

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET  
DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOD MAMMARI DE TIZI-OUZOU  
FACULTE DU GENIE DE LA CONSTRUCTION  
DEPARTEMENT D'ARCHITECTURE



**MEMOIRE DE MAGISTER EN ARCHITECTURE**

*Option : Architecture et Développement Durable*

**SUR LE THEME :**

**Préservation du patrimoine colonial (habitat) du 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup>  
siècle : Présentation d'un guide technique de réhabilitation.**

**Présenté par :**

**M<sup>elle</sup> Soukane Samira**

Devant le jury composé de :

M <sub>me</sub> Bouzelha Karima	M.C, U.M.M.T.O.	Présidente
M <sup>r</sup> Dahli Mohamed	M.C, U.M.M.T.O.	Rapporteur.
M <sup>r</sup> Ait-Aider Hacène	M.C, U.M.M.T.O.	Examineur
M <sub>me</sub> Bensalem Samia	Chargée de recherche U.M.M.T.O.	Examinatrice
M <sup>r</sup> Zekagh Wahab	Directeur .O.N.G.E.B.C.	Examineur

*Mai 2010.*

# ***REMERCIEMENTS***

---

Je voudrai exprimer mes remerciements les plus sincères à mon encadreur, M<sup>r</sup> Dahli Mohamed Maître de Conférences, pour ses conseils, son soutien et sa disponibilité tout au long de la réalisation de mon travail de recherche et sans oublier les moments qu'il m'a accordé de son temps pour le travail de terrain.

Je tiens à remercier en particulier Mr Ait-Aider Hacène d'avoir accepté la présidence du jury, Mr Zekagh Wahab, Mme Bensalem Samia et Mme Bouzelha Karima. Qui ont accepté la lourde tâche d'être examinateurs de mon travail de recherche.

Je souhaite aussi remercier mon enseignant de méthodologie de recherche Mr Madoui Mohamed, enseignant au Conservatoire National des Arts et Métiers de Paris CNAM (France), d'avoir contribué à la réalisation de mon stage de courte durée pour l'année 2009 au CNAM.

Mes sincères remerciements sont à l'adresse de Mr Toubal Ramdane et de Mme Baloul Nadia pour m'avoir soutenu et encourager dans la concrétisation de ce mémoire de Magister.

J'adresse aussi mes remerciements au personnel de notre bibliothèque du département d'architecture en l'occurrence au chef de service fond documentaire Ahmed Yahia Salim sans oublier Mesbah Said pour leur assistance dans la collecte de différents documents en relation avec mon travail de recherche.

Mes gratitudes sont également destinées à M<sup>r</sup> Abad Sofiane pour son soutien et ses encouragements tout au long de la période de préparation de ce travail, et avoir mis à ma disposition des documents et photos en relation étroite avec le patrimoine 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup>.

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

Pour finir mes sincères remerciements sont adressés aux membres de ma famille en particulier mes parents qui par leurs sacrifices depuis toujours ainsi que leur soutien et encouragement ce travail n'aurait jamais vu le jour.

## Résumé

Le patrimoine architectural du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle dit colonial, mal connu et non reconnu, occupe aujourd'hui une place importante dans le parc national du logement. Il est clair que sa mise à l'écart ne pourra que renforcer sa dégradation et par conséquent la perte des valeurs qu'il représente. Il est important de souligner que l'ensemble de ce parc immobilier, représentant un patrimoine d'une valeur inestimable, se trouve actuellement dans un état de dégradation alarmant nécessitant une intervention (réhabilitation, restauration...) urgente de la part des pouvoirs publics. Cet état vétuste de ce cadre bâti est essentiellement dû à l'action conjuguée de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer l'action du milieu environnemental, les secousses sismiques, l'absence d'entretien, les contraintes sociales (densité d'occupation), l'inexistence d'instruments adaptés pour mener des opérations de réhabilitation et de conservation, entre autre un guide technique de réhabilitation. Les quelques travaux d'entretien, menés jusque là, se concentrent généralement sur des opérations de badigeonnages des façades dissimulant à cet effet les véritables pathologies que connaît ce patrimoine.

L'objectif principal de notre travail de recherche consiste à présenter un guide technique de réhabilitation du parc bâti (habitat) de la période coloniale du 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup>. Intervenir sur un édifice patrimonial revient impérativement aux étapes du diagnostic et de l'intervention, la connaissance et la maîtrise des différentes typologies est alors principalement nécessaire. Le repérage des différentes typologies et pathologies s'est effectué non seulement sur la base d'un travail documentaire, qui s'est basé sur la revue Chantier et différents guides de réhabilitation, mais essentiellement sur un travail de terrain, à travers les différents sites où des opérations de réhabilitation, de restauration ou de démolition ont été entreprises. La maîtrise des typologies et pathologies s'avère primordiale pour la présentation de remèdes et de solutions de réhabilitation.

**Mots- clés :** Habitat, patrimoine architectural, colonial, typologies structurelles, pathologies, diagnostic, réhabilitation, guide technique.

## **Abstract**

The architectural heritage of the 19th and 20th century colonial say, relatively unknown and unrecognized, now occupies an important place in the national park housing. It is clear that the shelving can only enhance its degradation and consequent loss of values it represents. It is important to stress that this whole housing stock, representing a heritage of inestimable value, is currently in a state of alarming deterioration requiring intervention (rehabilitation, restoration ...) elective public authorities. The dilapidated state of the built environment is mainly due to the combined action of several factors among which include the action of environmental media, seismic disturbances, lack of maintenance, social constraints (stocking rate) The lack of appropriate tools for conducting operations rehabilitation and conservation, among other things a technical guide for rehabilitation. The few works maintains, led so far, tend to focus on operations swabbing facades hiding the real effect in this disease that knows this heritage. The main objective of our research is to present a technical guide to rehabilitation of the park buildings (housing) of the colonial period of the 19th 20th. Intervening in a heritage building is essential to step back from diagnosis and intervention, knowledge and mastery of different types is then mostly required. The identification of different types and conditions is carried out not only on the basis of documentary work, which was based on Builder magazine and various guides for rehabilitation, but primarily on field work, through the various sites where operations of rehabilitation, restoration or demolition have been undertaken. Control of the types and conditions is crucial for the presentation of remedies and remedial solutions.

**Keywords:** Habitat, architectural, colonial, structural types, diseases, diagnosis, rehabilitation, technical guide.

## ملخص

ان التراث المعماري للقرنين 19 و 20 الذي سمي ب"المعمار الاستعماري" كان غير معروف و غير معترف به, الا انه يحتل اليوم مكانة هامة في الحضيرة الوطنية للسكن فمن الواضح ان الاستمرار في اهماله سيؤدي حتما الى تدهوره و بالتالي فقدانه للقيم التي يمثلها, من المهم الاشارة الى ان هذه الحضيرة العقارية التي تمثل ارثا ذو قيمة لا تقدر اضحت اليوم في حالة منحطة و مشوهة, مما يتطلب التدخل الفوري من طرف السلطات العامة (لإعادة التاهيل والترميم).

ان هذه الحالة المزرية التي تعاني منها هذه الحضيرة راجع اساسا الى عدة عوامل, منها العامل السيء الهزات الارتدادية, انعدام الصيانة, الضغوط الاجتماعية و انعدام الوسائل اللازمة لاجراء عمليات اعادة التاهيل و الصيانة و هي دليل تقني لإعادة التاهيل. و المجهودات القليلة المقدمة لحد الان تتركز في العموم على عمليات تنظيف الواجهات مخفية بذلك المشاكل الحقيقية التي يعاني منها هذا التراث.

ان الهدف الرئيسي لهذا البحث يتمثل في تقديم دليل تقني لإعادة تاهيل البنايات القديمة للحضيرة السكنية للقرنين 19 و 20 , التحدث عن البنايات التراثية يتطلب اساسا الرجوع الى مراحل التشخيص و التدخل. المعرفة و اتقان مختلف نماذج البنايات, ان مرحلة هامة. معاينة مختلف النماذج و المشاكل لم يتم فقط على اساس العمل الوثائقي الذي استند على مجلة « chantier » و مختلف الدلائل التقنية, انما ارتكز اساسا على العمل الميداني عبر مختلف مواقع عمليات التاهيل و الترميم.

و بهذا ظهر ان معرفة النماذج البنائية و المشاكل التي تعاني منها مهم لتقييم الحلول و العلاج المناسب لإعادة التاهيل.

**كلمات مفتاح:** مسكن, الارث معماري, استعماري, النماذج البنائية, تشخيصي, المشاكل, اعادة التاهيل, دليل تقني.

## LISTE DES PHOTOS

<b>Photo 2.1</b> : Plancher à ossature bois; cas des poutres encastré dans le mur .....	26
<b>Photo 2.2</b> : Faux-plafond en plâtre avec lattis .....	28
<b>Photo 2.3</b> : Plancher à ossature bois cas de poutre principale et secondaire .....	29
<b>Photo 2.4</b> : Remplissage en brique de terre cuite hourdé avec de la terre crue.....	29
<b>Photo 2.5</b> : Plancher à ossature métallique .....	30
<b>Photo 2.6</b> : Brique creuse posé à plat.....	31
<b>Photo 2.7</b> : Charpente traditionnelle en bois .....	32
<b>Photo 2. 8</b> : Mur porteur en maçonnerie en brique de terre cuite (plancher refait) .....	33
<b>Photo 2.9</b> : Mur homogène en maçonnerie de pierre .....	34
<b>Photo 2.10</b> : Mur composite en moellon .....	34
<b>Photo 2.11</b> : Chainages aux droits des angles .....	35
<b>Photo 2.12</b> : Escalier en bois .....	36
<b>Photo 2.13</b> : Revêtement de la face inférieure de l'escalier en bois .....	36
<b>Photo 2.14</b> : Revêtement des cages d'escaliers .....	41
<b>Photo 2.15</b> : Remplissage de façade en panneaux préfabriqués en béton armé .....	41
<b>Photo 2.16</b> : Linteau en bois .....	50
<b>Photo 2.17</b> : Linteau en forme d'arc .....	51
<b>Photo 2.18</b> : Façade richement décorée .....	51
<b>Photo 2.19</b> : Entrée d'un immeuble .....	51
<b>Photo 2.20</b> : Entrée d'un immeuble .....	51
<b>Photo 2.21</b> : Mouluration en plâtre sur le long de la façade .....	51
<b>Photo 2.22</b> : Utilisation large de la ferronnerie en façade .....	52
<b>Photo 2.23</b> : Profusion d'éléments en saillis .....	52
<b>Photo 2.24</b> : Revêtement au sol en mosaïque .....	52
<b>Photo 2.25</b> : Revêtement mural en marbre .....	52
<b>Photo 3.1</b> : Présence de moisissure à la surface de la poutre en bois .....	55
<b>Photo 3.2</b> : Fluage des poutres dues au poids du plancher .....	56
<b>Photo 3.3</b> : Fissure au niveau de l'assemblage .....	56
<b>Photo 3.4</b> : Effritement et écaillage des enduits .....	58

<b>Photo 3.5</b> : Prolifération de végétation engendrant la fragilisation des murs.....	59
<b>Photo 3.6</b> : Prolifération des algues .....	59
<b>Photo 3.7</b> : Fissuration du au droit des angles .....	64
<b>Photo 3.8</b> : Fissures .....	71
<b>Photo 3.9</b> : Corrosion des armatures.....	72
<b>Photo 3.10</b> : Non respect de la couche protectrice des armatures .....	76
<b>Photo 3.11</b> : Effet de cure après la pluie.....	76
<b>Photo 3.12.</b> Corrosion de rivet.....	.79
<b>Photo 3.13.</b> Rupture de rivet .....	80
<b>Photo 3.14.</b> Défaut de pose de rivet.....	.82
<b>Photo 3.15.</b> Fissure au droit des trous de rivet.....	82
<b>Photo 3.16</b> : Dégradation des évacuations d'eau pluviale .....	.84
<b>Photo 3.17</b> : Encrassement des façades .....	85
<b>Photo 3.18.</b> Entartrement des évacuations d'eau pluviale .....	..86
<b>Photo 4.1</b> : Réalisation de tirant d'ancrage à la basilique notre dame d'Afrique .....	94
<b>Photo 4.2</b> : Appareil de mise en œuvre du sablage hydropneumatique.....	144
<b>Photo 4.3</b> : Principe de pose du siphon atmosphérique .....	148

### Liste des tableaux

<b>Tableau 3.1</b> : Les différents types d'environnements atmosphériques.....	65
<b>Tableau 3.2</b> : Description d'environnements types correspondant aux catégories de corrosivité .....	66
<b>Tableau 3.3</b> : Correspondance entre les catégories de corrosivité et les types d'atmosphères en climat tempéré pour différents systèmes de corrosion .....	67
<b>Tableau 3.4</b> : Classification de l'agressivité de solutions et de sols vis-à-vis des bétons(d'après recommandations AFNOR P 18.011).....	67

### Liste des figures

<b>Figure 1.1</b> : Schéma récapitulatif de la phase du pré-diagnostic .....	15
<b>Figure 1.2</b> : Schéma récapitulatif de la phase des études pluridisciplinaires .....	.21
<b>Figure 1.3</b> : Schéma récapitulatif de la phase du diagnostic .....	.22
<b>Figure 2.1</b> : Fondation en maçonnerie de pierre.....	26

<b>Figure 2.2 :</b> Plancher à ossature en bois .....	27
<b>Figure 2.3 :</b> Plancher en bois avec poutre principale et secondaire .....	28
<b>Figure 2.4 :</b> Plancher à ossature métallique-mur porteur .....	29
<b>Figure 2.5 :</b> Plancher en voutain avec brique pleine .....	30
<b>Figure 2.6 :</b> Plancher en voutain avec brique creuse .....	30
<b>Figure 2.7 :</b> Plancher en voutain avec brique creuse .....	31
<b>Figure 2.8 :</b> Plancher avec prédalle en béton armé .....	31
<b>Figure 2.9 :</b> Plancher à poutrelle en béton armé encastrée dans le mur .....	32
<b>Figure 2.10 :</b> Poutrelle à treillis .....	37
<b>Figure 2.11 :</b> Poutrelle en T renversé .....	38
<b>Figure 2.12 :</b> Plancher à poutrelles préfabriqué sur chaînage .....	39
<b>Figure 2.13 :</b> Système d'assemblage structure métallique .....	43
<b>Figure 2.14 :</b> Liaison poteau-fondation .....	44
<b>Figure 2.15 :</b> Liaison poteau-poutre par boulonnage .....	45
<b>Figure 2.16 :</b> Liaison poteau-poutre par encastrement .....	45
<b>Figure 2.17 :</b> Plancher mixte fer-béton .....	47
<b>Figure 2.18 :</b> Cycle de transformation du calcaire en chaux et de la chaux en calcaire en présence d'eau et de gaz carbonique .....	48
<b>Figure 3.1 :</b> Formation de l'alcali-réaction .....	70
<b>Figure 3.2 :</b> Dispositifs de réparation possibles de la RAS .....	71
<b>Figure 3.3 :</b> Corrosion de l'armature et apparition de la rouille .....	72
<b>Figure 3.4 :</b> métabolisme des bactéries sulfato-réductrices (BSR) .....	73
<b>Figure 3.5.</b> Tête male pincée .....	82
<b>Figure 3.6.</b> Tête excentrée .....	82
<b>Figure 3.7.</b> Tige trop courte .....	82
<b>Figure 3.8.</b> Tige trop longue .....	82
<b>Figure 4.1 :</b> Amorce de mur en sous œuvre .....	85
<b>Figure 4.3 :</b> Cas de mur porteur avec la même fondation .....	87
<b>Figure 4.2 :</b> Cas de mur porteur avec fondation séparées .....	87
<b>Figure 4.4 :</b> Blindage d'un mur en reprise en sous œuvre .....	88

<b>Figure 4.5 :</b> Schéma de principe de reprise en sous- œuvre par puits alterné .....	88
<b>Figure 4.6 :</b> 1 <sup>ère</sup> phase de reprise en sous œuvre.....	88
<b>Figure 4.7 :</b> 2 <sup>ème</sup> phase de reprise en sous œuvre .....	88
<b>Figure 4.8 :</b> Pas d'augmentation de la surface de la semelle .....	90
<b>Figure 4.9 :</b> Augmentation de la surface de la semelle avec surépaisseur .....	90
<b>Figure 4.10 :</b> Elargissement de la semelle .....	90
<b>Figure 4.10 :</b> Élargissement de la semelle .....	90
<b>Figure 4.11 :</b> Reprises-en sous œuvre d'un mur.....	91
<b>Figure 4.12 :</b> Principe de réalisation du micro pieux.....	92
<b>Figure 4.13 :</b> Différentes phase d'exécution ; pieux forés par vérin .....	93
<b>Figure 4.1 :</b> Pieux forés encadrant le mur .....	93
<b>Figure 4.15 :</b> Renforcement d'un mur de soutènement .....	94
<b>Figure 4.16 :</b> Renforcement d'un radier .....	94
<b>Figure 4.17 :</b> Mise en œuvre d'un tirant d'ancrage .....	95
<b>Figure 4.18 :</b> Injection en descendant .....	99
<b>Figure 4.19 :</b> Principe de l'injection de claquage – séquence des opérations .....	101
<b>Figure 4.20 :</b> Mise en œuvre du compactage statique horizontale .....	103
<b>Figure4. 21 :</b> Principe du jet grouting –matériel et mise en œuvre .....	106
<b>Figure 4.22 :</b> Jet simple .....	106
<b>Figure 4.23 :</b> Jet double .....	107
<b>Figure 4.24 :</b> Jet triple .....	107
<b>Figure 4.25 :</b> Réparation d'un plancher en bois par soutien des poutres aux appuis .....	109
<b>Figure 4.26 :</b> Réparations d'un appui de solive .....	109
<b>Figure4. 27 :</b> Réparations d'un appui de solive.....	110
<b>Figure 4.28 :</b> Moisage de solive en bois par profilés U ou C pour un renforcement de la capacité portante .....	110
<b>Figure 4.29 :</b> Renforcement par substitution des solives porteuses en bois par des solives métalliques .....	111
<b>Figure 4.30 :</b> Renfort par poutre moisante I, H .....	111
<b>Figure 4.31 :</b> Renfort en dessous par profilés I, U ou H.....	112

<b>Figure 4.32</b> : Renfort au dessus par suspente accrochée à des profils I ou H.	
	perpendiculaires 112
<b>Figure 4.33</b> : Ecorché d'un plancher à coffrage perdu sur bac acier.....	113
<b>Figure 4.34</b> : Pose de plancher collaborant sur une poutre ancienne (IPN) .....	114
<b>Figure 4.35</b> : Ajout de plats soudés, semelles et âmes .....	115
<b>Figure 4.36</b> : Ajout d'un profil sous la semelle inférieure .....	115
<b>Figure 4.37</b> : Ajout de plats soudés sur les semelles .....	115
<b>Figure 4.38</b> : Armature supplémentaire en engravure (celle-ci pouvant être en sous face) .....	116
<b>Figure 4.39</b> : Armatures supplémentaire en surépaisseur d'une poutre .....	117
<b>Figure 4.40</b> : Réparation au moyen de béton projeté .....	118
<b>Figure 4.41</b> : Surépaisseur de dalle .....	119
<b>Figure 4.42</b> : Renforcement de poutre .....	120
	<b>Figure.4.43</b> : Renfort moisés par profilé u ou c 121
<b>Figure 4.45</b> : Collage de tôles minces (procédé l'Hermitte) .....	122
<b>Figure 4.44</b> : Renforts par encaissement de profilés I ou H .....	122
<b>Figure 4.46</b> : Injection de résine par gravité .....	125
<b>Figure 4.47</b> : Reprise de fissure par agrafes .....	127
	<b>Figure 4.48</b> : Consolidation par grillage armé 128
<b>Figure 4.49</b> : Renforcement de poteau par chemisage complet.....	129
	<b>Figure 4.50</b> : Détails de mise en place d'évents collés .131
<b>Figure.4.51</b> : Principe d'injection avec des injecteurs forés .....	132
<b>Figure.4.52</b> : Calfeutrement avec un mortier ou un mastic d'une fissure échancrée en rectangle .....	135
<b>Figure 4.53</b> : Calfeutrement avec un mortier ou un mastic d'une fissure échancrée en V .....	136
<b>Figure 4.54</b> : Solin de calfeutrement mis en place après une injection de blocage.....	136
	<b>Figure 4.55</b> : Solin d'angle avec revêtement intérieur 136
<b>Figure 4.56</b> : Calfeutrement d'une fissure d'angle du coté des venues d'eau .....	137
<b>Figure 4.57</b> : Calfeutrement d'une fissure d'angle .....	137

<b>Figure 4.58</b> : Purge des débris contenus dans une fissure puis rebouchage et pontage .....	..139
<b>Figure.4.59</b> : Schéma de réalisation d'un pontage en mortier armé.....	.....140
<b>Figure 4.60</b> : Les différentes phases de pose d'une feuille .....	.141
<b>Figure 4.62</b> : Création de coupure étanche .....	...147
<b>Figure 4.63</b> : Barrière verticale étanche.....	....148

## SOMMAIRE

Remerciements.....	I
Résumé.....	II
Abstract .....	III
⋮~" .....	IV
Liste des photos.....	V
Liste des tableaux.....	VI
Liste des figures .....	VI

**PRESENTATION DU GUIDE TECHNIQUE DE REHABILITATION**  
**INTRODUCTION GENERALE .....08**

**PREMIER CHAPITRE : *METHODOLOGIE D'UNE OPERATION DE REHABILITATION***

**I. Langage technique des opérations d'intervention sur un patrimoine**

<b>Introduction</b> .....	10
<b>I.1.Réhabilitation</b> .....	10
<b>I.1.1.Réhabilitation légère</b> .....	11
<b>I.1.2.Réhabilitation moyenne</b> .....	11
<b>I.1.3. Réhabilitation lourde</b> .....	11
<b>I.1.4. Réhabilitation exceptionnelle</b> .....	12
<b>I.2. Entretien</b> .....	12
<b>I.3. Préservation</b> .....	12
<b>I.4 Restauration</b> .....	12
<b>I.5. Mise en valeur</b> .....	13
<b>I.6. Rénovation</b> .....	13
<b>I.7. Intégration dans la vie contemporaine</b> .....	13

**II. Principes méthodologiques d'une opération de réhabilitation**

<b>II.1. Pré-diagnostic</b> .....	14
<b>II.1.1. Rapport du pré-diagnostic</b> .....	14
<b>II.2. Etudes pluridisciplinaires (analyse)</b> .....	16
<b>II.2.1. Domaine historique (Etude historique et documentaire)</b> .....	16
<b>II.2.2. Domaine social (L'étude socio-économique)</b> .....	17
<b>II.2.3. Domaine architectural</b> .....	17
<b>II.2.3.1. Relevé graphique</b> .....	17
<b>II.2.3.2. Relevé architectural</b> .....	17
<b>II.2.3.3. Relevé photographique</b> .....	18

<b>II.2.4. Domaine constructif</b> .....	18
<b>II.2.4.1. Relevé des désordres</b> .....	19
<b>II.2.4.2. Relevé des matériaux utilisés et les techniques de leur mise en œuvre</b>	19
<b>II.2.4.3. Relevé des différentes installations</b> .....	..20
<b>II.2.4.4. Relevé des abords de la construction</b> .....	..20
<b>II.2.4.5. Inspection des désordres</b> .....	
<b>II.3. Diagnostic</b> .....	..22
<b>Conclusion</b> .....	..23

## **DEUXIEME CHAPITRE : *TYPOLOGIES STRUCTURELLES ET ELEMENTS ARCHITECTURAUX***

<b>Introduction</b> .....	24
<b>I Différentes typologies structurelles du patrimoine colonial 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup></b> .....	25
<b>I.1. Typologies en maçonnerie de pierre ou de brique en terre cuite avec planchers en bois et/ou en voutains</b> .....	25
<b>I.1.1. Structures horizontales</b> .....	..25
<b>I.1.1.1. Fondations en maçonnerie</b> .....	..25
<b>I.1.1.2. Planchers</b> .....	..26
<b>I.1.1.2.1. Planchers à ossature bois</b> .....	..26
<b>I.1.1.2.2. Planchers à ossature métallique (à voutain)</b> .....	29
<b>I.1.1.2.3. Plancher à poutrelle préfabriquée en béton encastrée dans le mur</b> .....	..32
<b>I.1.1.3. Couvertures</b> .....	..32
<b>I.1.1.3.1. Charpente traditionnelle en bois</b> .....	32
<b>I.1.2. Structures verticales</b> .....	..33
<b>I.1.2.1. Murs porteurs en brique de terre cuite</b> .....	33
<b>I.1.2.2. Murs porteurs en maçonnerie de pierre</b> .....	..34
<b>I.1.2.3. Circulation verticale (escaliers)</b> .....	..36

<b>I.2. Typologie structurelle en béton armé</b> .....	.36
<b>I.2.1. Structures horizontales</b> .....	.36
<b>I.2.1.1. Fondations</b> .....	36
<b>I.2.1.2. Poutres</b> .....	..37
<b>I.2.1.3. Poutrelles</b> .....	37
<b>I.2.1.3.1. Type de poutrelles</b> .....	37
<b>I.2.1.4. Planchers</b> .....	38
<b>I.2.1.4.1. Planchers-dalles</b> .....	38
<b>I.2.1.4.2. Plancher à poutrelles préfabriquées avec chainage</b> .....	...39
<b>I.2.1.4.3. Plancher terrasse</b> .....	<u>9</u>
<b>I.2.1.5. Circulation verticale (escaliers)</b> .....	. ....40
<b>I.2.2. Structures verticales</b> .....	<u>4</u>
<b>I.2.2.1. Mur porteur en béton armé (les voiles)</b> .....	41
<b>I.2.2.2. Poteaux</b> .....	42
<b>I.3. Typologie structure métallique</b> .....	42
<b>I.3.1. Mode d'assemblage</b> .....	42
<b>I.3.1.1. Assemblages mécaniques</b> .....	42
<b>I.3.1.1.1. Les Rivets</b> .....	43
<b>I.3.1.1.2. Les Boulons</b> .....	43
<b>I.3.1.2. Assemblages adhérents ou cohésifs</b> .....	43
<b>I.3.1.2.1. Le Soudage</b> .....	43
<b>I.3.2. Eléments et système constructif</b> .....	44
<b>I.3.2.1. Poteaux</b> .....	44
<b>I.3.2.1.1. Liaison poteau-fondation</b> .....	44
<b>I.3.2.1.2. Liaison poteau-poutre</b> .....	45

<b>I.3.2.2.</b> Poutres.....	.45
<b>I.3.2.2.1.</b> Poutres à âme pleine .....	
<b>I.3.2.2.2.</b> Poutres à échelle .....	46
<b>I.3.2.2.3.</b> Liaison d'une poutre métallique avec une paroi en béton .....	46
<b>I.3.2.3.</b> Planchers .....	
<b>II. Eléments de l'architecture du patrimoine de la fin du 19<sup>ème</sup> et début du 20<sup>ème</sup> siècle .....</b>	<b>.47</b>
<b>II.1. Revêtements.....</b>	
<b>II.1.1.</b> Enduits extérieur .....	47
<b>II.1.1.1.</b> Enduits à base de chaux .....	47
<b>II.1.1.1.1.</b> Chaux aérienne .....	..47
<b>II.1.1.1.2.</b> Chaux hydraulique.....	48
<b>II.1.1.2.</b> Enduits ciment .....	..49
<b>II.1.2.</b> Enduits intérieurs .....	
<b>II.1.2.1.</b> Enduits à base de plâtre .....	
<b>II.2. Eléments de façade .....</b>	
<b>II.2.1.</b> Linteaux .....	49
<b>II.2.2.</b> Décor de façades .....	
<b>II.2.3.</b> Modénatures .....	
<b>II.2.4.</b> Eléments de ferronnerie en façade.....	..51
<b>II.2.5.</b> Eléments en saillies .....	52
<b>II.3. Ornements intérieurs .....</b>	
<b>Conclusions.....</b>	<b>.53</b>
<b>TROISIEME CHAPITRE : <i>PATHOLOGIES DES MATERIAUX ET STRUCTURES</i></b>	
<b>Introduction .....</b>	<b>54</b>
<b>I. Pathologie liées aux structures en bois .....</b>	<b>54</b>
Introduction .....	54

<b>I.1</b>	Pathologies d'origine biologique.....	.55
<b>I.2</b>	Pathologies d'origine mécanique .....	55
<b>I.2.1</b>	Sollicitation excessive du bois .....	55
<b>I.2.2</b>	Rupture des assemblages .....	<u>56</u>
<b>I.3</b>	Pathologies d'origine physique.....	<u>56</u>
<b>I.3.1</b>	Retrait du bois.....	56
<b>II.</b>	<b>Pathologie liées aux structures en maçonneries de pierre .....</b>	<b>57</b>
	Introduction .....	.57
<b>II.1</b>	Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité .....	57
<b>II.1.1</b>	Actions de l'eau .....	.57
<b>II.1.2</b>	Action du gel.....	.58
<b>II.1.3</b>	Action des algues et lichens .....	59
<b>II.2</b>	Dégradation de la pierre due à la pollution atmosphérique	
	et aux facteurs biologiques .....	<u>60</u>
<b>II.2.1</b>	Action de la pollution atmosphérique .....	..60
<b>II.2.2</b>	Modification des propriétés des parements en pierre calcaire .....	...60
<b>II.2.3</b>	Action des agents biologique	.61
<b>II.3</b>	Dégradation de la pierre due aux charges et aux tensions	
	mécaniques .....	.62
<b>II.3.1</b>	Action des charges.....	62
<b>II.3.1.1</b>	Jointoiement des blocs .....	62
<b>II.3.1.2</b>	Action de la température .....	62
<b>II.3.2</b>	Action mécanique .....	63
<b>II.3.2.1</b>	Fissuration des murs en maçonnerie .....	63

<b>II.3.2.2</b> Fissuration des murs résultant des déformations des planchers.....	..63
<b>II.3.2.3</b> Désordres résultant de l'interaction entre murs et charpentes .....	64
<b>III. Pathologies des structures en béton armé .....</b>	64
<b>Introduction .....</b>	..64
<b>III.1. Différentes actions de dégradation du béton arme.....</b>	68
<b>III.1.1. Actions chimiques.....</b>	..68
<b>III.1.1.1</b> Action de l'eau.....	.....68
<b>III.1.1.2</b> Action du gaz carbonique en présence d'eau (Phénomène de carbonatation) .....	69
<b>III.1.1.3</b> Action des sulfates .....	..69
<b>III.1.1.4</b> Action des sels alcalins .....	70
<b>III.1.1.5</b> Action des gaz en solution.....	71
<b>III.1.1.5.1.</b> Actions des chlorure .....	71
<b>III.1.1.5.2</b> Action de l'oxygène .....	72
<b>III.1.1.6</b> Action des sels gonflants .....	72
<b>III.1.1.7</b> Action bactériologique .....	..72
<b>III.1.2. Action physique .....</b>	..73
<b>III.1.2.1.</b> Action du gel/dégel .....	73
<b>III.1.2.2.</b> Le retrait .....	<u>73</u>
<b>III.1.2.2.1.</b> Retrait plastique .....	<u>74</u>
<b>III.1.2.2.2.</b> Retrait de séchage .....	<u>74</u>
<b>III.1.2.2.3.</b> Retrait thermique .....	<u>74</u>
<b>III.1.2.2.4.</b> Retrait endogène .....	<u>74</u>
<b>III.1.2.2.5.</b> Retrait de carbonatation .....	<u>75</u>
<b>III.1.3. Action mécanique .....</b>	..75
<b>III.1.3.1.</b> Action du séisme .....	.....75

<b>III.1.4. Causes amplifiant les actions de dégradation du béton arme .....</b>	<b>76</b>
<b>III.1.4.1. La formulation .....</b>	<b>76</b>
<b>III.1.4.2. La mise en œuvre .....</b>	<b>76</b>
<b>III.1.4.3. L'absence de cure .....</b>	<b>76</b>
<b>III.1.4.3.1. Pathologies liées à l'absence de cure .....</b>	<b>77</b>
<b>III.1.4.4. Absence de joints de dilatation .....</b>	<b>77</b>
<b>III.1.4.5. Désordres provoqués par les mouvements du sol d'assise .....</b>	<b>77</b>
<b>III.1.4.6. Charges supplémentaires .....</b>	<b>77</b>
<b>III.1.4.7. Incendie .....</b>	<b>78</b>
<b>IV. Pathologies des structures métalliques .....</b>	<b>78</b>
Introduction .....	48
<b>IV.1 Action chimique... .....</b>	<b>78</b>
<b>IV.1.1. Corrosion .....</b>	<b>78</b>
<b>IV.1.1.1. Corrosion des assemblages rivets.....</b>	<b>79</b>
<b>IV.1.1.2. Corrosion des assemblages boulonnés .....</b>	<b>79</b>
<b>IV.2.Action mécaniques .....</b>	<b>79</b>
<b>IV.2.1. Fatigue des assemblages.....</b>	<b>79</b>
<b>IV.2.2. Rupture des assemblages.....</b>	<b>80</b>
<b>IV.2.2.1. Rupture des rivets.....</b>	<b>80</b>
<b>IV.2.2.2. Rupture des boulons .....</b>	<b>81</b>
<b>IV.2.2.3. Déconsolidation des assemblages rivets.....</b>	<b>81</b>
<b>IV.2.2.4. Déconsolidation des assemblages boulonnés .....</b>	<b>81</b>
<b>IV.3. Causes amplifiants la dégradation des structures métallique.....</b>	<b>81</b>
<b>IV.3.1. Erreurs de mise en œuvre .....</b>	<b>81</b>
<b>IV.3.1.1. Défauts de pose des rivets .....</b>	<b>81</b>
<b>IV.3.1.2. Défauts de pose des boulons .....</b>	<b>82</b>
<b>IV.3.1.3. Défaut des soudures.....</b>	<b>83</b>
<b>IV.3.1.3.1. Classement des défauts dans les soudures par fusion des métaux.....</b>	<b>83</b>
<b>IV.4. Causes externes .....</b>	<b>84</b>

