moisissures, et une végétation modeste (figuier pour la plupart), l'alvéolisation l'érosion entraînant une décohésion du matériau. Leur état de conservation est très mauvais à cause de la dégradation diffuse et des écroulements qui ont intéressé la plupart des murs.

**L'opération de réhabilitation est axée sur deux domaines parallèles et superposés de la restauration et de l'entretien.** Pour certains détails constructifs le travail à mener est plutôt du ressort de l'entretien, tandis que dans d'autres cas il est du ressort de la restauration.

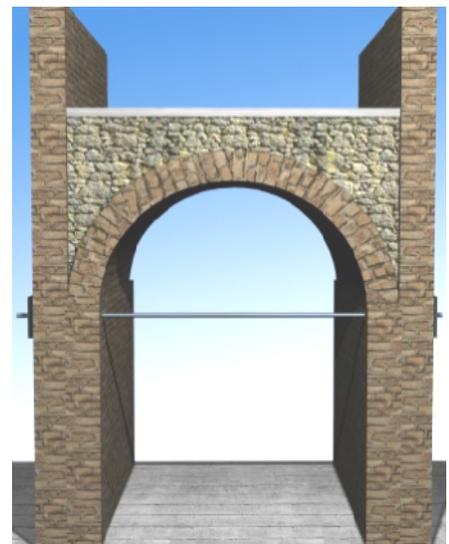
#### IV.5.1. Traitement des déformations des murs

Supprimer la cause de la déformation et rétablir la verticalité du mur, impose de faire un diagnostic des désordres. Quand l'ampleur du « ventre » est encore acceptable, on peut se contenter de poser un tirant là où la dépose de la charpente est possible, il est recommandé de poser un chaînage en haut du mur; mais souvent la reconstruction du mur est nécessaire.

##### IV.5.1.1. Traitement de voûte

###### IV.5.1.1.1. Cas de voûte enterrée

Les poussées sont contrebutées par les terres, qui maintiennent les murs porteurs à la verticale, il arrive qu'elles déforment les murs porteurs lorsqu'ils sont dégagés par une excavation ainsi que des dégradations plutôt liées à une saturation d'humidité du fait d'absence ou d'une mauvaise ventilation. La technique réparatrice à ce niveau consistera à créer un circuit de ventilation avec une entrée d'air en perforant au niveau de sa partie basse pour l'évacuation de l'air humide qui se fera par une perforation haute du côté opposé vers un niveau d'évacuation de sortie supérieur en prenant le soin



**Figure 4.27 :** disposition du tirant au niveau de la naissance de la voûte.

d'aménager en parallèle un mini drain du côté de l'entrée d'air, et à alléger les charges sur la voûte par la réalisation d'une dalle mince en béton armé liaisonnée dans le mur par un ancrage en queue d'aronde par points espacés de 1,50 à 2,00 m et jouant ainsi le rôle de tirant.

###### IV.5.1.1.2. Renforcement de voûte non enterrée et surchargée (emploi des cintres)

On procédera à l'étalement sous l'intrados de la voûte, en déposant les sols portés par l'extrados et disposer un tirant au niveau de la naissance de la voûte rejointée au mortier de chaux hydraulique puis le remplir par un matériau léger, lorsqu'il n'est pas nécessaire de chaîner entre murs porteurs le sol formé par ce remplissage pourra être constitué d'une aire d'un mortier bâtard gâché serré, sinon par la pose d'une dalle mince (de 6 cm) armée avec un treillis soudé coulé sur un film de polyéthylène liaisonnée au porteur par un ancrage en queue d'aronde par points espacés de 1,50 à 2,00 m qui jouera un rôle de tirant ( Fig.4.27).

#### IV.5.1.1.3. Cas de voûte en péril –restaurée en agissant sur la forme-

Il arrive que les déformations des murs d'appuis sont importants et que la voûte s'en voit déformée la technique consistera en la mise en œuvre suivante<sup>89</sup>

- Tracer des cintres selon la directrice de la voûte;
- Caler ses cintres sous la voûte déformée surmontés d'un couchis par des étais de chantier (Fig. 4.28);
- Procéder à l'allègement de la voûte et décaler parallèlement les étais et bien arroser sans excès (plasticité du mortier de chaux mouillé).
- Après dégagement total de l'extrados, la voûte se remet d'elle-même en place, par élément sur le couchis provoqué par sa rupture grâce à la montée à la main sans levier des étais ;
- On procède à la remontée des étais permettant de caler l'ensemble (cintre couchis et voûte) à la hauteur voulue ou l'on vérifiera l'horizontalité et la rectitude de la génératrice de sommet à l'aide de cordes tendus;
- On portera sur l'extrados l'opération réparatrice qui consiste à reboucher les joints ouverts au mortier de chaux aérienne gâché avec du sable tamisé où les coulis colmateront les fissures internes, puis le rejointement est effectué avec le même mortier de chaux ;
- Remplir les reins avec de la fourrure (ex: pouzzolane) mis à niveau au mortier serré ;
- Poser un dallage mince armé qui constitue le sol brut des planchers porté par la voûte et un chaînage des murs scellé par points.



**Figure 4.28:** Restaurer la voûte après étaieage humide.

#### IV.5.1.2. Traitement du déchaussement

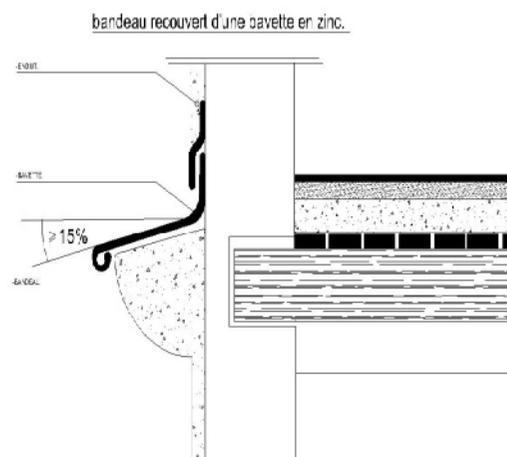
Procéder au repositionnement des briques déchaussé en utilisant des éléments aussi proche que possible des originaux, appareiller avec un mortier de liaison à la chaux; Le mortier peut être stabilisé en utilisant de la chaux hydraulique<sup>90</sup>, le protégé par un bandeau exécuté avec le même matériau que le corps d'enduit, recouvert d'une bavette en zinc munie d'une goutte d'eau ,avec une inclinaison effectuée à 15% vers l'extérieur afin d'éviter le rejaillissement de

<sup>89</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga.Op.cité.et Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques –Algérie perspectives de la récupération-Cours de post-graduation de l'école Polytechnique d'Architecture et d'urbanisme –EPAU, Alger.

<sup>90</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité.

l'eau sur la façade (Fig. 4.29); le pied du mur pourra être protégé par une cornière métallique utilisée avec une inclinaison vers l'extérieur encrée avec une tige au minimum de 25 cm dans l'enduit. Deux cas de figure peuvent se présenter au niveau du parement:

- **Pour les remontées capillaires:** rétablir l'étanchéité en bas du mur, si possible suppression de la présence saline, et remplacer le ou les éléments sujets à la pathologie et remettre de niveau un sol extérieur qui aurait été involontairement relevé contre la maçonnerie, ou drainer le sol à proximité du pied du mur pour ensuite passer à l'enduit lié à la chaux.
- **Pour traité une condensation d'humidité:** combler le vide avec un mortier de terre, sable et de chaux, en retirant l'enduit étanche, le remplacé par un enduit lié à la chaux qui respecte le transfert hygrométrique du mur.



**Figure 4.29:** protection de la façade du rejaillissement d'eau par un bandeau.

#### IV.5.1.3. Le traitement des efflorescences<sup>91</sup>

Responsable de l'altération en surface des murs qui peuvent s'écailler dans le cas de crypto-florescences. Pour les murs hourdés en maçonnerie de pierre calcaire le traitement curatif contre les sels consistera en un brossage avec acide oxalique ou fluorure d'ammonium puis des lavages par jet d'eau ou jet de vapeur<sup>92</sup>.

#### IV.5.1.4. Le traitement du salpêtre terreux (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Ca

Procédé qui consiste en un brossage énergique sur le parement souillé de salpêtre, racler les parties dégradées puis laver à répétition avec une solution désinfectante (sulfate de zinc, sulfate de cuivre, bichlorure de mercure en solution à 5%, formol), chauffer à 60°C. En parallèle d'un nettoyage du sol environnant et à la suppression des remontées d'eau par capillarité par un drainage périphérique (au niveau des fondations, associées d'une barrière étanche verticale et horizontale pour les parties enterrées), les parties exposées à l'air seront

<sup>91</sup> EPEBAT Entretien et réhabilitation des façades..op.cité ; J. Coignet et L. Coignet Matériaux et techniques, Désordres et interventions, op, cité.et Emile Olivier, des méthodes Les Maçonneries, technologies de construction op.cité.

<sup>92</sup> Idem.

enduites d'un revêtement à la chaux hydraulique (à titre préventive)<sup>93</sup>. Puis procéder en la réparation du parement en prenant le soin d'ajouter au mortier pour la réfection des joints d'un hydrofuge de masse comme une solution d'acétate de polyvinyle à 50 %<sup>94</sup>.

#### IV.5.2. Remplacement partiel ou total des pierres altérées

Selon le cas et le degré de dégradation de l'élément de parement; il faudra procéder après confortement de la structure à un remplacement total (pierre cassée) ou partiel (pierre détériorée). Technique souvent adoptée dans le cas de remplacement d'une ou deux pierres. La nature et la qualité de la pierre de remplacement devra obligatoirement répondre à trois exigences: l'éthique, l'esthétique, et la technique<sup>95</sup> (*grain, couleur, caractéristiques mécaniques, et caractéristiques physico-chimiques composition, densité et capillarité*<sup>96</sup>) ayant des caractéristiques analogues, dureté, porosité, d'aspect et présentant surtout une même capacité de travail que les éléments subsistants du mur.

Dans le cas de réfection de la pierre on procédera de la manière suivante<sup>97</sup> :

- Purger sur toute la profondeur de la décohésion par le refoulement de pierre dégradée sur la totalité de sa surface en la découpant jusqu'aux joints latéraux; généralement le remplacement ne s'effectue que sur l'épaisseur d'une brique (épaisseur de 5 à 10 cm);
- Laisser sécher le défoncement pendant plusieurs jours, selon l'état d'humidité à ce niveau;
- Remplissage du défoncement dans le mur par un morceau de pierre de substitution par scellement au goujon (inoxydable: de cuivre) accompagnée de coulis de mortier de chaux.
- Procéder au rejointoiement sur une profondeur de 2 cm autour de la pierre nouvellement posée par un mortier riche en liant hydraulique de compacité voisine à celle de la pierre après serrage au fer de prise. Pour éviter de provoquer de nouvelle dégradation ce mortier devra avoir les mêmes caractéristiques que celui qui existe dans le mur<sup>98</sup>, le garnissage et le bourrage est obtenu par un serrage énergétique au fer à joint du mortier ferme.

---

<sup>93</sup> Idem.

<sup>94</sup> Emile Olivier, des méthodes Les Maçonneries, technologies de construction op.cité.

<sup>95</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité.

<sup>96</sup> J.Coignet, L.Coignet .op. Cité.

<sup>97</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Op.cité.

<sup>98</sup> J.Coignet , L.Coignet .op. Cité.

#### IV.5.2.1. Restauration de parties subsistantes

La remise en état consiste en premier lieu à ne pas effectuer de dépose, dans un souci de conservation de l'homogénéité des éléments dans la maçonnerie d'origine, on procède à des consolidations partielles et urgentes par injection de mortier liquide sous basse pression<sup>99</sup> :

- Consolider et réparer en premier lieu des maçonneries contiguës aux parties les plus menaçantes pour assurer aux alentours des renforts solides; après un étaieiment soigné :
- Effectuer le remaillage avec infiniment de délicatesse en allant généralement de la périphérie vers le centre de la zone critique scellée au coulis de mortier de chaux;
- Procéder au remplacement indispensable des quelques pierres, après reprise de consistance et force dans la maçonnerie disloquée ;
- Injecter sous basse pression du mortier de chaux plus ou moins liquide afin d'assurer le colmatage des fissures internes<sup>100</sup>, après avoir rebouché provisoirement les fissures superficielles et les parties dégarnies (au plâtre ou au mortier de chaux) et humidifier les maçonneries par injection d'eau dans les parties les plus désorganisées.