<b>V. Pathologie affectant l'enveloppe du bâtiment .....</b>	<b>84</b>
<b>V.1. Pathologie des parements de façade .....</b>	<b>84</b>
V.1.1. Salissures ayant pour origine la construction.....	84
V.1.2. Salissures dues à la pollution atmosphérique .....	85
V.1.3. Salissures due aux micro-organismes .....	85
V.2.....	D
égradation des menuiseries d'ouverture .....	86
V.3.....	D
égradation affectant le toit .....	86
V.3.1. Dégradation des solins de souche de cheminée .....	86
<b>Conclusions .....</b>	<b>87</b>

## **QUATRIEME CHAPITRE : METHODES ET TECHNIQUES DE REHABILITATION DES STRUCTURES**

Introduction .....	88
Réhabilitation des structures horizontales.....	89
<b>I. Réhabilitation des fondations .....</b>	<b>89</b>
Introduction.....	89
I.1. Études préalables aux travaux.....	89
<b>I.1.1. Sur la construction .....</b>	<b>89</b>
<b>I.1.2. Sur le terrain .....</b>	<b>90</b>
<b>I.2. Technique de consolidation.....</b>	<b>90</b>
<b>I.2.1. Reprises-en sous œuvre de réparation .....</b>	<b>90</b>
<b>I.2.1.1. Principes et objectifs .....</b>	<b>90</b>
<b>I.2.1.2. Reprises-en sous œuvre par puits alternés .....</b>	<b>92</b>
<b>I.2.1.3. Mode d'exécution d'un premier tronçon de mur.....</b>	<b>92</b>
<b>I.2.1.4. Reprises-en sous œuvre par puits alternés .....</b>	<b>94</b>
<b>I.2.1.5. Reprises-en sous œuvre par élargissement du mur porteur .....</b>	<b>95</b>
<b>I.2.2. Sous fondation par des micro-pieux .....</b>	<b>96</b>
<b>I.2.2.1. Domaine d'utilisation .....</b>	<b>97</b>

<b>I.2.2.2. Mise en œuvre .....</b>	<b>98</b>
-------------------------------------	-----------

<b>I.2.3.</b>	<b>Mise en place de tirants d’ancrages.....</b>	<b>100</b>
<b>I.2.3.1.</b>	<b>Mise en œuvre.....</b>	<b>101</b>
<b>I.2.3.2.</b>	<b>Spécifications des fournitures.....</b>	<b>102</b>
<b>I.2.3.3.</b>	<b>Protection contre la corrosion .....</b>	<b>102</b>
<b>I.2.4.</b>	<b>Traitement des sols par des procédés d’injection.....</b>	<b>103</b>
<b>I.2.4.1.</b>	<b>Principe et objectif de la technique .....</b>	<b>103</b>
<b>I.2.4.2.</b>	<b>Choix de la méthode .....</b>	<b>103</b>
<b>I.2.4.3.</b>	<b>Modes d’injection .....</b>	<b>104</b>
<b>I.2.4.3.1.</b>	<b>Injections classiques .....</b>	<b>104</b>
<b>I.2.4.3.1.1.</b>	<b>Forage .....</b>	<b>105</b>
<b>I.2.4.3.1.2.</b>	<b>Coulis d’injection .....</b>	<b>106</b>
<b>I.2.4.3.1.3.</b>	<b>Domaines d’utilisation de l’injection classique .....</b>	<b>106</b>
<b>I.2.4.3.2.</b>	<b>Injection de claquage .....</b>	<b>106</b>
<b>I.2.4.3.2.1.</b>	<b>Principe et objectif de la technique .....</b>	<b>107</b>
<b>I.2.4.3.2.2.</b>	<b>Matériel et la mise en œuvre .....</b>	<b>107</b>
<b>I.2.4.3.3.</b>	<b>Compactage statique horizontal ou Injection solide .....</b>	<b>108</b>
<b>I.2.4.3.3.1.</b>	<b>Principe .....</b>	<b>108</b>
<b>I.2.4.3.3.2.</b>	<b>Domaines d’application .....</b>	<b>108</b>
<b>I.2.4.3.3.3.</b>	<b>Matériel mise en œuvre .....</b>	<b>109</b>
<b>I.2.4.3.3.4.</b>	<b>Avantage et inconvénient de la méthode .....</b>	<b>110</b>
<b>I.2.4.3.4.</b>	<b>Jet grouting .....</b>	<b>110</b>
<b>I.2.4.3.4.1.</b>	<b>Principes et objectifs .....</b>	<b>110</b>
<b>I.2.4.3.4.2.</b>	<b>Matériel et mise en œuvre .....</b>	<b>111</b>
<b>I.2.4.3.4.3.</b>	<b>Mise en œuvre .....</b>	<b>111</b>
<b>I.2.4.3.4.4.</b>	<b>Principales méthodes d’injection .....</b>	<b>112</b>
<b>I.2.4.3.4.5.</b>	<b>Domaines d’utilisation du jet grouting.....</b>	<b>113</b>

<b>II. Réhabilitation des planchers .....</b>	<b>...114</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>..114</b>
<b>II.1. Réhabilitation des planchers en bois .....</b>	<b>114</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>..114</b>
<b>II.1.1. Réparation des appuis de solives .....</b>	<b>115</b>
<b>II.1.2. Consolidation de solives porteuses par adjonction de profilés métalliques en acier .....</b>	<b>..116</b>
<b>II.1.3. Consolidation de poutres (charpente) par adjonction de profils métalliques en acier .....</b>	<b>117</b>
<b>II.1.4. Renforcement de plancher en bois par pose d'une chape légère sur bac acier en coffrage perdu .....</b>	<b>..118</b>
<b>II.2. Réhabilitation des planchers en acier .....</b>	<b>119</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>...119</b>
<b>II.2.1. Pose d'un plancher collaborant sur une poutre ancienne (IPN) .....</b>	<b>..120</b>
<b>II.2.2. Consolidation des poutres en aciers .....</b>	<b>...121</b>
<b>II.3. Réhabilitation des plancher en béton armé.....</b>	<b>122</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>122</b>
<b>II.3.1. Adjonction d'armatures complémentaires .....</b>	<b>..122</b>
<b>II.3.2. Renforcement par béton projeté .....</b>	<b>..123</b>
<b>II.3.3. Renforcement de panneaux de hourdis .....</b>	<b>124</b>
<b>II.3.4. Renforcement des poutres .....</b>	<b>125</b>
<b>II.3.4.1. Adjonction d'armatures complémentaires .....</b>	<b>126</b>
<b>II.3.4.2. Adjonction de composants en acier .....</b>	<b>..127</b>
<b>II.3.5. Renforcement par fibre de Carbone .....</b>	<b>..128</b>

<b>II.4. Réhabilitation des structures (charpentes) métalliques .....</b>	<b>129</b>
<b>II.4.1. Réparation de fissure .....</b>	<b>....129</b>
<b>II.4.2. Remèdes aux jeux d'assemblages.....</b>	<b>129</b>
<b>II.4.3. Réparation des sections corrodées .....</b>	<b>.130</b>
<b>Réhabilitation des structures verticale .....</b>	<b>131</b>
<b>I. Réhabilitation des murs porteurs en maçonnerie de pierre.....</b>	<b>.131</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>131</b>
<b>I.1. Injection de coulis de liants hydrauliques .....</b>	<b>131</b>
<b>I.2. Injection de résines .....</b>	<b>132</b>
<b>I.3. Bouchage .....</b>	<b>133</b>
<b>I.4. Réfection des joints (rejointoiement) .....</b>	<b>.133</b>
<b>I.5. Remplacement des pierres altérées .....</b>	<b>134</b>
<b>I.6. Reprise des fissures par agrafes .....</b>	<b>135</b>
<b>I.7. Consolidation par grillage armé .....</b>	<b>135</b>
<b>II. Réhabilitation des structures verticales en béton armé .....</b>	<b>.136</b>
<b>II.1. Renforcement de poteaux .....</b>	<b>136</b>
<b>II.2. Réhabilitation des murs porteurs en béton armé.....</b>	<b>138</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>138</b>
<b>II.2.1. Traitement des fissures par injection .....</b>	<b>138</b>
<b>II.2.1.1. Préparation du support .....</b>	<b>138</b>
<b>II.2.1.2. Nettoyage des fissures.....</b>	<b>139</b>
<b>II.2.1.3. Préparation de l'injection .....</b>	<b>139</b>
<b>II.2.1.3.1. Cas de fissures ouvertes .....</b>	<b>139</b>
<b>II.2.1.3.2. Cas des fissures fermées (actives) .....</b>	<b>140</b>

II.2.1.3.2.1. Chargement de la structure .....	141
II.2.1.3.2.2. Stabilisation thermique de l'ouverture.....	141
II.2.1.3.2.3. Déchargement de la structure .....	141
<b>II.2.1.4. Réalisation de l'injection .....</b>	<b>142</b>
<b>II.2.2. Le traitement des fissures par calfeutrement .....</b>	<b>142</b>
II.2.2.1. Produit à utiliser .....	142
II.2.2.2. Matériel à utiliser .....	143
II.2.2.3. Préparation du calfeutrement .....	145
<b>II.2.3. Le traitement des fissures par pontage et protection localisée .....</b>	<b>146</b>
II.2.3.1. Matériel à utiliser .....	147
II.2.3.2. Préparation et réalisation du pontage et de la protection localisée.....	148
II.2.3.3. Réalisation d'un pontage armé par textile à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques ou de synthèse .....	148
II.2.3.4. Réalisation d'un pontage armé par textile à l'aide d'un mortier à base de liants de synthèse .....	148
II.2.3.5. Réalisation d'un pontage à l'aide de feuilles auto-adhésives et collées .....	149
II.2.3.5.1. feuilles auto-adhésives .....	149
II.2.3.5.2. feuilles collées .....	149
<b>III. Ravalement de façades .....</b>	<b>149</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>149</b>
<b>III.1. Techniques de nettoyage des façades .....</b>	<b>150</b>
III.1.1. Projection d'eau chaude ou surchauffée sous pression .....	151
III.1.2. Sablage à sec .....	151

III.1.3. Sablage hydropneumatique .....	151
III.1.4. Micro sablage .....	152
III.1.5. Procédés chimiques .....	153
III.1.6. Traitement pour l'enlèvement des salissures diverses .....	154
<b>III.2. Menuiserie extérieure .....</b>	<b>154</b>
<b>IV. Traitement d'humidité .....</b>	<b>154</b>
<b>Introduction .....</b>	<b>154</b>
<b>IV.1. Traitement contre les remontées d'eau par capillarité .....</b>	<b>155</b>
IV.1.1. Création d'une coupure étanche horizontale .....	155
IV.1.2. Barrière verticale étanche .....	155
IV.1.3. Injection de résine .....	155
IV.1.4. Siphon atmosphérique ou aérateurs (procédé knapen) .....	156
IV.1.5. Drain assurant l'assèchement du terrain en contact avec le mur .....	157
<b>IV.2. Traitement de l'humidité à l'intérieur du logement .....</b>	<b>157</b>
IV.2.1. Lutte contre la condensation par ventilation .....	157
IV.2.2. Traiter les murs intérieurs des pièces humides .....	157
<b>Conclusions .....</b>	<b>158</b>
<b>Conclusions générales .....</b>	<b>159</b>
<b>Référence .....</b>	<b>161</b>
<b>Annexe 01</b>	

## CHAPITRE INTRODUCTIF

## **Introduction générale**

L'évolution du secteur de l'habitat en Algérie reste incontestablement marquée par l'histoire du pays. Une grande partie de ce parc immobilier est édifiée durant la période coloniale, sur un modèle européen ou mélangé avec le style traditionnel local. En effet c'est suite à la colonisation française (militaire puis civile) qu'un paysage urbain inédit commence à se dessiner avec l'apparition d'éléments typologiques nouveaux (façades sur rue richement décorées, balcons, etc.) tout en conservant quelques techniques anciennes et des procédés ornementaux du répertoire traditionnel du pays. Oscillant entre continuité d'un héritage ancien et rupture de tradition avec la modernité, la production constructive en Algérie de l'époque coloniale témoigne d'un grand renouvellement artistique et de la présence d'influences croisées.

Cependant les projets constructifs de la colonisation se partagent une architecture qui s'inspire d'un répertoire occidental (particulièrement européen) et d'une architecture qui fait référence au style architectural local. Certaines réalisations permettent un prolongement de l'art local en se réappropriant ses différents éléments, alors que d'autres reflètent des tendances classiques ou modernes qui reproduisent un nouveau langage affichant une grande adhésion aux différentes formes de l'art occidental.

Faisant souvent l'objet de transformations incontrôlées et du manque d'entretien avéré, ce patrimoine riche et diversifié se trouve aujourd'hui dans un état de dégradation avancé et présente des signes inquiétants de vieillissement. L'indifférence, la négligence, le manque d'entretien, les transformations incontrôlées et une forte spéculation foncière risquent de défigurer de manière irrémédiable le paysage urbain des grandes villes algériennes et, plus grave encore, participent à la disparition lente d'un patrimoine méconnu et abandonné.

La réhabilitation vise l'amélioration des conditions de vie des habitants tout en gardant les valeurs authentiques qui caractérisent ce patrimoine. Le terme de réhabilitation peut recouvrir différents types d'interventions sur le bâtiment, de la plus légère à la plus profonde, elle peut désigner une mise aux normes de l'ouvrage, une amélioration du confort, l'esthétique ou de la sécurité... Il peut s'agir par exemple de travaux d'électricité, d'isolation, de changement de portes et de fenêtres ou bien d'un remaniement de l'aspect extérieur. Elle peut consister aussi à remettre les volumes au goût du jour, à créer par exemple dans un bâtiment des niveaux intermédiaires, des passerelles. Ou tout simplement quand on change l'affectation d'un ouvrage (ancien ou pas), en transformant des locaux industriels en bureaux, ou des bureaux en

locaux d'habitation, cela modifie certaines données structurelles, les hypothèses de charges, et nécessite donc une réhabilitation.

Le diagnostic est un préalable obligatoire à toute opération de réhabilitation d'un bâtiment : il s'agit de l'examen minutieux au terme duquel on détectera les potentialités et les carences de l'ouvrage faisant l'objet d'une réhabilitation. Il passe par plusieurs phases à savoir le pré-diagnostic, les études pluridisciplinaires et le diagnostic.

Le point de départ de chaque opération de réhabilitation est un pré-diagnostic qui vise tout d'abord la sensibilisation envers l'édifice, un travail basé essentiellement sur l'observation et la familiarisation avec le bâti. Au cours de cette étape on tente de découvrir le système constructif utilisé (typologies), les valeurs architecturales qui le caractérisent, les pathologies qui l'affectent et la problématique sociale qui lui est associée ce qui donnera l'idée sur la nature des travaux à entreprendre. Si, lors de cette étape, on juge qu'on n'a pas suffisamment d'éléments pour comprendre l'œuvre architecturale on passe alors à une autre étape d'études pluridisciplinaires qui consiste à engager différentes études afin de comprendre en profondeur l'objet d'étude. L'étude pluridisciplinaire touche plusieurs domaines entre autres le domaine architectural, historique, social et constructif. Une fois ces études effectuées, un diagnostic est réalisé et consiste essentiellement en une synthèse où on a une idée précise des problèmes ainsi que des pathologies qui affectent ces structures et les matériaux qui les constituent, lors de cette dernière étape des recommandations seront émises.

Cette recherche se propose de mettre au point un outil méthodologique qui consiste en un guide technique de réhabilitation. C'est un outil méthodologique de support, qui permettra d'orienter et d'accompagner les choix de projet au moment d'intervention sur le bâti, il permet aussi d'affronter de manière correcte une opération de réhabilitation, au travers la sélection des techniques et des matériaux, cohérents et compatibles avec les techniques et les matériaux qui avaient été utilisés à l'origine. Ce guide repose sur le principe que si l'on ne connaît pas bien l'objet d'études on ne peut pas intervenir, il est articulé en trois sections distinctes :

✓ **Etude typologique du patrimoine architectural de la période coloniale :**

Afin d'intervenir sur le patrimoine architectural de la période coloniale et établir un diagnostic correct de l'état de préservation de ce dernier, il est indispensable de disposer de connaissances étendues sur les techniques de construction utilisées, en effet le patrimoine colonial bâti a connu une multitude de périodes de construction caractérisées par des systèmes constructifs différents et diversifiés, on retrouve des structures traditionnelles avec des murs

porteurs en maçonnerie et des planchers en bois, ou en voutain au départ qui ne permettaient pas d'avoir de grandes portées, puis des structures en béton armé avec des fondations en béton armé et des planchers monolithe sous forme de dalle pleine ou plancher préfabriqué avec hourdis et poutrelles préfabriquées en béton armé également, aussi on retrouve des structures métalliques ou bien mixte acier-béton. Ces structures sont différentes des précédentes, vu leur mode d'assemblage qui s'effectue dans la grande partie en atelier avec des techniques de connexion tels que les boulonnages, les rivetages et les soudages.

Sur la base de l'analyse de l'architecture de la période coloniale on arrive à bien lire et comprendre les relations qui interviennent dans chaque typologie édicatrice et structurelle, tout cela afin de pouvoir intervenir dans le construit en préservant son caractère.

#### ✓ **Pathologies qui affectent ces structures et matériaux :**

Les différentes typologies structurelles utilisent tous types de matériaux de construction. Afin de comprendre les dégradations des structures, il faut d'abord comprendre les pathologies qui touchent les matériaux qui les constituent.

Par l'effet de vieillissement de la matière, le manque d'entretien, l'influence de l'humidité, les infiltrations des eaux et le phénomène de capillarité, les différentes structures sont endommagées, évidemment à des degrés différents, selon l'importance des causes.

Les causes de dégradations sont multiples et sont dues à plusieurs actions : des actions chimiques qui en présence d'humidité conjuguées à la pollution atmosphérique ou à d'autres facteurs modifient les propriétés des matériaux engendrant ainsi des réactions chimiques qui favorisent l'apparition de pourriture, de corrosion ..., et par conséquent des fissures et une perte de solidité, des actions physiques dues aux variations de températures qui causent des retraites et des gonflements, et enfin des actions mécaniques dues essentiellement aux sollicitations sismiques ou bien à des surcharges d'exploitations des structures qui exercent des contraintes provoquant ainsi des affaissements, des flèches exagérées... Ces facteurs agissent souvent en combinaison.

#### ✓ **Réhabilitation du patrimoine**

Il existe un grand éventail de techniques applicables aux interventions de réhabilitation structurelle des bâtiments, ces opérations répondent à des principes généraux qui permettent de guider le choix de la technique appropriée en fonction de la situation qui se présente. Dans les travaux de réhabilitation structurelle, il convient de spécifier clairement l'objectif technique visé par l'intervention proposée. Trois approches sont possibles à savoir :

- ✓ La restauration de la capacité portante initiale de l'élément à réhabiliter. Il s'agit, de la réparation de l'élément endommagé ;
- ✓ L'augmentation de la capacité portante de l'élément sur lequel nous intervenons, qui équivaut généralement au renfort de l'élément endommagé;
- ✓ Le remplacement fonctionnel de l'élément par un nouvel élément assumant entièrement la capacité portante requise, sans retirer nécessairement l'élément à réhabiliter.

Le but de cette partie est de fournir quelques solutions pour les différentes pathologies rencontrées, les techniques sont souvent des renvoies aux règles d'arts tout en tenant compte de la prédisposition naturelle des matériaux à l'assemblage et à la pratique d'entretien, il est organisé en structures horizontales (fondations, planchers...) et verticales (murs porteurs en maçonnerie de pierre, murs porteurs en béton armé...). Aussi des solutions liées aux problèmes d'humidité qui sont à l'origine de la plupart des sinistres sont abordées, enfin les façades qui sont la carte de visite d'un immeuble feront également l'objet d'une réhabilitation par une opération de ravalement, une multitude de techniques sont présentées ainsi toucheront à l'ensemble des éléments qui constituent ces façades : toitures, fenêtres, évacuations des eaux...

En effet ces interventions sont apportées soit pour pallier à des problèmes de vieillissement de la matière, soit aux effets environnementaux (pollution atmosphérique), soit à l'augmentation des sollicitations de la structure, ou bien à des erreurs de calcul ou de mise en œuvre (le cas des structures en béton armé). Evidemment le choix de l'approche dépendra des exigences mécaniques requises ainsi que de la capacité que l'on vise à satisfaire. Cependant les différentes solutions apportées doivent respecter les caractéristiques architecturales, plastiques, esthétiques et patrimoniales du bâtiment. Cette partie n'a pas la prétention de répondre à l'ensemble des problèmes qui surgissent au moment d'une opération de réhabilitation mais à fournir quelques éléments qui guideront le choix des techniques et des matériaux au moment de l'intervention.

## **I. Problématique générale**

L'Algérie a hérité d'un patrimoine bâti, datant de la fin du 19<sup>ème</sup> et début 20<sup>ème</sup> siècle longtemps considéré comme patrimoine d'autrui, d'une richesse architecturale inestimable. Il constitue le repère le plus important des grandes villes algériennes, en effet l'intérêt a toujours été porté sur les typologies traditionnelles telles que les casbahs en tant que patrimoine

identitaire, mais il existe cependant d'autres typologies non encore reconnues, donnant un caractère spécifique au paysage urbain et architectural de nos villes. Ce patrimoine est toujours considéré comme bien de consommation utile à la ville et n'a toujours pas reçu la place qu'il mérite en termes de préservation, de conservation et de mise en valeur par les pouvoirs publics.

Ces derniers temps un intérêt particulier est accordé à ce type de patrimoine notamment dans les milieux universitaires, toutefois les études sont essentiellement centrées sur les grandes compositions et aménagements, sur les réalisations et projets de célèbres noms de l'architecture et de l'urbanisme. Ces édifices ont été récupérés après l'indépendance pour les lieux de pouvoirs, pour les sièges d'administration et autres, ce qui a permis leur préservation d'une manière plus ou moins correcte. Par contre, l'architecture « ordinaire », celle des édifices d'habitation, est la plus problématique car elle présente actuellement des signes inquiétants de vieillissement et posent de sérieux problèmes de préservation.

La vulnérabilité des édifices est en hausse, elle est due essentiellement au manque d'entretien, l'indifférence, la négligence les transformations internes et externes qui s'opèrent sans contrôle et sans études préalables et surtout au manque d'outil méthodologique qui permet de réaliser des opérations de réhabilitation entre autre un guide technique de réhabilitation. En effet les quelques opérations de réhabilitation réalisés çà et là, menées dans des cadres circonstanciels assez différents et par des institutions différentes (OPGI, APC), l'on enregistre essentiellement que les interventions sont opérées sans aucune préparation technique ni même culturelle, causant en des temps records des dommages irréversibles aux bâtiments que des décennies entières de négligence n'ont pu provoquer.

Ainsi, une nouvelle forme de destruction prend pied au détriment de la préservation, sans avoir recours à des méthodologies d'approche de l'acte de réhabilitation et à l'organisation du chantier, vulgarisant toutes les formes d'orientations fournies et des discussions autour de la maîtrise des techniques et des règles régissant la réhabilitation.

## **II. Hypothèses**

En réponse à la problématique de la vulnérabilité du patrimoine colonial nous avançons les hypothèses suivantes :

- ✓ La non reconnaissance de ce patrimoine est due à l'absence de sensibilisation de la part des autorités publiques ;

- ✓ Les échecs des opérations de réhabilitation déjà entreprises sont dus au manque de connaissance des caractéristiques du bâti faisant l'objet d'une opération de réhabilitation ;
- ✓ La dégradation du patrimoine colonial bâti 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup> est enfantée par le manque d'outil méthodologique et de politique de réhabilitation favorisant sa préservation ;
- ✓ Toute opération de réhabilitation doit être basée sur un fondement scientifique (diagnostic) qui consiste en une connaissance approfondie des caractéristiques des différentes typologies et des matériaux de base ainsi que leur processus de dégradation.

### **III. Objectif de la recherche**

Pour répondre à notre problématique nous avons fixé les objectifs suivants :

- ① Répertorier les systèmes constructifs ainsi que les matériaux utilisés dans le bâti colonial ;
- ② Décrire les différentes pathologies des matériaux utilisés et les mécanismes de dégradation ainsi que les facteurs favorisant ces dégradations ;
- ③ Etablir un état des lieux qui permettra d'évaluer l'état de dégradation de ce patrimoine ;
- ④ Mettre à la disposition des pouvoirs publics et des spécialistes du patrimoine un guide technique de réhabilitation qui permettra d'intervenir sur ce patrimoine en vue de sa préservation ainsi renforce l'activité de réhabilitation.

### **IV. Méthodologie de travail**

Afin d'aboutir à une réponse à notre problématique et confirmer ou infirmer les hypothèses émises, il s'est avéré utile de nous doter de ressources d'informations pertinentes et variées. Notre travail a donc été fondé sur trois principales étapes, à savoir la recherche bibliographique, le travail de terrain, le dépouillement et le traitement des données récoltées.

#### **IV.1. Approche théorique**

L'étape théorique a été primordiale, elle nous a permis d'enrichir nos connaissances sur le thème de notre recherche, avant d'engager le travail sur terrain. Il aurait fallu recenser tous les ouvrages et travaux exécutés dans la même optique, les consulter puis compiler toute l'information requise pour construire l'étude bibliographique finale. Pour cela, il était

impératif de consulter le fond documentaire existant au sein des divers organismes scientifiques, aussi bien les archives que les bibliothèques sans pour autant négliger les recherches par internet. La bibliographie s'est axée essentiellement sur les aspects de la méthodologie de réhabilitation, des typologies structurelles du patrimoine colonial ou on s'est appuyé essentiellement sur les revues chantier et chantier nord africain, sur les caractéristiques des matériaux de construction utilisés, leurs pathologies et les méthodes de réhabilitation de manière générale.

#### **IV.2. Approche pratique**

Elle comprend le travail de terrain qui a consisté à établir un état des lieux du bâti de la période coloniale (habitat) à partir de sorties sur site où il a été recensé les différents modes constructifs utilisés, détecter les pathologies qui affectent ces structures ainsi que les matériaux constitutifs, de déceler les facteurs et les causes de ces dégradations. Ainsi la visite de quelque chantier de réhabilitation et de restauration ont été effectuées (hôtel de ville de Tizi-Ouzou, basilique notre dame d'Afrique à Alger...) qui nous ont permis de voir sur site les méthodes appliquées et mises en œuvre.

#### **V. Résultats obtenus et perspectives**

Une partie de ce travail à été communiquée lors du séminaire international à l'université Mentouri de Constantine sous le thème : « la conservation du patrimoine : didactiques et mise en pratique » organisé le 02 et 03 novembre 2009, l'intitulé de la communication est : « Les grands axes d'un guide technique de réhabilitation de l'habitat du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle voir résumé en annexe 01. Notre ambition est d'éditer ce travail sous forme d'un guide technique de réhabilitation.

*PRESENTATION DU GUIDE TECHNIQUE DE  
REHABILITATION*

## *REFERENCES*

*PREMIER CHAPITRE*

*METHOLOGIE D'UNE OPERATION DE  
REHABILITATION*

## Introduction générale

Le guide technique de réhabilitation a pour objectif principal le développement d'une nouvelle approche de préservation du patrimoine architectural (habitat) de la période coloniale (la fin du 19<sup>ème</sup> début 20<sup>ème</sup> siècle), en se basant sur la conviction de l'importance cruciale de la réhabilitation de ce type de bien afin de pouvoir le préserver et le mettre en valeur.

Il est conçu comme un outil méthodologique de support, permettant d'orienter les choix de projet au moment d'intervention sur ce bâti, et d'affronter de manière correcte une réhabilitation, au travers la sélection des techniques et des matériaux, cohérents et compatibles avec les techniques et les matériaux qui avaient été utilisés à l'origine. Il se base sur la nécessité de ne pas interrompre le dialogue avec l'univers constructif du passé, afin de pouvoir apporter des solutions convaincantes aux principaux problèmes rencontrés, ainsi les nouvelles interventions de renforcement et de consolidation seront compatibles.

L'idée principale de toute la recherche est de mettre en avant l'importance de la connaissance en profondeur de cette architecture, du point de vu de son caractère exceptionnel, et porter une attention toute spéciale aux aspects matériels et technologiques (système constructif), comme condition préalable et indispensable pour sa réhabilitation.

Le guide est destiné d'un coté, à la communauté du domaine du patrimoine et d'un autre coté, à l'ensemble des spécialistes dans leurs doubles facettes théoriques et pratiques, c'est-à-dire aussi bien à des techniciens qu'à des professionnels dont l'objectif est de promouvoir la sensibilité ainsi que la connaissance des valeurs de cette construction. En ce qui concerne les habitants le guide doit stimuler leur désir de se rapprocher et d'apprécier la valeur et l'expressivité de cette architecture et par conséquent la préserver. Pour le projeteur ce guide sera un support au moment de définir l'intervention de réhabilitation en orientant le choix des matériaux et des techniques qui seront cohérents avec cette construction coloniale, selon une logique de projet qui fonctionnera de manière continue et non en opposition avec le passé.

Le guide est organisé en trois sections distinctes à savoir ; une étude des typologies constructives, les pathologies relatives à ces typologies et enfin une proposition de remèdes :

### ✓ **Etudes des typologies structurelles :**

Cette partie consiste à étudier les différentes typologies constructives (structurelles) utilisées, où on recueille un large éventail d'éléments typiques de la construction de la période coloniale (structure en maçonnerie, structure béton armé et structure

métallique) qui seront à leurs tours subdivisées en structures horizontales (fondations, planchers, couverture...) et verticales (mur porteur, poteau, voile...). Cette partie est appuyée sur des illustrations détaillées avec un large appareil iconographique (photographiques et schématiques) qui permettent une lecture des compositions des structures et leurs modes de connexion ainsi que les matériaux constitutifs propres à chaque structure. Elle est basée essentiellement sur un travail bibliographique notamment les revues (chantier et chantier nord africain) et sur un travail de terrain représenté sous forme d'un répertoire d'immeubles à partir desquels il est possible d'identifier les types constructifs existants. Aussi une attention a été accordée aux éléments de façades qui représentent la richesse de cette architecture (décoration, moulure, ferronneries...). Cette étude typologique a pour objectif le développement de la connaissance des caractéristiques de l'édification de cette période;

✓ **Analyse des différentes formes de dégradation et des pathologies récurrentes :**

Cette partie fait référence essentiellement à l'étude des dégradations des matériaux constitutifs des différentes structures répertoriées dans la première partie. Ces dégradations sont liées soit à des : actions chimiques favorisées par la présence de l'humidité combiné à la pollution atmosphérique (pourritures, fissuration, corrosion...); à des actions physiques ; (dues essentiellement à l'augmentation des volumes des matériaux ou le contraire) ce qui engendre des dégradations (fissurations, cloquage d'enduits...) et enfin des actions mécaniques ; dues essentiellement aux sollicitations sismiques ou bien à des surcharges d'exploitations des structures (affaissements, flèches exagérés...).

✓ **Dans la section réhabilitation de l'architecture :**

Une fois les pathologies sont comprises et que leurs origines sont déterminées, on peut procéder à l'intervention. Cette partie consiste à traiter les modalités d'intervention, où on recommandera l'emploi de matériaux et de techniques compatible avec la construction coloniale. Elle est structurée dans la même logique que l'étude typologique c'est-à-dire par structures horizontales et verticales où on apporte des solutions de différentes natures ; consolidations, renforcement, réparations... aux différentes pathologies répertoriées Dans cette section nombreuse sont des renvois aux règles d'arts, Les indications purement techniques (quoique présentes), sont toutefois limitées dans la mesure où le guide ne vise pas à donner des solutions conformes mais plutôt à fournir des critères et des principes directeurs pour réaliser les travaux de réhabilitation.

# **I. Langage technique des opérations d'intervention sur un patrimoine**

## **Introduction**

La réhabilitation, l'entretien, la restauration, la préservation, la mise en valeur, pour ne citer que ceux là, sont des opérations qui touchent les constructions à importance historique et ou architecturale, dont le but est de tendre à rendre à la construction son état d'origine, mais à des degrés différents, et ce selon les fins recherchées. Ces opérations sont de nature diverse, à titre d'exemple la réhabilitation, qui englobe de la réhabilitation légère (qui touche, généralement tout ce qui est décoratif et esthétique) jusqu'aux interventions de réhabilitation lourdes et exceptionnelles, qui atteignent les structures horizontales, verticales, les toitures et même les fondations. Ces types d'intervention dépendent de l'état de conservation dans lequel se retrouve le bâtiment ancien.

Ces interventions de réhabilitation passent par différentes phases et une multitude de travaux commençant par les tâches préliminaires qui visent tout d'abord la sensibilisation envers l'édifice, un travail basé essentiellement sur l'observation et la familiarisation avec le bâti. Ceci permettra une bonne lecture de l'édifice dans son moindre détail et aidera à l'identifier et en dégager les désordres correctement, les diagnostiquer pour pouvoir apporter et établir les solutions et remèdes adéquats aux différentes pathologies rencontrées.

## **I.1. Réhabilitation**

C'est une intervention menée sur un bien culturel (patrimoine architectural et urbain), en vue de le doter de commodités modernes, en prenant le soin d'éviter l'altération de ses valeurs authentiques<sup>1</sup>. Elle s'impose, comme la conciliation de la nécessité d'améliorer les conditions de vie des habitants comme le confort thermique et acoustique et bien sur les conditions d'hygiène, et l'exigence de conserver les valeurs architecturales et urbaines inscrites dans la typologie du bâti et des tissus<sup>2</sup>.

Les chances de réussite d'une opération de réhabilitation, reposent non seulement sur la réunion de techniciens, ayant une maîtrise parfaite des techniques et des matériaux aussi bien traditionnels que modernes, mais aussi d'architectes ayant une bonne maîtrise et une connaissance appréciable de l'histoire des typologies des édifices faisant l'objet d'une

---

<sup>1</sup> F. Choay et P. Merlin : Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, édition PUF, 1988.