##### IV.5.2.1.1. Cohésion par injection de résines

L'injection destinée à redonner de la cohésion n'est pas la même que celle utilisée pour obstruer des pores dans le but de les imperméabiliser. Le choix des résines se fait en fonction de la nature des maçonneries, de l'importance et de la disposition des parties fragmentées mais surtout du rôle et du résultat attendu de cette intervention<sup>101</sup>. Les résines utilisées pour le collage sont principalement des époxydes et des polyesters<sup>102</sup>. Les techniques et les produits utilisés dans l'injection au sein des fissures ayant une largeur comprise entre 0,2 mm et 2mm sont déjà éprouvés mais la garantie du résultat reste tributaire du respect de l'opération<sup>103</sup> :

- Dépoussiérer et nettoyer avec un solvant compatible ;
- Réaliser des trous d'injection par percement généralement espacés de 20 à 50 cm ;
- Scellement des injecteurs et des évents ;
- Après séchage, Suivant la viscosité de la résine, injection par gravité ou sous pression.

---

<sup>99</sup> Idem.

<sup>100</sup> Idem.

<sup>101</sup> Le collage structural et le renforcement par résines des structures de construction. In annales ITBTP.N° 349, avril 1977.

<sup>102</sup> J. Bresso. Renforcement par collage d'armatures .annales I.T.B.T.P N° 350 mai 1977.

<sup>103</sup> F.Tebbal, M .Belazougui, MM .M N. Farsi et H .Alayat, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S), Ministère de l'équipement ,Alger.2<sup>ième</sup> semestre 1992.Et M .Mamillan .pierre de carrière et produits manufactures. Centre technique et de documentation .cadet.2003.

L'injection sous pression se fera sur la fissure, qui sera colmatée en surface afin d'éviter les fuites du produit, des événements permettront à l'air de s'échapper pendant le remplissage<sup>104</sup>.

#### IV.5.3. Techniques réparatrices des désordres dans le cours du mur

Quelque soit leur origine les désordres se traduisent par des types limités à savoir les fissures, les coups de sabre, les bouffements, les ventres, ou les corps étrangers. Les techniques réparatrices seront proposées en faisant l'hypothèse que nous avons remédié aux causes même de leur apparition<sup>105</sup>

##### IV.5.3.1. Colmatage des fissures de largeur inférieures ou égales à 2 mm

La technique réparatrice efficace dans le cas de *fissures passives* (causes de leurs apparitions prises en charges ou stabilisées) *et donc inactives* consistera à un simple rebouchage de ces dernières avec un mortier à prise lente chaux aérienne et sable tamisé ou présentant les mêmes caractéristiques que celui qui existe dans le mur<sup>106</sup>. Lorsque la fissure est plus profonde on procède à l'injection de mortier liquide sous basse pression de l'ordre de 1,5 kg<sup>107</sup> évitant les fuites et cela en appliquant un mortier de chaux ou plâtre afin de reboucher provisoirement les fissures superficielles et les parties dégarnies. Ces opérations seront effectuées en prenant le soin d'humidifier les maçonneries. Procédé aussi préconisé dans le remplissage du cœur de maçonneries désorganisées en mortier de chaux afin d'en assurer une meilleure cohésion<sup>108</sup>.

##### IV.5.3.1.1. Reprise des coups de sabre ; fissure dépassant les 10 mm de large (par couture d'agrafe de solidarisation)

Le coup de sabre résulte de la juxtaposition sans harpage réciproque d'une maçonnerie analogue ou /différente, et la hauteur peut largement dépasser celle d'un étage. Le principe consiste à reconstituer la solidarité longitudinale du mur afin de lui restituer sa résistance et retrouve sa continuité. La technique réparatrice efficace dans le cas de *fissures passives* à l'intérieur<sup>109</sup> ou à l'extérieur du parement<sup>110</sup> dans les joints verticaux du mur après décroustage refouillage et nettoyage de ces derniers, placés tous les 25cm en raison de 10 à 20 épingles<sup>111</sup>

<sup>104</sup> J. Luvet , R. Longechal. Rénover les murs et ouvertures, Eyrolles.1983.

<sup>105</sup> Pietro Brenda, bâtiments en maçonnerie , Analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation , Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques Cours de post-graduation de l'école Polytechnique d'Architecture et d'urbanisme –EPAU, Alger.

<sup>106</sup> J.Coignet, L.Coignet .op. Cité.

<sup>107</sup> Idem.

<sup>108</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité

<sup>109</sup> Idem

<sup>110</sup> J. Coignet .Art de bâtir op.cité

<sup>111</sup> J. Coignet. Art de bâtir désordre. Et techniques réparatrices, Base : série Tacheronne Dusserre – Telmon op. Cité.

par niveau, la réussite de cette opération consiste à suivre les étapes suivantes :

- Affouiller à cœur les joints verticaux susceptibles de recevoir les épingles en débarrassant les parements de part et d'autre du coup de sabre des traces de mortier sur 70 cm, de poussières et de salissures ;
- Choisir les joints verticaux d'ancrage opposés dans l'une et l'autre maçonnerie à une distance de 2, 3, ou 4 pierres du coup de sabre; environ à 30 cm de l'axe du coup de sabre et procéder au percement<sup>112</sup>;
- Placer les épingles au rythme d'une par assise et tenant compte d'un décalage dans leur ancrage d'au moins une pierre par rangée horizontale ;
- Dégarnir les joints des pierres chevauchées par les épingles sur une largeur dépassant d'environ 30 cm les ancrages des épingles;
- Scellement de l'épingle ancrée de façon à ce que le corps des épingles se trouve de 1 à 2 cm du parement en question (enrobage des aciers) avec un mortier sans retrait (ex de type clavex)<sup>113</sup>
- La partie préparée du mur ainsi que les épingles (auparavant protégées) sont fouettées après avoir préalablement mouillé le parement avec un enduit (au mortier de chaux riche en liant hydraulique ou plâtre)<sup>114</sup>.

Le renforcement par des épingles (Fig.4.30) pourra se limiter au (1 /3 de la hauteur d'étage) à chaque niveau de plancher; le coup de sabre au niveau du rez de chaussé ne sera pas renforcer, afin d'éviter la condensation des remontées des eaux phréatiques sur l'enduit et les épingles, ce dernier sera rebouché par un mortier de chaux gâché au sable tamisé<sup>115</sup>. La reprise des fissures pourra s'effectuer également par des éléments rigides et résistants tels des agrafes métalliques (Fig. 4.31) qui



**Figure 4.30:** Epingle protégée ancré dans le mur pour renforcement



**Figure 4.31 :** Remplacement des parties lézardées par des agrafes métalliques

<sup>112</sup> J.Coignet ,L.Coignet .op. Cité

<sup>113</sup> Idem

<sup>114</sup> Idem

<sup>115</sup> Idem

viendront remplacer la partie lésardée afin d'éviter les techniques de reconstruction de ce dernier. Ou encore par un procédé qui consiste en un système de plusieurs barres d'acier inoxydable, une sorte de chaussette (qui épouse la forme de la section interne du mur) et une injection, à la différence du système d'ancrage des épingles. Les barres d'acier sont introduites dans les « chaussettes », on insère les deux éléments dans le mur et ensuite on entame l'injection du mortier d'ancrage avec une pression n'excédant pas les 2 bars, jusqu'à ce que le produit sorte du trou<sup>116</sup>. Ceci pour résoudre le problème d'ancrage longitudinal puis viennent les ancrages de consolidation afin de couder les deux éléments du mur<sup>117</sup>.

Cependant si les briques et les moellons sont endommagés le long de cette fissure, la méthode réparatrice consiste à dégager les briques et les moellons sur une largeur de 15 à 20 cm de part et d'autre de la fissure et de les remplacer en utilisant d'autres pièces de même (grain, couleur, caractéristiques *mécaniques pour le renforcement de la structure, et caractéristiques physico-chimiques composition*, densité et capillarité, lors des réparations de parement<sup>118</sup>. Ces opérations seront effectuées en humidifiant les maçonneries par injection d'eau. Procéder aussi au remplissage du cœur de maçonneries désorganisées en mortier de chaux afin d'en assurer une meilleure cohésion<sup>119</sup>. Des barres d'aciers enrobées en U seront ancrées dans le parement intérieur afin d'en assurer la liaison dans les deux directions<sup>120</sup>.

#### IV.5.3.1.2. Reprise des fissures par injection

Opération qui consiste à insérer dans les fissures un produit plus ou moins liquide, sous faible pression d'injection de 0.05 à 0.3 KG/cm<sup>2</sup><sup>121</sup> permettant de créer une liaison mécanique et / ou une étanchéité entre les parties disjointes des parements du mur; de façon à colmater le vide entre les lèvres de la fissure; en durcissant ce liquide adhèrera au support en restituant à l'élément endommagé sa continuité d'origine. Les caractéristiques du produit sont à base de composants époxydiques mais le critère de choix est tributaire des éléments suivants<sup>122</sup>:

- Géométrie des fissures (largeur, profondeur, tracé.) ;
- Etat des supports ;

<sup>116</sup> Methode RéhabiMéd , Les techniques de réhabilitation :Renforcer les structures consolidation et traitement des murs. Op, cité.

<sup>117</sup> Idem

<sup>118</sup> J.Coignet ,L.Coignet .op. Cité.

<sup>119</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga. Op.cité

<sup>120</sup> Idem.

<sup>121</sup> F.Tebbal, M .Belazougui, MM .M N. Farsi et H .Alayat, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S), Ministère de l'équipement ,Alger.2<sup>ème</sup> semestre 1992.

<sup>122</sup> Idem.

- Présence d'eau (humidité) ;
- Contraintes imposé à l'ouvrage ;
- Elle est surtout un facteur en rapport avec –l'accessibilité à la fissure;-environnement climatique ;-délai de remise en service ;
- Des caractéristiques des produits existant sur le marché.

Les différentes étapes de l'injection sont les suivantes<sup>123</sup> :

1. Les zones concernées par la ou les fissures seront dépoussiérées ou au cas dénudées de l'enduit, les fissures nettoyées au jet d'eau avec un solvant compatible ou à l'air comprimé;
2. Suivant la fissure, percer des trous suivant l'axe de la fissure, distants de 30 à 60 cm ;
3. Sur une profondeur d'environ 5 cm introduire dans les trous, les injecteurs et les sceller avec du mortier ;
4. Colmater les fissures sur toute leur longueur avec du mortier avant injection de façon a supporté la pression du liquide avant son durcissement ;
5. Injecter le mortier fluide qui sera défini en fonction du vide à remplir et de la nature minéralogique des matériaux utilisés (mortier de blocage et de rejointoiement) avec une pression approprié pour ne pas accroitre les désordres de la structure.

#### IV.5.3.1.3. Reprise des fissures inclinées transversales

L'injection<sup>124</sup> seule, ne suffit plus et la réalisation de potelets en béton armé s'impose. Disposés plus ou moins à équidistance afin d'assurer et de restituer sa rigidité aux murs .le procédé consistera à dégager des briques ou des moellons sur une largeur de 15 à 20 cm le long d'un tracé vertical ,sur une profondeur de 10 à 15 cm en prenant soin d'assurer un chainage horizontal en haut et en bas alternativement. La cheminée ainsi créée sera remplie de béton armé. Dans le cas de difficulté dans la réalisation des potelets, on préconisera des chainages de part et d'autre de la maçonnerie à des distantes équidistantes<sup>125</sup>.

#### IV.5.4. Reprise et renforcement au niveau des intersections de murs

Les intersections des murs sont particulièrement vulnérables, car généralement mal ou pas liaisons; il en résulte de larges fissures verticales ou des séparations totales éliminant les

<sup>123</sup> F.Tebbal, M.Belazougui, MM .M N. Farsi et H .Alayat, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S), Ministère de l'équipement ,Alger.2<sup>ième</sup> semestre 1992.

<sup>124</sup> F.Tebbal, M.Belazougui, MM .M N. Farsi et H .Alayat, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S),Ministrère de l'équipement ,Alger.2<sup>ième</sup> semestre 1992.