<sup>2</sup> Ibid.

opération de réhabilitation. Le rapport Nora<sup>3</sup> sur l'amélioration de l'habitat distingue quatre niveaux d'opération de réhabilitation à savoir la réhabilitation légère, moyenne, lourde ou exceptionnelle, selon l'importance des travaux envisagés après l'étape du diagnostic.

### **I.1.1. Réhabilitation légère**

C'est une opération qui vise l'amélioration des équipements du bâtiment, tel que l'installation d'un équipement sanitaire complet avec salle d'eau y compris les canalisations, l'électricité et les peintures accompagnant ces agencements. Elle ne porte pas de travaux sur les parties communes de l'immeuble ni installation de chauffage centrale. Elle s'applique sur des immeubles relativement bien conservés, elle peut se dérouler sans un déplacement éventuelle des habitants, à condition de prendre des dispositions particulières dans l'organisation du chantier.

### **I.1.2. Réhabilitation moyenne**

Elle consiste à doter le bâtiment de nouveaux équipements et installations, elle s'accompagne de travaux plus complet sur les parties privatives de l'immeuble, c'est-à-dire l'intérieur du logement : réfection de l'électricité et des peintures par exemple. Pour un besoin de confort thermique, sont ajoutés des installations de chauffage et de climatisation. Elle s'applique sur des bâtiments dont la structure porteuse ne présente pas de défaillances particulières. En règle générale, la distribution intérieure du logement et le cloisonnement ne sont pas modifiés. Sur les parties communes de l'immeuble, des travaux légers peuvent être entrepris comme la peinture des cages d'escalier et le ravalement de la façade sans reprise de toiture.

### **I.1.3. Réhabilitation lourde**

Comprend les travaux précédemment décrits de plus une redistribution des pièces dans le logement ou une redistribution des logements par étage pourront être effectuées, l'intervention et surtout beaucoup plus complète sur les parties communes de l'immeuble. Elle comprend non seulement le ravalement des façades mais aussi la réfection des toitures, les travaux toucheront le gros œuvre, avec des reprises de maçonnerie et de charpente, et de plancher parfois.

---

<sup>3</sup> N. Simon; E Bertrand. Rapport sur l'amélioration de l'habitat ancien. Paris 1975.

### **I.1.4. Réhabilitation exceptionnelle**

Elle permet de remettre en état un bâti dont le degré d'altération est très important. C'est une opération qui comprend le renforcement des structures ou tout simplement leurs remplacements par endroits (cage d'escalier, toiture, étanchéité ...), elle peut aller jusqu'à reprendre la structure porteuse de l'immeuble lorsque sa stabilité est atteinte en profondeur. C'est une opération très délicate du fait qu'elle nécessite le déplacement des occupants.

### **I.2. Entretien**

L'entretien est défini par la charte de Burra<sup>4</sup> comme « l'action qui prodigue des soins protecteurs à la matière et aux contextes d'un lieu ou d'un bien patrimonial », de ce fait l'entretien correspond à l'ensemble des travaux périodiques réalisés sur le bâtiment, par des moyens réduits qui empêche l'apparition d'un désordre, le supprime ou en arrête l'extension<sup>5</sup>. Il a pour objectif de conserver le bâtiment pendant sa période de vie utile, dans des conditions adéquates afin de couvrir les besoins de confort prévu. Généralement, on assimile à l'entretien l'idée de réparation des éléments endommagés c'est ce que nous appelons l'entretien correctif, mais ce qui est intéressant de réaliser est un entretien préventif planifié<sup>6</sup>. La planification sous entend la réalisation d'un calendrier des opérations d'entretien, et la prévention signifie l'intervention sur un élément avant sa détérioration.

### **I.3. Préservation**

C'est une action qui consiste à maintenir la matière d'un lieu ou d'un bien dans l'état actuel et à freiner sa dégradation. Elle est aussi définie 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 à une codification légale »<sup>7</sup>.

### **I.4 Restauration**

La restauration a pour but de conserver et de révéler les valeurs esthétiques et historiques d'un édifice et se fonde sur le respect de la substance ancienne et de documents authentiques, elle s'arrête là où commence l'hypothèse. Lorsque les techniques traditionnelles se révèlent

---

<sup>4</sup> Charte de Burra, charte d'ICOMOS Australie pour la conservation de lieux et de biens patrimoniaux de valeur culturelle, 1979 article 1.5.

<sup>5</sup> Bureau Veritas. Guide Veritas du bâtiment. Edition le Moniteur 1988.

<sup>6</sup> J. Perret. Guide de la maintenance des bâtiments. Édition le Moniteur, Paris, 1995.

<sup>7</sup> F. Choay et P. Merlin. Op. Cite.

inadéquates, la consolidation d'un édifice peut être assurée en faisant appel à toutes les techniques modernes de conservation et de construction dont l'efficacité aura été démontrée par des données scientifiques et garantie par l'expérience. Les apports valables de toutes les époques à l'édification doivent être respectés, l'unité de style n'étant pas un but à atteindre au cours d'une restauration. Lors d'une opération de restauration, les éléments destinés à remplacer les parties manquantes doivent s'intégrer harmonieusement à l'ensemble, tout en se distinguant des parties originales, afin que la restauration ne falsifie pas le document d'art et d'histoire<sup>8</sup>.

### **I.5. Mise en valeur**

Elle a pour objectif la présentation du patrimoine à un public dans le but d'en tirer un bénéfice, par opposition à la conservation qui ne comprend pas d'opérations économiques<sup>9</sup>. Elle intègre la notion de plus-value, plus-value d'intérêt, d'agrément, de beauté, d'attractivité aux connotations économiques que F. Choay qualifie d'inquiétante<sup>10</sup> à juste titre.

### **I.6. Rénovation**

Elle signifie l'action de remettre à neuf, la démolition en vue d'une reconstruction nouvelle<sup>11</sup>. On lui reproche sur le plan social de rompre les liens de quartier pour les habitants, et de favoriser la formation de quartier de luxe au détriment des habitants.

### **I.7. Intégration dans la vie contemporaine**

Giovannoni<sup>12</sup> souligne que l'intégration des quartiers anciens dans la vie contemporaine se fait par l'affectation à un nouvel usage compatible<sup>13</sup> avec leur morphologie et leur échelle. Néanmoins, l'implantation d'activités tertiaires ou touristiques dominantes, au détriment de l'habitat et des services de voisinage (tels que les petits commerces, les écoles et les dispensaires) aux quelles ces espaces sont le mieux adaptés, constitue un danger pour eux qui risque de se vider de leurs substances sociales par le déplacement des populations modestes vers la périphérie<sup>1</sup>.

---

<sup>8</sup> Charte de Venise : Charte Internationale Sur la Conservation et la Restauration des Monuments et des Sites, présentée lors du II<sup>ème</sup> Congrès international des architectes et des techniciens des monuments historiques, Venise, 1964. Adoptée par ICOMOS en 1965.

<sup>9</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>10</sup> F. Choay, L'allégorie du patrimoine, seuil. Paris 1992.

<sup>11</sup> Ibid.

<sup>12</sup> G. Giovannoni, « L'urbanisme face aux villes anciennes » (traduction de Vecchie Citta et Edilizia Nuova 1931), Paris, édition du seuil 1998.

<sup>13</sup> Boukhalfa K. Op. Cite.

## **II. Principes méthodologiques d'une opération de réhabilitation**

Avant tout travaux de réhabilitation in situ, une étude approfondie de l'objet d'étude est nécessaire. Il s'agit d'étudier exhaustivement tous les éléments qui constituent le bâtiment, les relever et les analyser, dans le but d'une compréhension exacte des différentes composantes architecturales et architectoniques de l'édifice, ses matériaux, ses techniques constructives et tous les éléments qui concernent le système structurel. Cette connaissance passera par trois phases principales à savoir le pré-diagnostic, les études pluridisciplinaires et le diagnostic.

### **II.1. Pré-diagnostic**

C'est le point de départ de chaque opération de réhabilitation<sup>14</sup>, qui consiste en une première approche du bâtiment, de ses valeurs (architecturale, esthétique, historique...) et de ses problèmes, qu'ils soient d'ordres constructifs (désordres structurels) ou d'habitabilités (ventilation, degré d'humidité...)<sup>15</sup>. Grâce à une première inspection du bâtiment au cours de laquelle on tente de découvrir le système constructif utilisé (typologies), les valeurs architecturales qui le caractérisent, les pathologies qui l'affectent et la problématique sociale qui lui est associée. L'observation visuelle des désordres permet une évaluation de l'état de conservation du bâtiment, son classement par degré d'altération et enfin une évaluation des moyens à mettre en œuvre pour sa réhabilitation. Parallèlement à l'inspection le diagnostiqueur doit investiguer sur le statut légal du bâtiment afin de connaître les obligations et les restrictions dont il est l'objet (classification, autorisation et affectation de la planification urbanistique, degré de protection, hypothèque, recensement, etc.), le degré de protection patrimoniale de la zone et/ou du bâtiment ainsi déterminer les statuts légaux des occupants du bâtiment (logement occupé, sous-loué...)<sup>16</sup>.

#### **II.1.1. Rapport du pré-diagnostic**

Une fois la visite effectuée, le diagnostiqueur (architecte et ou ingénieur) peut déjà avoir une première compréhension du bâtiment et détecter ses déficits et ses potentiels. Le rapport du pré-diagnostic permet de compiler les informations requises d'une manière claire et résumée, évaluer l'état de conservation du bâtiment et élaborer des recommandations.

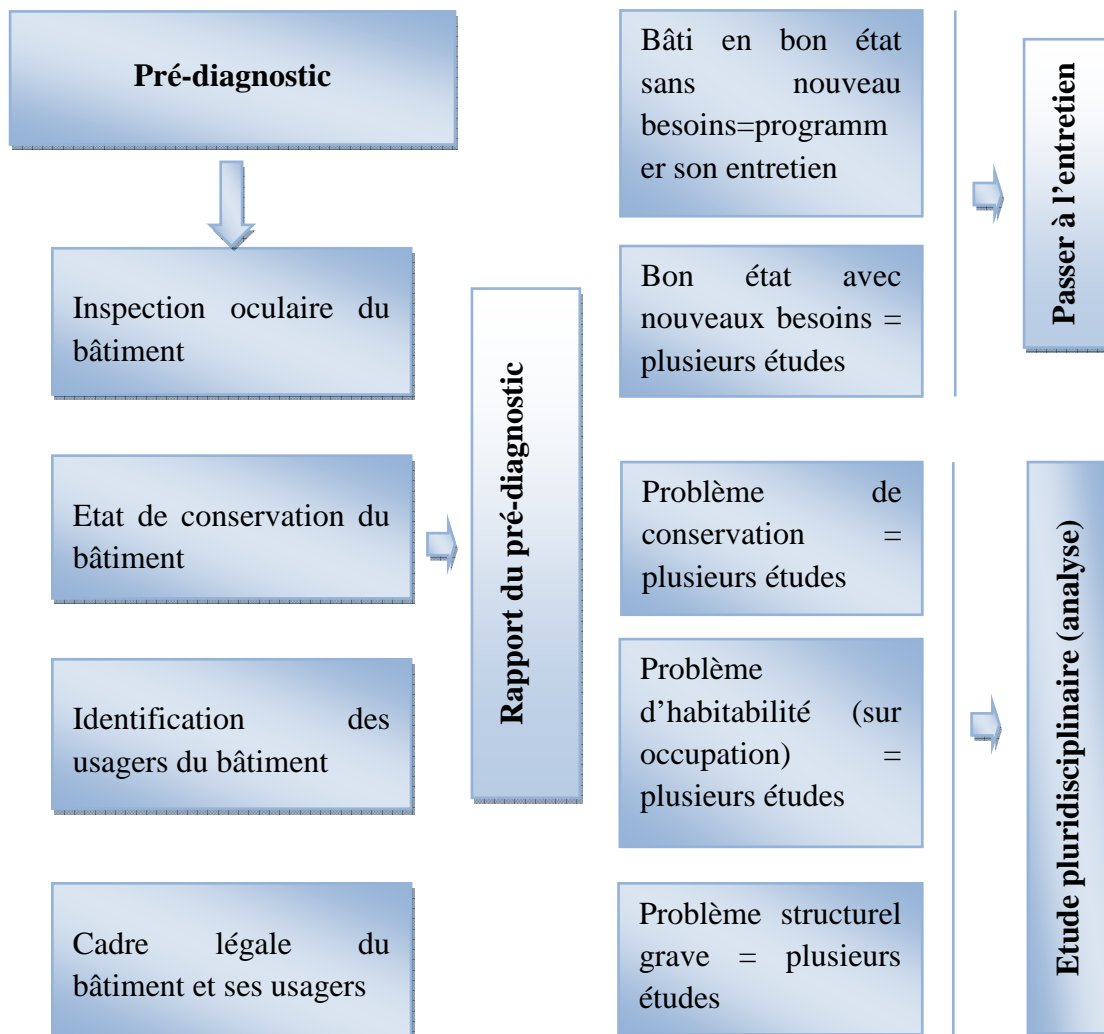
---

<sup>14</sup> . Méthode RehabiMed pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Rehabimed Aout 2005.

<sup>15</sup> G. Duval, Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.

<sup>16</sup> N. Bouche. La réhabilitation en France. Les procédures les outils (ANAH), Paris. 2000.

Ainsi au début du processus d'une opération de réhabilitation on peut déjà statuer sur les différentes actions à entreprendre. <sup>2</sup>



**Figure 1.1.** Schéma récapitulatif de la phase du pré-diagnostic.

Lors du pré-diagnostic si l'on constate que l'immeuble ne présente pas d'altérations importantes et que l'on ne prévoit pas de changement important celui-ci fera l'objet d'une opération d'entretien préventif afin d'améliorer la qualité de vie et de confort des habitants<sup>17</sup>, cependant les immeubles dont la structure porteuse est altérée, une étude pluridisciplinaire permettra d'élaborer un diagnostic qui définira l'origine des altérations, ainsi que les différentes interventions à entreprendre, avant d'entamer l'opération de réhabilitation<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Bureau Veritas. Op Cite.

<sup>18</sup> Méthode RehabiMed. Op. Cite.

## II.2. Etudes pluridisciplinaires (analyse)

Phase de recueil de données c'est l'ensemble des études engagées afin de comprendre l'œuvre architecturale dans sa consistance historique, esthétique, culturelle, physique...<sup>19</sup>. C'est une étape fondamentale qui permet de connaître suffisamment le bâtiment, et son contexte avant d'intervenir. Elles mettent également en œuvre certaines études spécifiques, déterminées par le pré-diagnostic, en particulier pour les désordres observés. Des hypothèses peuvent être émises à partir des renseignements recueillis dans le rapport du pré-diagnostic, celles-ci peuvent être vérifiées au fur et à mesure que les études avancent. Les études pluridisciplinaires comprennent le domaine historique, social, économique et architectural<sup>20</sup>.

### II.2.1. Domaine historique (Etude historique et documentaire)

Elle permet d'enquêter dans les sources documentaires afin de compiler les informations qui permettront au diagnostiqueur de comprendre le bâtiment et ses transformations, identifier ainsi l'originalité de la construction et son évolution à travers le temps<sup>21</sup>. Il s'agit de collecter :

- ✓ Les textes et les récits qui décrivent l'architecture de l'ouvrage, sa composition en plan, son usage, le nombre d'étage, ses matériaux, la description de son environnement, etc. Les documents graphiques anciens (plan, coupe, élévation, plan cadastrale...) <sup>22</sup> ;
- ✓ Les photos anciennes de l'intérieur ou de l'extérieur de la construction, qui permettent d'avoir une idée de l'état de celle-ci à une date antérieure, les dessins (croquis, aquarelle...), les anciennes vues aériennes de la zone d'étude<sup>23</sup>.

De l'autre côté on peut considérer l'édifice lui-même comme un document historique qui peut être exploré et étudié par la méthode archéologique du bâti<sup>24</sup>, qui est par définition une discipline qui étudie les élévations de toute construction bâtie, insiste non seulement sur la vie du bâtiment, les différentes phases de construction qu'il a connu, mais aussi sur les techniques mises en œuvre<sup>25</sup>. Ces principaux éléments d'études sont <sup>26</sup> :

---

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

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> E. Rouger, Du principe d'analyse stratigraphique à l'archéologie d'élévation. Réflexion et méthode, dans Archéologie médiévale. Paris 1998.

<sup>22</sup> Ibid.

<sup>23</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>24</sup> C. Arnauld et J Burnouf, l'archéologie du bâti médiéval urbain, les nouvelles de l'archéologie n°53-54 Automne- Hiver, 1993.

<sup>25</sup> F. Journot, Archéologie du bâti, dans La construction. Les matériaux durs: pierre et terre cuite, coll. "Archéologiques", Paris, Errance, 2004.

- ① Analyse des pierres : type, gabarit, forme, appareillage, montage et origine géographique ;
- ② Analyse des enduits et mortiers : composition physicochimique, couleurs et la superposition (stratigraphie verticale) qui permet de repérer les différents états de décor d'un bâtiment et de fournir les indications essentielles sur les différents remaniements du bâtiment (percement ou bouchage d'ouverture ...) ;
- ③ Analyse des charpentes et des techniques d'assemblages.

## **II.2.2. Domaine social (L'étude socio-économique)**

Les aspects socio-économiques peuvent être déterminants dans une opération de réhabilitation. Ils reposent sur des enquêtes sociologiques qui permettent de détecter la situation sociale des unités familiales (entassement, chômages, abondant)<sup>27</sup>. Suivant le type d'intervention un relogement éventuel des habitants doit être prévu et planifié.

## **II.2.3. Domaine architectural**

Afin de comprendre le bâtiment dans toute sa consistance architecturale plusieurs relevés sont effectués entre autre :

### **II.2.3.1. Relevé graphique**

Toute opération d'intervention sur un patrimoine bâti, réhabilitation, restauration..., nécessite la réalisation d'un relevé graphique de l'état réel des lieux<sup>28</sup>. Cependant le relevé graphique n'est pas une simple opération de mesurage fidèle à l'existant, mais constitue plutôt une banque de données nécessaire pour l'analyse architecturale et technique du bâtiment ainsi que la compréhension de celui-ci<sup>29</sup>.

### **II.2.3.2. Relevé architectural**

Il s'agit de reprendre sur un support, le dessin de l'œuvre architecturale à l'état existant afin de comprendre sa composition, ses dimensions, ses proportions, son tracé géométrique et

---

<sup>26</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>27</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 expériences. Paris.

<sup>28</sup> J.-P. Saint Aubin. Op. Cite.

<sup>29</sup> A. Baud, I. Parron, Les techniques du relevé d'élévation, table ronde, CERIAH, Bibliothèque municipale de Lyon, 1997, Centre international d'études romanes, Tournus, 1998.

son mode de construction<sup>30</sup>. Le relevé architectural permet la connaissance des valeurs architecturales du bâtiment (l'intégration dans le lieu, la configuration spatiale, la structure singulière, les types d'ornementation, etc.), les matériaux utilisés, les techniques constructives mises en œuvre, les lésions qui l'affectent, ainsi permet de retrouver les phases de construction qu'a connu le bâtiment et les traces de reprise et de transformation (entretien, réhabilitation...)<sup>31</sup>. Le dessin du relevé doit être clair précis capable de restituer toutes les informations nécessaires pour la compréhension du bâtiment, dans toutes ses dimensions à partir desquelles on peut reproduire des plans en deux ou en trois dimensions<sup>32</sup>. Ce relevé peut être effectué en plusieurs phases<sup>33</sup> :

- ✓ **Relevé manuel** : consiste à prendre des mesures directes en utilisant les instruments de mesure classique : décamètre, niveau à eau, jalons d'alignement, fil à plomb, etc. Cependant le relevé sera dessiné en croquis sur lequel seront reportées les dimensions et les mesures en utilisant une échelle convenable à la compréhension du dessin, ainsi que des indications descriptives, des commentaires ou des remarques prises sur chantier appelées minute de chantier ;
- ✓ **Dessin graphique** : c'est le développement du dessin croquis en dessin technique sur échelle, on indique l'orientation, la localisation, la date du relevé et son auteur ;
- ✓ **Relevé topographique** : c'est un complément de vérification pour le relevé manuel, utilisé pour le relevé des points inaccessibles, permet d'avoir des précisions complémentaires.

### II.2.3.3. Relevé photographique

En complément du relevé graphique le relevé photographique indique l'état des lieux au moment du relevé, il permet de connaître les volumétries de l'édifice, ainsi que les détails, les couleurs et les matériaux utilisés<sup>34</sup>.

### II.2.4. Domaine constructif

Cette étape comprend la reconnaissance des éléments structurels et constructifs du bâtiment ainsi que l'observation de ses lésions, ces principales étapes sont les suivantes :

---

<sup>30</sup> J.-P. Saint Aubin Op. Cite.

<sup>31</sup> F. Journot. Op. Cite.

<sup>32</sup> J.-P. Saint Aubin. Op. Cite.

<sup>33</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>34</sup> Joaquín Monton. Applications de la photographie digitale. Faire le relevé du bâti ancien in publication Méthode Réhabimed. Architecture traditionnelle méditerranéenne, juin 2007.

### **II.2.4.1. Relevé des désordres**

Cette étape d'étude consiste à réaliser une cartographie complète et précise des désordres visibles (fissure, humidité), qui affectent le bâtiment principalement les murs porteurs et les planchers. Elle permet de mieux comprendre les origines des déformations et les causes de dégradation et déterminer avec précision les lésions, les fissures, l'aplomb ou le gonflement des murs, les traces d'humidité et le degré des salissures indiquant leur emplacement, leur sens, leur dimension<sup>35</sup>. L'ensemble de ces données nous permet d'avoir une idée précise sur l'état de conservation de l'immeuble et son degré d'altération, et de stabilité au moment du relevé. Dans certains cas les dégradations ne sont pas facilement décelables, dont l'origine et la nature ne sont pas clairement établies, on procède alors à d'autres investigations complémentaires, tels que les sondages in situ par des prélèvements d'échantillons, afin de les analyser en laboratoire par des essais et des investigations plus poussées<sup>36</sup>.

① **Essai in situ** : Lorsque l'origine et l'ampleur de l'altération subie par le bâtiment ne sont pas clairement définies, on peut faire recours à des campagnes d'essais non destructifs in situ comme exemple ultrason, qui permettent de détecter les différentes contraintes qui agissent sur les structures, et qui seront évaluées par calcul des descentes de charges, et par la détermination des efforts dynamiques qui expliquent la localisation, le sens et la grandeur des déformations ;

② **Essai au laboratoire** : Afin d'analyser les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des matériaux (échantillons, carottes), une campagne d'essais destructifs est effectuée. Cette méthode permet de définir entre autre la résistance à la compression et à la flexion, la profondeur des altérations et la mesure de la perméabilité (hygrométrie, teneur en eau, condensation) ...

### **II.2.4.2. Relevé des matériaux utilisés et les techniques de leur mise en œuvre**

Il consiste à déterminer les caractéristiques des matériaux constitutifs du bâtiment, leur nature, leur dimension, leur propriété physique, chimique et mécanique leur état de conservation et leur degré d'altération<sup>37</sup>. Ce relevé nous permet de détecter les pathologies qui affectent les matériaux et les facteurs responsables de leur altération (pollution, climat,

---

<sup>35</sup> J.-P. Saint Aubin. Op. Cite.

<sup>36</sup> CERTU/DHC. La Gestion des patrimoines immobiliers publics. Pré diagnostic et approche opérationnelle. CERTU, Octobre 1995.

<sup>37</sup> F. Journot. Op. Cite.

mouvement sismique, gel-dégel, mouvement du sol, action de l'eau...), ainsi révéler les différentes interventions qu'a connu le bâtiment (entretien ou réhabilitation antérieure par exemple), au cours desquelles d'autres matériaux ont été utilisés sans une connaissance préalable de leur compatibilité physique ou chimique avec les matériaux d'origine<sup>38</sup>.

#### **II.2.4.3. Relevé des différentes installations**

Il s'agit de relever l'ensemble des installations des différents équipements (eau, gaz, électricité...), et détecter les différents éléments rajoutés au cours de la vie du bâtiment, afin de s'adapter aux besoins de confort. Ce relevé permet de déterminer les carences que présente cet immeuble en matière d'équipement (installation électrique défectueuse, l'inexistence et ou défaillance du réseau d'assainissement) et l'incidence des installations rajoutées sur le comportement physique, stabilité et esthétique de l'ouvrage.

#### **II.2.4.4. Relevé des abords de la construction**

Certains désordres sont la conséquence de facteurs extérieurs au bâtiment, dont l'origine n'est pas facilement décelable. Afin de comprendre ces désordres un relevé de la situation de l'ouvrage par rapport à son environnement est nécessaire, pour détecter les agents responsables tel que la proximité éventuelle d'une industrie, (fumées d'usines, pollution de l'air, pluies acides), sa situation par rapport à la mer (élévation du degré d'humidité, concentration des sels), et des réseaux routiers, chemin de fer, aéroport (vibration, bruit)<sup>39</sup>.

#### **II.2.4.5. Inspection des désordres**

L'inspection des désordres se fait par observation visuelle pertinente à partir de laquelle on pourra détecter l'origine des désordres d'après la forme, la nature des déformations et leurs évolutions. On procède par inspection systématique de l'ensemble des constituants du bâtiment en allant du général au détail. Dans certain cas l'observation à elle seule ne suffit pas, alors une assimilation d'instrument de mesure précis est primordiale, afin de faciliter l'inspection et déterminer avec précision l'ensemble des anomalies. Cette démarche comprend l'inspection :

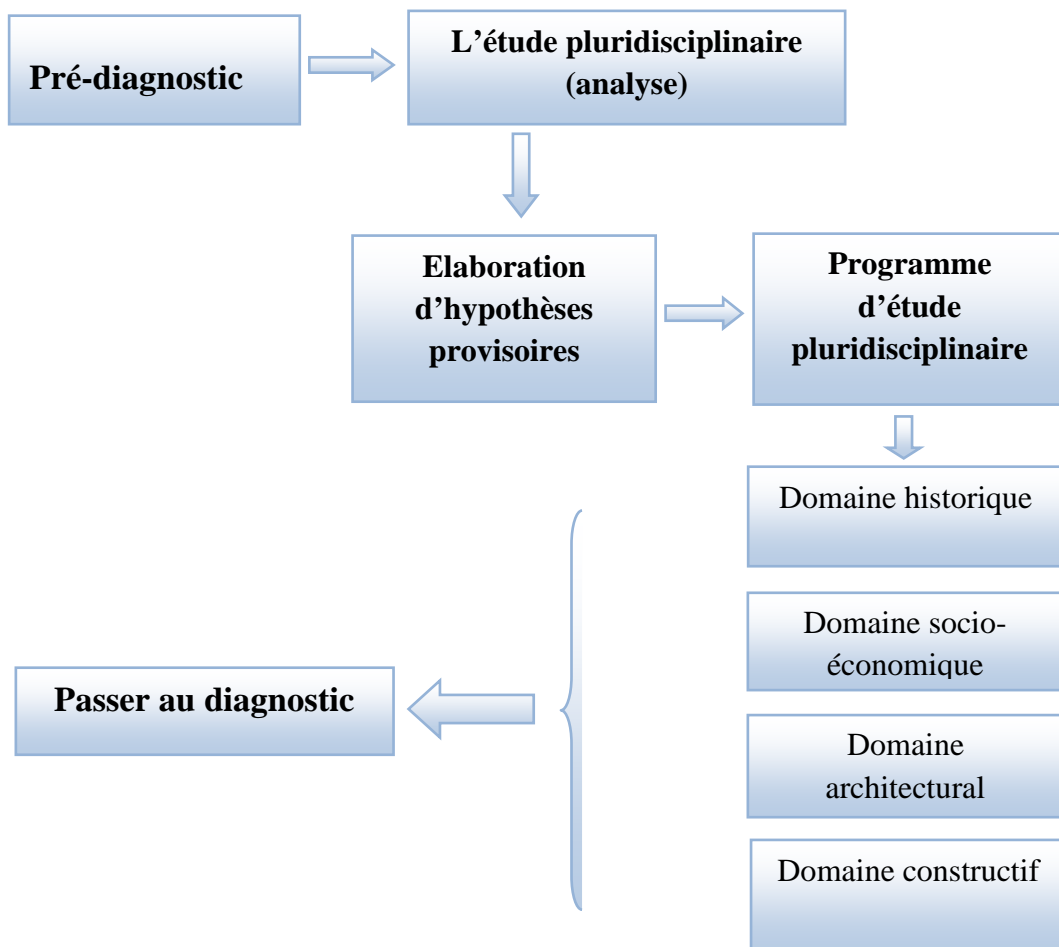
- ✓ Des nouvelles installations et leur influence sur le support ancien (réseau électrique et sanitaire, antenne et parabole, nouveau matériau de construction).

---

<sup>38</sup> F. Journot. Op. Cite.

<sup>39</sup> Agence qualité construction (A Q C) Premier regard sur l'état général d'un bâtiment, les aspects extérieurs et leur environnement.

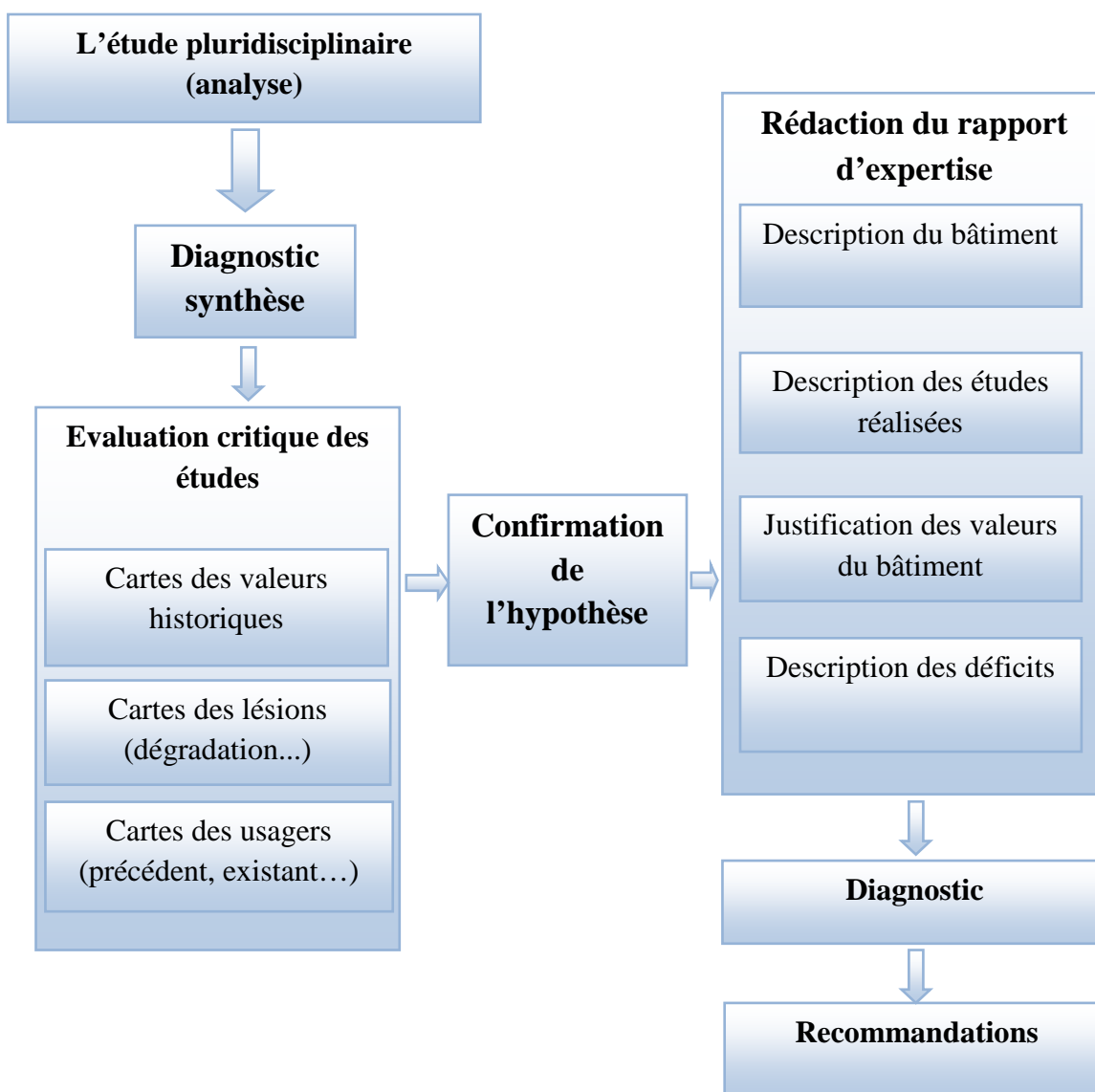
- ✓ Des façades qui permettent de connaître les caractéristiques constructives des différentes étapes de construction et leurs influences sur la conservation et la stabilité de la structure ancienne ;
- ✓ Des propriétés des matériaux constitutifs (pierre, terre, bois, métal, mortier ... etc.), de leur dimensionnement (mur à double parement, simple, épaisseur et hauteur des murs, etc.) et de leur mise en œuvre ;
- ✓ De l'état de la couverture et de son système constructif (voûte, plancher en bois, charpente en bois, etc.), ainsi que l'inspection de l'état des canalisations d'évacuation des eaux pluviales et des eaux usées. Cette inspection comprendra la vérification de leur capacité, de leur inclinaison et de leur raccordement au réseau public.
- ✓ Des conditions de confort à l'intérieur de la maison, hygrométrie (humidité relative de l'air, teneur en eau, niveau de la nappe phréatique, etc.) et acoustique (proximité de route, chemin de fer, usine, etc.).