<sup>125</sup> Idem, et J. Luvet , R.Longechal. Op, cité.

effets d'interaction. Les réparations devront être combinées avec celles de rigidifiassions des intersections. Ces opérations seront effectuées en utilisant les méthodes suivantes <sup>126</sup>: murs liaisonnés par des briques ou des moellons; murs liaisonnés par ancrage de plats métalliques. Ce type de liaison reste valable autant pour les murs en L qu'en T.

#### IV.5.4.1. consolidation des intersections

Elle consiste à placer des briques–liaison ou des moellons-liaison, qui seront communs aux deux murs (Fig.4.32). Ces liaisons seront effectuées environ tous les 70 cm avec des pièces de même texture, caractéristiques mécaniques et caractéristiques physico–chimiques composition, densité et capillarité<sup>127</sup>. Scellée au mortier époxydique, la fissure ou le vide sera remplie de mortier injecté, défini en fonction du vide à remplir et de la nature minéralogique des matériaux utilisés (mortier de blocage et de rejointoiement) avec une pression appropriée pour ne pas accroître les désordres de la structure<sup>128</sup>.



**Figure 4.32** : renforcement par des briques, liaison commune aux deux murs.

#### IV.5.4.2. utilisation des fers plats pour liaisonner les murs

Cette méthode consiste à réaliser des liaisons avec des fers plats. Ces fers plats avec une tête plate assez large (une brique et demi environ formant un T) seront encastrés en liaison dans les deux murs de façon à ce que la tige plate (plat métallique) scelle les deux parties de la fissure environ de 30 cm de part et d'autre de cette dernière (Fig. 4.33 et 4.34).

Le nombre et la distance d'ancrage sera définie en fonction de l'état et du type d'éléments constituant les parements des murs, mais cette distance varie en moyenne de 50 à 70 cm. La fissure sera ensuite réparée en procédant à la pose de treillis métallique galvanisé réaliser sur environ 1 m de part et d'autre de la fissure<sup>129</sup>, solidarisé entre eux au mur<sup>130</sup>, par des tiges de liaison (50 à 60 cm), sur chaque face, scellés et recouverts d'un enduit <sup>131</sup>, «mortier et grillage

<sup>126</sup> Yves-Marie Froidevaux, op.cité. et J. Luvet , R.Longechal. Op, cité.

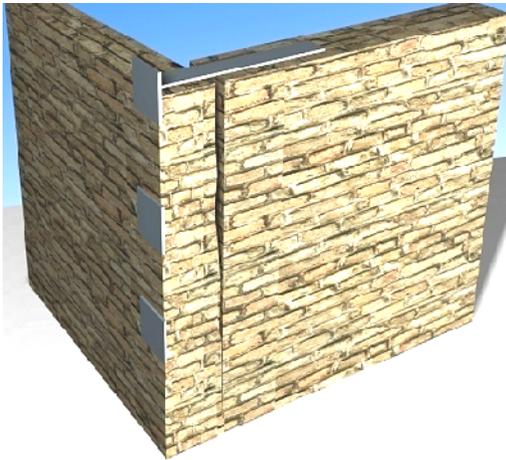
<sup>127</sup> Yves-Marie Froidevaux, op.cité.

<sup>128</sup> J.Coignet ,L.Coignet .op. Cité.

<sup>129</sup> G.Duval, op.cité .et , Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages ,Op. Cité.

<sup>130</sup> G.Duval, Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.

<sup>131</sup> G.Duval, op.cité.et, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, Op. Cité.



**Figure 4.33** : Renforcement des deux murs en L par des fers plats en T.



**Figure 4.34** : Renforcement de la liaison des deux murs en T par des fers plats en T

« armé ». Ces interventions sont basées sur l'analyse des traits constructifs propres aux constructions anciennes<sup>132</sup>.

#### IV.5.4.3. Utilisation et pose de tirants, précontrainte extérieure. (Solution historico – traditionnel)

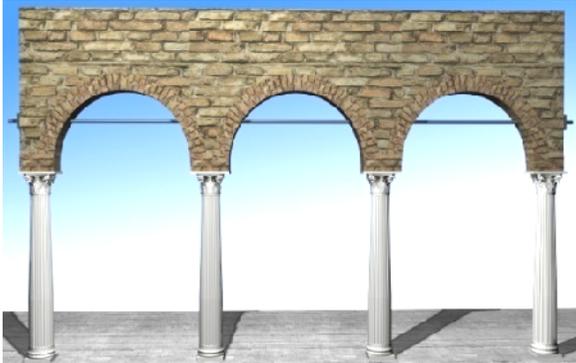
La précontrainte extérieure est une technique réalisée à l'aide de tirants en acier, afin de remédier aux fissures des murs. Le procédé consiste à placer une tige métallique réglable avec un système de boulonnage à l'extérieur qui traverse l'édifice et « retient » l'écartement du mur extérieur. Le scellement du tirant se fera par boulonnage sur une plaque métallique généralement en U; Ce dernier est déposé de façon à ne pas perturber la circulation et le bon usage des différentes pièces du bâtiment, on veillera à le placer près des planchers bas ou hauts. Utilisée pour l'ancrage des façades ou encore pour unir des murs aux planchers ou à d'autres murs, très efficace dans l'amélioration entre les éléments du bâti. Néanmoins, la pose de ces derniers ancrés dans le mur lorsqu'ils traversent des locaux habités par clefs visibles en façades est souvent le siège de condensation abondante qui les oxyde à leur sortie de l'enduit extérieur, le témoin en est la marque d'une auréole d'oxyde de fer. Pour cela avant leur pose il faudra les traiter par le biais de produit hydrofuge et les gainer<sup>133</sup>.

##### IV.5.4.3.1. Pose de tirants en renforcement du système d'arcature

<sup>132</sup> J. Coignet, L. Coignet .op. Cité.

<sup>133</sup> Yves-Marie Froidevaux, op.cité. et J. Luvet , R. Longechal. op, cité.et Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, Op. Cité.

C'est un procédé qui consiste à la disposition des éléments linéaires qui vont exercer des tractions visant à freiner l'effondrement du mur ou leurs déformations progressives transversalement à leur plan. Ces tirants sont constitués d'un câble d'acier ancré par forage



**Figure 4.35 :** Renforcement du système d'arcature



**Figure 4.36:** système de réglage périodique du tirant

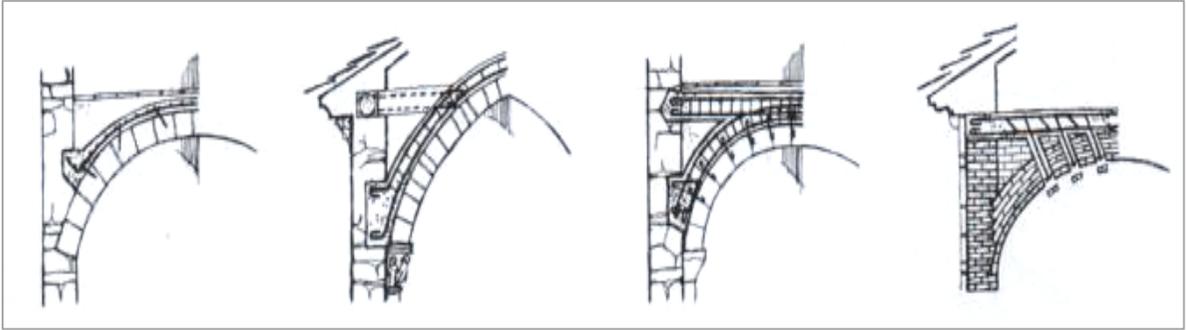
dans la maçonnerie à une hauteur du 1/3 de la flèche des arcades et fixés à deux murs opposés (Fig.4.35) et à l'extrémité de la construction, par des pièces spécifiques d'ancrage (Fig.4.36), à travers lesquelles l'évolution de leur écartement et la perte de leur capacité résistante sera évitée. Le système de tirant se pose de façon à ce que l'un, au moins, des deux éléments d'ancrage admette un réglage périodique de la tension afin d'en compenser les effets éventuels de son allongement (Fig.4.36). Ce procédé est utilisé aussi dans le renforcement des Structures horizontales et les murs porteurs (Fig.4.37).



**Figure 4.37 :** Système de réglage périodique du tirant. En haut dans le mur

#### IV.5.5. Renforcement des arcs, des voûtes et des coupôles avec des barres d'acier « taxidermie »

C'est un procédé de renforcement des éléments linéaires posés pour étayer les arcs et les voutes, visant à freiner l'effondrement du mur ou leurs déformations progressives transversalement à leur plan tels les tirants métalliques. ces derniers seront placés sur les parties tractées de l'extrados; la résistance aux surcharges au niveau des arcs pourra être effectué par l'introduction de barres d'acier inoxydables (Fig.4.38) en guise de taxidermie à partir de l'intrados. On procédera aussi sur certaines voutes surbaissées à la réalisation de chainages périphériques en acier ou en béton armé qui absorberont les poussées créées au niveau du soubassement.



**Figure 4.38:** Renforcement des arcs par des tirants (avec chainage périphérique)

#### IV.5.6. Renforcement par absorption des poussées inclinées « les contreforts »

Procédé appliqué lorsque la construction ne dispose plus d'éléments suffisamment rigides, capables d'absorber les tensions ponctuelles créées aux points d'ancrage des tirants. C'est souvent le cas au niveau des voûtes, des arcs, et de tout élément introduisant des sollicitations inclinées; Les poussées seront absorbées par des contreforts de fonction équivalente à celles des tirants, mais en plus sont capable de transmettre ces actions au terrain au travers de leur section. Lors du calcul et de la conception du contrefort, on tiendra compte de la forte limitation de l'assise requise par le nouveau contrefort afin de correctement fonctionner.

#### IV.5.7. Renforcement des murs structurants « enveloppe de la construction » par chainage

C'est un procédé qui consiste à restituer la résistance initiale des murs de la construction, par la disposition de ceintures ou de courroies sur le pourtour des murs structurant fermé montée en appareillage en brique ou de pierre afin de les rendre plus robustes et d'en augmenter leur résistance ; les courroies et les ceintures sont des éléments en fer ou en acier utilisés en renforcement surtout au niveau des liaisons murs planchers de l'extérieur scellé par des tirants croisés perpendiculairement souvent par paires; ce procédé a été utilisé depuis longtemps dans la restauration de nombreux édifices anciens. Dans certaine situation sont utilisées des bandes en *fibres de carbone* qui remplissent la même fonction, mais reste néanmoins nécessaire de tenir compte des effets du matériau adhérant à l'élément renforcé.

#### IV.5.8. Renforcement des murs avec des barres d'acier « taxidermies »

Ce procédé consiste en un renforcement des murs hourdés en maçonnerie, par la mise en œuvre d'armatures en acier à l'intérieur du mur. Cette opération s'effectue par perforation croisée (Fig. 4.39); des barres en acier seront placées à l'intérieur du mur, embouties dans ces perforations qui peuvent atteindre quelques mètres, créant ainsi de véritables structures secondaires en vue d'en augmenter leur capacité de résistance globale ou descentes de charges. Le scellement de ces barres d'acier dans les zones de contact avec les éléments constituant le mur se fait à l'aide de produit adhérent à base époxydique.

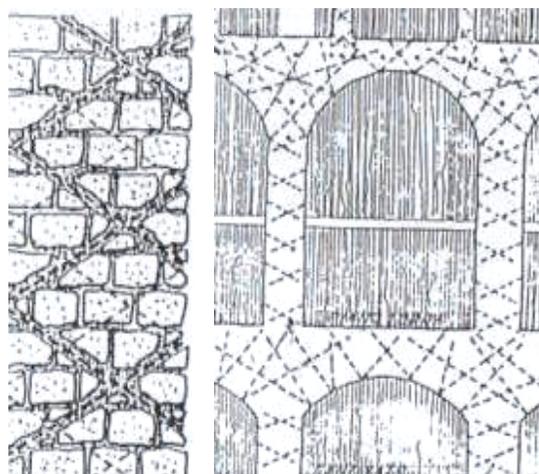


Figure 4.39: Ancre oblique de barre adopté /mur plein et/ou ajouré

#### IV.5.9. Reprise au niveau des bouffements

Le bouffement étant un cas évolutif de flambage, la technique réparatrice consistera en sa réduction par pression convergente contre la partie convexe du bouffement, cela par l'adossement d'un système d'étalement successif de l'élément de la structure portée à l'origine de ce désordre (ex: l'étalement au niveau d'un appui de poutre) et l'étalement du bouffement lui-même d'abord au niveau des arcs de décharge supérieur<sup>134</sup> qui ensuite sera suivi d'une unification par des éléments placés en boutisse des deux parements du mur désolidarisés (Fig.4.40). L'intervention ne se fera qu'après réduction du bouffement<sup>135</sup>.