**Figure 1.2.** Schéma récapitulatif de la phase des études pluridisciplinaires.

## II.3. Diagnostic

L'étape du diagnostic implique un travail de synthèse et de réflexion critique qui est fondé sur les études pluridisciplinaires ayant été réalisées au cours de l'étape antérieure<sup>40</sup>. Le but du diagnostic est de compiler les informations relatives au projet, et évaluer l'état de conservation du bâtiment et d'en déterminer les remèdes<sup>42</sup>, sur la base de cette première évaluation on peut avoir une vision globale du bâtiment et confirmer les hypothèses envisagées au début des études pluridisciplinaires à travers des observations et des tests<sup>43</sup>, à la fin de cette étape il est nécessaire de dresser un rapport afin de fixer l'information ainsi de



**Figure 1.3.** Schéma récapitulatif de la phase du diagnostic.

<sup>40</sup> Bureau Veritas. Guide Veritas du bâtiment Gestion technique du patrimoine, Réhabilitation et maintenance. Edition le Moniteur, (tome 4) Paris. 1993.

<sup>41</sup> Méthode Réhabimed. Op. Cite.

<sup>42</sup> J. Coignet, La maison ancienne, construction, diagnostic, interventions. Eyrolles, Paris, 2003.

<sup>43</sup> Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH), Guide du diagnostic des structures. France 1984.

manière systématique on pourra créer trois types de cartes<sup>44</sup> :

- ① une carte de valeurs sur laquelle on notera les valeurs spatiales, de couleurs, historiques artistiques de chaque partie ou de l'ensemble du bâtiment ;
- ② une carte des déficits sur laquelle on notera la problématique sociale, les prestations du bâtiment ainsi que les lésions et les dégradations.
- ② une carte des usages précédents et /ou existants sur laquelle on montrera comment à été utilisé et comment est encore utilisé le bâtiment avant l'intervention.

A la fin de cette étape, il est à nouveau nécessaire de mettre par écrit le degré de connaissance du bâtiment qui à été atteint. On détaillera la composition du bâtiment, on décrira et on justifiera ses valeurs, on détaillera ces déficits et leurs causes et on fera des recommandations.

## **Conclusions**

La réhabilitation architecturale permet l'amélioration des conditions de vie des habitants, en mettant aux normes d'habitabilité le bâti ancien, c'est une opération qui exige la conservation des valeurs architecturales authentiques inscrites dans la typologie du bâti. Cette opération peut être de différente nature on retrouve la réhabilitation légère, moyenne, lourde ou exceptionnelle, le choix de l'opération est relatif à l'état de dégradation dans lequel se trouve le bâti.

Cependant toute opération de réhabilitation nécessite l'établissement d'une méthodologie de travail qui lui permet de l'aborder et de la réaliser de manière correcte. Cette méthodologie consiste à faire un diagnostic de l'état de préservation du bâti, elle passe par plusieurs phases à savoir ; le pré diagnostic qui nous permet de se familiariser avec le bâti faisant l'objet d'une réhabilitation; les études pluridisciplinaires qui permettent de comprendre en profondeur le bâti sur le plan historique, socio-économique, architectural et constructif et enfin un diagnostic qui permet l'établissement des différents problèmes structurels et de stabilités pour lesquels il sera proposé des solutions de consolidation ou éventuellement de reprise totale.

Les différentes solutions apportées doivent respecter les caractéristiques architecturales plastiques, esthétiques et patrimoniales du bâtiment.

---

<sup>44</sup> Réhabimed. Bulletin trimestriel du projet pour promouvoir la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Avril 2006.

---

DEUXIEME CHAPITRE

*TPOLOGIES STRUCTURELLES ET ELEMENTS  
ARCHITECTURAUX*

---

**I.**

## Introduction

Le patrimoine colonial bâti de la fin du 19<sup>ème</sup> début 20<sup>ème</sup> siècle (habitat) est caractérisé par plusieurs périodes de construction, où chacune d'elles correspond à des techniques évolutives et typologiques bien définies en étroite relation avec les matériaux disponibles. Cependant on retrouve plusieurs typologies structurelles qui coexistent et qui se présentent comme une stratification de procédés correspondant aux grandes périodes de construction. A l'échelle de la région méditerranéenne, J. Ptrovski<sup>45</sup> a identifié trois grandes familles de constructions correspondant à trois périodes bien distinctes :

- ✓ Avant 1920 : Dominance de constructions traditionnelles réalisées avec de la maçonnerie de pierre ou de brique en terre cuite avec des planchers en bois et/ou en voûtains (exemple quartier Mustapha à Alger) ;
- ✓ Période 1920-1950 : constructions en maçonnerie de pierres et/ou de briques avec des planchers dalles en béton armé (exemple Diar-Essaada à Alger, l'œuvre de l'architecte Fernand Pouillon)<sup>46</sup> ;
- ✓ Après 1950-1962 : constructions dites modernes où le béton armé a fait son apparition comme matériau économique, de très bonne performance technique (mécanique et de durabilité). Le système classique d'aujourd'hui, poteaux poutres on le retrouve dans les premiers grands ensembles modernes (exemple Aéro Habitat), ainsi des structures métalliques ou bien mixtes (acier-béton) tel que l'immeuble Lafayette à ossature métallique à Alger<sup>47</sup>.

Dans ce chapitre on présentera ces différentes typologies, recensées sur la base d'un travail de recherche documentaire mais aussi de terrain à travers les différents sites où des opérations de réhabilitation, de restauration ou de démolition ont été entreprises. L'ensemble des typologies sera décomposé en différentes structures à savoir horizontales et verticales. On retrouve alors des typologies traditionnelles composées essentiellement de murs porteurs en maçonnerie associés à des planchers constitués de solive en bois au départ jusqu'au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle, puis à partir de la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, suite à l'amélioration des performances de l'acier, les planchers sont à base d'une ossature métallique qui vient substituer l'ossature en bois<sup>48</sup>, ce qui a permis des portées plus importante .Au début du 20<sup>ème</sup> siècle des structures en béton armé

---

<sup>45</sup> Petroccioli Attilio, Alger 1830-1930 pour une étude typologique des immeubles d'habitation, Environmental Design: Journal of the Islamic Environmental Design Research Centre 1-2 (1992).

<sup>46</sup> Programme municipal de construction de 2000 logement, in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. n°15, 1954.

<sup>47</sup> Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée, in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N°12 juillet, août, septembre, 1953.

<sup>48</sup> S. Chaning. La chirurgie des structures, réhabilitation structure enveloppe. Centre d'Assistance Technique Et de Documentation (CATED).1993.

type poteau-poutre ainsi que voiles sont apparues, portant des planchers en béton armé à base de dalle pleine<sup>49</sup> puis des planchers préfabriqués de type poutrelle-hourdis<sup>50</sup>, enfin on retrouve des structures métalliques ou bien mixte acier-béton, basées essentiellement sur un système d'assemblage entre différents éléments de structure. Cette architecture est aussi caractérisée par des façades richement décorées ainsi que des éléments constitutifs qui font partie intégrante tel que les linteaux (en bois, acier, béton...) les modénatures et les éléments en saillis (balcon). Tous ces éléments qui composent ces immeubles d'habitations leur confèrent une richesse et une qualité architecturale et architectoniques constituant ainsi leurs valeurs.

## **I. Différentes typologies structurelles du patrimoine colonial 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup>**

### **I.1. Typologies en maçonnerie de pierre ou de brique en terre cuite avec planchers en bois et/ou en voutains**

#### **I.1.1. Structures horizontales**

##### **I.1.1.1. Fondations en maçonnerie**

Le mur de fondation est édifié directement sur le sol généralement une roche qui constitue le sol d'assise, si celle-ci se trouve à fleur de terre, sinon une fouille en rigole est réalisée, où on assèche le fond par de la chaux vive<sup>51</sup>. Le mur est constitué d'une couche drainante de cailloux propres concassés, servant de forme de pose aux premiers appareillages de pierres, hourdée au mortier de chaux ou de terre ou bien mixte terre et chaux (terre stabilisée). Ces premiers rangs étaient le plus souvent réalisés en grosses pierres, de cailloux de pierres plates, galets ou moellon brut ou équarris, pouvant atteindre 40 cm de côté servant ainsi d'assise au mur<sup>52</sup> (on parlera d'assises plutôt que de fondations pour une construction ancienne) comme nous le montre la figure 2.1). Ces murs sont très solides, leurs seuls ennemis sont les mouvements sismiques, les poussées de terre, et l'eau qui remonte par capillarité, solubilise lentement les liants et finit par ronger les mortiers et joints causant ainsi l'instabilité de l'ouvrage.

---

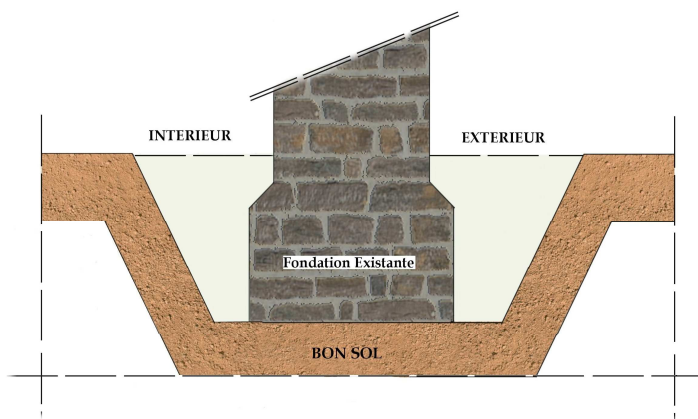
<sup>49</sup> Le groupe les cadis à Tizi-Ouzou in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 32 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> trimestre, 1959.

<sup>50</sup> Immeuble la liberté à Oran in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 32, 1954.

<sup>51</sup> Euromed héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée MEDA. Brochure.

<sup>52</sup> Ibid.

La profondeur du mur de fondation varie de 0,3 m minimum à 1,20 m maximum la moyenne se situant entre 0,50 et 0,70 m<sup>53</sup>, La maçonnerie de fondation est caractérisée par<sup>54</sup> :



**Figure 2.1.** Fondation en maçonnerie de pierre.

- ✓ La largeur qui peut être égale à l'épaisseur du mur en élévation, ou supérieur d'une vingtaine de centimètres ;
- ✓ Le type de matériaux qui la constitue ;
- ✓ La hauteur du mur de fondation peut être élevée en soubassement pouvant atteindre 1 m, quand le niveau du sol est inégal ;

✓ La nature des pierres utilisées en fondation est le plus souvent différente de celles utilisées en élévation (pierre plus dures, plus régulières et moins poreuses).

## I.1.1.2. Planchers

### I.1.1.2.1. Planchers à ossature bois

Les planchers à ossature en bois sont constitués d'un certain nombre d'éléments :

#### ✓ *Ossature porteuse*

L'ossature porteuse des planchers en bois est composée essentiellement d'une structure primaire constituée de poutres reportant la charge des planchers sur les murs porteurs en pierre ou en brique de terre cuite. Les appuis des poutres sont soit encastés directement dans les murs (voir photo 2.1 et figure 2.2) ou bien reposant sur des corbeaux en saillie, en bois ou en pierre<sup>55</sup>.



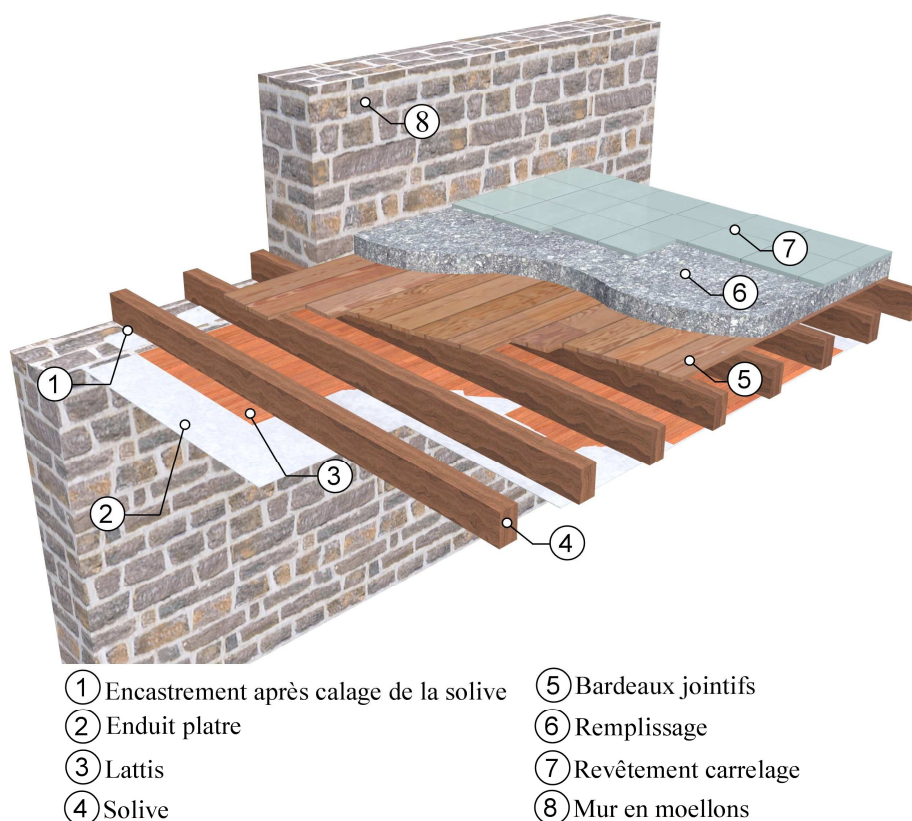
**Photo 2.1.** Plancher à ossature bois : cas des poutres encastées dans le mur.

<sup>53</sup> Euromed héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée MEDA. Brochée.

<sup>54</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>55</sup> Bureau Veritas. Guide Veritas du bâtiment, Gestion technique du bâtiment. Réhabilitation et maintenance 3<sup>ème</sup> édition. Le Moniteur, Paris 1993.

Ce type de structure est utilisé pour des pièces dont la portée est inférieure à 5 m. pour les pièces dont la portée est supérieure à 7 m, les planchers sont constitués d'une autre structure secondaire, sous forme de solives qui au niveau du mur, viennent en scellement (rare), et reposent plus généralement sur un ressaut du mur ou sur une poutre murailleuse<sup>5657</sup>, elles sont plus ou moins espacées (30 à 40 cm), disposées transversalement aux poutres principales et reposant sur ces dernières (voir figure 2.3), fixées ou encastrées dans celles-ci<sup>58</sup> (voir photo



**Figure 2.2.** Plancher à ossature en bois.

2.3).L'espace entre les solives est souvent masqué par des planchettes verticales (voligeage) de 2 à 3 cm d'épaisseur assemblées aux solives par simple clouage. Toutefois elles peuvent être utilisées comme couche support, destinées à former une surface de répartition sur laquelle va venir peser le poids des matériaux constituant la dalle<sup>59</sup> (voir figure 2.3).

### ✓ *Remplissage*

Le voligeage porte un remplissage formant la dalle, constitué d'un mortier de plâtre,

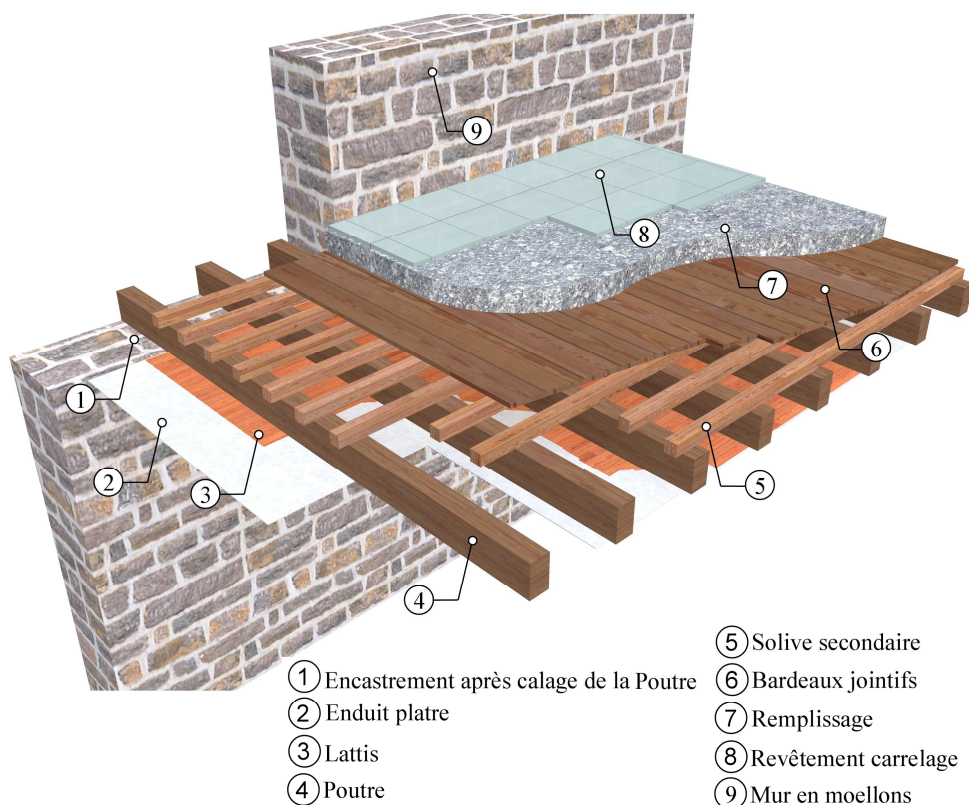
<sup>56</sup> Bureau Veritas. Op. Cite. 3<sup>ème</sup> édition 1993.

<sup>57</sup> Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée. Op. Cite

<sup>58</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>59</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.

plâtrât et d'argile battue, voir même d'autres matériaux tel que la brique de terre cuite (voir photo 2.4) Dans certains planchers plus récents, le voligeage et le remplissage peuvent être



**Figure 2.3.** Plancher en bois avec poutre principale et secondaire.

remplacés par des augets en plâtre (remplissage entre les solives). Ce remplissage qui répartit la charge et sert d'isolant phonique porte le revêtement de sol sous forme de dallage scellé au mortier de chaux<sup>60</sup>. La sous-face du plancher peut être laissée brute protégée par une peinture ou bien revêtue d'un habillage souvent en plâtre. Dans ce cas, le mélange plâtre est accroché aux solives par l'intermédiaire d'un lattis cloué (voir photo 2.2 et figure 2.3). Les sections de bois des planchers anciens sont en général assez faibles au regard de leur portée, ce qui entraîne le plus souvent une certaine souplesse de la structure et une flèche très sensible<sup>61</sup>. Ces phénomènes



**Photo 2.2.** Faux-plafond en plâtre avec lattis.

<sup>60</sup> Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée. Op. Cite.

<sup>61</sup>.Ibid.

n'ont rien d'inquiétant, tant que les appuis sont en bon état et que la surcharge d'exploitation apportée au plancher reste conforme à une surcharge "normale" correspondant en général à un usage d'habitation.



**Photo 2.3.** Plancher à ossature bois : cas de poutre principale et secondaire.

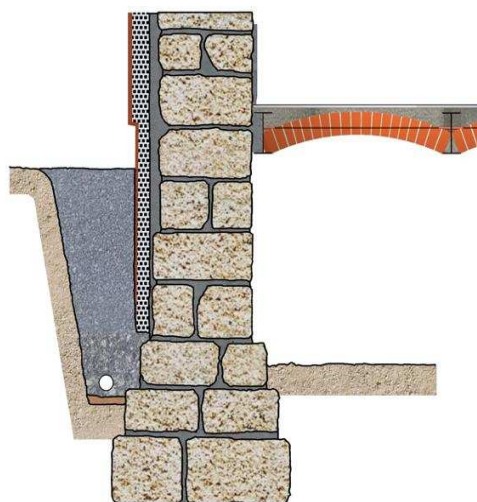


**Photo 2.4.** Remplissage en brique de terre cuite hourdée avec de la terre crue.

Au cas où l'évolution de l'usage du bâtiment impliquerait une surcharge plus importante, le plancher pourra être, après calcul, renforcé par le dessus (augmentation de l'inertie des poutres par éléments métalliques ou résine armée, ou bien par l'intermédiaire de plancher collaborant en béton, armé d'un treillis soudé (voir détail au chapitre 4).

### **I.1.1.2.2. Planchers à ossature métallique (à voutain)**

Apparaissent à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle notamment utilisés pour les rez-de-chaussée au départ puis généralisés pour l'ensemble des planchers<sup>62</sup>. Ils sont venus substituer les planchers à ossature en bois afin d'augmenter les portées franchies et les espacements entre solives. Ces planchers sont constitués d'un certain nombre d'éléments qui remplissent également une ou plusieurs fonctions (porteuse, isolation...). On retrouve une multitude de planchers métalliques dont la structure se décompose à peu près,



**Figure 2.4.** Plancher à ossature métallique avec mur porteur en maçonnerie de pierre.

<sup>62</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat(ANAH), fiche technique n°24, ossature et structure de l'immeuble.

toujours de la même manière qui peut être schématiquement présentée de la façon suivante :

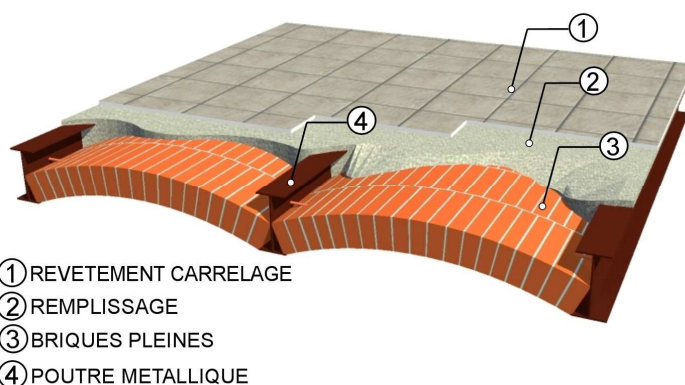
### ✓ *Ossature porteuse*

Assurée par des profilés métalliques en fer puddlé puis en acier (solives) qui constituent l'ossature du plancher et reprennent les charges qui leurs sont appliquées afin de les transmettre aux murs porteurs, les profilés courants les plus utilisés et encore rencontrés actuellement sont<sup>63</sup> :

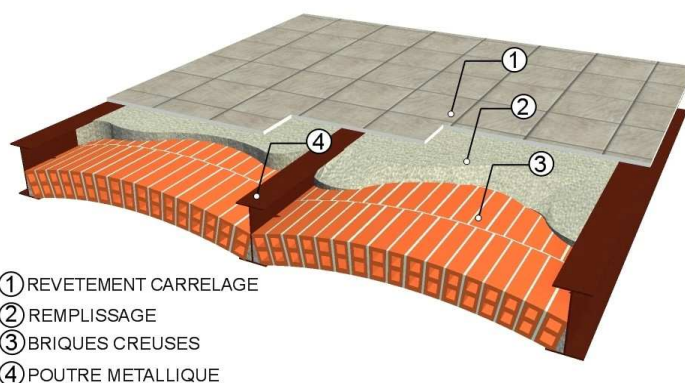
- ① L'IAO (apparu vers 1845);
- ② L'IPN (apparu vers 1885).

Leurs caractéristiques diffèrent sensiblement pour une même hauteur de profilés. L'espace entre les solives qui est de 40 à 60 cm est alors comblé à l'aide de brique généralement pleines appelées vouîtains (voir figure 2.5). Ils sont

aussi réalisés en brique creuses de manière à donner un effet de voute (voir photo 2.5, figure



**Figure 2.5.** Plancher en vouîtain avec brique pleine.



**Figure 2.6.** Plancher en vouîtain avec brique creuse.



**Photo 2.5.** Plancher à vouîtain avec brique creuse et faux plafond.

2.6), ou en brique posées à plat (voir photo 2.6) sur l'ail inférieur de la poutrelle<sup>64</sup>. Le montage de ces structures était plutôt complexe et s'effectuait grâce à la confection d'un coffrage en bois ou en acier<sup>65</sup>. Ce type de plancher a été remplacé par la suite par des plancher avec pré-dalle en béton armé (voir figure 2.8).

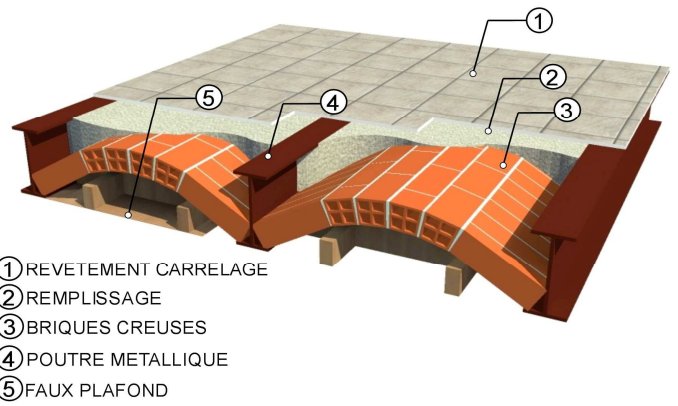
<sup>63</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>64</sup> Bureau Veritas. Op. Cite. 3<sup>ème</sup> édition 1993.

<sup>65</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (ANAH), fiche technique n°24. Op. Cite.



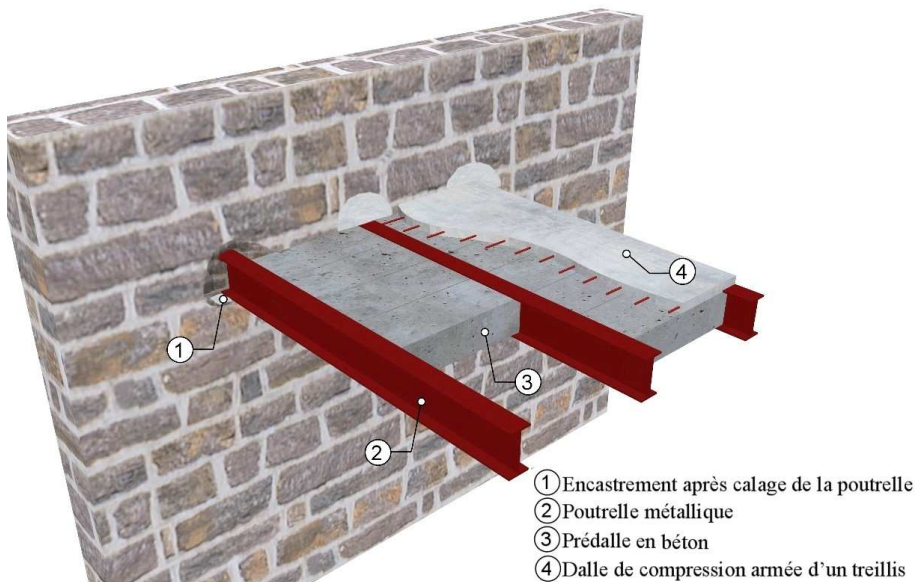
**Photo 2.6.** Brique creuse posé à plat.



- ① REVETEMENT CARRELAGE
- ② REMPLISSAGE
- ③ BRIQUES CREUSES
- ④ POUTRE METALLIQUE
- ⑤ FAUX PLAFOND

**Figure 2.7.** Plancher en voutain avec brique creuse.

### ✓ Remplissages



- ① Encastrement après calage de la poutrelle
- ② Poutrelle métallique
- ③ Prédalle en béton
- ④ Dalle de compression armée d'un treillis

**Figure 2.8.** Plancher avec prédalle en béton armé.

Une fois la structure est réalisée on superpose une couche de remplissage avec les déchets de chantier en général, afin de raidir la surface du plancher en constituant le lit de pose <sup>66</sup>(voir figure 2.7) du revêtement.

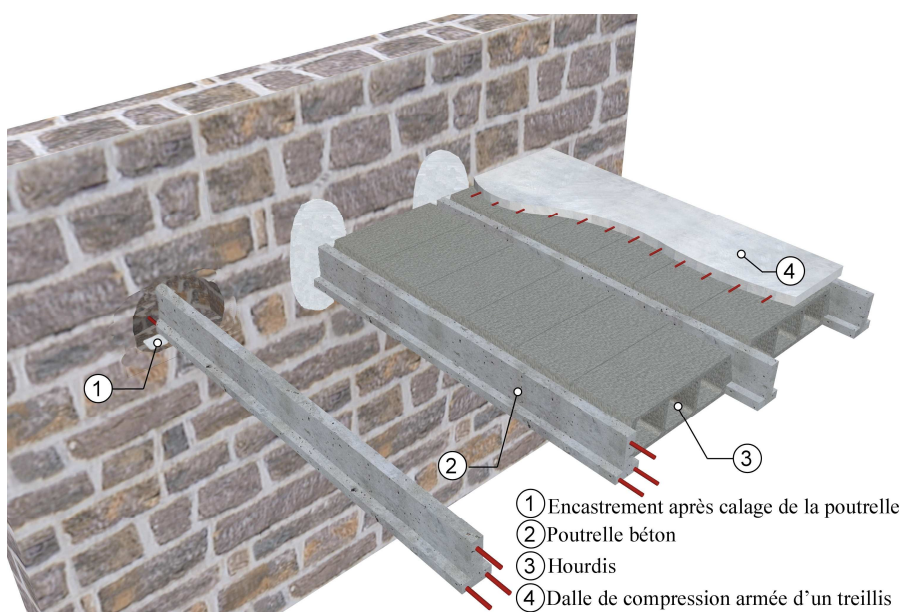
Ces revêtements à

base de carrelage qui hormis le rôle décoratif qu'il joue, permettent de contribuer à l'isolation des bruits et impacts, et à l'étanchéité des pièces humides. La partie inférieure du plancher est soit laissée brute ou revêtue d'une couche de plâtre, qui peut être parfois accrochée à des lattis souvent sous forme de faux plafond (voir photo 2.4), comme pour les revêtements de sol outre la fonction décorative et esthétique qu'ils assurent, ils contribuent également à l'isolation acoustique du complexe du plancher, et à la protection de l'ossature contre les risques d'incendie. Dans le cas des planchers avec pré-dalle on superpose directement une dalle de compression armée d'un treillis soudé (voir figure 2.8).

66 S. Chaning. Op. Cite.

### I.1.1.2.3. Plancher à poutrelle préfabriquée en béton encastrée dans le mur

De tels planchers sont constitués de poutrelles placées généralement à l'entraxe de 0,60 m en béton armé encastrées dans le mur reposant sur des calages, et d'une dalle de compression<sup>67</sup> (voir figure 2.9), qui constitue avec la partie supérieure de



**Figure 2.9.** Plancher à poutrelle en béton armé encastrée dans le mur.

la nervure coulée, la membrure comprimée du plancher fini. Les hourdis utilisés sont en terre cuite ou en béton de granulats courants<sup>68</sup>.

### I.1.1.3. Couvertures

#### I.1.1.3.1. Charpente traditionnelle en bois

Elles se caractérisent essentiellement par le recours à l'usage de bois massif sous forme de sciages de moyennes ou fortes sections<sup>69</sup>. Elle est constituée de plusieurs éléments qui constituent la structure (voir photo 2.7) :

✓ *Fermes*



**Photo 2.7.** Charpente traditionnelle en bois.

<sup>67</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>68</sup> Les Eucalyptus, cité des 700 logements, in revue chantier nord africain : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 23. 1956.

<sup>69</sup> Ministère de la culture et de la communication de la république française, direction de l'architecture et du patrimoine. Op. Cite.

Se sont les assemblages en poutres de bois qui constituent les pièces suivantes<sup>70</sup> :

- ① deux arbalétriers, qui supportent les pannes intermédiaires ;
- ② un entrait, ou deux moisés qui maintiennent l'écartement des arbalétriers, supportent le poinçon et les pannes sablières ;
- ③ un poinçon, qui assure la liaison des arbalétriers à l'entrait et supporte la panne faitière ;
- ④ deux contre-fiches, pour la triangulation de la charpente et le renfort des arbalétriers.

L'ensemble de ces éléments forment la structure triangulaire de la charpente<sup>71</sup>, qui supporte le système de poutrelles orthogonales (pannes, chevrons et lattis) pour la fixation des versants en tuiles et la transmission de toutes leurs charges vers les murs<sup>72</sup>.

✓ **Chevrons** : Constituent la structure supportant les lattis qui reçoivent les tuiles de couverture<sup>73</sup>. Les essences utilisées sont souvent du bois dur capable de résister aux intempéries.

## I.1.2. Structures verticales

### I.1.2.1. Murs porteurs en brique de terre cuite

Les murs en briques de terre cuite sont souvent hourdés avec un mortier à base de chaux aérienne ou hydraulique, parfois à la terre crue. Généralement la brique utilisée est de forme et d'aspect régulier, fabriquée avec une argile de qualité très souvent variable, d'une couleur rosâtre<sup>74</sup>. Cette technique constructive permet de



**Photo 2.8.** Mur porteur en maçonnerie en brique de terre cuite (plancher refait).

<sup>70</sup> D. Montharry, M. Platzer. La technique du bâtiment, tout corps d'état. Le Moniteur, 4<sup>ème</sup> édition. Paris 2004-2007.

<sup>71</sup> Ibid.

<sup>72</sup> S. Channing. Op. Cite.

<sup>73</sup> D. Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>74</sup> Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée. Op. Cite.

réaliser des murs de faible épaisseur de 15 à 25 cm généralement destinée aux murs intérieurs, et atteignent 1,20 m pour les murs extérieurs. Elles sont le plus fréquemment nues, mais également destinées à recevoir un enduit de protection, la maçonnerie en briques de terre cuite est parfois combinée avec de la maçonnerie en pierre, soit utilisée comme remplissage (fourrure en moellons brut hourdé pour les murs épais, deux parements), soit en construisant le parement extérieur en briques apparentes, et les murs côté intérieur en moellons<sup>75</sup>.

### I.1.2.2. Murs porteurs en maçonnerie de pierre

On retrouve aussi dans les bâtis de la période coloniale des murs massifs constitués de blocs de pierre hourdés avec du mortier, composé principalement d'un liant (chaux grasse ou ciment) et de granulats (sable) naturels<sup>76</sup>. Il existe deux types de maçonneries de pierre<sup>77</sup> :

#### ① Maçonneries homogènes

Se sont des murs à simple épaisseur, soit un seul rang d'éléments parpaings formant les deux parements, soit des moellons posés en boutisse assurant la liaison de la maçonnerie à deux rangs (voire photo 2.9). Ils sont en pierres calcaire, schiste, grés, granit briques pleines



**Photo 2.9.** Mur homogène en maçonnerie de pierre.



**Photo 2.10.** Mur composite en moellon.

<sup>75</sup> Euromed Héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée. Op. Cite.

<sup>76</sup> Y-M. Froidevaux. Techniques de l'architecture ancienne. Construction et restauration. Troisième édition. Madriaga. 1993.

<sup>77</sup> J. Coignet, L Coignet. Maçonnerie de pierre, Matériaux et techniques, désordres et interventions. Eyrolles. 2006.

voir même des débris de démolitions. On peut également trouver de la brique creuse, ou bien des maçonneries alternés de pierres et de briques qui permettent une meilleure stabilité. L'épaisseur de ces murs est très souvent importante (supérieure à 0,50 m), les mortiers d'hourdages qu'on peut rencontrer pour ces murs en pierre sont à base de chaux aérienne, chaux hydraulique et bien sur ciments<sup>78</sup>.

## ② Maçonneries composites

Nous rencontrons également des murs à double épaisseur (voir photo 2.10), les deux parements sont liaisonnés par un remplissage intermédiaire composé d'un mélange de mortier grossier et de déchets de pierre. Les mortiers de liaison sont souvent réalisés à base de mortier de chaux<sup>79</sup>.

L'épaisseurs de ces murs, moins résistants que les murs homogènes, varient entre 0,50 m à 1.20 m. Dans certains cas on retrouve l'introduction de chainages horizontaux en brique, ou en pierre de taille (mur mixte) (voir photo 2.11) qui constituent des cadres pour les ouvertures, les piliers et les angles, régulièrement répartis dans la maçonnerie permettant l'amélioration



**Photo 2.11.** Chainages aux droits des angles.

des performances constructives du mur<sup>80</sup>. Leurs épaisseurs varient de 0,5 m à 0,6 m voir exceptionnellement 1 m.

Ces dispositifs de chaînage permettent à la fois de :

- ① compenser les formes irrégulières des moellons par des reprises d'assises ;
- ② apporter plus de cohésion et de stabilité et d'autoriser de ce fait à construire moins épais et à élever en hauteur ;
- ③ encaisser sans compromettre l'équilibre de la construction, les violentes sollicitations sismiques ;
- ④ liaisonner les deux parements par

des pièces transversales formant des éléments parpaings.

<sup>78</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>79</sup> J Coignet, L Coignet. Op. Cite.

<sup>80</sup> Ibid.

### I.1.2.3. Circulation verticale (escaliers)

On retrouve des escaliers en bois constitués par des marches et contre marches réalisées avec des madriers encastres dans le mur porteur en pierre (voir photo 2.12), la face



**Photo 2.12.** Marche d'escalier en bois.



**Photo 2.13.** Revêtement de la face inférieure de l'escalier en bois.

inférieure de la volée est revêtue d'un enduit plâtre fixé sur des lattis en bois (voir photo 2.13).ou sur un contre plaqué La rampe d'escalier est en fer généralement fixé sur le limon (pièce d'appui d'extrémité de la marche)<sup>81</sup>.

## I.2. Typologie structurelle en béton armé

### I.2.1. Structures horizontales

#### I.2.1.1. Fondations

Une multitude de systèmes à été réalisé dans le bâti construit durant la période coloniale ou chaque système est choisi selon la nature du terrain (terrain schisteux...), ainsi que le type de structure qu'elle porte (mur porteur, poteaux poutre...). Nous retrouvons :

- ① Des fondations en béton armé sur puits en gros béton descendu jusqu'au bon sol, ces semelles sont ponctuelles de forme carré peu profonde, d'environ 4 m (varie selon la profondeur du bon sol), elles repartissent les charges le plus uniformément possible sur le sol, dont le socle de fondation reçoit le pilier. Ce type de fondation est utilisé dans les ossatures de type poteau-poutre on retrouve comme exemple la cité de 700 logements aux eucalyptus à Alger<sup>82</sup> ;

<sup>81</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat(ANAH), fiche technique. n°24. Op. Cite.

<sup>82</sup> Les Eucalyptus, cité des 700 logements in revue chantier N° 23 1956.Op. Cite.

- ② Des fondations constituées par un quadrillage de poutre de semelle en béton armé<sup>83</sup>, ces socles de fondation sont continus sous forme de semelles filantes<sup>84</sup>, peu profondes composent l'assise soit d'une structure métallique (immeuble Lafayette à ossature métallique), d'un mur généralement porteur (Diar Es Saada) ou bien d'un poteau (HLM Hélène Boucher à Alger) ;
- ③ Des fondations profondes sur pieux (pieux picot) descendant à 4 m de profondeur, on utilise ce type de fondation lorsque le terrain est de mauvaise portance (cité des cadis à Tizi-Ouzou)<sup>85</sup>, ou pieux Franki décarroté de 80 à 100 tonnes de force portante, comme exemple, les 634 logements « les Eucalyptus » à Alger en structure métallique<sup>86</sup>.

### I.2.1.2. Poutres

Elles peuvent être de hauteur constante ou variable, leur section est généralement rectangulaire, elles sont armées selon les calculs, coulées généralement en même temps que le plancher. Parfois, on distingue un premier réseau de poutres appelées principales qui s'appuient sur les poteaux et qui supportent un second réseau de poutres appelées secondaires<sup>87</sup>. Dans le cas où des poutres s'appuient directement sur le sol entre deux massifs de fondation, elles sont appelées longrines.

### I.2.1.3. Poutrelles

Les poutrelles sont des composants structurels linéaires de faible section, destinées à être associées à d'autres composants : entrevous et béton coulé en œuvre pour constituer un plancher<sup>88</sup>. Elles constituent en tout ou en partie le système résistant du plancher ainsi formé.

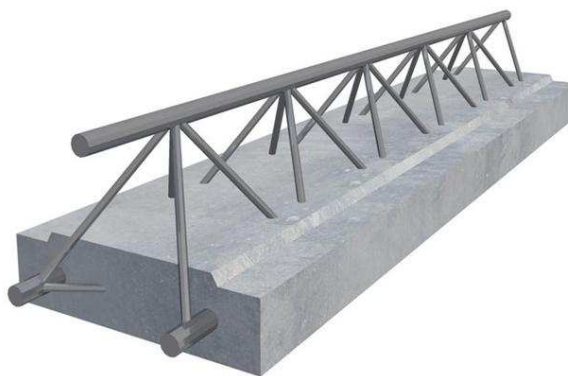


Figure 2.10. Poutrelle à treillis.

#### I.2.1.3.1. Type de poutrelles

Les poutrelles se répartissent en deux types :

<sup>83</sup> Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée, in revue chantier N°12, 1953. Op. Cite.

<sup>84</sup> HLM Hélène Boucher à Alger, in chantier revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 17 octobre, novembre, décembre 1954.

<sup>85</sup> Le groupe les cadis à Tizi-Ouzou. In revue chantier N° 32, 1<sup>ère</sup> 2<sup>ème</sup> trimestre 1959. Op. Cite.

<sup>86</sup> Les Eucalyptus 634 logements. In chantier revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 13 octobre, novembre, décembre, 1953.

<sup>87</sup> D.Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>88</sup> Ibid

### ✓ *Poutrelles à treillis métallique :*

Elles sont composées d'une armature en treillis enrobée en partie inférieure par un talon de béton fabriqué en usine ou sur chantier (voir figure 2.10)<sup>89</sup>. Il existe de nombreux modèles de ce type de poutrelles compte tenu de la grande variété de systèmes d'armatures en treillis. Ces derniers sont constitués à partir de fils d'acier pliés et soudés<sup>90</sup>.



**Figure 2.11.** Poutrelle en T renversé.

### ✓ *Poutrelles en T renversé :*

Elles peuvent être en béton armé (celles-ci sont les plus répandues) ou en béton précontraint<sup>91</sup> (voir figure 2.11).

## **I.2.1.4. Planchers**

Les premières structures en béton armé datent du début du XX<sup>ème</sup> siècle<sup>92</sup>. Les typologies rencontrées sont variées, on retrouve les planchers-dalles en béton armé monolithe et les planchers à poutrelles préfabriquées en béton armé.

### **I.2.1.4.1. Planchers-dalles**

Ces planchers-dalle en béton monolithe composés principalement d'une dalle pleine en béton armé, sont lourds et épais (de 19 cm au minimum), pleins et sans aucune nervure<sup>93,94</sup>. Ils reposent sur les murs en maçonnerie par l'intermédiaire de chaînages et ne comportent aucune poutre intermédiaire. On retrouve ces planchers dans les constructions réalisées au cours des années 1950, on peut citer comme exemple les réalisations de l'architecte Fernand Pouillon à Diar Es Saada et Diar El Mahçoul, où le béton est coulé sur le fond de coffrage perdu en staff de 0.60x0.60 m<sup>95</sup>, doublé de plaques de liège enduites de plâtre servant de plafonds.

<sup>89</sup> D. Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>90</sup> Ibid.

<sup>91</sup> Ibid.

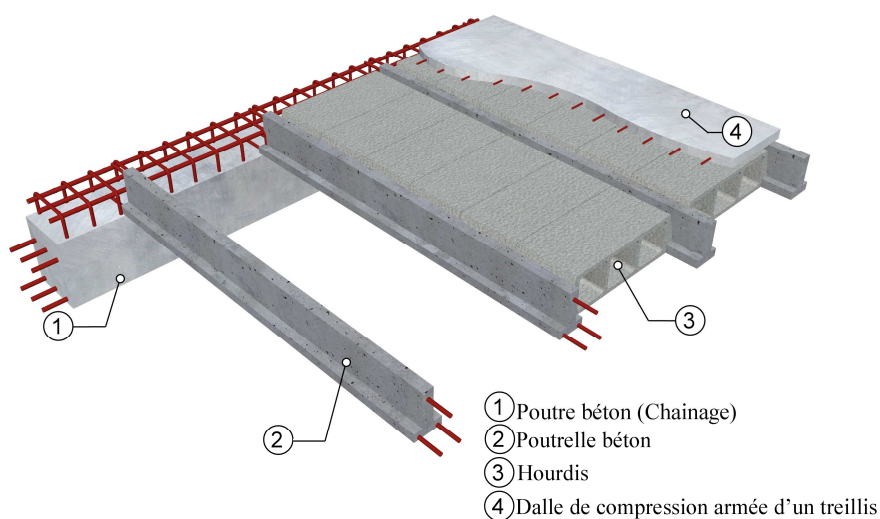
<sup>92</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>93</sup> Programme municipal de construction de 2000 logements. In revue chantier N° 15, 1954. Op. Cite.

<sup>94</sup> Résidence du petit Hydra à Alger. In revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 11 avril, mai, juin 1953.

<sup>95</sup> D. Dubor. F. Félix. Fernand Pouillon. Paris ; éclata. Le Moniteur. 1986.

### I.2.1.4.2. Plancher à poutrelles préfabriquées avec chaînage



**Figure 2.12.** Plancher à poutrelles préfabriquées sur chaînage.

On retrouve aussi une autre variante de plancher à poutrelles préfabriquées (voir figure 2.12), reposant sur un chaînage (poutres) (exemple HLM Hélène boucher)<sup>96</sup>. Composé principalement<sup>97</sup> :

- ✓ Des chaînages posés sur le mur, à quelques centimètres de son bord afin que le béton puisse passer correctement pour éviter tout éclatement en vieillissant ;
- ✓ Des poutrelles posées sur les murs (chaînage) doivent dépasser de quelques centimètres. Elles doivent toutes être espacées les unes des autres en fonction des dimensions des hourdis ;
- ✓ Un treillis soudé posé sur l'ensemble attaché au chaînage ;
- ✓ Une chape en béton, constituant avec le treillis soudé la dalle de compression solidarifiée aux hourdis, sera coulée (voir figure 2.12).

### I.2.1.4.3. Plancher terrasse

La conception des toitures terrasses est liée à son utilisation, elle peut être soit accessible ou inaccessible, en effet la nature de la circulation sur la terrasse va influencer sur le choix des matériaux, leur épaisseur, et sur les caractéristiques de la protection d'étanchéité, composées de plusieurs éléments superposés qui permettent d'assurer des fonctions différentes<sup>98</sup> :

- ① **Éléments porteurs** : L'élément porteur de la toiture terrasse peut être à base de bois, en béton, ou en acier ;
- ② **Isolation thermique** : Consiste en un pare vapeur, il peut être sous forme de chape souple en bitume sous forme de rouleau, ou liquide posée traditionnellement à chaud ;

<sup>96</sup> HLM Hélène Boucher à Alger, in revue chantier N° 17 octobre, novembre, décembre 1954. Op. Cite.

<sup>97</sup> D. Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>98</sup> Ibid.

③ **Revêtement d'étanchéité** : Les différents revêtements que l'on peut rencontrer sont soit :

- ✓ Une étanchéité multicouche en bitume (Exemple immeuble la liberté à Oran)<sup>99</sup>, qui se trouve sous forme naturelle (le bitume natif) au sein de formation géologique calcaire, mais il est également fabriqué industriellement par raffinage de pétrole brut ;
- ✓ sous forme liquide à base d'asphalte auto protégé, qui est une roche sédimentaire poreuse généralement calcaire, imprégnée naturellement de bitume natif. Utilisé pour les terrasses peu fréquentées, Ces matériaux d'étanchéité sont très anciens.

④ **Protection du revêtement d'étanchéité** : C'est la partie visible de la toiture terrasse, son rôle est de protéger le revêtement d'étanchéité contre les agents climatiques (rayon solaire, les écarts de température, du vent) ainsi protection contre les chocs et charges. On peut distinguer :

- ✓ **L'auto protection** : Intégré sur la face externe du revêtement d'étanchéité on parle alors de revêtements auto-protégés qui sont destinés aux terrasses inaccessibles ;
- ✓ **La protection rapportée** : Appelé également protection lourde, elle est mise en œuvre immédiatement après pose du revêtement d'étanchéité, cette protection est constituée soit de gravillon pour des terrasses inaccessibles ou bien d'éléments plus durs tel que les revêtements de carrelage pour des terrasses accessibles ;

⑤ **Points singuliers des toitures terrasses** : La qualité et la durabilité des toitures terrasses, dépend pour la plus grande part de l'exécution des points singuliers qui consistent en ouvrages émergents solidaires aux éléments porteurs, et sur lesquels l'étanchéité est relevée. On retrouve les acrotères, les seuils, les souches de cheminée et locaux divers tel que machineries d'ascenseur par exemple.

### **I.2.1.5. Circulation verticale (escaliers)**

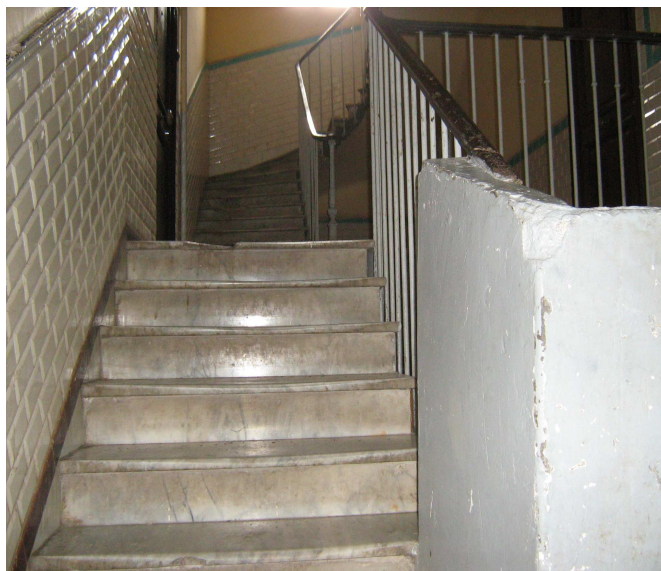
Ils sont de différentes formes ; droit, hélicoïdal, balancé. On distingue des escaliers des planchers monobloc constitués d'une volée, ou bien des escaliers à marches indépendantes assemblées sur une ossature (voir photo 2.14)<sup>100</sup>.

---

<sup>99</sup> Immeuble la liberté à Oran jean martiney. Op. Cite.

<sup>100</sup> D .Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

Ces éléments sont assemblés au moyen de liaisons mécaniques (appuis simples, aciers en attente, boulonnage, soudure, goujonnage)<sup>101</sup> qui assurent le monolithisme des différentes parties constructives ainsi que le raccordement aux planchers et aux parois verticales. La rampe d'escalier constitue un élément de protection et de décor, elle peut être en fer forgé, ou en acier fixé sur le limon (pièce d'appui d'extrémité de la marche). Le nombre de fixation dépend de la nature des matériaux de l'escalier. Le soubassement des cages d'escalier est très souvent revêtu de marbre ou d'autres éléments tel que la céramique (voir photo 2.14).



**Photo 2.14.** Revêtement des cages d'escaliers

## I.2.2. Structures verticales

### I.2.2.1. Mur porteur en béton armé (les voiles)

Ce type d'éléments généralement préfabriqués soit réalisé sur place ou préparé en atelier, d'une hauteur d'étage d'un bâtiment, avec une largeur variable selon les besoins. L'épaisseur des murs est réalisée selon la destination, elle est relativement faible, pour les murs de séparation intérieure généralement de 15 cm, ou bien doublée par des murettes en brique par l'intérieur si celui-ci est destiné pour l'enveloppe extérieure (exemple HLM Hélène boucher, immeuble la liberté à Oran)<sup>102</sup><sup>103</sup>, ou bien d'une épaisseur



**Photo 2.15.** Remplissage de façade en panneaux préfabriqués en béton armé.

<sup>101</sup> D .Montharry. M. Platzler. Op. Cite.

<sup>102</sup> HLM Hélène Boucher à Alger. In revue chantier N°17, Octobre, Novembre, Décembre, 1954. Op. Cite.

<sup>103</sup> Immeuble la liberté à Oran. In revue chantier N°32, 1954. Op. Cite.

de 0.35cm utilisés pour le remplissage extérieur des façades des immeubles (634 logement Eucalyptus, et la cité des 700 logements Eucalyptus)<sup>104</sup>.<sup>105</sup> Ou encor utilisé pour l'ossature comme élément porteur d'une épaisseur de 15 cm. L'aspect du parement extérieur est laissé brut de décoffrage ou bien traité avec des graviers lavés probablement disposés en fond de moule de coffrage qui apparaissent incrustés au démoulage.

### **I.2.2.2. Poteaux**

La fonction principale des poteaux est de transmettre les charges verticales et horizontales aux fondations<sup>106</sup>. Suivant leur hauteur et l'intensité des efforts à transmettre, ils peuvent être en béton armé ou en béton précontraint. Leur section est généralement carrée ou rectangulaire, d'autres sections telles que circulaires sont également possibles.

### **I.3. Typologie structure métallique**

L'utilisation de l'acier dans la construction remonte à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, c'est l'emploi de la fonte qui prédominait auparavant, elle présentait des caractéristiques qui se révélaient insatisfaisantes notamment la résistance à la traction. Cependant le seul moyen d'assemblage qu'elle permettait était à l'aide de boulon ou de vis. A partir des années 1850 on a assisté au passage progressif de l'usage de la fonte à celui du fer puddlé plus facile à laminier à percer et à forger. Le principe des rivets posés à chaud à permis de disposer d'un mode d'assemblage plus facile à mettre en œuvre<sup>107</sup>. Une cinquantaine d'années plus tard l'acier a pu être produit de façon industrielle et s'imposer ainsi à partir des années 1890 comme le matériau de la construction métallique, avec des caractéristiques physiques, mécaniques et de durabilité bien supérieures au fer grâce à la présence de traces bien dosées de carbone et d'autres éléments chimiques (alliages). L'assemblage s'est d'abord réalisé avec des rivets, puis, à partir des années 1930, par la soudure ou le boulonnage<sup>108</sup>.

#### **I.3.1. Mode d'assemblage**

Les assemblages en structure métallique sont variés et classés en deux grandes catégories :

##### **I.3.1.1. Assemblages mécaniques**

---

<sup>104</sup> Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée. In revue chantier N°12, Juillet, Aout, Septembre.1953. Op. Cite.

<sup>105</sup> Les Eucalyptus 634 logements. In revue chantier. N°13, octobre, novembre, décembre, 1953. Op. Cite.

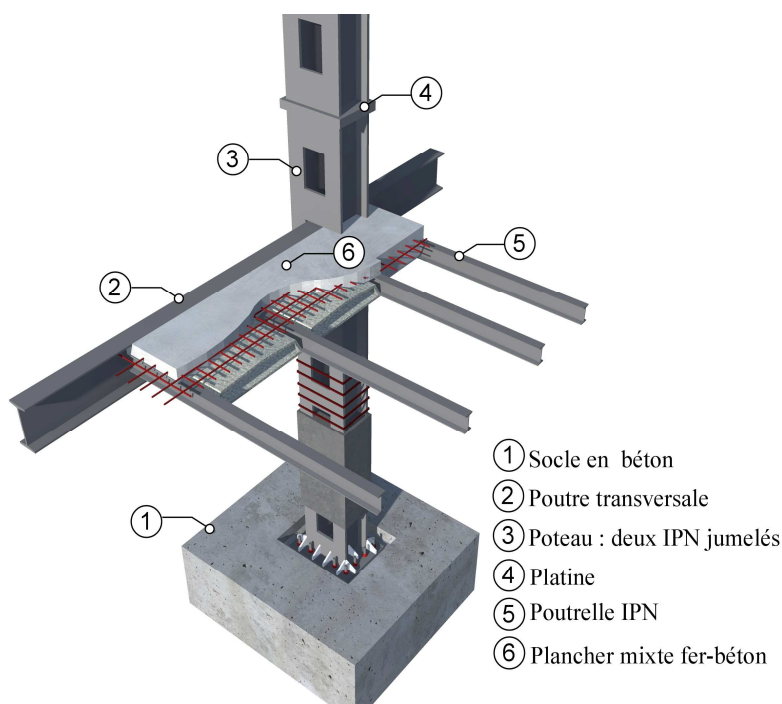
<sup>106</sup> D .Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>107</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des structures métalliques. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES). 2008.

<sup>108</sup> D. Montharry, M. Platzer. Op. Cite.

### ***1.3.1.1.1. Les rivets***

Développé dès la fin du 18<sup>ème</sup> siècle, le rivetage a été longtemps le seul procédé d'assemblage utilisé en construction métallique<sup>109</sup>. Le rivet est un élément d'assemblage présenté sous forme de tige cylindrique généralement métallique composée d'une tête à l'une de ses extrémités<sup>110</sup>, l'autre est forgée à chaud qui au refroidissement se contracte afin d'assurer le serrage des éléments à assembler, de façon à former une seconde tête pour solidariser les éléments à assembler.



**Figure 2.13.** Système d'assemblage en structure métallique.

### ***1.3.1.1.2. Les boulons***

Peuvent être utilisés en atelier ou sur chantier, composés essentiellement d'un corps cylindrique fileté (extérieur) munis d'une tête hexagonale, le tout constitue la vis et d'un écrou également hexagonal avec filetage intérieur<sup>111</sup>. Le serrage des boulons s'opère soit manuellement, avec une clé ou à l'aide d'un outil pneumatique<sup>112</sup>.

## **1.3.1.2. Assemblages adhérents ou cohésifs**

### ***1.3.1.2.1. Le soudage***

Consiste à fondre l'acier localement avec ou sans apport de métal (toujours de l'acier) de manière à reconstituer une continuité de la matière aussi parfaite que possible.

<sup>109</sup> Y. Lescouarc'h. Construction métallique, conception des structures des bâtiments. Cours de l'école nationale des ponts et chaussées. France 2008.

<sup>110</sup> D. Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>111</sup> Ibid.

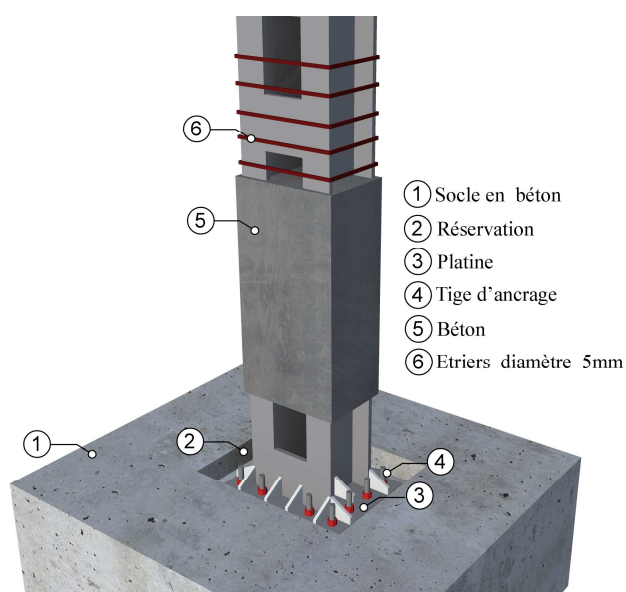
<sup>112</sup> I. Gantray, J. Marie Duraffourg, construire en acier, structure, enveloppe, assemblage et composante. Le moniteur. Paris.1993.

### I.3.2. Eléments et système constructif

Les éléments en acier, dont la préparation et la mise en forme se fait en grande partie en atelier, sont prêts à être montés et assemblés sur chantier à d'autres éléments. La logique de ce système constructif est une logique d'assemblage, où l'ossature se concrétise par éléments porteurs de type poteaux-poutres, sur lesquels viennent se greffer les éléments du plancher, d'enveloppe et de partition<sup>113</sup> (Voir figure 2.13)<sup>114</sup>.

#### I.3.2.1. Poteaux

Se sont des éléments verticaux qui reprennent les efforts de compression et de flexion appliqués à la structure, préparés généralement en atelier par tronçon de la hauteur d'un ou de deux étages. Ils sont essentiellement composés de profilés en I ou H jumelés et suffisamment écartés pour laisser passer entre eux des poutres transversales IPN, équipées d'étriers extérieurs au fil d'acier de 5 mm de diamètre (voir figure 2.14). Le vide constitué alors par les profilés jumelés est rempli de béton puis enrobé de celui-ci, la liaison des poteaux avec le tronçon supérieur est assurée par des platines (plaque en acier de forte épaisseur) qui comportent en leurs milieu des ouvertures circulaires qui permettent le coulage du béton de remplissage et sa continuité avec les éléments de la partie supérieure<sup>115</sup> (voir figure 2.13).



**Figure 2.14.** Liaison poteau-fondation.

##### I.3.2.1.1. Liaison poteau-fondation

La charge de compression qu'exerce le poteau sur le béton de fondation est transmise par une platine soudée à l'extrémité inférieure du poteau traversée par des tiges d'ancrages<sup>116</sup>. En

<sup>113</sup> Chantier, revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. n°8 1952.

<sup>114</sup> Les Eucalyptus 634 logements. In revue chantier. N°13, octobre, novembre, décembre 1953. Op. Cite.

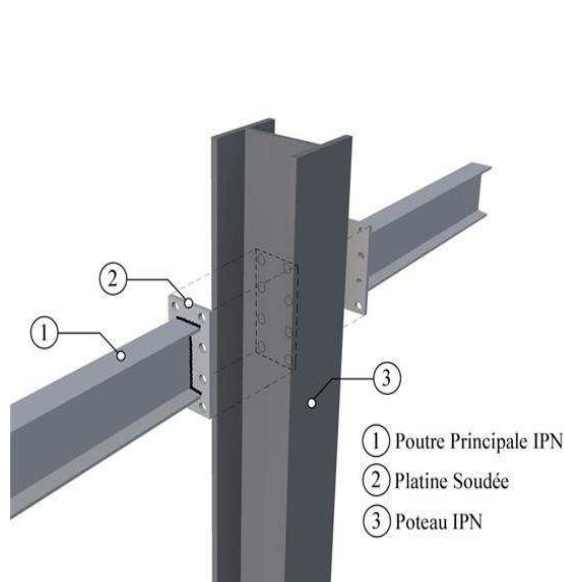
<sup>115</sup> Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée. In revue chantier n°12, Juillet, Aout, Septembre.1953. Op. Cite.

<sup>116</sup> I. Gantray, J. Marie Duraffourg. Op. Cite.

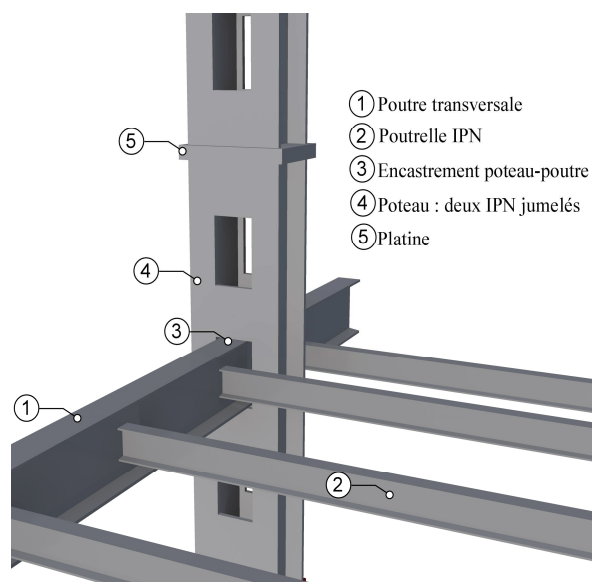
général, des réservations<sup>117</sup> dans le socle de fondation sont réalisées, elles permettront l'ancrage de la platine avant coulage du béton (voir figure 2.14). Le choix de la forme de la platine et du socle en béton est soigneusement étudié afin d'éviter des rétentions d'eau source de corrosion des aciers<sup>118</sup>. L'assemblage se réalise par boulonnage ou bien soudage.

### I.3.2.1.2. Liaison poteau-poutre

Les assemblages poteau-poutre peuvent être exécutés par l'intermédiaire soit de goussets, d'assemblage soudé, de cornières boulonnées ou bien de plaques soudées aux poutres et boulonnées aux poteaux ou au niveau des semelles des poutres en particulier (voir figure 2.15)<sup>119</sup>. Dans certains cas l'assemblage se concrétise par encastrement (poteau-poutre) renforcé par soudure directe<sup>120</sup>, comme exemple l'immeuble Lafayette (voir figure 2.16).



**Figure 2.15.** Liaison poteau-poutre par Boulonnage.



**Figure.2.16.** Liaison poteau-poutre par encastrement.

### I.3.2.2. Poutres

Se sont des éléments horizontaux et linéaires qui reprennent les efforts de flexion<sup>121</sup>. On retrouve plusieurs familles de poutres :

- ① la poutre échelle dont la conception et le calcul diffèrent profondément de ceux des autres poutres (les Eucalyptus 634 logement par l'architecte Michel Luycks).

<sup>117</sup> Les Eucalyptus 634 logements. In revue chantier. N°13, octobre, novembre, décembre 1953. Op. Cite.

<sup>118</sup> Y. Lescouarc'h. Op. Cite.

<sup>119</sup> D.Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>120</sup> Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée. In revue chantier N°12, Juillet, Aout, Septembre.1953. Op. Cite.

<sup>121</sup> I. Gantray, J. Marie Duraffourg. Op. Cite.

- ② les poutres à âme pleine en I ou H (immeuble Lafayette à ossature métallique soudée) ;

### **I.3.2.2.1. Poutres à âme pleine**

Elles sont obtenues soit par le laminage à chaud d'un demi-produit appelé Bloom<sup>122</sup>, soit par l'assemblage en atelier d'une âme avec deux semelles ou deux paquets de semelles<sup>123</sup>. Dans chaque famille, les poutres peuvent être simples, multiples ou former un caisson. La poutre en caisson comporte soit deux âmes réunies par des semelles communes, soit deux poutres distinctes solidarisées par des liaisons au niveau des plans des membrures.

### **I.3.2.2.2. Poutres à échelle**

Constituées de deux membrures continues reliées par des montants verticaux encastres et formant ainsi un réseau à mailles carrées<sup>124</sup>. Elles se distinguent des poutres treillis en ce que la transmission de l'effort tranchant passe nécessairement par la flexion des montants et des membrures, leur équilibre nécessite des liaisons rigides aux nœuds, contrairement aux treillis.

### **I.3.2.2.3. Liaison d'une poutre métallique avec une paroi en béton**

L'attache de la poutre peut s'effectuer de trois manières différentes<sup>125</sup> :

- ① par des corbeaux en béton formant une console ;
- ② par l'engagement des extrémités des poutres dans le béton avec des dispositifs d'appui ;
- ③ par des platines noyées dans le béton sur lesquelles sont fixées les extrémités de la poutre par âme de liaison ou corbeaux pré-soudés en atelier.

### **I.3.2.3. Planchers**

Ils sont de type fer-béton composés par des solives métalliques, qui constituent l'armature inférieure sur laquelle reposent des hourdis sous forme de caissons en coffrage perdu qui portent la dalle supérieure armée d'un treillis soudé (voir figure 2.17)<sup>126</sup><sup>127</sup>. Les solives sont des IPN 80 ou IPN 100, l'adhérence de la dalle de compression avec les poutres est assurée par des connexions sous formes d'épingles (goujons) ou des barrettes soudées en atelier<sup>128</sup>.

---

<sup>122</sup> D. Montharry. M. Platzer. Op. Cite.

<sup>123</sup> I. Gantray, J. Marie Duraffourg. Op. Cite.