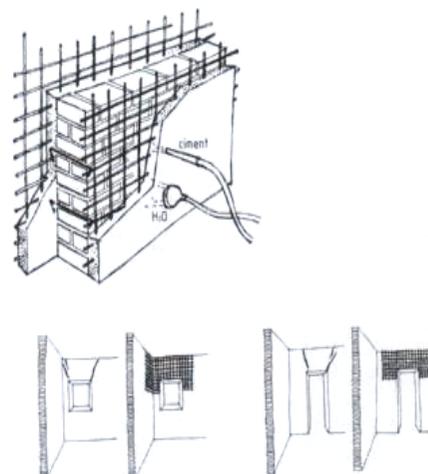
Figure 4.40 : Pose de boutisse après réduction du bouffement par étalement.

#### IV.5.10. Renforcement par enduit « mortier et grillage armé »

<sup>134</sup> G. Duval, op.cité.et, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, Op. Cité.

<sup>135</sup> Idem

C'est une opération qui tend à améliorer la résistance nécessaire du parement en réparant la détérioration et en récupérant ou en augmentant sa résistance originelle. La solution consiste en une augmentation de la section du mur endommagé en incorporant des épaisseurs de matériaux aux parements après la pose de treillis métallique galvanisés solidarisé entre eux au mur<sup>136</sup>(Fig.4.41.). Ces interventions sont basées sur l'analyse des traits constructifs propres aux constructions anciennes<sup>137</sup>. Ce renforcement permet aussi une certaine amélioration de la résistance sismique; Le matériau de renfort peut être mis en œuvre par la disposition de coffrage parallèlement aux parements et en y coulant ensuite la préparation (de mortier de chaux par exemple), sinon par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place ou encore par gunitage. La procédure sera choisie selon l'épaisseur requise et le supplément de résistance attendu du renfort<sup>138</sup>. C'est une solution très polyvalente du fait qu'elle s'adapte à des structures de murs complètes, à des murs entiers ou à des pans précis (Fig. 4.41), qualité qui la rend appropriée tout spécialement pour renforcer des bâtiments abîmés par les mouvements sismiques, cela en augmentant la rigidité des parties du bâtiment qui l'exigent ou à l'ensemble du bâti<sup>139</sup>.



**Figure 4.41:** Renforcement appliqué à une partie et /ou totalité du mur

#### IV.5.II. Renforcement du mur par gainage en béton armé

C'est une opération utilisée quand la liaison des éléments du mur a perdu de sa cohésion. Ces derniers étant liaisonnés par un mortier composé de chaux aérienne, de sable, de terre argileuse, souvent désagrégée suite à la décohésion du mortier après lavage au cours du temps<sup>140</sup>. La maçonnerie des murs se trouvant ainsi sérieusement endommagée, pourra être réparée en utilisant des gaines en béton armé ; cette technique consistera à gainer le mur sur ces deux faces avec des liaisons effectuées par le biais de trous forés au nombre de quatre par mètre carré (4 / m<sup>2</sup>), le traversant sur toute son épaisseur, dans lequel seront incorporés des tiges de liaisons d'épaisseur de 08 mm. Le béton de la gaine est mis en œuvre par projection C'est une solution très polyvalente du fait qu'elle s'adapte à des structures de murs complètes,

<sup>136</sup> G.Duval, Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.

<sup>137</sup> J. Coignet, L. Coignet .op. Cité.

<sup>138</sup> P.Brenda. Bâtiment en maçonnerie, Analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidations, EPAU, Snasp.1993.

<sup>139</sup> G.Duval, op, cité.et La réhabilitation des éléments structuraux de l'architecture traditionnelle méditerranéenne.,op, cité.

<sup>140</sup> R .Chaise .Restauration des anciennes maçonneries et percement d'ouvertures en sou œuvre .Eyrolles.1984.

à des murs entiers ou à des pans précis, qualité qui la rend appropriée tout spécialement pour renforcer des bâtiments abîmés par les mouvements sismiques<sup>141142</sup>. Le béton de la gaine sera réalisé avec une épaisseur de 3 à 4 mm par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place. Pour des ouvrages relativement petit, il suffira de gainer certaines parties choisies minutieusement aux extrémités du mur, au niveau des ouvertures, des angles etc.<sup>143</sup> Dans le cas ou, il ne sera pas possible d'effectuer une liaison traversant toute l'épaisseur du mur on y remédie en réalisant des « Chase, cage d'armature largeur = 15 cm; ép.=15 cm, tige de scellement au mortier long = 40 cm » à la place de briques aux endroits choisis.

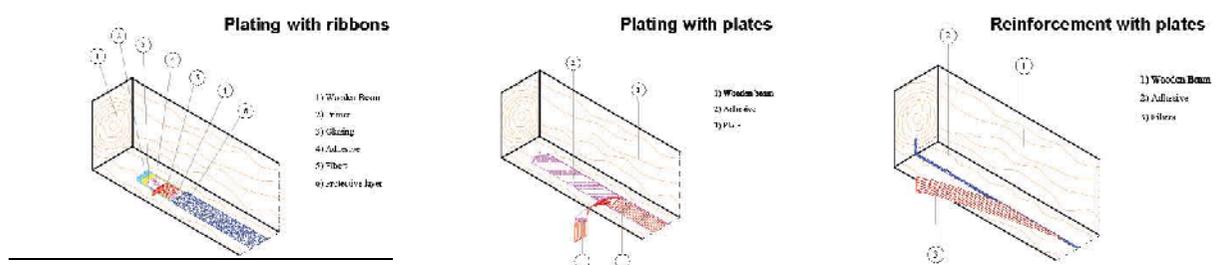
#### IV.6. Renforcement de la structure porteuse par des polymères à fibre renforcée (PFR)

C'est une technique qui tend à conserver les caractéristiques structurelles originales et à améliorer leur comportement sismique. Elles utilisent une petite quantité de matériau (en épaisseur et en poids), ces derniers travaillent après dépassement de la résistance d'élastique de l'élément en question<sup>144</sup>. L'application de cette technique reste très large; efficace et moins intrusif pour la conservation des caractéristiques matérielles et architecturales et peut aussi être envisagée pour le renforcement :



**Figure 4.42:** Renforcement de voûte par des polymères à fibres renforcée

1. Des arcs et des voûtes (Fig.4.42) leur permettant de supporter les contraintes élastiques auxquelles elles sont soumises et de combiner les contraintes de compression et de flexion;



<sup>141</sup> F.Tebbal, **Figure 4.43** Renforcement de paroi par des polymères à fibres renforcées (PFR) des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S),Ministrère de l'équipement ,Alger.2<sup>ème</sup> semestre 1992.

<sup>142</sup> G.Duval, op, cité.et La réhabilitation des éléments structuraux de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Op, cité.

<sup>143</sup> F.Tebbal, M .Belazougui, MM .M N. Farsi et H .Alayat, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, Op. Cité.

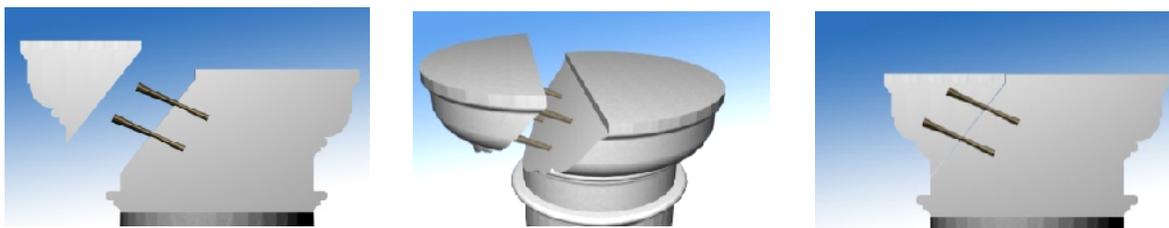
<sup>144</sup> Gianbatista De Tommasi .ingénieur, professeur titulaire au département de Réhabilitation des Bâtiments (Polytechnique de Bari) Italie collaborateurs : groupe de travail de recherche (Fabio Fatigso, Mariella De Fino et Albina Scioti), les techniques de réhabilitations : renforcer les structures.

2. Pour le cerclage des maçonneries;
3. Pour le cerclage des éléments de construction séparés; Pour éviter les dommages produits par le manque de connexion entre les murs;
4. Des poutres porteuses (Fig. 4.43).

#### IV.7.Réhabilitation des éléments en marbre et en tuf

Les dommages de ces éléments (colonnes, arcs, cadres de portes et fenêtres, appuis de fenêtres .etc.), se manifestent sous forme de désintégration devront subir une restauration, d'autre devront carrément être substitués. La restauration des éléments en tuf ou/et en marbre, elle se fera par une série d'opérations à partir du nettoyage, à l'aide d'un outillage approprié qui consistera en l'élimination des couches superficielles de salissures<sup>145</sup>. Par un nettoyage mécanique à l'aide d'un brossage, on a recours aussi à l'eau distillée ou déminéralisée, aux savons doux qui ont un PH neutre ex : Nettoyage à l'eau savonneuse<sup>146</sup>; d'un nettoyage avec **des pâtes d'argiles absorbantes** telle que **la sépiolite** ou **l'attapulгите mélangée à de l'eau distillée**, maintenue d'une feuille de polyéthylène ou de l'aluminium pour qu'elle reste humide, cette méthode a pour but d'extraire les sels solubles. Un nettoyage avec des produits chimiques neutres ou légèrement basiques, les solvants organiques neutres sont conseillés ou encore des solvants alcalins à condition d'être suivie d'un lavage attentif souvent suivit d'un micro-sablage<sup>147</sup>. Pour que l'assemblage, le colmatage, l'application des consolidant et les opérations de protection soient efficaces ; cette opération sera suivit de<sup>148</sup>:

- De travaux de consolidation et réfection des parties manquantes par scellement avec des goujons de cuivre ou de laiton plus du mortier de chaux<sup>149</sup>, si l'élément se trouve à l'intérieur ou est à l'extérieur mais est à l'abri de la pluie le collage se fera par une résine synthétique<sup>150</sup>. ( Fig.4.44); Ces reconstitutions seront exécutés dans tous les cas où:



**Figure 4.44** : jonction par des éléments de fixation en inox

<sup>145</sup> Jacquiers .D. Comment nettoyer, réparer, conserver les antiquités trouvées lors des fouilles, P 61-62.

<sup>146</sup> Pleinder Lieth .La conservation des Antiquités et des œuvres d'Art, P 330.

<sup>147</sup> J.P.Adam et A .Boussou trot, Restauration Architecturale et préservation des sites archéologiques, In conservation en archéologie

<sup>148</sup> Yves-Marie Froidevaux «construction et restauration» Mardaga .Op. Cité.

<sup>149</sup> Idem

<sup>150</sup> Idem

1. La partie manquante pourrait porter préjudice à l'élément dans son ensemble;
  2. La lecture sera perturbée;
  3. La statique de l'élément est à réassurer, exécuter les rajouts avec le matériau d'origine;
- ✓ **Dans le cas d'éléments en marbre**, enlever les couches de revêtements huileux, les couches de badigeonnages calcaires. Les défauts de ces éléments décoratifs seront repris après nettoyage par un remplissage au mortier époxydique.
- ✓ **Dans le cas d'éléments en tuf**, nettoyer, enlever les dépôts superficiels de poussières atmosphériques polluantes et des couches de peinture en évitant d'abimer le chromatisme puis procéder à leur désinfection de la microflore déposée une fois le nettoyage terminé.

**Quant aux éléments sculptés tels les ornements ou profils, manifestant des signes de désintégration et de détérioration**, seront consolidés avec des préparations organiques de silicium préparées à base de silicone, et afin de garantir une protection invisible et durable à l'encontre des polluants atmosphérique on prendra le soin d'utiliser une protection chimique. Les spires de colonnes, les feuilles d'acanthé et les volutes brisées et les clefs disparues des arcs en plein cintre des chambranles en marbres ou en tuf au niveau de certaines portes seront remplacées avec des pièces de même nature que l'élément en question à restaurer.