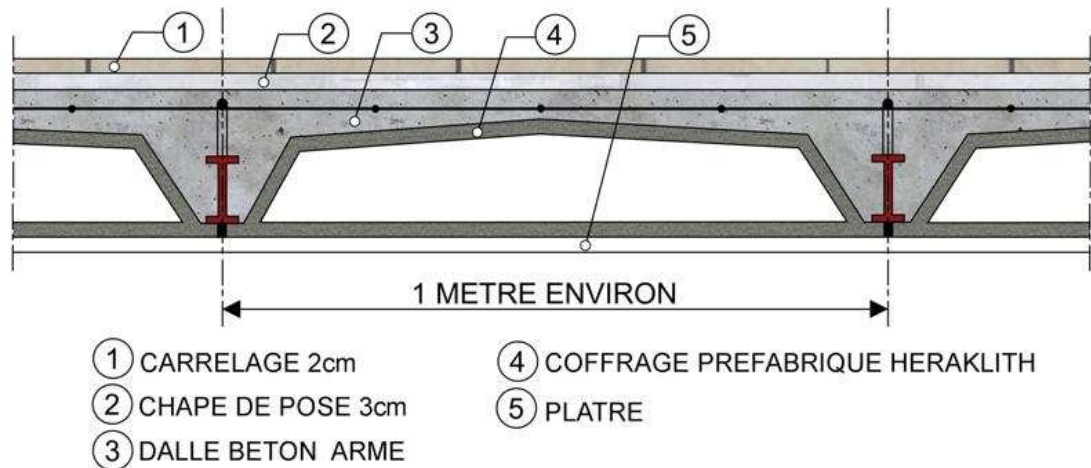
<sup>124</sup> Y. Lescouarc'h. Op. Cite.

<sup>125</sup> I. Gantray, J. Marie Duraffourg. Op. Cite.

<sup>126</sup> Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée. In revue chantier N°12, Juillet, Aout, Septembre.1953. Op. Cite.

<sup>127</sup> Les Eucalyptus 634 logements. In revue chantier. N°13, octobre, novembre, décembre 1953. Op. Cite.

<sup>128</sup> Ibid.



**Figure 2.17.** Plancher mixte fer-béton.

## **II. Éléments d'architecture du patrimoine de la fin du 19<sup>ème</sup> début du 20<sup>ème</sup> siècle**

### **II.1. Revêtements**

#### **II.1.1. Enduit extérieur**

Sont des enduits que l'on applique sur le matériau constitutif de la façade, ils sont traditionnellement préparés sur chantier, composés de liant, de sable et d'eau de gâchage, des fois associés à un adjuvant<sup>129</sup>. Ils sont appliqués manuellement en trois couches : le Gobetis, le corps d'enduit et enfin la couche de finition<sup>130</sup>. Cette dernière couche permet d'avoir une variété de finition : lissée, talochée...

##### **II.1.1.1. Enduit à base de chaux<sup>131</sup>**

###### **II.1.1.1.1. Chaux aérienne**

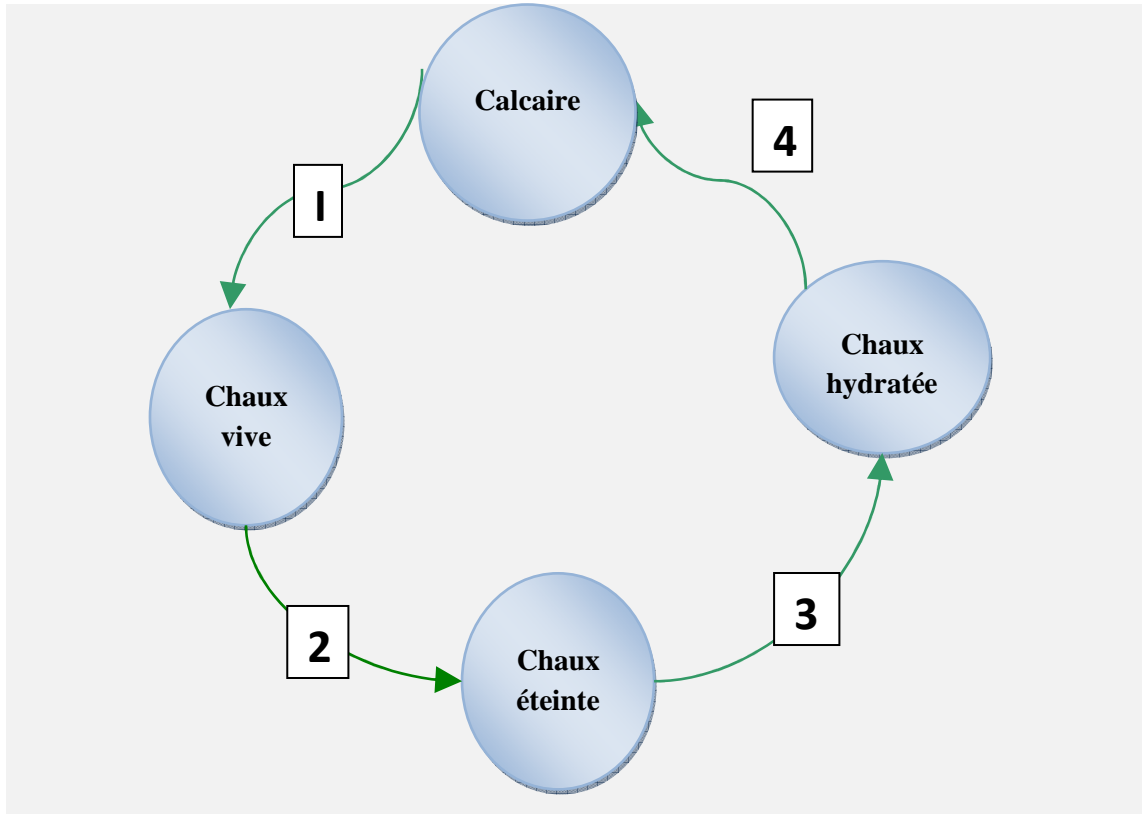
La chaux aérienne est obtenue par une décarbonisation d'une roche calcaire, pouvant contenir des impuretés argileuses ne dépassant pas 6%, à une température avoisinant 900 °C. Après l'étape de cuisson, on procède au broyage pour obtenir de la chaux vive aérienne (CaO) ou bien par extinction par jet d'eau pour obtenir de la chaux aérienne éteinte Ca(OH)<sub>2</sub> (voir figure 2.18).

<sup>129</sup> E. Olivier. Technologie des matériaux de construction. Collection technicien de la construction. Tome 1, 6<sup>ème</sup> édition actualisée.

<sup>130</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>131</sup> M. Dahli. Cours P-G, Module : Matériaux de construction et expression architecturale, Chaux aérienne et hydraulique, 2007/2008.

Le durcissement du mortier (1/3) de chaux aérienne (vive ou éteinte) est très lent il se concrétise essentiellement à l'air libre, en présence d'humidité, par le phénomène de carbonatation qui permet la formation d'une croûte calcaire résistante en surface. Les mortiers à base de chaux aérienne se caractérisent par de faibles résistances à la compression (5 MPa).



**Figure 2.18.** Cycle de transformation du calcaire en chaux et de la chaux en calcaire en présence d'eau et de gaz carbonique.

1. Décarbonisation (décomposition du calcaire) ;
2. Extinction de la chaux vive ;
3. Hydratation de la chaux ;
4. Carbonatation de la chaux hydratée en présence de l'humidité et de  $\text{CO}_2$ .

#### **II.1.1.1.2. Chaux hydraulique**

Utilisée pour la première fois par les romains grâce à l'ajout de la pouzzolane naturelle, elle est aujourd'hui obtenue d'une manière industrielle par calcination de calcaire contenant de l'argile et des marnes (6 à 20 %) à une température de 900 à 1200 °C. Sa particularité par rapport à la chaux aérienne, la chaux hydraulique fait prise même sous l'eau grâce à de nouveaux minéraux entre autres les silicates, les aluminates et les ferrites de calcium.

Les enduits à base de chaux hydraulique sont bien adaptés aux constructions anciennes (mur de maçonnerie de pierre et de terre cuite) ainsi que pour les constructions dont les fondations

ne sont pas très profondes. Ils sont caractérisés par une souplesse et une adaptation aux imperceptibles mouvements de terrain. Ils laissent respirer les maçonneries, permettant à la vapeur d'eau de s'échapper plutôt que de provoquer des désordres tels que les salpêtres, pourrissement des bois... Ils sont beaucoup plus résistants en comparaison avec les enduits à base de chaux aérienne (10 à 12 MPa), dotés d'un retrait très réduit.

### **II.1.1.2. Enduit ciment<sup>132</sup>**

La découverte du ciment, comme liant hydraulique, a non seulement révolutionné le domaine du bâtiment mais également des ouvrages d'art. Grâce à sa composition chimique et minéralogique, il se caractérise par des résistances mécaniques et une durabilité exceptionnelle, il s'adapte aujourd'hui à différents environnements. Les mortiers à base de ciments hydrauliques sont à leur tour influencés par des résistances mécaniques à la compression élevées, d'un durcissement rapide et d'un retrait élevé. Le ciment le plus utilisé dans l'architecture du 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup> est le ciment portland artificiel (C.P.A.).

## **II.1.2. Enduits intérieurs**

### **II.1.2.1. Enduits à base de plâtre**

La plupart des enduits intérieurs sont en plâtre. Ils sont obtenus par déshydratation partielle du gypse puis broyés sous forme de poudre. Dans le domaine de la construction les plâtres les plus utilisés sont le plâtre de construction  $\beta$  modification (enduits intérieurs) de faibles résistances à la compression (5 à 6 MPa) et le plâtre de haute résistance modification (enduits extérieurs), dont les résistances à la compression peuvent atteindre 60 MPa.

## **II.2. Eléments de façade**

### **II.2.1. Linteaux**

On retrouve plusieurs type de linteaux<sup>133</sup> : des linteaux constitués d'une unique pièce de bois (voir photo 2.16) généralement équarris, de pierre monolithe allant de la simple pierre plate pour les petites ouvertures à la pierre soigneusement taillée parfois même moulurée ou sculptée (voir photo 2.18), ou bien réalisés en profilés métalliques ou en béton armé, franchit la largeur de la baie et s'appuie sur les jambages, parfois on retrouve des linteaux sous forme d'arc appareillé en pierre ou en brique de terre cuite courbe ou plat (voir photo 2.17).

---

<sup>132</sup> M. Dahli. Op. Cite.

<sup>133</sup> S. Chaning. Op. Cite.



**Photo 2.16.** Linteau en bois.



**Photo 2.17.** Linteau en forme d'arc.

### **II.2.2. Décor de façades**

Le décor de façades se traduit par un travail sur la peau même de l'immeuble (voir photo 2.18), qui reçoivent lorsqu'elles sont enduites des chaînes d'angles, des bandeaux en trompe l'œil, aussi on retrouve des plaques de céramiques aux motifs fleuris et colorés soulignant quelques éléments du bâtiment (accès, parti de façade...). Aussi les percements font l'objet d'un habillage fréquemment augmenté en hauteur, ce qui leur donne l'impression d'étroitesse et d'étirement. Porte et fenêtres s'inscrivent dans des arcs qui reçoivent des pierres d'encadrement en saillis ou bien des appareillages en brique.



**Photo 2.18.** Façade richement décorée.

Au linteau des fenêtres et des portes d'entrées on peut admirer des mascarons féminins ainsi que des décors floraux qui montrent une forte influence de l'éclectisme dominant pendant la plus grande partie du XIX<sup>ème</sup> siècle. Aussi des ferronneries plus ou moins travaillées complètes cette décoration (voir photos 2.18, 2.19 et 2.20).



**Photo 2.19.** Entrée d'un immeuble



**Photo 2.20.** Entrée d'un immeuble

### **II.2.3. Modénatures**

C'est l'ensemble de mouluration de la façade dans l'architecture de la fin du 19<sup>ème</sup> 20<sup>ème</sup> siècle. Elles sont utilisées pour faire la transition entre deux éléments. Ces moulurations sont réalisées en mortier de chaux naturelle ou en plâtre (voir photo 2.21). Elles sont tirées au gabarit, le même profil est porté sur toute la longueur de l'ouvrage grâce à une pièce en bois ou en tôle servant de modèle. Ce gabarit permet de rendre régulier la forme et les dimensions d'une mouluration.



**Photo 2.21.** Mouluration en plâtre sur le long de la façade.

### **II.2.4. Élément de ferronnerie en façade**

Les éléments de ferronnerie utilisés en façade jouent un rôle de protection. Parmi ces éléments on retrouve les gardes corps des balcons, et les barres d'appuis de fenêtre lorsque l'allège (la hauteur entre le plancher et l'appui de fenêtre) a une hauteur inférieure à 1 m. Ces ouvrages souvent réalisés en ferronnerie sont aussi des éléments décoratifs de la façade, qui reflètent généralement le style de l'époque de construction. Réalisés soit en fer, en acier ou en

fer forgé. L'exposition de ces métaux ferreux à l'eau et à l'oxygène provoque la rouille de ces éléments ce qui favorise les dégradations au niveau des enduits, et des matériaux constitutifs de la façade. Généralement ils sont protégés avec une peinture antirouille.



**Photo 2.22.** Utilisation large de la ferronnerie en façade.



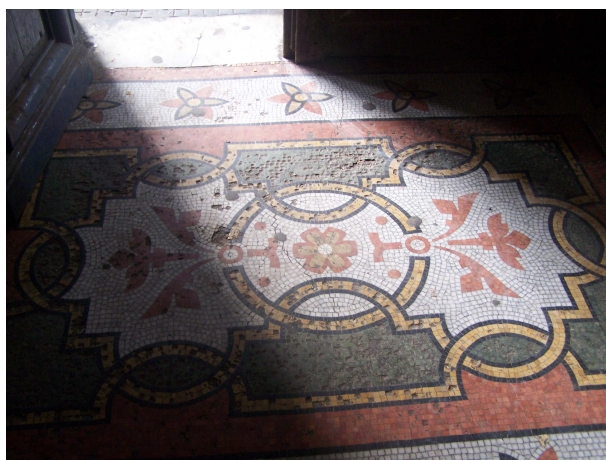
**Photo 2.23.** Profusion d'éléments en saillis.

### II.2.5. Eléments en saillies

On retrouve une profusion d'éléments en saillies et de prolongement extérieur, balcon, balconnet, oriel, Bow-windows (voir photo 2.23).

Les balcons sont généralement agrémentés d'éléments décoratifs sous forme de console soutenant les balcons, où le thème du végétal est omniprésent, ces éléments décoratifs sont en plâtre de haute résistance, réalisé par des coffrages confectionnés (voir photo 2.21).

### II.3. Ornementation intérieure



**Photo 2.24.** Revêtement au sol en mosaïque.



**Photo 2.25.** Revêtement mural en marbre.

Les murs ou les sols peuvent être couverts de carrelage, de marbre (voir photo 2.25) ou de mosaïque (voir photo 2.24) qui confèrent à l'immeuble une valeur patrimoniale inestimable. Les mosaïques sont constituées de petit morceaux de pierre souvent carrés, qui sont scellés à l'aide d'un mortier sur les murs, les sols et même parfois les plafonds. Ces revêtements, on les retrouve souvent au rez-de-chaussée dans les halls d'entrées des immeubles.

## **Conclusions**

Le patrimoine bâti de la période coloniale présente des caractéristiques et valeurs architecturales et architectoniques inestimables et des typologies structurelles variées.

Ces typologies sont multiples et différentes on retrouve des structures traditionnelles avec des murs porteurs en pierre plus au moins équarris, ou mixte avec moellon de pierre et brique de terre ou bien pleine, le tout enduit au mortier de chaux, ces murs sont associés à des planchers traditionnels en bois au départ puis en ossature métallique plus résistante et permet des portées plus importantes qui ont induit l'introduction d'éléments en saillis tel que les balcon. Par la suite on retrouve des structures en béton armé sous forme de poteaux-poutres avec des planchers en dalle pleine monolithe, puis des planchers avec poutrelles préfabriquées en béton, et enfin des structures métalliques ou bien mixte métal béton dont le mode d'assemblage est différent des structures précédemment citées. Aussi les façades sont richement décorées et ornementées (corniche, console bandeau...), elles sont aussi dotées de percement agrémentées de décors. Ces éléments de traitement et de décor qui caractérisent les immeubles de la période coloniale leurs offrent des valeurs patrimoniales inestimables.

La connaissance approfondie de ces typologies permettra d'aborder la réhabilitation de manière correcte et d'obtenir des résultats qui ne seront pas en contradiction avec la réalité du terrain.

TROISIEME CHAPITRE

PATHOLOGIES DES MATERIAUX ET  
STRUCTURES

## **Introduction**

Le bois, la pierre, le béton et l'acier dans toutes ses formes sont les matériaux de construction les plus utilisés dans le bâti (habitat) construit durant la période coloniale. Ces matériaux, qui constituent les éléments constructifs de ces bâtiments, subissent sous l'effet de l'environnement des détériorations qui affectent le matériau lui-même puis l'ensemble de la structure.

Les mécanismes de dégradation sont influencés par un certain nombre de facteurs à savoir l'absence d'entretien correct, la non maîtrise des caractéristiques des matériaux utilisés, la surexploitation des constructions au-delà de leurs capacités portantes, les imperfections de la conception originale et les réaménagements intérieurs ou extérieurs sous la négligence de toutes normes de construction. Ce qui mène à une diminution de la force structurale, en d'autres termes à la réduction de la capacité portante du matériau et de la structure.

Trois critères participent à cette détérioration à savoir le type d'action, la qualité des matériaux et le type de structure. L'action impliquée peut être une action mécanique (dynamique ou statique), ou une action physico-chimique liée à l'atmosphère et à l'environnement. La résistance des matériaux est affectée par les conditions climatiques, environnementales et l'érosion du fait de processus physico-chimiques. Cette dégradation est liée aux éléments de l'environnement naturel tel que l'humidité, la pluie, les fluctuations de températures, le gel-dégel, l'effet de cristallisation chimique dans la microstructure et à des facteurs tel que, la pollution, le manque d'entretien qui accélèrent aussi les processus naturels.

### **I. Pathologies liées aux structures en bois**

#### **Introduction**

Les principaux dégâts constatés sur certaines parties de la structure en bois, lors des investigations menées sur le terrain, sont la pourriture et les fissures. Ils sont dus aux variations de températures et d'humidité, à des causes biologiques et à des problèmes structurels. Les insectes, les champignons ainsi que d'autres processus biologiques peuvent causer des dégâts et provoquer la dégradation des parties en bois, dont la pourriture se produit généralement au niveau des parties affectées par l'eau et en particulier celles qui sont encadrées dans les murs. Les problèmes survenant dans les structures en bois peuvent également provenir de la contraction physique du bois lorsqu'il sèche et de la perte non uniforme d'humidité.

## I.1. Les pathologies d'origine biologique

Elles sont dues en général à l'action des champignons<sup>134</sup>, qui entraînent une pourriture du bois et réduisent de façon importante sa résistance, lorsque les conditions d'humidité et de températures sont favorables<sup>135</sup> suivi d'un manque de ventilation. Les symptômes de pourriture peuvent se manifester avant même qu'ils ne soient visibles, ils peuvent se présenter sous forme de fissures, de taches brunes et d'un changement de couleur et d'odeur<sup>136</sup>.



**Photo 3.1.** Présence de moisissures à la surface de la poutre en bois

Les endroits propices à la prolifération des pourritures sont les points d'accumulation d'eau, comme les surfaces horizontales ou les fentes dans le bois. Le bois qui est en contact direct avec le mur ou d'autres éléments de la structure sont également vulnérables, tout comme les points où deux éléments en bois ou plus sont assemblés de façon jointive (planchers). On peut trouver d'autres types de dégradations causées par d'autres sortes de champignons tel que les moisissures (voir photo 3.1) qui se développent à la surface du bois, ainsi que les champignons de la carie<sup>137</sup>, qui pénètrent la structure cellulaire, endommageant ainsi le contenu et les parois des cellules, et réduisant la résistance, la dureté et plus précisément la durabilité du bois.

## I.2. Pathologies d'origine mécanique

### I.2.1. Sollicitation excessive du bois

La défaillance structurelle se produit lorsque la structure en bois est soumise à des niveaux de contrainte qui dépassent sa résistance<sup>138</sup>. La baisse de résistance de la structure peut être engendrée par un mauvais dimensionnement, un chargement excessif, ou bien par une

---

<sup>134</sup> Université de Colombie- Britannique (UBC). Fiche technique sur la protection du bois : causes et conséquences. 2002, Forintek Canada corp.

<sup>135</sup> Ibid.

<sup>136</sup> Julius Natterer, Traité de génie-civil, Construction en bois, Matériaux, Technologie et Dimensionnement, Presse polytechnique et universitaire Romande, Lausanne 2004.

<sup>137</sup> Université de Colombie- Britannique (UBC). Op. Cite.

<sup>138</sup> Michel Houeix, fiches pathologie bâtiment. Agence Qualité construction (A Q C), SMABTP. Paris 2003.



**Photo 3.2.** Fluage des poutres dues au poids du plancher.

Les assemblages de bois représentent le point le plus sensible d'une structure, une surcharge ou une insuffisance de résistance peuvent entrainer la ruine de l'assemblage et une mauvaise conception vis-à-vis des efforts de traction transversale ou du retrait du bois peuvent à leur tour entrainer une fissuration conséquente<sup>140</sup>. Des fissures peuvent avoir comme origine les éléments métalliques d'assemblage (clou) par un mauvais positionnement ou ils sont proches les uns des autres (voir photo 3.3).

mauvaise transmission des efforts au sein de la structure. Les indicateurs de défaillance structurale incluent<sup>139</sup> : le fléchissement, le fendillement ou le tassement des éléments en bois, l'affaissement des structures et l'apparence des nouvelles ouvertures (fissures) ou des interstices entre différentes parties d'une structure (voir photo 3.2).

### I.2.2. Rupture des assemblages



**Photo 3.3.** Fissure au niveau de l'assemblage.

## I.3. Pathologies d'origine physique

### I.3.1. Retrait du bois

Le changement des conditions d'humidité et de températures entraine l'expansion (gonflement) ou la contraction (retrait) du bois qui peut se courber voire se déformer en cas de charges permanentes<sup>141</sup>, de plus lorsque le retrait est empêché par des assemblages, le bois a tendance à se fendre. Ces fentes de retrait peuvent être soit réparties en petites tailles ou bien singulières avec des profondeurs assez élevées. Le souci majeur que provoquent ces fentes

<sup>139</sup> Julius Natterer, Op. Cite.

<sup>140</sup> Michel Houeix. Op. Cite.

<sup>141</sup> Julius Natterer, Op. Cite.

réside dans la formation de piège à eau qui favorise le développement des champignons et autres substances néfastes à cette structure en bois<sup>142</sup>.

## **II. Pathologies liées aux structures en maçonneries de pierre**

### **Introduction**

Les principaux problèmes rencontrés dans les murs en pierre proviennent de la dégradation du matériau de construction lui-même ou bien de la construction dans son ensemble. Les principales causes de dégradation sont les suivantes :

- ✓ Humidité provenant de la pluie ou d'infiltrations. L'humidité apparaît généralement dans la partie inférieure du mur. La présence d'eau et d'humidité peut avoir des répercussions sur les éléments en pierre et conduire à la cristallisation des sels dans la microstructure du matériau provoquant des contraintes internes ;
- ✓ Les causes chimiques et l'influence des facteurs biologiques et de pollution atmosphérique peuvent entraîner l'altération des éléments de pierre ;
- ✓ Les causes mécaniques (charges et pressions), qui forcent la solidité des éléments.

### **II.1. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité**

La principale cause de dégradation des éléments en pierre est liée à l'action de l'eau, qui en se combinant avec d'autres facteurs, provoque ou accentue les effets destructeurs. Les caractéristiques de la microstructure (capillarité) conditionnent le mouvement ou la rétention des eaux des roches, c'est-à-dire les espaces internes accessibles à l'eau<sup>143</sup> (importance et dimension des pores, la dépression capillaire...).

#### **II.1.1. Actions de l'eau**

L'eau qui remonte par capillarité dans les roches véhicule des sels provenant des sols, ou du terrain avec lequel elle est en contact, cependant lors de son passage dans les joints l'eau dissout des sels plus ou moins solubles, qui sont transportés et déposés sur la partie superficielle lors de l'évaporation<sup>144</sup>. La présence de ces sels existant dans les pores de la pierre, près de la surface peut avoir des effets différents plus ou moins graves. Leur présence

---

<sup>142</sup> Université de Colombie- Britannique (UBC). Op. Cite.

<sup>143</sup> Y-M. Froidevaux. Techniques de l'architecture ancienne. Construction et restauration. Troisième édition. Mardaga. 1993.

<sup>144</sup> Ibid.

se manifeste sous forme de taches ou d'efflorescences blanchâtres<sup>145</sup>. La cristallisation de ses sels peut entraîner des conséquences plus graves, lors de la cristallisation le volume des sels augmente ce qui bouche en parti les pores. La tension importante ainsi créé sur les parois des pores et dans les pores eux même conduit à la dégradation de la pierre. La cristallisation peut provoquer des tensions mécaniques, réduction de la surface de la pierre, séparation de petites parties de la pierre et craquellement<sup>146</sup>.

La concentration de sels à la surface de la pierre, due au déplacement continu de l'eau vers les surfaces externes du matériau, provoque, outre la détérioration des éléments de la pierre, la dégradation des enduits et des mortiers (voir photo 3.4) à savoir un développement de tensions en surface, formation de petites fissures, enduits



**Photo 3.4.** Effritement et écaillage des enduits.



**Photo 3.5.** Prolifération de végétation engendrant la fragilisation des murs.

séparés de la pierre et destruction graduelle)<sup>147</sup>.

### II.1.2. Action du gel-dégel

La dégradation de l'élément en pierre par le gel-dégel est provoquée lorsque la teneur en eau dans les pores atteint la valeur critique<sup>148</sup>. Elle se manifeste lorsque la quantité d'eau contenue dans la roche se transforme en glace suite à une baisse de température, ce changement de phase engendre une augmentation de volume dans les pores en exerçant une pression destructrice, car il n'existe plus suffisamment d'espace vide dans les capillaires pour permettre l'expansion, la valeur de

<sup>145</sup> J Coignet, L Coignet. Maçonnerie de pierre, Matériaux et techniques, désordres et interventions. Eyrolles.2006.

<sup>146</sup> Y-M. Froidevaux. Op. Cite.

<sup>147</sup> RILEM. Altération et protection des monuments en pierre. Actes du Symposium International. Colloque UNESCO. Bulletin RILEM 13, no 75, Paris, 5-9 juin 1978

<sup>148</sup> M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Centre technique et de documentation. Cated. 2003.

cette teneur en eau critique est différente suivant les caractéristiques des structures poreuses.

Elle peut varier de 50 % d'eau par rapport au volume des vides (pierre de forte résistance au gel) à 95-100 % (pierre facilement détruite par le gel)<sup>149</sup>. Les pierres qui possèdent des pores de petite dimension sont plus sensibles à l'action du gel que celles dont les pores sont gros, dans les mêmes conditions d'exposition aux intempéries. Cela s'explique par le fait que les premières atteignent plus rapidement la teneur en eau critique<sup>150</sup>.

### **II.1.3. Action des plantes et des arbres**

La présence d'humidité dans les joints, conjuguées aux paramètres de l'environnement tel que la lumière, l'oxygène et le gaz carbonique, ainsi que les sels provenant des matériaux pierreux favorise la prolifération et la croissance des végétaux et d'arbres sur les parements des édifices (voir photo 3.5). En général les racines accentuent la détérioration des maçonneries. La présence de plantes sur les édifices et éléments en pierre témoigne surtout d'un manque d'entretien.

### **II.1.4. Action des algues et lichens**

Les parements sont quelquefois recouverts localement par des algues et des organismes, cette constatation est toujours liée à la présence d'humidité. L'existence de cette végétation est principalement visible dans les soubassements des façades ou dans les zones en contact avec le sol, par suite des remontées d'eau par capillarité<sup>151</sup> (voir photo 3.6). La présence d'algues sur un parement est parfois significative pour localiser rapidement l'humidité sur un élément. Certaines dégradations sont attribuables aux humidifications et séchages fréquents des roches. Aux emplacements où



**Photo 3.6.** Prolifération des algues.

<sup>149</sup> F. virolleaud. Le ravalement : guide technique, réglementaire et juridique. Le Moniteur1990.

<sup>150</sup> Ibid.

<sup>151</sup> M Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement. Centre d'Assistance Technique et de Documentation CATED.2000.

se développent les algues, les pierres ont une humidité souvent supérieure à la teneur en eau d'équilibre, car la végétation, pour sa croissance, a besoin d'eau du mur<sup>152</sup>.

Les organismes biologiques qui sont les plus répandus sur les matériaux pierreux sont les champignons et les algues. L'action corrosive, en particulier celle du soufre et de l'azote, due aux bactéries de la chimiosynthèse est certaine dans les processus d'altération des pierres calcaires<sup>153</sup>, une pierre très répandue dans le bâti de l'époque coloniale.

## **II.2. Dégradation de la pierre due à la pollution atmosphérique et aux facteurs biologiques**

### **II.2.1. Action de la pollution atmosphérique**

L'émission massive dans l'air de substances, engendrée par le développement des activités industrielles et de la population ont beaucoup influencé sur la stagnation et le transport des polluants, cependant pour les pierres calcaires exposées à l'extérieur, les agents polluants les plus dangereux sont l'anhydride sulfureux ( $SO_2$ ) et l'anhydride carbonique ( $CO_2$ )<sup>154155</sup>.

### **II.2.2. Modification des propriétés des parements en pierre calcaire**

La pollution atmosphérique (air et eau) crée une modification minéralogique de la couche superficielle des parements en pierre avant même que ces altérations n'apparaissent. Dans une ambiance rurale, il se forme sur les pierres calcaires une couche plus dure, due à la cristallisation en surface des sels dissous dans l'eau, après évaporation. Cette couche superficielle constituée de carbonate de calcium, assure une protection naturelle des parements en pierre<sup>156</sup>.

En atmosphère urbaine ou industrielle, la composition de la croûte superficielle est modifiée par la conjugaison de plusieurs facteurs comme la pluie, le brouillard et les particules humides qui se condensent en surface contiennent une concentration variable d'anhydride sulfureux

---

<sup>152</sup> M .Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels. 1972.

<sup>153</sup> J Coignet, L Coignet. Op. Cite.

<sup>154</sup> J, G. Faugère. J. Dufoir. J.G. Salinières .influence des nuisances urbaines sur la dégradation des immeubles anciens in Actes du Vi<sup>e</sup> congrès mondial pour la qualité de l'air, paris. 1983.

<sup>155</sup> G. Vallière Le ravalement de façade: mode d'emploi : nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes. Eyrolles.1998.

<sup>156</sup> F. virolleaud. Op. Cite.

(SO<sub>2</sub>). Celui-ci se dissout dans l'eau pour donner de l'acide sulfureux (SO<sub>3</sub>H<sub>2</sub>)<sup>157</sup> suivant le schéma :



Les solutions qui contiennent cet acide pénètrent jusqu'à une certaine profondeur qui est fonction de la microstructure poreuse du matériau. La solution acide en contact avec le calcaire constituant les capillaires dissouts du carbonate et il s'ensuit une transformation en sel soluble, le sulfate de calcium (Ca SO<sub>4</sub>)<sup>158</sup>.



Par temps sec, il se produit un transfert de la solution vers l'extérieur. L'eau s'évapore et les sels solubles se déposent en surface dans les pores. La répétition de ce processus provoque une croûte à la surface de la pierre qui peut contenir jusqu'à 50 % de sulfate de calcium (cas des pierres calcaires poreuses). Cette croûte superficielle appelée sulfine peut atteindre une épaisseur variant, selon les natures de calcaire de 0,2 à 5 mm<sup>159</sup>. Les caractéristiques physiques du sulfine sont différentes de celles du carbonate de calcium qui constitue la roche, le sulfine est plus dense, plus dur que la pierre initiale<sup>160</sup>. Cette croûte réduit la perméabilité à l'eau, ainsi que l'aptitude à l'évaporation car les pores ont été plus ou moins obstrués par le sulfate de calcium. Les modifications des propriétés de cette croûte, par rapport à celles de la roche primitive qui constitue le cœur des éléments, expliquent la décohésion de plaque à la surface des pierres calcaires exposées aux intempéries. La desquamation se manifeste quelquefois par un décollement de plaques d'une épaisseur variable (de quelques dixièmes de millimètre à plusieurs millimètres)<sup>161</sup>.

### II.2.3. Action des agents biologiques

La biodégradation des éléments en pierre est plus ou moins importante suivant la constitution des roches et le milieu environnant. Les climats chauds et humides favorisent le développement de ce mécanisme d'altération. Les organismes microscopiques, la croissance des plantes, sont aussi générés par ce milieu. Les biologistes ont identifié les microorganismes

---

<sup>157</sup> D. Garnier. G. Bajeux. Diagnostic avant nettoyage ou ravalement d'une façade comportant de la pierre in Revu technique du bâtiment et des constructions industrielles N°210.

<sup>158</sup> J. G. Faugère. J. Derion. J. Dufoir. Op. Cite.

<sup>159</sup> J Coignet, L Coignet. Op. Cite.

<sup>160</sup> Y-M. Froidevaux. Op. Cite.

<sup>161</sup> M .Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Op. Cite.

non visibles à l'œil nu (sulfobactéries, les nitrobactéries...) <sup>162</sup>, où plusieurs spécialistes de l'altération des pierres pensent que leurs effets se produisent après la dégradation physico-chimique. Ils estiment en effet que sous une croûte qui s'exfolie, si le milieu est humide et la température adéquate, les bactéries disposent d'un milieu favorable à leur développement <sup>163</sup>.

## **II.3. Dégradation de la pierre due aux charges et aux tensions mécaniques**

### **II.3.1. Action des charges**

Lorsque les sollicitations sont trop importantes sur les éléments en pierre, des contraintes trop élevées sont exercées et provoquent la fissuration et même l'éclatement et la rupture d'un élément. Plusieurs facteurs influent sur la résistance mécanique des éléments en pierre, et seront développés dans ce qui suit.

#### **II.3.1.1. Jointoiment des blocs**

La résistance des murs porteurs en pierre dépend aussi de la qualité du mortier, ou du remplissage des joints utilisés. L'assemblage des éléments en pierre s'effectue par la création de joints, espacés entre chaque bloc, qui sont remplis au mortier à base d'un liant (chaux hydraulique, chaux aérienne, ciment...), dont le rôle est d'assurer la liaison et la répartition sur l'ensemble des blocs <sup>164</sup>. Si le joint n'est pas suffisamment bourré, ou bien sa qualité de collage ou de cohésion est trop faible, les tensions transmises d'un bloc à l'autre ne sont pas uniformément réparties. La surface totale de l'épaisseur du mur n'est pas sollicitée de la même façon, des concentrations de contraintes en certains points d'un bloc se produisent. Si ces tensions locales sont trop élevées, ce poinçonnement entraîne des fissures et des ruptures au niveau des blocs <sup>165</sup>.

#### **II.3.1.2. Action de la température**

Les écarts thermiques provoquent une expansion et une contraction volumétriques variables selon la nature des minéraux qui composent la roche. Sous l'effet de fortes variations de température entre le jour et la nuit, répétées des milliers de fois, une fatigue se produit. Il en résulte, après des dizaines d'années, une décohésion interne et un cisaillement

---

<sup>162</sup> J Coignet, L Coignet. Op. Cite.

<sup>163</sup> M Louvigné. Op. Cite.

<sup>164</sup> M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Op. Cite.

<sup>165</sup> L. LOGEAS. Les maçonneries dans leur fonction de paroi. Annales de l'ITBTP no 303, mars 1973. Supplément Série gros œuvre no 16.

entre les cristaux<sup>166</sup>. Des éclatements, des fissurations, des écailllements sont les formes fréquentes de ce type d'altérations. Si plusieurs éléments sont associés les uns aux autres, les changements de température entraînent des variations de longueur propre à chaque partie, si l'assemblage ne permet pas que les mouvements s'effectuent librement (absence de joints souples...), des tensions naissent dans les matériaux. Le dépassement des valeurs limite de déformation ou de résistance entraîne des ruptures<sup>167</sup>.

## **II.3.2. Action mécanique**

### **II.3.2.1. Fissuration des murs en maçonnerie**

Les fissures résultent le plus souvent de l'interaction entre les murs et les planchers, y compris souvent les planchers-terrasses, ou bien encore, en cas de toitures en pente, de l'interaction des murs et de la charpente<sup>168</sup>. Cette interaction se traduit, dans tous les cas, par des mouvements différentiels qui trouvent leur origine soit dans des régimes thermiques différents des deux parties d'ouvrage, soit dans des déformations sous charge, de fluage notamment, différentes pour des ouvrages diversement sollicités.

### **II.3.2.2. Fissuration des murs résultant des déformations des planchers**

Il s'agit, de la capacité plus ou moins grande des ouvrages en maçonnerie à supporter les sollicitations engendrées par les ouvrages adjacents, en l'occurrence les planchers et les mouvements différentiels entre les deux catégories d'ouvrages<sup>169</sup>. Certes, tous les planchers quels que soient leur type fléchissent, mais cela n'a pas eu de conséquence tant que les planchers étaient en bois et les murs en maçonnerie de forte épaisseur. Cependant, l'évolution a permis de passer à une association entre des maçonneries de plus faible épaisseur et des planchers en béton armé<sup>170</sup>. Ce type de plancher est le siège de déformations de plusieurs origines :

- ✓ une flèche instantanée au moment du décoffrage ;
- ✓ les déformations dues aux charges d'exploitation de courte durée ;

---

<sup>166</sup> F. virolleaud. Op. Cite.

<sup>167</sup> M .Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Op. Cite.

<sup>168</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>169</sup> P. Maurice. Les maçonneries dans leur fonction porteuse. Annales de l'ITBTP no 290, Février. 1992. Supplément Série gros œuvre no 13.

<sup>170</sup> M .Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Op. Cite.

- ✓ enfin, les déformations de fluage qui résultent du poids propre de la construction et des charges d'exploitation de longue durée. Il arrive donc, lorsque ces déformations cumulées dépassent les capacités de déformation des murs en maçonnerie qui, on l'a déjà dit, sont bien moins résistants à ce type de sollicitation que les planchers, que des fissures apparaissent dans les murs, ces fissures sont de deux sortes :

- ① Celles d'allure horizontale provoquées par l'appui des planchers sur les murs ;
- ② Celles, obliques, qui apparaissent dans les maçonneries portées par des supports trop flexibles, elles sont parfois accompagnées d'un décollement entre le mur et son support soit à la jonction, soit dans un des joints horizontaux de la maçonnerie.

### **II.3.2.3. Désordres résultant de l'interaction entre murs et charpentes**

Ces désordres sont dus à la poussée des charpentes en bois massif dont les sections sont largement dimensionnées sur les murs porteur en maçonnerie qui se traduit par des fissurations généralement ouverte au voisinage des angles<sup>171</sup> (voir photo 3.7).



**Photo 3.7.** Fissuration due au droit des angles.

## **III. Pathologies des structures en béton armé**

### **Introduction**

Le béton armé est le matériau le plus utilisé aujourd'hui dans le domaine de la construction (habitat, ouvrages d'arts, routes...), ceci revient non seulement à son économie mais aussi à sa durabilité. En effet le béton ne brûle pas comme le bois et ne se corrode pas aussi rapidement que les aciers. Mais sa durabilité reste, toute fois, dépendante de plusieurs facteurs parmi les quels nous pouvons citer : le choix des matériaux de base en rapport avec l'environnement dans le quel ce matériau sera exploité, le degré de porosité qui est en relation directe avec la quantité d'eau de gâchage, la formulation, la mise en œuvre, la cure pour réduire les contraintes internes surtout dans le cas d'un climat chaud... L'environnement extérieur au

---

<sup>171</sup> Y-M. Froidevaux. Op. Cite.

béton agit différemment par l'intermédiaire de plusieurs éléments comme l'eau, les solutions salines, les gaz atmosphériques associés à l'humidité, l'action bactériologique, l'action du gel et du dégel sans oublier bien sur l'action du séisme et des surcharges d'exploitation supplémentaires. Souvent plusieurs des éléments cités agissent simultanément, ce qui amplifie sensiblement leur effet.

CLASSIFICATION DE L'AGRESSIVITE D'ENVIRONNEMENT ATMOSPHERIQUE  
(d'après PR NF EN 12500 de novembre 1996)<sup>172</sup>.

**Tableau 3.1:** Les différents types d'environnements atmosphériques.

Type d'environnement	Description
Atmosphérique rural	Atmosphère de zones rurales et de petites villes, sans contamination significative par des agents corrosifs (dioxyde de soufre, chlore, engrais chimiques, herbicides, pesticides, etc.)
Atmosphérique urbain	Atmosphère de zones à forte densité de population mais sans concentration industrielle. Contamination modérée par des agents corrosifs (dioxyde de soufre, dioxyde de carbone ...).
Atmosphérique industriel	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...).
Atmosphérique maritime	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).
Atmosphérique maritime et industriel (atmosphère mixte)	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.).

<sup>172</sup> Gestion des sites pollués- Version O Partie III. BRGM Editions – juin 2000.

**Tableau 3.2 :** Description d'environnements types correspondant aux catégories de corrosivité.

Environnements types (exemples)			
Catégorie de corrosivité	Corrosivité	Intérieur	Extérieur
C1	<b>Très faible</b>	Bâtiments chauffés à faible humidité relative et pollution insignifiante ex : bureaux, écoles, musées	
C2	<b>Faible</b>	Bâtiments non chauffés à température et humidité relative variables. Faible risque de condensation et peu de pollution. ex : stockage, grandes salles, salles de sports.	Zone tempérée, atmosphère faiblement polluée ( $\text{SO}_2 < 20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), ex. : régions rurales, petites villes. Zone sèche ou froide, atmosphères peu humides. ex : déserts, régions sub-arctiques.
C3	<b>Moyenne</b>	Bâtiments ou volumes à risque modéré de condensation mais risque de pollution due à un procédé de fabrication. ex : usines agro-alimentaires, brasseries, laiteries.	Zone tempérée, atmosphère moyennement polluée ( $\text{SO}_2 : 20 \text{ à } 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou moyennement affectée par les chlorures. ex : régions urbaines, régions côtières à faible dépôt de chlorures. Zone tropicale, atmosphère faiblement polluée.
C4	<b>Forte</b>	Bâtiments ou volumes où les risques de condensation et de pollution due à un procédé de fabrication sont élevés. ex : usines, piscines.	Zone tempérée, atmosphère fortement polluée ( $\text{SO}_2 : 40 \text{ à } 80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ou substantiellement affectée par les chlorures. ex : régions urbaines polluées, régions industrielles, régions côtières sans embruns salins, régions fortement affectées par les sels de déverglaçage, Zone tropicale, atmosphère moyennement polluée.
C5	<b>Très forte</b>	Bâtiments ou volumes où la condensation est quasi-permanente et/ou la pollution due à un procédé de fabrication est très élevée. ex : mines, grottes pour installations industrielles, hangars de régions tropicales humides.	Zone tempérée, atmosphère très fortement polluée ( $\text{SO}_2 : 80\text{-}250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et/ou très fortement affectée par les chlorures. ex : régions industrielles, régions côtières, atmosphères marines avec embruns salins Zone tropicale, atmosphère fortement polluée et/ou affectée par les chlorures.
<p><b>Note 1 :</b> Le dépôt des chlorures en régions côtières dépend fortement des facteurs influençant le transport des sels de mer à l'intérieur des terres, telles que direction et vitesse du vent, topographie locale, île au large abritant les côtes du vent, distance au front de mer, etc.</p> <p><b>Note 2 :</b> Les effets extrêmes des chlorures typiques des zones d'éclaboussures ou de très violents embruns ainsi que des bords de mer des régions à climats chauds et humides ne sont pas traités dans la norme PR NF EN 12500.</p> <p><b>Note 3 :</b> En atmosphères maritimes, les surfaces abritées de la pluie sur lesquelles les chlorures peuvent se coller, peuvent se ranger dans une catégorie de corrosivité supérieure à celles des surfaces directement exposées en raison de la présence des sels hygroscopiques.</p> <p><b>Note 4 :</b> La concentration en dioxyde de soufre (<math>\text{SO}_2</math>) doit être mesurée en continu pendant au minimum une année et exprimée sous forme d'une moyenne annuelle.</p>			

**Tableau 3.3 :** Correspondance entre les catégories de corrosivité et les types d'atmosphères en climat tempéré pour différents systèmes de corrosion.

Catégorie de corrosivité	Acier						
	Perte de masse g/m <sup>3</sup>	Perte d'épaisseur (μm)	Rural	Urbain	Industriel	Maritime	Maritime + Industriel
<b>C1</b>	≤10	≤1,3					
<b>C2</b>	>10 200	>1,3 25		↑			
<b>C3</b>	>200 400	>25 50		↓		↑	
<b>C4</b>	>400 650	>50 80					
<b>C5</b>	>650 1500	>80 200					

**Note 1 :** Données issues de résultats expérimentaux recueillis sur une année.  
**Note 2 :** Les zones ombrées sont des zones de correspondance.  
**Note 3 :** Les flèches signifient qu'il est possible, mais rare, de rencontrer des atmosphères du type considéré dans une catégorie de corrosivité inférieure ou supérieure

**Tableau 3.4 :** Classification de l'agressivité de solutions et de sols vis-à-vis des bétons (d'après recommandations AFNOR P 18.011).

Degré d'agressivité	A1	A2	A3	A4
<b>Environnement</b>	<b>Faiblement agressif</b>	<b>Moyennement agressif</b>	<b>Fortement agressif</b>	<b>Très fortement agressif</b>
Agents agressifs	Concentration en mg/l			
CO <sub>2</sub> agressif	15 à 30	30 à 60	60 à 100	> 100
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	250 à 600	600 à 1500 <sup>(1)</sup>	1500 à 6000	> 600
Mg <sup>2+</sup>	100 à 300	300 à 1500	1500 à 3000	> 3000
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	15 à 30	30 à 60	60 à 100	> 100
pH	6,5 à 5,5	5,5 à 4,5	4,5 à 4	< 4

Afin de mieux comprendre les différents phénomènes de corrosion du béton et du béton armé, il est important de revenir sur le phénomène d'hydratation des ciments. En effet lors de l'hydratation du ciment (souvent riche en silicates tricalciques C<sub>3</sub>S) ces derniers libèrent une quantité importante de chaux [Ca(OH)<sub>2</sub>] appelée portlandite. Cette dernière à son tour procure à la matrice cimentaire et au béton en général un milieu basique dont le pH peut atteindre une valeur de 13. Un tel environnement est passif pour les armatures qui restent protégées tant que le pH est supérieur à 9.

Pour le gypse, rajouté au clinker dont le but de prolonger le début de prise, il réagit activement avec les aluminates tricalciques hydratés [3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O] donnant ainsi la formation d'un sel gonflant appelé étringite [3CaO.Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3CaSO<sub>4</sub>.31H<sub>2</sub>O]. Ce sel est nuisible pour les bétons lorsqu'il se cristallise dans la matrice cimentaire déjà durcie, il

provoque des contraintes suite à l'augmentation de son volume et par la suite des fissures et par conséquent des chutes de résistances mécaniques et de durabilité.

La dégradation du béton armé résulte de réactions de dissolution et par conséquent la présence d'eau. Sans l'eau la réaction chimique solide-solide ou solide-gaz est très difficile et ne pourra avoir lieu qu'à des températures très élevées. A. Koma<sup>173</sup> nous présente la classification des phénomènes de corrosion du béton comme suit :

- ✓ Délavage de la portlandite, élément le plus soluble de la matrice cimentaire, par l'eau de provenance de l'extérieur ;
- ✓ Formation de sels gonflants sous l'influence de sulfates, de gaz carbonique et autres, provoquant ainsi des fissurations ;
- ✓ Neutralisation de minéraux de la matrice cimentaire, ayant le pouvoir de liant, par des sels en provenance de l'extérieur.

### **III.1. Différentes actions de dégradation du béton arme**

#### **III.1.1. Actions chimiques**

##### **III.1.1.1. Action de l'eau**

L'eau facilite non seulement les réactions chimiques entre solide-solide et solide-gaz mais agit à son tour comme solution chimique favorisant la dissolution des minéraux chimiques de la matrice cimentaire, pour le cas des bétons. L'exemple de la portlandite reste le plus significatif, étant un élément très soluble dans l'eau. Ce délavage progressif diminue sensiblement le pH du béton rendant ainsi les aciers plus actifs chimiquement. A cet effet nous pouvons remarquer l'apparition de couche blanchâtre sur la surface de l'élément en béton.

#### **✓ Actions préventives**

- ① Utilisation de ciments aux ajouts actifs permettant de fixer une certaine quantité de portlandite ;
- ② Utiliser des ciments riches en C<sub>2</sub>S (bélitique) ;
- ③ Augmenter la couche d'enrobage des armatures ;
- ④ Réduire la porosité du béton par ajout d'adjuvants réducteurs d'eau ;

---

<sup>173</sup> A. Komar. Matériaux et éléments de construction. Edition Mir 1989. Moscou.

- ⑤ Réduire sensiblement le contact eau-béton par des opérations de drainage, d'étanchéité...

### III.1.1.2. Action du gaz carbonique en présence d'eau (phénomène de carbonatation)

La présence du gaz carbonique  $CO_2$  dans l'air ambiant (des fois dans les eaux souterraines), accentuée par l'industrie polluante, le milieu urbain, le transport, et le degré d'humidité élevé..., est une source non négligeable dans les phénomènes de dégradation des bétons. Le gaz carbonique réagit à son tour avec l'humidité contenue dans l'air pour donner naissance à un acide carbonique de faible concentration suivant le schéma :



Par complicité de la porosité du béton, la solution d'acide carbonique pénètre sans aucune difficulté dans le béton et neutralise progressivement la portlandite  $Ca(OH)_2$  pour donner naissance à une croûte de calcaire ( $CaCO_3$ ) suivant la réaction chimique ci-après. Le pH diminue, la passivité des aciers n'est plus assurée, la croûte carbonatée se densifie progressivement (gonflement) et se fissure à son tour. Ce phénomène est accentué en milieu urbain caractérisé par une humidité relative élevée.



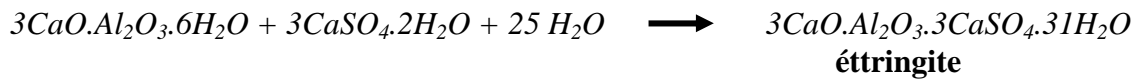
#### ✓ Actions préventives

- ① Réduire la porosité par les moyens déjà cités ;
- ② Une mise en œuvre idéale (absence de ségrégation) ;
- ③ Procéder à une cure pour atténuer l'effet du retrait.

### III.1.1.3. Action des sulfates

L'action des sulfates, de magnésium ou de calcium, sur les bétons est le produit de la réaction chimique entre les aluminates tricalciques hydratés  $3CaO.Al_2O_3.6H_2O$  de la matrice cimentaire et les sulfates ( $CaSO_4.2H_2O$ ) eux même, ce qui se traduit par une expansion et une formation d'étringite qui triple ( $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$ ) de volume. Ce phénomène de cristallisation est source de fortes contraintes dans la structure du béton armé, provoquant ainsi des micros et macro fissures donnant plus de chances d'accès aux solutions agressives

du milieu environnant. L'origine des sulfates peut être l'eau de mer, les terrains gypseux, les eaux souterraines, les sels de déverglaçage, les déchets de la fabrication des engrais comme le phosphogypse... La formation de l'étringite se manifeste par la forme suivante :

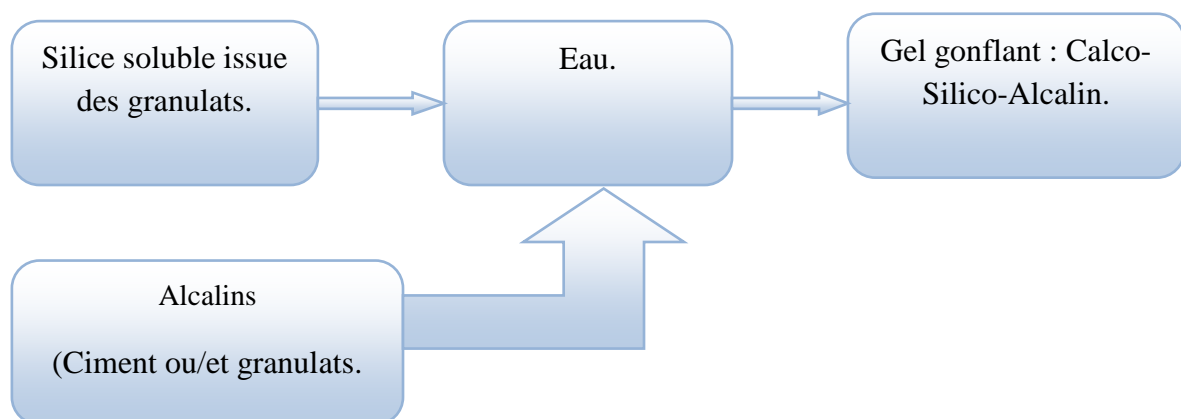


#### ✓ Actions préventives

- ① Utilisation des ciments PM (ciments pour travaux à la mer) et des ciments ES (ciments pour travaux en eaux à hautes teneurs en sulfates) ;
- ② Réduire au maximum la porosité du béton en utilisant des adjuvants réducteurs d'eau mais aussi des fines.

#### III.1.1.4. Action des sels alcalins

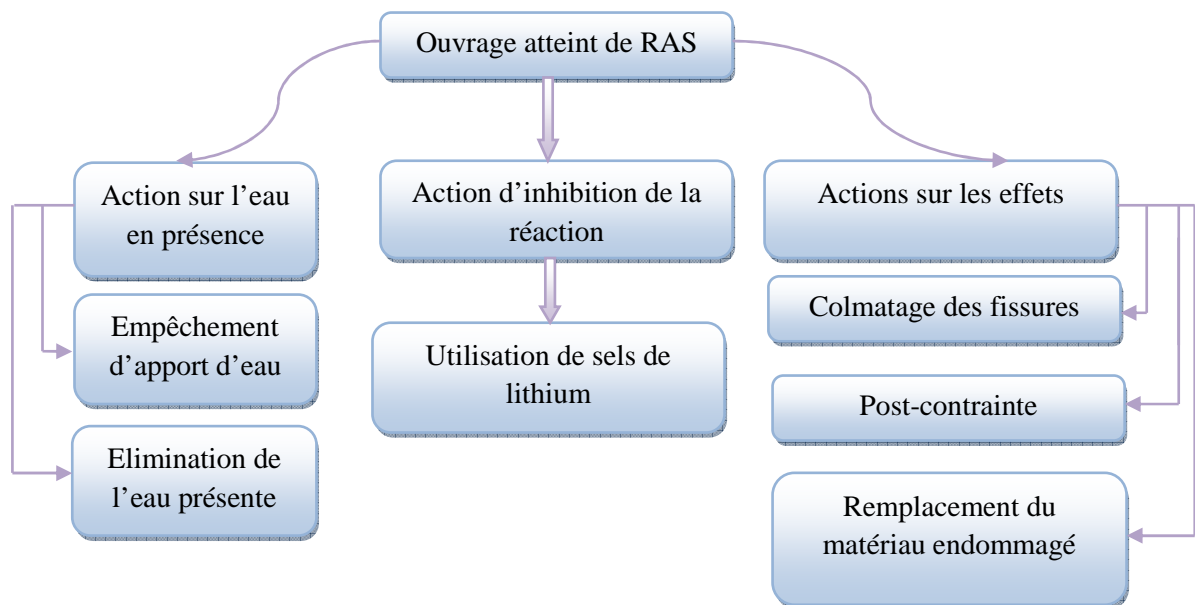
Cette action est appelée alcali-réaction issue de la réaction entre les granulats et les alcalins présents dans la matrice cimentaire comme la portlandite. Ce qui donne formation d'un gel gonflant à l'origine des désordres macroscopiques constatés sur des ouvrages de génie civil. Le schéma suivant nous résume cette action d'alcali-réaction. La manifestation d'alcali-réaction (alcali-silice) a été enregistrée pour la première fois en 1940, sur un barrage hydraulique en Californie USA. Plusieurs édifices à travers le monde sont aujourd'hui touchés par ce phénomène, des ponts, des tunnels, des barrages en béton armé et d'autres ouvrages. L'alcali réaction agit doublement, sur le phénomène de gonflement mais aussi sur la diminution du pH de la matrice cimentaire. Ce phénomène n'a jamais été constaté sur le territoire national.



**Figure 3.1.** Formation de l'alcali-réaction.

## ✓ Actions préventives

Les solutions préconisées pour réduire l'effet de l'alcali-réaction n'est souvent pas efficace à long terme, une solution définitive n'est pas d'actualité. La première solution consiste à empêcher l'apport extérieur de l'eau par une hydrophobisation des parois de l'ouvrage. L'action sur l'effet de l'alcali-réaction est aussi à entreprendre comme par exemple le colmatage des fissures. Des tentatives d'ajout de câbles de post-contrainte limitant l'expansion du béton comme il ya la possibilité de remplacer directement la partie du béton atteinte.



**Figure 3.2.** Dispositifs de réparation possibles de la RAS.

### III.1.1.5. Action des gaz en solution

#### III.1.1.5.1. Action des chlorures

Le chlore agit sur la matrice cimentaire et surtout sur les armatures. A l'opposé de l'oxygène, le chlore ne corrode pas les armatures en surface mais en profondeur. Cette action inhabituelle peut provoquer la rupture



**Photo 3.8.** Action du chlore sur le béton armé

des armatures, l'exemple le plus illustratif est le séisme de Tachkent (Ouzbékistan) du 26 avril 1966. En effet pour résoudre le problème du bétonnage à des températures négatives, le sel de

cuisine ( $\text{NaCl}_2$ ) a été utilisé comme accélérateur de prise et de durcissement. Après analyse il a été constaté l'action du chlore sur les armatures utilisées.

### ✓ Actions préventives

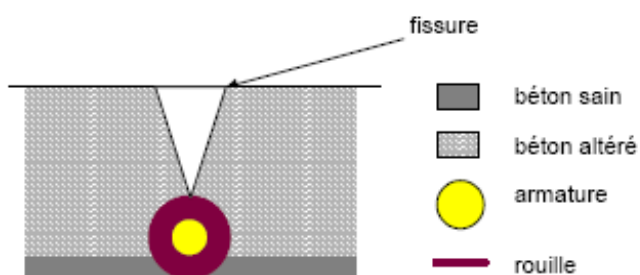
- ① Vérifier la qualité d'eau de gâchage ;
- ② Minimiser la porosité du béton.

#### III.1.1.5.2. Action de l'oxygène

L'oxygène en présence d'humidité, agit sur l'acier en le corrodant en surface, une couche de rouille se forme alors, elle le protège au départ, mais si la corrosion persiste l'armature pourra lâcher. Ce qui provoquera sans aucun doute la rupture de l'élément.

#### III.1.1.6. Action des sels gonflants

Les sels gonflants peuvent être provoqués par des réactions internes au béton (alcali-réaction) ou bien des réactions chimiques entre les différents minéraux de la matrice cimentaire et le milieu environnant comme exemple : les terrains gypseux et l'eau de mer.



**Figure 3.3.** Corrosion de l'armature et apparition de la rouille.



**Photo 3.9.** Corrosion des armatures.

#### III.1.1.7. Action bactériologique

La corrosion bactérienne rassemble tous les phénomènes de corrosion où les bactéries agissent directement ou par l'intermédiaire de leur métabolisme en créant les conditions favorables à son établissement. Les bactérie de type sulfato-réducteur, dans le cas de dégradation des bétons armé, en agissant sur les sulfures présent dans le milieu donnent naissance au sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (voir figure. 3.4) toxique, corrosif et responsable de nombreux problèmes environnementaux tels que la corrosion des métaux et des bétons. Le sulfure d'hydrogène ( $\text{H}_2\text{S}$ ) peut à son tour s'oxyder et donner naissance à l'acide sulfurique. L'acide sulfurique réagit à son tour avec la portlandite du ciment pour former le gypse. Ce

dernier réagit avec les aluminates tricalciques hydratés pour former l'étringite expansif. Les ions  $\text{SO}_4^{2-}$  à leur tour attaquent aussi les aciers.

### III.1.2. Action physique

#### III.1.2.1. Action du gel/dégel

Le gel/dégel est un phénomène naturel résultant du changement de phase de l'eau c.à.d. un passage de l'état liquide vers l'état solide et le contraire. Ce changement

de phase procure une augmentation de volume de l'eau d'environ 9%. Plusieurs cycles de gel/dégel d'eau dans la structure d'un matériau donnent naissance à des contraintes physiques, source de désordre et de fissuration du béton. Ce phénomène est très rare sur le territoire national.

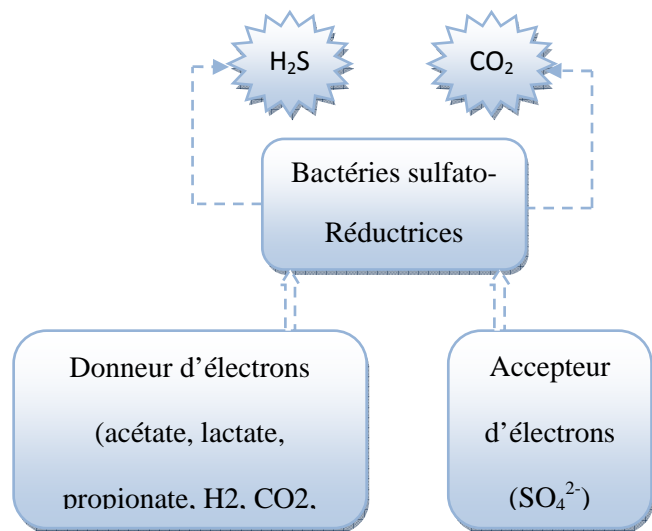
#### ✓ Actions préventives

Pour les éléments porteurs de charges, le moyen le plus efficace est de réduire la porosité du béton par une réduction sensible de la quantité d'eau de gâchage et l'utilisation d'adjuvants plastifiants et superplastifiants réducteurs et haut réducteurs d'eau.

Pour les éléments de façade non porteurs de charges et les mortiers de façade, l'incorporation de granulats légers comme l'argile expansée, la perlite et la vermiculite est très bénéfique. Nous pouvons aussi incorporer des entraîneurs d'air dans le béton ou le mortier frais pour créer une porosité donnant ainsi des espaces libres pour une éventuelle expansion d'eau congelée.

#### III.1.2.2. Le retrait

Le retrait d'un béton est le changement de dimensions (volumique ou linéaire) pendant le phénomène de prise et de durcissement. Source de contraintes internes, de fissurations, de chute de résistances mécaniques et de durabilité des bétons, le retrait est amplifié par les conditions climatiques de chaleur et de degré d'humidité faible. On distingue plusieurs types de retrait. En effet on retrouve le retrait plastique et de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et enfin le retrait de carbonatation ou plus juste de colmatage. Tous ces types de



**Figure 3.4** Métabolisme des Bactéries sulfato-réductrices (BSR).

retraits, en fonction de leur intensité, peuvent provoquer des fissurations par conséquence une perte de résistances mécaniques et de durabilité.

#### **III.1.2.2.1. Retrait plastique**

Ce type de retrait se manifeste juste après le bétonnage sous l'influence de la température extérieure, de l'exothermie de la pâte de ciment ainsi que du faible degré d'humidité extérieur ce qui se traduit par une évaporation intense de l'eau de gâchage en surface de l'élément en béton et par conséquent une apparition de fissures peut profondes. Une protection par un film en plastique, par une substance imperméable à l'eau ou même un arrosage abondant en eau est indispensable pour réduire l'effet de ce type de retrait. Ce type de retrait est intensifié dans le cas d'un bétonnage dans des conditions d'un climat chaud et sec.

#### **III.1.2.2.2. Retrait de séchage**

Ce type de retrait caractérise beaucoup plus les bétons durci dans un environnement de températures élevées et un degré d'humidité faible. Le degré d'humidité du béton est plus important (quantité d'eau chimiquement non liée) qu'au degré d'humidité de son environnement extérieur, on assiste au phénomène d'osmose qui se traduit par un déplacement d'eau du milieu le plus concentré (capillaires du béton) vers le milieu le moins concentré (milieu extérieur au béton).

Ce retrait peut être réduit par humidification de la surface du béton, l'utilisation de granulats légers comme réservoir d'humidité et la réduction de la quantité d'eau de gâchage par l'utilisation d'adjuvants réducteurs d'eau. Le retrait de séchage n'est qu'une suite logique du retrait plastique. L'intensité d'un tel retrait favorise la dépression capillaire. Il reste l'un des retraits les plus dangereux pour les bétons durcissant dans les conditions d'un climat chaud et sec, sa valeur est de plusieurs centaines de millièmes.

#### **III.1.2.2.3. Retrait thermique**

Le retrait thermique est lié à la baisse de température de la matrice cimentaire après le phénomène de prise, il est réduit pour les bétons durcissant dans un climat chaud.

#### **III.1.2.2.4. Retrait endogène**

Le retrait endogène reste l'œuvre de Le Chatelier au début des années 1990, suivie des travaux de Mekhaélis, il est plus intense dans le cas des bétons sur dosés en ciment et un E/C

< 0,4 (BHP), des bétons à base de ciments riches en  $C_3S$  et  $C_3A$  ou des bétons dans le durcissement et sous l'influence de températures élevées.

Le retrait endogène résulte de la diminution du volume des hydrates en comparaison avec la somme des volumes de l'eau et de minéraux du ciment non hydratés. Cette diminution de volume d'environ 10% se résume par la contraction de Le Chatelier.

Ce type de retrait pour les bétons classiques (voir figure.4) ne présente pas un risque élevé vu sa valeur de l'ordre de quelques dizaines de millièmes. Mais il est intensifié dans les conditions de durcissement en climat chaud et sec.

#### **III.1.2.2.5. Retrait de carbonatation**

Le retrait de carbonatation se traduit par l'évaporation de l'eau issue de la réaction de neutralisation de la portlandite par des acides exemples de l'acide carbonique. Ce type de retrait provoque des fissures superficielles.

#### **✓ Actions préventives**

- ① Limité l'exothermie du ciment ;
- ② Utiliser des ciments aux ajouts ;
- ③ Utiliser des granulats légers ;
- ④ Procéder de préférence à une cure.

### **III.1.3. Action mécanique**

#### **III.1.3.1. Action du séisme**

L'activité séismique est très importante sur la partie nord de notre territoire, comme le confirment les différentes secousses séismiques ces dernières décennies (Chlef, Constantine, El Affroun, Dj. Chenoua, Mascara, Alger, Ain-Temouchent, Béni-Ouartilane et Boumerdés). Ce qui a fait la particularité du séisme de Boumerdès du 23 mai 2003 c'est non seulement son intensité (6,8 sur l'échelle de Richter) mais surtout sa durée de 46 secondes<sup>174</sup>.

#### **✓ Actions préventives**

Respect des normes antisismiques.

---

<sup>174</sup> Organisation mondiale de la santé, bureau régional de l'Afrique. Rapport de mission séisme en Algérie 24 mai au 14 juin 2003

### III.1.4. Causes amplifiant les actions de dégradation du béton arme

#### III.1.4.1. La formulation

La formulation du béton est une étape très importante non seulement pour les résistances mécaniques mais aussi pour la durabilité. Le bon choix du ciment par rapport à l'environnement, la réduction de la quantité d'eau de gâchage, responsable de la porosité, sont des facteurs à prendre très au sérieux lors de la formulation des bétons.