Lorsqu'il s'agit de défaut de moindre importance de parties sculptées (moultures, chapiteaux, ornements...etc.) on utilisera pour le remplissage du mortier contenant des agrégats de marbre blanc ou du calcaire original moulu.

- ✓ **Collage et assemblage**: c'est une opération qui s'effectue avec une grande précaution après une phase de nettoyage, en utilisant:
- a- **les résines thermoplastiques**: utilisées pour le collage de petits fragments et des joints horizontaux;
  - b- **les résines thermodurcissables**: Préparation utilisée au collage et assemblage<sup>151</sup>; Ciment pour recoller les articles en marbre<sup>152</sup>: -Résine: 26 Vol., -Cire: 50 Vol., -poudre de marbre 50 Vol. Ces opérations devront répondre aux exigences suivantes :
    - Le matériau utilisé pour le collage doit avoir une porosité égale ou supérieure à celle du marbre, afin de permettre l'évaporation de l'eau et les solutions salines<sup>153</sup>;
    - Colmatages des joints et des défauts avec un mélange de résine époxydique et poudre de tuf (pour les éléments en tuf)<sup>154</sup>;

<sup>151</sup> Pleinder Lieth, op, cité, p 343.

<sup>152</sup> Daniel Jacquiers. Op cité, P 60.

<sup>153</sup> M.Laurenzo Tabasso, Traitements de conservation de la pierre .In la dégradation et la conservation de la pierre publié sous la direction de Lorenzo Lazzarini et Richard Pieper, P 222.

- Imprégnation superficielle d'une couche protectrice invisible (résines synthétiques, les fluosilicates, les silicones)<sup>155</sup>.
- ✓ La jonction sera réalisée pour renforcer le collage par des chevilles, des tiges, des aciers inoxydables et/ou en inox, des tiges en verre ou en plastique; renforcées avec de la fibre de verre. Cette dernière se fait aussi à base de coulés de liant hydraulique additionnée avec de la poudre du marbre. Le façonnage des parties rajoutées sera réalisé conformément à la partie sur l'élément de base, en maintenant les traces du temps qui doivent faire partie intégrante de ce dernier. Ces principes seront la base de toute intervention sur ces éléments.
- ❖ Techniques et solutions traditionnelles pour l'amélioration et le renforcement des structures assurant une bonne cohésion de l'ensemble bâti.

Ces techniques structurales utilisées, assurent une bonne connexion entre les murs porteurs et une bonne adhérence des systèmes portés (planchers) en utilisant aussi bien des solutions traditionnelles que des techniques innovatrices, sans pour autant modifier les caractéristiques formelles et structurales de la construction. Elles se résument en<sup>156</sup>:

- Remise en état des murs (continuité et texture) par des opérations localisées (bouchages, colmatage de fissures, remplacement partiel ou total d'élément du parement.etc.) et /ou l'utilisation de la technique du type «découdre- coudre »;
- Régénération des cavités en utilisant des liants compatibles afin d'améliorer la résistance des murs en maçonnerie aux contraintes horizontales (poussée des structures portées);
- La pose de tirants et ancrage de métal ou de matériau composite afin d'assurer la cohésion dans ces éléments et d'en améliorer la résistance.
- Le recouvrement du plancher de bois existant (après vérification de l'état des poutres et élimination des causes de dégradation) par un nouveau plancher en assurant le renforcement (plancher mur) par la connexion d'aciers Croisés et transversaux.
- Le remplacement des jambes de forces en bois dans deux directions, l'une reliant les arcades (en briques de terre cuite) et l'autre perpendiculairement au pan portant les arcatures et les murs extérieurs, formant un ensemble structurel solidaire<sup>157</sup>, par des tubes en acier rondet habillé en bois.<sup>158</sup>

---

<sup>154</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration » Mardaga.Op.cité.et Préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques –Algérie perspectives de la récupération-Cours de post-graduation de l'école Polytechnique d'Architecture et d'urbanisme –EPAU, Alger.

<sup>155</sup> Emile Olivier, technique du bâtiment, des méthodes Les Maçonneries, tome II, Op. Cité.

<sup>156</sup> Idem.

<sup>157</sup> Abdelaziz Badjadja. Techniques de réhabilitation : renforcement des structures traditionnelles algériennes au séisme

- Tirants en acier réglable utilisés pour solidariser les planchers/murs porteurs.<sup>159</sup> (Fig.4.45)



**Figure 4.45** : Renforcement et consolidation des murs et des structures portées par des tirants d'ancrages.

- ❖ Techniques innovantes pour l'amélioration et le renforcement des structures assurant une bonne cohésion de l'ensemble bâti.
- Solidarisation des planchers et des murs porteurs (éléments verticaux) par l'utilisation du système d'ancrage à l'aide de crampons métalliques enrobés ou de barres d'acier entre les poutres et les murs ;
- L'utilisation de chaînes en métal ou de fibres de Carbone renforcé afin d'éliminer ou de réduire la déviation des arcs ;
- L'utilisation de chaînes en métal et le système de perforation renforcée locale, afin d'assurer et renforcer les connexions entre les murs ;
- L'utilisation de bandeau en maçonnerie armée ou des chainages de fibres de carbone ou en béton armé pour assurer la connexion de la partie supérieure du mur et réduire la déviation du toit, assurer la jonction des murs, et distribuer les contraintes horizontales induites.

#### IV.8. Le ravalement des façades

Le ravalement est une opération délicate de remise en état des façades par de petites réparations des éléments qui la composent tels<sup>160</sup> :

- Eléments en rapport aux ouvertures (fenêtres, volets et persiennes, portes) ;
- Eléments d'étanchéité (appuis de fenêtres) ;
- Eléments décoratifs (moultures sur éléments porteurs verticaux, décorations avec faïence) ;
- Conduits et souches, gouttières et descentes des eaux pluviales, gaines et réseaux divers.

<sup>158</sup> Idem

<sup>159</sup> Idem

<sup>160</sup> ANAH, Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat, guide pratique pour l'entretien d'un immeuble le moniteur 1979.

Avant tout ravalement il est nécessaire de vérifier les points suivants<sup>161</sup> :

- La recherche et la suppression des causes d'infiltration apparente ou pas sur la façade ;  
En reboucher les joints déficients provisoirement en utilisant de la filasse et du plâtre ou même du suif.<sup>162</sup>
- S'assurer du bon état de la structure de la construction (planchers, linteau, mur porteur), afin d'éviter la réapparition des désordres liés à ces derniers après ravalement.
- Evacuation des eaux usées, conduite de gaz et autres fluides, courant sur la façade, ainsi que la dépose de câbles (disgracieux). Il est utile de préciser qu'aucun traitement de façade n'aura d'effet si un drainage à 1,50 m en avant de ces dernières n'est pas établi.<sup>163</sup>

#### IV.8.1. Technique de ravalement des façades

**Les techniques adoptées pour le ravalement des façades sont tributaires<sup>164</sup> :**

- De l'examen minutieux quand à l'état du support et traces d'oxydation (taches de rouille au niveau des grilles de protection ou des verrières couvrant les patios introduit à la période coloniale) ;
- Du type de traitement en surface /à sa protection (nature de la peinture, faïences), éventuellement l'application d'un hydrofuge ;
- Du matériau constituant le parement de la façade à nettoyer (pierre, briques de terre cuite, parement enduit ou nu), de la nature du mortier de jointement (liants et agrégats) ;
- Du type et degrés des salissures (origine), remontées d'humidité en pied du mur ;
- De la nature des joints.

Les façades anciennes des constructions sont vulnérables aux agressions des divers procédés. Il est préférable d'opter pour les méthodes classiques de nettoyage avant d'opter à une des techniques avec des procédés plus puissants en prenant le soin de faire au préalable un essai sur une superficie de 1,00 m<sup>2</sup> afin de tester son efficacité et de fixer : la pression, la taille des poudres, la proportion d'eau et durée en fonction du degrés d'encrassement <sup>165</sup>.

---

<sup>161</sup> CAU. Conseil d'Architecture d'Urbanisme et de l'Environnement de seine Saint Denis .Ravaler une façade pathologies .Techniques .Procédures .Octobre 1994.

<sup>162</sup> Yves-Marie Froidevaux « construction et restauration »Mardaga. Op.cité.

<sup>163</sup> Grunau,E-B, La lutte contre l'humidité dans les façades ,Paris,Eyrolles,1970.

<sup>164</sup> J.Coignet et L. coignet Matériaux et techniques, Désordres et interventions, op, cité ; et G.Valliere. Le ravalement de façade mode d'emploi : nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes, Eyrolles .1998.

<sup>165</sup> J.Coignet et L. coignet Matériaux et techniques, Désordres et interventions, op, cité.

#### IV.8.1.1. Ravalement de façades en pierre

Divers techniques sont préconisée selon que l'on veuille rendre à la pierre sa couleur et sa vivacité ou que l'on recherche seulement à la rendre plus propre ;

Retrouver la couleur et la vivacité de la pierre :

Cette opération consiste à enlever la pellicule de pierre salie par des moyens mécaniques tels que le ponçage, le grésage, le grattage au chemin de fer, le nettoyage au jet de sable (plutôt humide que sec). Ce procédé présente néanmoins certains inconvénients du fait qu'il fait disparaître la protection naturelle de cette dernière (le calcin) ; on pourra y remédier en le remplaçant par une application de peinture pétrifiante à base de fluo-silicates ou un badigeon de silicones ,ou encore un épiderme de résine incolore.<sup>166</sup>

#### IV.8.1.2. Ravalement de façades en brique de terre cuite

On utilisera le même procédé de lavage et de brossage cité ci-dessus ; l'opération de sablage sera effectuée avec précaution à la condition que les éléments constitutifs du parement soient plus ou moins en bonne état (brique de bonne qualité). On pourra également opter pour des peintures rouges silicatées<sup>167</sup>

#### IV.8.1.3. Ravalement de façades recouvertes d'un enduit

Cette opération sera tributaire de l'état de l'enduit, si les réparations a effectués localement sont nombreuses on optera pour les solutions suivantes :

- En cas de cloquage, décollement par plaques ou crevasse, il est nécessaire de procéder au décapage, dépoussiérage par brossage (en nylon ou chiendent), à l'humidification du parement au moins un demi-heure avant l'application du nouvel enduit de même nature que le mortier de jointure utilisé.
- En cas ou l'enduit est seulement faïencé et son adhérence est bonne, on procédera à un nettoyage par un simple brossage à sec ou à l'eau, puis on protégera le parement par l'application de produits imperméabilisants tels **(des résines, des silicones) obtenues à partir de tétrachlorure de silicium**

---

<sup>166</sup> Emile Olivier professeur technique du bâtiment, Technologie des matériaux, tome I, Technique et Document Lavoisier, paris 1990.

<sup>167</sup> Idem.

- En cas de nettoyage de taches persistantes et bien incrustées, on utilisera de l'eau additionnée légèrement d'ammoniaque (10 à 20 %), ou de détergents sulfonés (produits moussants) en prenant soin de rincer abondamment à l'eau pure après ses opérations <sup>168</sup>.

#### IV.8.1.4. Traitement de finition par des hydrofuges de surface

Il consiste en l'application en temps sec sur des surfaces propres après ravalement ou traitement contre les efflorescences (**aspect** : sur la pierre poudre blanchâtre peu soluble, sur maçonnerie de terre cuite flocons blancs) ou les salpêtres, d'un badigeon surtout des murs enduits et les joints de maçonneries apparentes (brique de terre cuites, pierre, ou encore mixte) par des produits tels **les fluosilicates** (solution durcissantes et imperméabilisantes, mais dont l'efficacité n'est que temporaire) ou par l'application d'épidermes de façades tels en **résines synthétiques** et **les silicones**.

#### IV.8.2. Méthode indiquée pour le ravalement (nettoyage) des façades

##### IV.8.2.1. Projection d'un brouillard alterné avec des phases de brossages –Nébulisation –

Cette méthode convient aux parements fragiles, ou de surfaces limitées bien circonscrites, qui d'apparence sont fragiles. On procède à un nettoyage vigoureux à l'éponge souvent rincée et essorée, simultanément à un brossage, le lavage à la vapeur réduit la consommation d'eau <sup>169</sup>.

##### IV.8.2.2. Le sablage –

Il existe plusieurs modes de sablage : Le sablage à sec, le sablage hydropneumatique et le micro sablage. Cette technique présente plusieurs paramètres qui déterminent la qualité du ravalement et prennent en considération la distance de travail, le diamètre, la nature, la dureté et la forme des particules, ainsi que la pression d'air <sup>170</sup>. Avec ce procédé la délimitation précise de surfaces à traiter est difficile bien qu'il soit appliqué à une faible pression (1 à 3.5 kg / cm<sup>2</sup>)<sup>171</sup>, les particules utilisées seront inférieures à 150 µm, on s'aidera par la fixation de caches de protection <sup>172</sup>. Un soin particulier sera porté aux arêtes.

##### IV.8.2.2.1 Le micro - sablage –

---

<sup>168</sup> Idem

<sup>169</sup> J.Coignet et L. Coignet Matériaux et techniques, Désordres et interventions, op, cité

<sup>170</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades, guide pour le choix de traitements et leurs bon usage, CSTB 1984.

<sup>171</sup> J.Coignet et L. Coignet Matériaux et techniques, Désordres et interventions, op, cité.

<sup>172</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation...op,cité et J.Coignet et L. Coignet Matériaux et techniques...op Cité.

Ce procédé est appelé « Thomann-Henri »<sup>173</sup>, efficace et propre il s'effectue pour le nettoyage demandant une grande précision du jet. Il est préconisé sur les croûtes noires ou sur les motifs finement sculptés ou encore sur différents types de pierre, même dégradées après les avoir consolidées<sup>174</sup>, sur des murs de faible épaisseur ou lorsque la pierre constituant le parement est très tendre<sup>175</sup>. Les appareils fonctionnent à l'air et comportent un pistolet ou un crayon muni d'une buse avec une très petite ouverture à travers la quelle sont projetées à sec sous forte pression une poudre très fine. La pression du jet est finement réglable ce qui explique que dans une première phase ce procédé était surtout développé pour les monuments historiques, du fait qu'il ne permettait de nettoyer que quelques dizaines de cm<sup>2</sup><sup>176</sup>.

#### IV.8.2.3. L'hydrogommage -

C'est une méthode rapide et efficace pour l'élimination de salissures et les peintures anciennes, par projection en tourbillon tangentielle à la paroi fragile à nettoyer. L'eau additionnée à des poudres fines atténue l'impact des particules sur cette dernière ; les inconvénients de ce procédé sont qu'il est difficile de délimiter avec précision les surfaces à traiter, qu'il génère une nuisance sonore (le compresseur) et utilise énormément d'eau qu'il faudra évacuée en aval du sol, procédé propre car il génère très peu de poussière.

La méthode de sablage pneumatique et de projection sont à proscrire, procédé qui consiste à pulvériser du sable ou de l'eau à haute pression atteignant jusqu'à 150 kg / m<sup>2</sup> qui élimine la couche superficielle de l'élément constituant le parement, cette technique s'est avérée agressive en perforant les zones tendres et détruit en profondeur les mortiers des joints<sup>177</sup>.

#### IV.8.3. Application de la peinture :

C'est l'opération finale sur chantier, qui consiste dans le crépissage et la peinture intérieurs et extérieurs des parements effectuée par l'application sur la structure portante de la construction d'une dernière couche de protection constitué essentiellement de chaux ainsi que de plusieurs matériaux possibles colorants ***tenant compte du fait que les peintures plastiques sont incompatibles avec la nature des murs et donc sont à proscrire .la présence d'humidité est un caractère prioritaire dans le choix de la peinture qui doit être très micro poreuse.*** Cette

<sup>173</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades...op .cité

<sup>174</sup> F. Virolleaud. Le ravalement : guide technique, réglementaire et juridique. Le Moniteur.1990.

<sup>175</sup> ANAH .Réhabilitation et entretenir un immeuble ancien point par point...op.cité.

<sup>176</sup> G.Vallière .Le ravalement de façade : mode d'emploi : Nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes .Eyrolles. 1998.

<sup>177</sup> EPEBAT Entretien et réhabilitation des façades...op.cité et J. Coignet et L. Coignet Matériaux et techniques, Désordres et interventions, op, cité.

dernière a pour fonction la protection des revêtements des facteurs de détérioration extérieurs, qui pour leur fonction spécifique constitue ce qu'on appelle « une surface de sacrifice », **d'où la nécessité d'un renouvellement périodique de cette dernière couche.**

## Conclusion

*L'humidité est à l'origine de la plupart des désordres structurelles tels que les auréoles et les moisissures sur les murs, ainsi que des désordres structurelles graves que l'on observe dans les constructions. Son traitement peut passer par plusieurs méthodes appropriées selon sa localisation et le degré d'altération de l'élément.*

*La consolidation et le renforcement des fondations peuvent selon le cas connaître divers interventions après une étape de sécurisation du chantier et d'échafaudage de la construction. Prenant la précaution d'assurer une meilleure portance des sols par des opérations d'injection qui sont des techniques contemporaines très avancées, par élargissement de la surface de contact de la fondation sur le sol pour réduire la contrainte de compression, les techniques utilisées sont essentiellement traditionnelles, et enfin par une assurance d'une meilleure assise à la fondation en la raccordant à un terrain plus résistant en profondeur par la mise en œuvre de la technique du micro-pieu et ainsi que la stabilisation de ces dernières par des tirants d'ancrage.*

*L'intervention sur les planchers à ossature en bois se fait par une augmentation de leur capacité portante avec des systèmes de renforcement de ces éléments, par traitement et ajout de matière ou carrément le remplacement de l'élément altéré. Pour le renforcement des murs porteurs en maçonnerie peu aller, selon le degré de détérioration, d'un simple rebouchage et colmatage des fissures à un remplacement partiel ou total des pierres ou briques de terre cuite altérées. Ce remplacement se fera par des éléments présentant les mêmes caractéristiques mécaniques et physico-chimiques. Cette opération sera souvent suivie d'injection de liant hydraulique sous faible pression, ou la consolidation par l'utilisation de tirant d'ancrage enrobé. Des opérations de renforcement par une augmentation de section du mur sont préconisées avec des matériaux ayant une compatibilité physico-chimique avec les matériaux d'origine.*

*Le ravalement des façades est l'étape finale de l'intervention sur la construction, elle peut se faire par le biais de méthodes classiques par projection d'eau avec ou sans pression, ou par des procédés chimiques, ou encore par des méthodes abrasives tel le sablage, une fois les éléments constitutifs de ces façades réparés (fenêtres, portes, évacuation d'eau de pluie et étanchéité).*

CONCLUSION GENERALE

## CONCLUSION GENERALE

Le patrimoine architectural de l'époque Ottoman recèle des caractéristiques et des valeurs architecturales inestimables par des typologies organisationnelles, spatiales hiérarchisées et riches, ainsi que des typologies structurelles variées.

De nos jours ce patrimoine classé, se trouve altéré par l'usure du temps, par les interventions insolites des habitants auquel s'ajoute le manque d'entretien, face à cet état des opérations de réhabilitation ont été entreprises, sans résultats probants par manque de cohérence et de respect à sa valeur patrimoniale. Afin de donner toutes chances de succès à une réhabilitation celle-ci se devra de répondre à certaine règle fondamentale à savoir :

Intervenir de façon à ne pas altérer leur harmonie en ayant fait au préalable une évaluation tributaire d'une bonne méthodologie de travail, qui consiste à faire un diagnostic de l'état de préservation de ce bâti ancien. Cette évaluation passera par les étapes du pré-diagnostic, puis des études pluridisciplinaires pour se terminer par un diagnostic détaillé, ces étapes auront pour finalité l'identification du statut évolutif de cette construction ce qui permettra Une réhabilitation de manière correcte et cohérente, ce qui permettra d'apporter des solutions compatible à cette typologie d'habitat, du point de vue architecturale, esthétique et patrimoniale. Ainsi que l'organisation d'un programme d'intervention sur ce patrimoine qui prend en considération le côté technique et les conditions de confort.

Une réhabilitation adéquate à cette typologie d'habitat repose sur une bonne connaissance des techniques constructives ainsi que des matériaux utilisés et les typologies spatiales de ces constructions.

Dans ces typologies structurelles traditionnelles on retrouve des typologies à murs porteurs en maçonnerie homogène ou mixte de brique de terre cuite, pierre et moellon où sont introduits des chaînages horizontaux (rondins de thuya), le tout enduit au mortier de chaux; ces murs sont associés à des structures portées, les planchers en bois, les voûtes...), les éléments de traitements tels les chambranles de portes en marbre ou tuf et les encorbellements, qui caractérisent ces constructions leurs confère des valeurs patrimoniales inestimables.

Le type de dégradation des structures dépend des matériaux de construction utilisés, de leurs techniques de mise en œuvre et de l'environnement; Car la conjugaison des facteurs extérieurs avec les causes physiques, chimiques et mécaniques accentuent la dégradation des structures et des matériaux.

Les principales causes de dégradations des matériaux dont le bois la pierre et la brique de terre cuite, et les enduits sont dues aux présences d'eau et d'humidité sous toutes ses formes; ces dégradations peuvent êtres du à des actions chimique (efflorescences et salpêtres, champignons et moisissures), physico –chimique (/gel-degel), physique et/ou une augmentation de l'action mécanique associé à une réduction (surexploitation, capacité de portance du sol réduite, séismes,...)

Comportement structurel dépend de la forme de la taille de ses structures ainsi que des matériaux utilisés; de l'état de leur liaison et des conditions environnementales dans lequel se situe la construction en question.

L'état de conservation du bâti guidera le choix et la nature de l'opération de réhabilitation; la pérennité de cette architecture n'est assuré que par l'application d'un entretien régulier; **sa réhabilitation** par des interventions visant à stabiliser le bâti et augmenter ses chances de survie, par une restauration **à la manière traditionnelle conservant ces valeurs architecturales authentiques inscrites dans la typologie du bâti et l'introduction dans une mesure appropriée d'éléments de confort moderne en guise d'amélioration de vie des habitant.** en utilisant pour cela des techniques traditionnelle mais aussi au besoin des techniques modernes et les savoirs faire traditionnels par une consolidation et restauration selon les règles de l'art en utilisant des matériaux de constructions traditionnels proches des matériaux d'origine.

Le ralentissement voire l'arrêt du processus de dégradation dans la construction se fait par le biais d'intervention appropriée à chaque situation après un examen attentif de l'ensemble par étape et selon le cas après étaieement :

- Traiter d'humidité;
- Raccorder la fondation à un terrain de meilleur capacité portante, au cas extrême vue l'agressivité qu'elle comporte, par la technique du micro -pieu et des tirants d'ancrage;
- Stabilisation des sols par des additifs et/ou augmenter la résistance du terrain par des opérations d'injection ;
- Augmenter la capacité portante du plancher par des opérations de renforcement, ou par le remplacement de la pièce défectueuse;
- Renforcer les murs porteurs en maçonnerie par des opérations pouvant aller d'un remplacement partielle ou totale d'un élément détérioré (compatibilité exigé), par augmentation de section du mur, par un rebouchage et colmatage des fissures,

d'injection de liants hydrauliques, et/ou le renforcement par des barres d'acier « Taxidermie»;

- Procéder au ravalement de la façade après réfection de tous ses éléments constitutifs (menuiseries, évacuation d'eau, ...) et élimination des salpêtres, par une projection d'eau avec ou sans pression, et/ou des modes plus abrasif le sablage, sinon par des procédés chimiques;
- Appliquer *des peintures très micro poreuse*.

Les techniques adoptées peuvent aussi bien être de type traditionnel que moderne utilisés dans une petite proportion avec un degré de compatibilité physique et chimique d'intervention avec l'original sans pour autant nuire aux contraintes techniques que la construction impose en préservant son esprit et son caractère traditionnel, car la réussite des opérations de réparation et de consolidation par le renforcement est tributaire des compatibilités physico-chimiques des matériaux.

Le succès de toutes opérations de conservations de notre patrimoine ottoman est tributaire de l'élaboration d'un cahier des charges qui en plus des aspects techniques tels que mise en forme dans ce guide, contiendra un arsenal juridique engageant la responsabilité du citoyen et de l'autorité publique.

## Références Bibliographiques

**Références bibliographiques**

1. ABDESSEMED A.A. Foufa-département d'Architecture, Université de Blida Algérie et BENOUAR Djilali département de Génie civil Laboratoire dans l'environnement de Bab-Ezzouar Alger «Les Techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger.
2. ABDESSEMED A.A-Foufa (2005).Contribution for a catalogue of eart quake resistant traditional techniques in Northern Africa/the case of the Casbah of Algiers. Algeria. EEEJ 2.05.Ed Patron.Bologne .Italie
3. Actes du 7e Colloque international Space Syntax , Edité par Daniel Koch, Lars Marcus et Jesper Steen, Stockholm: KTH, 2009.
4. ADAM J.P. La construction romaine .Matériaux et Technique .3<sup>ème</sup> Ed Picard .Paris 1989.
5. AGENCE nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH), Les aspects sociaux de l'amélioration de l'habitat ancien: les opérations programmées, politique, bilan et expérience.
6. AGENCE qualité construction (A Q C), premier regard sur l'état général d'un bâtiment, les aspects extérieurs et leur environnement.
7. ANAH .Réhabilitation et entretenir un immeuble ancien point par point, diagnostics et démarches à entreprendre, treize exemples de techniques de réhabilitation, visites et contrats d'entretien.2<sup>ème</sup> édition .Le Moniteur.
8. ANAH, Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat, guide pratique pour l'entretien d'un immeuble, le moniteur 1979.
9. ANGELI M, BIGAS J.P, MENENDEZ B, HEBERTI R ET DAVID C (Altération par les sels des pierres de construction).Université de Cergy-Pontoise, Laboratoire (CNRS UMR 7072).
10. ARNAULD C.et BURNOUF J. L'archéologie du bâti médiéval urbain, les nouvelles de l'archéologie n:°53-54.
11. Atelier Casbah, Projet de valorisation de la casbah d'Alger .Plan d'aménagement Préliminaire .Ed Ministère de l'Habitat et de la construction. 1980.
12. BADJADJA. Abdelaziz Techniques de réhabilitation: renforcement des structures traditionnelles algériennes au séisme
13. BALOUL .N.« Conservation et valorisation du patrimoine architectural en terre dans le sud de l'Algérie. Le cas des ksour du Twat-Gourara » Mémoire de Magister, sous la direction de Mr DAHLI M .UMMTO. septembre 2007.
14. BAUD A., PARRON I., Les techniques du relevé d'élévation, table ronde, CERIAH, Bibliothèque municipale de Lyon, 1997, Centre international d'études romanes, Tournus, 1998.
15. BECK K. (étude des propriétés hydriques et des mécanismes d'altération de pierres calcaires à forte porosité) Thèse de doctorat Université D'ORLEANTS octobre 2006.
16. BENABBAS Samia, système d'interprétation et de valorisation du patrimoine architectural .Inventaire comparatif et étude pour l'Algérie du cas du rocher de Constantine»; thèse de magister, Université De Constantine ; juin 1988.
17. BERARDE R, GOLVIN L., «Palais et demeures d'Alger à la période ottomane» .Ed. Inas Alger (2003).
18. BILLON A. La politique de réhabilitation des quartiers anciens, Bibli. Et comment. BULL.DOC (Bulletin de documentation du Ministère de l'équipement) S.T.U./C.D.U n°:53, septembre 1976.
19. BOUCHE N. La réhabilitation en France .Les procédures les outils (ANAH), Paris.2000.
20. BOUCHARA Traki zennad. «La ville mémoire, contribution à une sociologie du vécu, Méridiens klincksieck, paris. 1994.

21. BOUKHALFA K. Sauvegarde du patrimoine culturel dans le contexte du développement durable : cas de la ville de Bejaia. Mémoire de Magister, sous la direction de Mr DAHLI M. UMMTO, Juin 2009.
22. BRANDOIS P ET BABICS F, Manuel de sensibilisation à la restauration de la maçonnerie, Direction de l'architecture et du patrimoine France juin 2006.
23. BRENDA Pietro, « Bâtiments en Maçonnerie » analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidation, édition du centro analisi sociale progetti S.r.l Rome, Via Flaminia, 1993.
24. BRUMO A, Protection et mise en valeur de la colonne de Marc Aurelle, In muséum, Suisse, 1987.
25. CAMBEFORT H, injection des sols. Ed Eyrolles, 1964.
26. CARRIE A., MOREL D. Salissures de façades, étude effectuée sous la direction du RAUC (centre de recherche d'architecture d'urbanisme et de la construction). Eyrolles 1975.
27. CAU. Conseil d'Architecture d'Urbanisme et de l'Environnement de seine Saint Denis, Ravaler une façade pathologies .Techniques .Procédures .Octobre 1994.
28. CAUSSARIEU A. GAUMART T. Guide pratique de la rénovation de façades pierre, béton, brique. Eyrolles 2005.
29. CEBTP .Etude des méthodes de lutttes contre les remontées d'eaux par capillarité. Décembre 1983.
30. CERTU/DHC. La Gestion des patrimoines immobiliers publics. Pré-diagnostic et approche opérationnelle .CERTU; Octobre 1995.
31. CHAISE R. Restauration des anciennes maçonneries et percement d'ouvertures en sou œuvre .Eyrolles. 1984
32. CHARBONNEAU François et LAZZARD Marie, La gestion du patrimoine bâti dans une perspective urbanistique, in l'urbanisation des pays en voie de développement, Ed economico, 1991
33. CHAREB Oumelkheir. Mémoire de magister (2003), l'apport de la typologie processuelle à la projection architecturale et urbaine » école polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme d'El-Harrach,
34. Charte de Burra, charte d'ICOMOS Australie pour la conservation de lieux et de biens patrimoniaux de valeur culturelle ; 1988.
35. Charte de venise 1964.
36. CHOAY F. et MERLIN P: Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, Edition PUF, 1988
37. CHOAY F., L'allégorie du patrimoine, Ed du Seuil .Paris 1992.
38. COIGNET J: «Arts de bâtir traditionnels: connaissances et techniques de réhabilitations» EDISUD, Aix-en- Provence, 1987.
39. COIGNET Jean, COIGNET Laurent, maçonnerie de pierre «matériaux et techniques, désordres et interventions », édition Eyrolles, paris .2006.
40. COLAROSSO Paolo, SPIGAI Vittorio (1993) « La stratification de la ville et du territoire, Techniques d'analyse et projet de valorisation »Cours de Post-graduation en préservation et mise en valeur des monuments et sites historiques EPAU, Editions centro analisi sociale, s.r.i Roma.
41. .COQUE R –géomorphologie, 5<sup>eme</sup> édition, Paris, 1977.
42. Corpus Euromed héritage «l'architecture traditionnelle méditerranéenne, maison de la médina d'Alger »Création de la fiche 23/02/01, modifiée 03/05/01.
43. COTE Marc, 1993 : L'Algérie ou l'espace retourné. Média-Plus, Algérie, Constantine, Algérie.

44. CRESTI F. Situation et transformations urbaine d'Alger au XVI<sup>e</sup> siècle d'après la description littéraire et l'iconographie de la ville, en « science sociales panorama », 1985, f.10 ; Lanfreducci E G.O. Bosio, Malta, 1587, « Revue Africaine » LXVI (1925), f.66.
45. DAHLI M., cours P-G, Module : Matériaux de construction et expression architecturale .Chaux aérienne et chaux Hydraulique, 2008/2009.
46. DE LUCA Livio. Relevé et multi-représentations du patrimoine architectural Méthodes, formalismes et outils pour l'observation dimensionnée d'édifices, in revue MIA, journal Vol.0, n: 1. Mars 2006.
47. DECIRQUEZ D. les méthodes de conservation des marbres, in le marbre dans l'antiquité, les grandes périodes d'exploitation Grèce, Haute empire et époque tardive.
48. DECLEVE B. et FOBBELETS J . typologie et morphologie dans la médina : Enseignement de la tradition (D'après: Fiches Typologiques-1981).
49. DINKEL René, L'Encyclopédie du patrimoine (Monuments historiques, Patrimoine bâti et naturel-protection, restauration, réglementation .Doctrines-techniques-Pratiques), éditions Les Encyclopédies du patrimoine, Paris, septembre 1997.
50. DOLINAR Bojana, (2006); «*The impact of mineral composition on the compressibility of Saturated soils*». Mechanics of Materials N°: 38.
51. DRIOUECHE, mémoire de magister « Dar Aziza ». « Contribution à l'enrichissement de l'architecture palatine : Dar Aziza, mémoire de Djenina d'Alger » Ecole Polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme, Alger, 2001
52. DUVAL G., Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.
53. Ecole d'Avignon « technique et pratique de la chaux » 2<sup>e</sup> Edition, Paris EYROLLES, 2003.
54. EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades, guide pour le choix de traitements et leurs bon usage, CSTB 1984.
55. Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée.
56. Fascicule technique, ouvrage de charpente en bois, ministère de la culture et de la communication. Direction de l'Architecture et du Patrimoine .Février 2002.
57. FAUGERE J.G, DUFOIR J, SALINIERES J.G influences des nuisances urbaines sur la dégradation des immeubles anciens in Actes du VI congrès mondial pour la qualité de l'air, Paris, 1983.
58. FERDI Sabah, Séminaire sur le patrimoine, Alger du 14 au 16 mai 1996.
59. FROIDEVAUX, Yves-Marie « Techniques de l'architecture ancienne». Construction et restauration 3<sup>ème</sup> éd, Mardaga, Belgique 1993
60. GAOMBALE J. « Le gonflement des argiles et ses effets sur les ouvrages souterrains ». Thèse de doctorat, Université de l'Ecole Polytechnique. 2004.
61. GOB.A et DROUGUET .N « La muséologie histoire, développement, enjeux actuels » 2003.
62. Grand Maghreb : Economie & société - Gestion des collectivités locale, Janvier 2008
63. GRANDET Denis. Architecture et urbanisme islamique. Office des publications Universitaires. Alger. 1986.
64. GRIM Nordine, Article de Quotidien El-watan, Mardi 22 avril 2008 « à cause de l'absence flagrante d'entretien.»
65. GRUNAU E-B, La lutte contre l'humidité dans les façades, Paris, Eyrolles, 1970.
66. GUIDE Stress, Réparation et renforcement des fondations syndicat National des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRESS) .2008.
67. Guide -technique, « traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques ». SETRA/LCPC. 2000.

68. GUINAND Sandra, la définition d'une stratégie « Régénération urbaine enjeux d'une revalorisation du cadre bâti dans le sud ouest algérien.
69. GUION P, «images du vieil Alger.» Alger, (1940).
70. HAVEL J-E, Que sais-je , « Habitat et logement » 1974.
71. HERRERO J-I, Altération des, calcaires et des grés utilisés dans la construction, Paris Gestion des sites pollués. Version O Partie III.BRGM Edition, juin 2000.
72. HOUEIX Michel, fiches pathologiques bâtiment, Agence Qualité construction(AQC), SMABTP .paris2003
73. HOUBEN H, DAYRE M CRATerre : Construire en Terre Traité de construction en terre, édition.2, Parenthèse, 1995
74. Humidité ascensionnelle dans le bâtiment in revue CSTC N°1 Mars 1980.
75. Info maçonnerie. Reprises-en sous œuvre. L'artisanat du bâtiment. CAPEB JURA. Février.2008
76. JEANNET Jacky, PIGNAL Bruno, SCARATO Pascale, architectes dplg, Cahier techniques N° 2 « le bâti ancien », « pisé, terre d'avenir », 2<sup>ième</sup> édition ,02-2001.
77. JEANNET Jacky, PIGNAL Bruno, SCARATO Pascale, Cahier technique N°1 la chaux, « mise en œuvre, Enduits et décors », 3<sup>ième</sup> édition, éd pisé, terre d'avenir, Déc. 1998.
78. JOURNOT F., Archéologie du bâti, dans la construction .les matériaux durs : pierre et terre cuite, coll. « Archéologiques », Paris, France, 2004.
79. J-PHILLIPON, D-JEANNETTE et R-LEFEVRE (Altération des pierres monumentales en France) CNRS édition/ Ministère de la culture, Paris 1990. L. Jacqui gnonet Y.M.Danan, le droit de l'urbanisme Ed EYROLLES, Paris, 1978.
80. La loi n°98-04 du 15 juin 1998 relative à la protection du patrimoine culturel.
81. LAURENZO TABASSO M., Traitements de conservation de la pierre .In la dégradation et la conservation de la pierre publié sous la direction de Lorenzo Lazzarini et Richard Pieper.
82. LAVORGNA A. Technique et matériaux in San Lorezello à la recherche des anomalies qui protègent. Ed Ferrigni. Naples. Italie. 1990.
83. LEVY Jean Paul villes et territoires, la réhabilitation des quartiers anciens et de l'habitat existant : acteurs, procédure, effets conséquences, Presses universitaires du Mirail, (1990).
84. LOGEAS L, Les maçonneries dans leurs fonctions de paroi, Annales de L'ITBTP no 303, mars 1973.
85. LOUONG. S. Pour traiter les locaux humides: les résines polymérisables in cahiers technique du bâtiment N°50.Décembre 1982.
86. LOUVIGNE M. humidité dans les bâtiments prévention et traitement Centre d'assistance technique et de documentation CATED.2000.
87. LUVET J, LONGECHAL R. Rénover les murs et ouvertures, Eyrolles, Paris, 1983.
88. MAMILLAN M. .Restauration des bâtiments en pierre Centre International d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels .1972.
89. MAMILLAN M., Pierre de carrière et produits manufactures. Centre Technique et de documentation .Cated.2003.
90. MAMILLAN M.; Restauration des bâtiments en pierre. Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels.1972.
91. MAMILLAN Marc, Pathologie et restauration des constructions en pierre, Rome, 1977.
92. MARÇAIS G, salle, antisalle, recherche sur l'évolution d'un thème de l'architecture domestique en pays d'Islam, en annales de l'institut d'études orientales X(1952)
93. MATEOS M. and D.T.DAVIDSON (1962). Lime and Fly ash Proportions In Soil-Lime- Fly ash Mixtures and Some Aspects of Soil-Lime Stabilization. Highway Research Board of the National Academy of Sciences, National Research Council, Washington, DC Bulletin N°.335.

94. MATEOS M. Physical and Mineralogical Factors in Stabilization of Iowa Soils with Lime and Fly ash. Ph. D thesis, Iowa State University Ames. Iowa. 1961.
95. MAURICE P. Les maçonneries dans leurs fonctions porteuses Annales de l'ITBTP N°290, Février, 1992. Supplément Série gros œuvre N° 13.
96. MERTZ, Jean-Didier Altération des matériaux du patrimoine: influence des contaminants et de la nature des substrats) 18<sup>ème</sup> journées Scientifiques de l'environnement, Créteil, Hôtel du département, 03 mai 2007.
97. METHODE RéhabiMed pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne .Réhabimed Aout 2005
98. Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement Algérien, Programme d'Actions Prioritaires Centre d'activités Régionales. Protection des sites culturels sensibles –Phase 2- Février 2005.
99. Ministère de l'Équipement, des transports, du logement, du Tourisme et de la Mer, Direction générale de l'Urbanisme, de l'habitat et de la construction, centre de documentation de l'urbanisme» Urbanisme, Habitat, Déplacement, L'expérience de la France, 19502000 »2002.[http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/IMG/Pdf/Uhd\\_cle6013e98.Pdf](http://www.cdu.urbanisme.equipement.gouv.fr/IMG/Pdf/Uhd_cle6013e98.Pdf).
100. MINISTERE de la culture et de la communication de la république française, direction de l'architecture et du patrimoine .ouvrage de charpente en bois, fascicule technique. France, Février 2002.
101. Ministère de la culture wilaya d'Alger, Plan Permanent de Sauvegarde et de Mise en Valeur du Secteur Sauvegarde de la CASBAH D'ALGER Maître d'ouvrage délégué: Direction de la culture de la Wilaya d'Alger, Bureau d'étude: CNERU février 2009
102. MISSOUM S. Alger à l'époque Ottomane. La médina et la maison traditionnelle. Ed Inas. Alger 2003.
103. MONJO-CARRIO Juan, le diagnostic dans la restauration » les études pathologiques, à l'EPAU, Alger, janvier 2011.
104. MONTON Joaquin. Application de la photographie digitale .Faire le relevé du bâti ancien in publication, Méthode RéhabiMed. Architecture traditionnelle méditerranéenne, juin 2007.
105. MUCH, les règles parasismiques Algériennes .R.P.A 99 addenda 2003. Ed CGS .Alger.
106. MORARU D-Stefan, L'humidité dans les bâtiments causes, effets, remèdes, Bucarest, 1984.
107. MUTIN Georges, 1995: « Une société en mutation », in *Géographie Universelle*, Livre : Afrique du Nord, Moyen Orient, Monde Indien, Belin Reclus, Montpellier, France.
108. NACIRI Mohamed « La médina de Fès : trame urbaine en impasses et impasse de la planification urbaine », Présent et avenir des médinas de Marrakech à Alep. Fascicules de recherches n°10- 11. Tours 1982.
109. NATTERER Julius, Traité de génie civil, construction en bois, matériaux, technologie et dimensionnement, presse polytechnique et universitaire Romande, Lausanne 2004.
110. OLIVIER Emile professeur technique du bâtiment, des méthodes Les Maçonneries, technologies de construction, tome II, 5<sup>e</sup> Edition revue, Technique et Document Lavoisier, paris 1990.
111. OLIVIER M. « Restauration des structures en terre crue en fonction de leur technologie de construction » ; Laboratoire geomateriaux de L'ENTP E. E.P du CNRS n° J 0160.
112. OLIVIER M. Laboratoire géométraux de L'ENTP E. E.P du CNRS n° J 0160 « Restauration des structures en fonction de leur technologie de construction ».
113. Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP).Code de bonne pratique .Démolition/reprise en sous œuvre des fondations en réhabilitation. Juin 1997.
114. OUARGUELI N., « Les villas fahs d'Alger.»Mémoire de magistère .EPAU. Alger.

115. PANERAI Philippe, DEPAULE Jean-Charles et DEMORGON Marcelle *Analyse urbaine*. Ed Parenthèses, Marseille, 2001.
116. PELLIZZER et SABATINI, 1976; Amoroso et Fassina, 1983; Karpuz et Pasame thoughtlou 1992;
117. PERRET J, Guide de la maintenance des bâtiments, Ed le moniteur, Paris ,1995.
118. PERRET P.: Contribution à l'étude de la stabilisation des sols fins à la chaux : étude globale du phénomène et applications. Thèse docteur-ingénieur-INSA de Rennes.1982.
119. PHILLIPON J, (La dégradation de la pierre), Institut de formation des restaurateurs d'œuvre d'art (ENP-IFROA) France1997.
120. PIQUEMAL M. «Droit des servitudes administratives», Edition BERGER-LEVRAULT, collection de l'administration nouvelle décembre 1981.
121. POCHON J, (facteurs biologiques de l'altération des pierres), Paris, 1982.
122. PRESERVATION et mise en valeur des monuments et sites historiques –Cours de post-graduation de l'école polytechnique d'Architecture et d'Urbanisme EPAU-Alger « ALGERIE PERSPECTIVES DE LA RECUPERATION »1993 Ed du CENTRO ANALISI SOCIALE PROGETTI s.r.l Rome Via Flaminia.
123. PULIKOWSKI A., Citadelle d'Alger, 1980, Dossier PKZ
124. « Patrimoine et développement Durable dans les villes historiques du Maghreb contemporain enjeux diagnostics et recommandations », Bureau de L'UNESCO à Rabat. [http://www.unesco.coma/IMG/pdf\\_guide.pdf](http://www.unesco.coma/IMG/pdf_guide.pdf).
125. R.COLLOMBET; l'humidité des bâtiments anciens, éditions du Moniteur, Paris, 1985.
126. RAUTUREAU M, PIERRE G, HARTMANN C. (Monuments en tuffeau) guide pour la restauration et l'entretien Université d'Orléans 2000.
127. RAVEREAU André : «La casbah d'Alger, et le site créa la ville », Ed Sindbad, Paris, 1989.
128. RAYMOND A., Les grandes villes arabes à l'époque ottomane .Ed Sindbad Paris, 1985.
129. REHABIMED .Bulletin trimestriel du projet pour promouvoir la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Avril 2006.
130. REVUE « Vie des villes » in « Les techniques constructives Sismo-résistantes dans la casbah d'Alger ».
131. Revue Africaine ,LXVI(1925),f.66,p 472 et F.CRESTI ,situation et transformation urbaine d'Alger au XVI e siècle d'après les descriptions littéraire et iconographie de la ville ,en sciences sociales panorama,1985,f.10.
132. REVUE technique du bâtiment et des constructions industrielles N° 201 RICHA M.:« les références générales de la restauration » RILEM, Altération et protection des Monuments en pierre .Actes du Symposium International .Colloque UNESCO. Bulletin RILEM 13, no75, Paris, 5-9 juin 1978.
133. ROUGER E., Du principe d'analyse stratigraphique à l'archéologie d'élévation. Réflexion et méthode dans Archéologie Médiévale. Paris 1998.
134. S.CHANING, la chirurgie des structures, réhabilitation structure enveloppe. Centre d'assistance technique et de Documentation (CATED).1993.
135. SAINT AUBIN J, Le relevé et la représentation de l'architecture .Relevés, dessins et Photographies, Documents et méthodes n° 2, Paris, Inventaire général des monuments et des richesses artistiques de la France, 1992.
136. SHAW Thomas, Voyage dans la régence d'Alger au XVIII<sup>ème</sup> siècle, traduit de l'anglais par E .McCarthy (1830) Ed grand Alger Livres Alger.
137. SIGNALES Pierre, Sous la direction de Karim mechta, Maghreb architecture et urbanisme, patrimoine, tradition et modernité. éditions PUBLISUD, Paris.

138. SIMON N., BERRAND E, rapport sur l'amélioration de l'habitat ancien, Paris 1995
139. SOUKANE S. Préservation du patrimoine colonial (habitat) du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation .Mémoire de Magister, sous la direction de Mr DAHLI M .UMMTO, mai 2010.
140. TALOBRE.J.A, La mécanique des roches et ses applications, 3<sup>ème</sup> édition, Paris, 1967.
141. TEBBAL M.,BELAZOUGUI MM, . FARSI M N. et ALAYAT H, Catalogue des méthodes de réparation et de renforcement des ouvrages, centre national de recherche appliquée en génie parasismique (C.G.S), Ministère de l'équipement ,Alger.2<sup>ème</sup> semestre 1992.
142. PIGNAL B, Terre crue, technique de construction et de restauration, Ed EyrollesParis 2005.
143. TORRACA Giorgio .Matériaux de construction poreux, ICCROM, Rome, 1986.
144. TOUARIGT A , influence du contexte d'édification sur la production architecturale palatine à Alger vers la fin de la période ottomane-Cas de dar Moustapha pacha-Mémoire de magister, sous la direction de Mr KHELIFA à.,EPAU,ALGER ,Avril 2002.
145. TRAVAUX établis par l'Atelier Casbah 1980, « projet de valorisation de la casbah d'Alger. Plan d'aménagement préliminaire Ed Ministère de l'habitat et de la construction Sous l'égide de l'UNESCO durant les années 1980.
146. Université de Colombie britannique (UBC).fiche techniques sur la protection du bois : causes et conséquences.2002, Forintek Canada corp.
147. VALLIERE G, Le ravalement de façade mode d'emploi/nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes, Eyrolles, 1998.
148. VASCO F, Pollution atmosphérique et altération de la pierre, In la dégradation et la conservation de la pierre UNESCO, Venise, 1988.
149. Ville d'hier, ville d'aujourd'hui en Europe », Entretiens du patrimoine, 24,25 et 26 janvier 2000 théâtre National de Chaillot, synthèse de la communication d'Alexandre Melissinos (architecte-urbaniste).[http://www.culture.gouv.fr/culture/actualités/entretiens 2001/entretiens/synthese.htm](http://www.culture.gouv.fr/culture/actualités/entretiens%2001/entretiens/synthese.htm).
150. VIROLLEAUD F. Le ravalement: guide technique, réglementaire et juridique. Le Moniteur.1990.
151. VIROLLEAUD F. Le ravalement : Guide technique, réglementaire et juridique. Le moniteur 1990.
152. WATKISS P, EYRE N, HOLLAND M, RABL A et SHORT N (Effets de la pollution atmosphériques sur les matériaux de construction) AEA Technology, UK, Janvier 2001.
153. ZELTAOUI-leger Jodelle : « l'implication des habitants dans des microprojets urbains : enjeux politiques et propositions pratique ».
154. ZERKAKH Abdelwahab. Evaluation critique sur l'utilisation du béton armé dans la restauration des édifices anciens.les cahiers de l'EPAU .n°5/6.octobre 1996.