#### III.1.4.2. La mise en œuvre



**Photo 3.10.** Non respect de la couche protectrice des armatures.

Une meilleure mise en œuvre d'un béton est synonyme d'une bonne compacité de ce dernier sans atteinte à son homogénéité. Le temps de compactage est fonction de la consistance du béton, une ségrégation, la formation de nœuds est à éviter lors de la mise en œuvre. Pour les éléments de construction dont la section est réduite, il est conseillé l'utilisation de bétons autoplaçants. Pour une meilleure protection des armatures, il est nécessaire de respecter l'épaisseur minimale de la couche protectrice des armatures (voir photo 3.10)

#### III.1.4.3. L'absence de cure



**Photo 3.11.** Effet de cure après la pluie.

L'interaction des facteurs de température de l'air ambiant, de l'hygrométrie, de l'intensité du rayonnement solaire (l'Algérie, de par sa situation géographique, dispose d'un des gisements solaires les plus importants au monde) et de la vitesse du vent influe directement l'évaporation de l'eau de gâchage du béton frais. Cette combinaison des facteurs représente les conditions les plus

défavorables sur chantier pouvant affecter les caractéristiques mécaniques et la durabilité du béton. En effet les facteurs déjà cités influence directement le retrait du béton et donc une cure s'impose.

### ✓ **Méthodes de cure**

- ① Arrosage à l'eau ;
- ② Protection par un film imperméable ;
- ③ Application de produits d'imprégnation ;
- ④ Application de sable humide ;
- ⑤ Choisir les meilleurs moments pour le bétonnage.

#### **III.1.4.3.1. Pathologies liées à l'absence de cure**

- ① des effets visibles :
  - ✓ le risque de fissuration du béton de surface dû au retrait plastique ;
  - ✓ une surface résistant mal à l'abrasion et sur laquelle les revêtements adhèrent mal (poudroisement de surface, farinage).
- ② un effet non visible :
  - ✓ une porosité plus élevée du béton de peau et donc une réduction des performances du béton d'enrobage des armatures.

#### **III.1.4.4. Absence de joints de dilatation**

Absence de joints de dilatation quand c'est nécessaire peut provoquer des fissurations des éléments en béton armé. Ce qui accélère le phénomène de dégradation jusqu'à même l'effondrement de la structure. A cet effet une coupure franche dans la structure permettant de dissocier deux parties aux comportements différents est possible. Elle impose impérativement une étude de la stabilité et de la résistance de l'ensemble de la structure.

#### **III.1.4.5. Désordres provoqués par les mouvements du sol d'assise**

Les sols argileux gonflants ou rétractables ont la particularité d'augmenter l'ampleur des désordres avec le temps : les fissures qui se propagent dans les superstructures s'ouvrent et se ferment suivant l'humidification ou la dessiccation du sol, alors que la fermeture est limitée, l'ouverture au contraire augmente saison après saison et peut conduire à la ruine d'un ouvrage.

Un cas particulier de tassement, plus délicat à observer, est dû au rabattement des nappes phréatiques par pompage, qui entraîne un assèchement des terrains auparavant saturés d'eau en permanence.

### **III.1.4.6. Charges supplémentaires**

Il s'agit de charges non prises en compte lors de la conception. Ces charges ou sollicitations supplémentaires peuvent engendrer des désordres dus à des tassements différentiels incompatibles avec la structure et la résistance de l'ouvrage.

### **III.1.4.7. Incendie**

Sous l'effet des flammes et de hautes températures, les minéraux qui composent les matériaux de construction se déshydratent et se décomposent. Des contraintes internes prennent naissance dans le matériau en provoquant des fissures.

## **IV. Pathologies des structures métalliques**

### **Introduction**

Les structures métalliques (acier) sont sujettes à plusieurs désordres, qui se manifestent sous forme de déformations, fissurations et de réduction de section, voir même un effondrement total de la structure. Ces dommages sont différents, suivant les modes d'assemblages qui caractérisent ces structures, ils peuvent être une conséquence de l'environnement dans lequel elles se trouvent (humidité, condensation...) qui provoque des corrosions, des agressions chimiques, des conditions de charges et d'exploitations qui lorsqu'elles dépassent les contraintes admissibles calculées peuvent provoquer des ruptures d'assemblages, des fatigues et des fragilisations. Les défauts de mise en œuvre ont aussi une grande part dans la détérioration des structures métalliques qui se manifeste par des excentremets de rivet par exemple ou d'un mauvais serrage des boulons.

### **IV.1 Action chimique**

#### **IV.1.1. Corrosion**

L'acier comme tout les métaux tend à se corroder et à s'oxyder (rouille), lorsque celui-ci est soumis à des atmosphères humides, des agressions chimiques, la condensation, ou bien qu'il soit en contact avec l'eau ou les sols. Les désordres observés sur les parties métalliques se manifestent différemment des zones d'expositions (environnement marin par exemple), de la nuance du matériau utilisé ou même du type de liaison entre les éléments de la structure (mode d'assemblage). Ce phénomène électrochimique entraîne la formation de matière pulvérulente (rouille), sans résistance mécanique et poreuse, qui dans le cas de l'acier

ordinaire non protégé (absence de peinture) elle permet la progression du phénomène à l'intérieur de la pièce et sa dégradation progressive. En effet, les métaux sont en général peu stables à l'état naturel, presque tous tendent à se combiner à d'autres éléments chimiques pour former des sulfures, des oxydes ou des carbonates. La corrosion est la conséquence de cette évolution vers des sels métalliques. Cette dégradation peut être facilement décelée, les symptômes sont des surfaces piquées, oxydées, laissant apparaître en général des plaques et écailles d'oxyde facilement détachables d'aspect rouge brun, typique<sup>175</sup>.

#### **IV.1.1.1. Corrosion des assemblages rivets**

Touche généralement les têtes de rivet qui se présente sous plusieurs aspects, cette corrosion à pour effet la dégradation du métal des têtes au départ puis la déconsolidation des assemblages à long terme (voir photo 3.12.)<sup>176</sup>.



**Photo 3.12.** Corrosion de rivet.

#### **IV.1.1.2. Corrosion des assemblages boulonnés<sup>177</sup>**

Par défaut de protection anticorrosion, la corrosion des assemblages boulonnés peut prendre plusieurs aspects, commençant par enrrouillement pouvant aller jusqu'à la dégradation des boulons. La corrosion spécifique des écrous sur ouvrages anciens en boulonnage ordinaire est généralement la conséquence de l'utilisation d'acier resulfurés dans le but d'améliorer l'usinabilité. La corrosion entre pièces peut entraîner des efforts de traction sous tête excessif.

### **IV.2. Action mécaniques**

#### **IV.2.1. Fatigue des assemblages**

C'est la modification des propriétés des matériaux sous l'effet des charges permanentes ou de cycles d'effort, dont la répétition peut conduire à la rupture par fissuration de la pièce ou de la structure constituant ce matériau.

Cette fatigue peut aussi se produire sous des contraintes inférieures à la résistance du matériau en condition de charge normale, elle est engendrée principalement de fissures microscopiques qui apparaissent dans le matériau dès les premiers cycles de chargement et

---

<sup>175</sup> M. Landowski. B. Lemoine. Concevoir et construire en acier. Collection mémentos acier. Arcelor. Luxembourg 2005.

<sup>176</sup> Guide stress. Réparation et rénovation des structures métalliques. Décembre 2008. Op. Cite.

<sup>177</sup> Ibid.

qui progressent doucement à chaque fois que l'on sollicite le matériau (ou bien la structure), les symptômes en sont de petits plis perpendiculaires à la direction des contraintes et représentant un grave danger, du fait que les fractures qui en résultent risquent d'être très difficiles à déceler<sup>178</sup>. L'Eurocode 3<sup>179</sup> la définit comme étant un endommagement d'une partie de la structure, dû à la propagation lente d'une fissure provoquée par des fluctuations répétées de contrainte.

#### **IV.2.2. Rupture des assemblages<sup>180</sup>**

La ruine de l'ouvrage pouvant provenir soit d'un accroissement des valeurs maximales des efforts à transmettre (effets dynamiques proprement dits), soit de phénomènes de fatigue, mettant en jeu simultanément les valeurs maximales des efforts et le nombre des sollicitations alternées (changements de l'ampleur des efforts) ou simplement modulées (variations alternatives d'efforts restant de même ampleur). Ces derniers deviennent dangereux dans les constructions lorsque le métal est trop sensible à la rupture fragile. La rupture fragile risque d'apparaître, même en l'absence de sollicitations de fatigue, par concentration de contraintes qui dépassent souvent la limite d'élasticité, lorsque la capacité d'adaptation plastique n'est pas suffisante. La résistance d'un assemblage dépendra donc toujours au-delà d'un calcul de résistance généralement sommaire correspondant assez bien aux sollicitations statiques, de la conception de l'assemblage et des conditions de fabrication, combinées avec des qualités du métal dépendant de sa composition chimique et de son élaboration.

##### **IV.2.2.1. Rupture des rivets**

La rupture des rivets peut être la conséquence :

- ✓ de phénomène de corrosion ;
- ✓ de déconsolidation de cisaillement sous effet de chocs, ou d'efforts anormaux (voir photo 3.13).



**Photo 3.13.** Rupture de rivet.

##### **IV.2.2.2. Rupture des boulons**

Elle est la conséquence d'une rupture brutale, par fragilisation sous l'effet de choc,

<sup>178</sup> Johnson Sidney M. « Dégradation, Entretien et réparation des ouvrages » Traduit par Michel Londez. Eyrolles 1969.

<sup>179</sup> NF. EN. Eurocode 3. Calculs des structures en acier partie 1-9 fatigue. Décembre 2005.

<sup>180</sup> Guide stress. Réparation et rénovation des structures métalliques. Décembre 2008. Op. Cite.

ou bien extension sous charge statique des boulons, elle peut être aussi progressive sous l'effet de sollicitations d'amplitudes variables.

#### **IV.2.2.3. Déconsolidation des assemblages boulonnés**

Par suite de serrage insuffisant ou bien une sollicitation excessive, il se manifeste un desserrage de boulons qui se propage à l'ensemble des boulons et engendre le mouvement relatif des pièces engendrant ainsi le mauvais transfert des efforts.

#### **IV.2.2.4. Déconsolidation des assemblages rivets**

Le desserrage des rivets et assemblages rivés est un phénomène lent de mise en mouvement des pièces les unes par rapport aux autres. C'est surtout un phénomène qui concerne les ponts ferroviaires de conception ancienne.

Les déconsolidations sont révélées par :

- ✓ La rupture du film de peinture ;
- ✓ Un léger ressuage d'oxyde sur la peinture ;
- ✓ Le mouvement du (des) rivet(s) ou assemblages ;
- ✓ L'ovalisation des trous ;
- ✓ La rupture du (des) rivet(s) ou assemblages.

### **IV.3. Causes amplifiant la dégradation des structures métalliques**

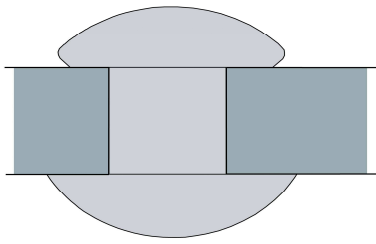
#### **IV.3.1. Erreurs de mise en œuvre**

Les erreurs qui peuvent provoquer des sinistres dans les structures, sont faites par ceux qui conçoivent, construisent ou utilisent l'ouvrage, ou ceux qui le démolissent ou font des excavations dans le voisinage immédiat. Il importe que ces personnes possèdent les meilleures informations disponibles et l'expérience requise pour s'en servir. Allant d'une simple erreur de dessin, à une erreur de conception ou parfois des lacunes dans les règles de calculs, ces erreurs peuvent provoquer de graves sinistres.

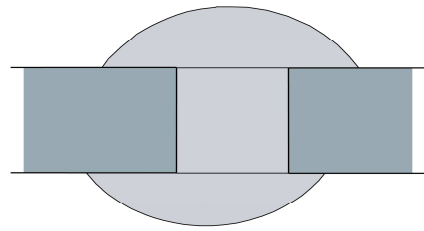
##### **IV.3.1.1. Défauts de pose des rivets**

Les défauts de pose se manifestent par l'examen de la tête seconde sur l'assemblage, ce sont :

- ✓ Tête mal pincée (voir figure 3.5) ;



**Figure 3.5.** Tête male pincée

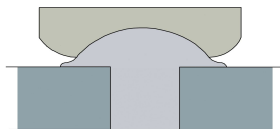


**Figure 3.6.** Tête excentrée

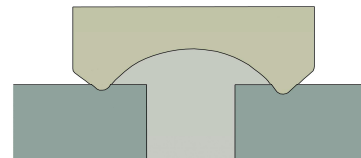
- ✓ Tête excentrée (voir figure 3.6) ;
- ✓ Gerçure du métal ;
- ✓ Tige trop courte : se caractérise par le marquage de la bouterolle autour de la tête de rivet (voir figure 3.7) ;
- ✓ Tige trop longue : se caractérise par une collerette de métal autour de la tête de rivet (voir figure 3.8) ;
- ✓ Développement de fissures autour du trou, initiées lors de la réalisation du trou.



**Photo 3.14.** Défaut de pose de rivet.



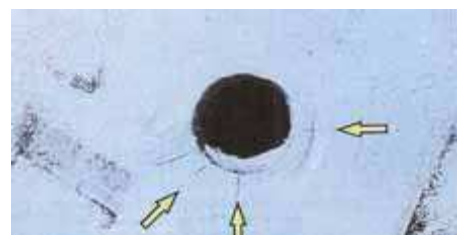
**Figure 3.7.** Tige trop courte.



**Figure 3.8.** Tige trop longue.

#### IV.3.1.2. Défauts de pose des boulons

Principalement liés au choix des boulons, au mauvais dimensionnement des longueurs de tige ou bien le non respect des conditions de pose. Le glissement des pièces par suite de dépassement de la résistance de l'assemblage sur un assemblage précontraint peuvent intervenir en conditions extrêmes. L'assemblage est non réparable partiellement, la reprise de l'ensemble (en l'absence de désordres autres) sera nécessaire par remplacement des couvre joints,



**Photo 3.15.** Fissure au droit des trous de rivet.

l'élimination de l'ovalisation des perçages des tôles à rabouter et l'utilisation de boulons de diamètre supérieur.

### **IV.3.1.3. Défaut des soudures**

Lorsqu'une malfaçon se produit dans la mise en œuvre d'une soudure, elle peut engendrer une diminution de la résistance statique de l'assemblage, introduire une fissure de fatigue et provoquer des ruptures fragiles si d'autres facteurs défavorables sont réunis.

La taille, la forme et la géométrie des défauts conditionnent le degré de danger. Il est possible de classer les défauts en cinq groupes suivant la norme NF EN ISO 5817<sup>181</sup>.

#### **IV.3.1.3.1. Classement des défauts dans les soudures par fusion des métaux**

- ① **Fissures** : Elles peuvent être dues à de la fissuration à froid ou à chaud. Ce sont les défauts les plus nocifs et toute fissure est interdite quelle que soit la classe de qualité de la soudure ;
- ② **Cavités** : Il s'agit notamment des soufflures dues à des inclusions gazeuses. Elles sont plus ou moins nocives en elles-mêmes, elles peuvent aussi gêner la détection d'autres défauts ;
- ③ **Inclusions solides** : Elles peuvent être constituées de résidu de laitier ou de flux emprisonné dans la soudure. Elles ont les mêmes conséquences que les soufflures ;
- ④ **Manques de fusion ou de pénétration** : Les manques de fusion sont un défaut de liaison entre le métal déposé et le métal de base, ou entre deux couches contigües de métal déposé. Les manques de fusion ou de pénétration sont dus à un mode opératoire inadapté. Comme ils peuvent avoir un effet d'entaille analogue à celui des fissures ;
- ⑤ **Défauts de forme** : Ils peuvent concerner, soit la position des éléments l'un par rapport à l'autre (défaut d'alignement, défaut angulaire...), soit la soudure elle-même (défaut de raccordement des soudures aux éléments, surépaisseur, manque d'épaisseur, effondrement, bombement excessif, dissymétrie d'une soudure d'angle, etc.).

Les défauts de forme des soudures sont dus soit à un mode opératoire inadapté, soit, dans le cas des soudures d'angle, à une mauvaise tenue de l'électrode ou du pistolet par le soudeur.

Sur des matériaux anciens, ces défauts peuvent représenter plus de risques que sur les matériaux modernes de meilleure ténacité. En conséquence, le dessin des pièces devra éviter

---

<sup>181</sup> ISO 5817 Soudage, Assemblage en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) - Niveaux de qualité par rapport aux défauts (ISO 5817 : 2003, version corrigée: 2005, inclus corrigendum technique 1 : 2006).

les effets concentration de contraintes. De plus, il sera porté une attention particulière à l'élaboration et au suivi des descriptifs de mode opératoire de soudage et qualification de mode opératoire de soudage.

#### **IV.4. Causes externes**

Il s'agit de phénomènes naturels ou choc occasionnant des dégâts considérables, tel que la neige, le vent, le sable et la poussière, le séisme, l'incendie, le choc, ou encore des défauts d'entretien.

### **V. Pathologie affectant l'enveloppe du bâtiment**

#### **V.1. Pathologie des parements de façade**

Les façades font l'objet d'une multitude d'agressions, celles-ci sont le résultat de la combinaison de plusieurs facteurs ; la construction elle-même qui suite à la détérioration des éléments constitutifs de protection ou bien la négligence de leur entretien (évacuation d'eau desceller, corniche entarté...) engendre des salissures, les activités des hommes qui accentuent les dépôts de poussières sur les façades ; l'environnement qui favorise le développement de micro-organisme par exemple, ou participe aux changements des caractéristiques chimiques et physiques des matériaux constitutifs des façades.

##### **V.1.1. Salissures ayant pour origine la construction**

Les parties de façade qui sont en contact avec des éléments métalliques tels que les gardes corps des balcons, les grilles etc., sont marquées par des traces de corrosion, aussi les éléments de toiture (chéneaux, descente d'eau...) (voir photo 3.12) qui sont en mauvais état causent des crasses sur les parements de façades. Les constructions traditionnelles, répond intuitivement au souci d'entretien en offrant un débord de toiture, les corniches, des débords de protection des planchers.



**Photo 3.12.** Dégradation des évacuations d'eau pluviale.

### V.1.2. Salissures dues à la pollution atmosphérique

L'activité industrielle fournit des quantités importantes de particules en suspension dans l'air (usines, cheminées de chauffage, trafic routier, etc.). A proximité d'une façade, ces particules sont soumises à différentes forces d'attraction et se déposent sur la surface<sup>182</sup>. Ce dépôt peut être facilité par le vent ou sur façade humide. Un premier encrassement noirâtre apparaît alors. Dans un second temps, lors des périodes pluvieuses, les particules déposées sont entraînées par l'eau.



**Photo 3.13.** Encrassement des façades.

Schématiquement, les gouttes qui ruissellent sur la façade se chargent en particules, lavant ainsi la façade, jusqu'à ce qu'elles n'aient plus la capacité de se charger. Elles peuvent alors redéposer les poussières. Un autre type de salissure est causé aussi par la pollution atmosphérique, ce sont les salissures grasses qui ne sont pas très visibles au départ formant une sorte de pellicule grasse. Ce type de salissure peut être diagnostiqué par projection d'eau qui si elle constitue des perles d'eau une intervention est nécessaire<sup>183</sup>.

### V.1.3. Salissures dues aux micro-organismes

Ces salissures peuvent prendre plusieurs couleurs, elles peuvent être rougeâtres résultant de la mise à nu du parement (par abrasion) en général pierre ou brique. Cette couleur rouge peut être d'origine végétale, elle est alors causée par des micro-organismes de type cryptogame (il s'agit de champignons microscopiques incrustés dans la pierre), ou minérale, dans ce cas des grains de pyrite ou des oxydes de fer constitutifs du support créent des traînées ocres ou rouges<sup>184</sup>. Aussi un autre type de salissures d'origine biologique peut se révéler tel que les mousses, lichens, moisissures, algues, etc. Ces salissures ne se présentent pas toujours avec une couleur verte : elles peuvent prendre différentes teintes selon la nature des microorganismes qui les composent. Il existe ainsi des salissures vertes de couleur noire, de la

<sup>182</sup> D. Garnier, G. Bajoux. Diagnostic avant Nettoyage ou ravalement d'une façade comportant de la pierre, in revue technique du bâtiment et des constructions industrielles N°201

<sup>183</sup> A. Caussariou, T. Gaumart. Guide pratique de la rénovation de façades Pierre, béton, brique. Eyrolles 2005.

<sup>184</sup> C. Carrie, D. Morel. Salissure de façades, étude effectuée sous la direction du RAUC (centre de recherche d'architecture d'urbanisme et de la construction). Eyrolles 1975.

famille des lichens. Leur apparition est favorisée par l'humidité et le vent, qui transporte les substances utiles à leur développement<sup>185</sup>.

## **V.2. dégradation des menuiseries d'ouverture**

Il s'agit d'éléments très fragiles qui demandent à être périodiquement remplacés, car les attaques de l'eau de pluie les dégradent très vite. Quant aux menuiseries contemporaines mises en place lors des travaux de réhabilitation (bâti ancien), elles résolvent certes les problèmes d'étanchéité, mais elles engendrent de gros problèmes d'humidité à l'intérieur de la maison. En effet, si les anciennes ouvertures n'étaient pas tout à fait étanches à l'eau, elles n'étaient pas non plus étanches à l'air. Elles favorisaient donc une certaine ventilation et le renouvellement de l'air. Aujourd'hui, avec des menuiseries étanches, on rend totalement hermétiques les pièces, l'air n'est pas renouvelé.



**Photo 3.14.** Entartrement des évacuations d'eau pluviale

## **V.3. Dégradation affectant le toit**

Le toit d'une maison est le lieu de tous les dangers, il nécessite une surveillance très permanente, au moins une fois par an, pour vérifier l'état des tuiles, des arêtières, des noues, du solin de cheminée, des conduits d'aération et de toutes les zones de raccordement. Cette surveillance constante est aussi efficace que le recours à des produits industriels dont le rôle est de surprotéger les joints. De plus, il faut comprendre que l'endroit où apparaît un désordre de toiture n'est pas forcément celui où l'effet de ce désordre sera le plus important.

### **V.3.1. Dégradation des solins de souche de cheminée**

La souche de cheminée qui prolonge le conduit est autoportante et stable car elle s'appuie sur le sol tandis que la charpente bouge. Les effets mécaniques étant plus forts que la résistance propre du solin, il se produit des microfissures. C'est donc l'action mécanique liée à sa fonction de raccordement entre le dur et le souple, qui détermine sa fragilité à l'humidité. Également lorsque le solin est gorgé d'humidité il devient fragile car son mortier, qui est

---

<sup>185</sup> C. Carrie, D. Morel. Op. Cite.

généralement à base de chaux aérienne ou hydraulique avec les effets de température, crée des microfissures.

## **Conclusions**

Les principales causes de dégradation des matériaux de construction dont le bois, la pierre, le béton, les aciers et les enduits dans le bâtiment sont dues essentiellement à la présence d'eau et d'humidité qui proviennent soit du sol par des remontées capillaires, soit des eaux pluviales, ou tout simplement de la condensation de vapeur à l'intérieur du logement ou accidentelle par rupture de canalisation.

La dégradation peut être due à une action chimique, physique, ou mécanique, son intensité est fonction des facteurs environnementaux, des caractéristiques des matériaux constitutifs du bâtiment, et de l'état des éléments spécifiques qui le protègent (par exemple les toitures et les canalisations d'écoulement).

Le comportement structurel dépend pour l'essentiel, du type de matériaux utilisés, de la forme et de la taille de la structure, des connexions entre les éléments ainsi que des conditions environnementales qui entourent le bâtiment.

La dégradation du bâtiment est occasionnée par une augmentation de l'action mécanique combinée à une réduction de l'efficacité structurale par des phénomènes naturels et l'action de l'homme. L'association de tous ces facteurs engendre des impacts négatifs sur la pérennité du bâtiment.

QUATRIEME CHAPITRE

TECHNIQUES ET METHODES DE  
REHABILITATION DES STRUCTURES

*ANNEXE 01*

## Introduction

Après repérage des pathologies les plus récurrentes affectant les différentes typologies structurelles, une série de remèdes qui sont le plus souvent des renvois aux règles d'arts sont proposés. Ces solutions sont répertoriées selon le type de la structure à savoir verticale ou horizontale, des solutions ont été apportées en commençant par les fondations où des techniques aussi bien traditionnelles que modernes sont proposées en intervenant sur les fondations ou bien sur les terrains qui les portent, ces solutions sont diverses, des reprises en sous œuvre, application de tirants d'ancrage, et des micros pieux, ou bien la réalisation d'injection de sol qui vise à l'amélioration des caractéristiques des terrains.

Les planchers sont le foyer de plusieurs dégradations, qui touchent essentiellement les différentes ossatures bois, acier et béton, l'intervention est fonction du degré d'altération ; elle peut consister en une réfection partielle du plancher par une augmentation de résistance ou une substitution des éléments structuraux dans le cas d'une altération importante, ou bien on effectue un renforcement par ajout de matière tel que des plaques en acier, ou scellement de barre (cas des planchers en béton armé), qui permet d'augmenter la résistance en cas de surcharge d'exploitation, elle est très efficace du fait qu'elle présente une facilité de mise en œuvre et s'adapte à une multitude de situation.

Plusieurs méthodes de renforcement des murs porteurs en maçonnerie de pierre existe, elles peuvent être à base d'injections des maçonneries par des coulis de liants hydrauliques, des injections de résines, aussi le renforcement peut être effectué par l'augmentation de la section du mur, par l'application d'un grillage armé ou bien par des agrafes. Concernant les structures en béton armé (murs, poteaux...), les méthodes de réparation sont aussi multiples, elles recouvrent les opérations d'injections, de pontage et de calfeutrement ainsi des opérations de projection de béton, ou de scellement de barre, et augmentation de section ....

L'enveloppe extérieure est l'objet d'une multitude d'agression cependant les techniques de ravalement sont choisis selon la nature des parements et leur degré d'encrassement et de délabrement Dans la majeure partie des cas les façades font l'objet de nettoyage par des méthodes classiques, tel que le nettoyage à l'eau avec ou sans pression, en effet après essai si ces méthodes se révèlent insatisfaisantes on fait recours à d'autres méthodes plus puissantes à base de produit chimique ou bien abrasif. Ces méthodes nécessitent une étude minutieuse de la façade (matériaux constitutif, reliefs ...). Enfin une attention a été accordée aux problèmes d'humidité qui sont à l'origine de la majorité des problèmes rencontrés, des méthodes de mise hors d'eau à l'extérieur ainsi qu'à l'intérieur sont présentées.

# Réhabilitation des structures horizontales

## I. Réhabilitation des fondations

### Introduction

Les ouvrages de fondation sont les éléments d'appui d'une construction, ils répartissent au sol les charges transmises par le bâtiment. Ils sont dimensionnés et réalisés, d'une part en tenant compte de la nature du sol et de la configuration topographique du terrain, d'autre part de l'importance du bâtiment : dimensions, type d'activité, type de la structure..., qui permettront de déterminer son poids.

Comme tout ouvrage, les fondations doivent faire l'objet d'un entretien adapté, afin de pallier à un vieillissement prématuré ou bien remédier à des défauts de conception ou de réalisation, et prendre en compte les conséquences de modifications survenues depuis la construction de l'ouvrage dans ses conditions d'exploitation ou dans son environnement.

### I.1. Études préalables aux travaux de réparation

La délicatesse des travaux de réparations à entreprendre sur les fondations d'une construction nous conduit à mener au préalable une opération de collecte de renseignements non seulement sur la construction elle-même mais aussi sur le terrain d'assise. Cette collecte de données avant l'exécution des travaux de réparation contribuera sensiblement à la rationalité et la réussite du projet de réhabilitation en général et de la méthode d'exécution en particulier.

#### I.1.1. Sur la construction

Avant toute intervention sur les fondations<sup>179</sup>, il faut avoir une idée précise sur leur état, leur épaisseur et le niveau inférieur de leur assise, le poids de la construction, la valeur et la répartition des charges et des surcharges qu'elles supportent. Il est également nécessaire de savoir s'il existe sous les murs une semelle de répartition des charges et si éventuellement des éléments structuraux (voute de cave par exemple) qui transmettent au terrain des poussées horizontales ou obliques qu'il faudra équilibrer au fur et à mesure de l'avancement du terrassement<sup>180</sup>. Il est nécessaire également de connaître les conditions réelles d'exploitation

---

<sup>179</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES).2008.

<sup>180</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous œuvres et fondations, 1964 rééditer 1994.

de l'ouvrage, son comportement et les modifications intervenues dans son environnement<sup>181</sup>, ainsi que toutes les réparations, même partielles, portant sur les fondations ou le sol de fondation, effectuées au cours de la vie de l'ouvrage (dates, investigations préalables, moyens, méthodes, mesures...). L'idéal est d'obtenir les plans des fondations et de la construction à reprendre, dans le cas contraire, il est recommandé de les reconstituer à partir des renseignements recueillis, et faire recours à des reconnaissances ou à des sondages.

### **I.1.2. Sur le terrain**

La connaissance de l'état et de la nature du sol : homogène, divers couches, accidents possibles du terrain en profondeur (fontis, carrière souterraines), caractéristiques physiques et mécaniques, niveau de la nappe phréatique et éventuellement ses variations dans le temps<sup>182</sup> est indispensable pour toute intervention sur les fondations. Si le terrain n'est pas vierge, il convient d'obtenir du client et des services publics ou privés intéressés tous les renseignements sur les installations diverses qu'il contient, ainsi que la recherche des travaux effectués à proximité depuis la réalisation de l'ouvrage<sup>183</sup>. Si les renseignements recueillis sont insuffisants ou douteux, d'autres investigations seront nécessaires (sondages, vérifications).

## **I.2. Technique de consolidation**

Les travaux de réparation ou de renforcement sont de différentes natures. Ils concernent aussi bien les structures que le sol, et se traduisent alors par des reprises en sous-œuvre (par la réalisation de puits ou semelles), par l'exécution de pieux et micro pieux et des parois moulées, par la mise en place de tirants et boulons d'ancrage, par des injections, par des renforcements de divers types ou des drainages... Ces travaux de consolidation ont pour but d'arrêter l'évolution des désordres et assurer la pérennité voulue.

### **I.2.1. Reprises en sous-œuvre**

#### **I.2.1.1. Principes et objectifs**

La réparation et/ou le renforcement d'ouvrages de fondation par la reprise en sous-œuvre touche fréquemment les ouvrages anciens, mais aussi les ouvrages plus récents dont l'infrastructure se révèle déficiente ou inadaptée, ou bien apportant des charges nouvelles à l'ouvrage. Le principe de base consiste, soit à reporter le niveau de la fondation à un niveau

---

<sup>181</sup> 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.

<sup>182</sup> Ibid.

<sup>183</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous œuvres..., 1964 rééditer 1994. Op. Cite.

inférieur, où le terrain est de meilleure portance, soit à augmenter la surface de la fondation au niveau où elle a été initialement réalisée<sup>184</sup>.

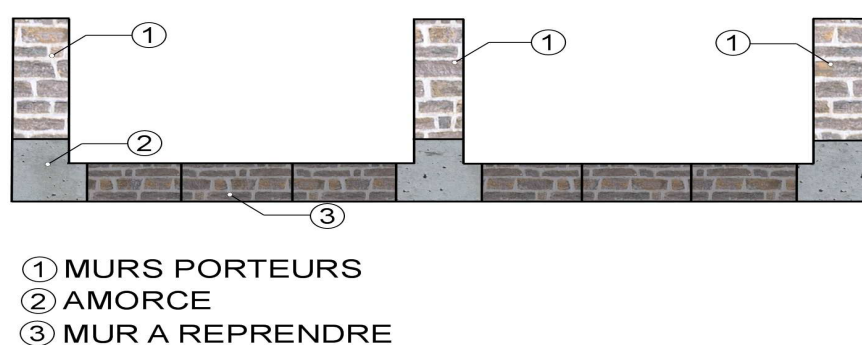
Cette opération est délicate et au même temps dangereuse, elle doit être confiée à un personnel compétent et expérimenté, et présente plusieurs risques auxquels il faudrait remédier<sup>185</sup> :

- ✓ Les désordres dans la construction ancienne par suite de la décompression du sol ou de la vibration des engins : fissures, lézardes, effondrement partiel ou total ;
- ✓ Les éboulements de terre localisés dans la zone des travaux ;
- ✓ Les risques de rencontre de câbles électriques, canalisation d'eau, de gaz, de carburants..., que s'ils sont endommagés peuvent provoquer des électrocutions, noyades, asphyxies, explosions... ;
- ✓ Les chutes de travailleurs dans les fouilles ;

Afin de pallier à ces risques ainsi qu'aux désordres un certain nombre de mesures sont à prendre aussi bien avant qu'en cours des travaux de reprise en sous-œuvre :

### ① Avant les travaux

Avant d'entamer les travaux en sous-œuvre, les mesures à prendre en priorité viseront à préserver de tout dommage les constructions sous lesquelles ou en bord desquelles on doit excaver<sup>186</sup>. Si la construction reprise est d'une dégradation avancée, il faudra étayer les planchers et réaliser autour des baies des encadrements solides pour soutenir les linteaux et consolider les jambages, voire procéder à des renforcements<sup>187</sup>.



**Figure 4.1.** Amorce de mur en sous œuvre.

<sup>184</sup> S. Chaning, la chirurgie des structures, réhabilitation structure enveloppe. Centre d'Assistance Technique Et de Documentation (CATED).1993.

<sup>185</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>186</sup> G Duval. Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardagua, Bruxelles, 1990.

<sup>187</sup> Ibid.

## ② Au cours des travaux

- ✓ Lorsque la construction existante exerce des efforts horizontaux ou obliques qui sont absorbés par la butée des terres avant la reprise en sous-œuvre<sup>188</sup>, il est nécessaire au fur et à mesure de l'avancement du terrassement de placer des dispositifs (étais, tirants avec ancrages, etc.) capables de résister à ces efforts<sup>189</sup>. Ces dispositifs seront maintenus jusqu'à ce que les poussées sur le mur à reprendre soient absorbées par le dispositif mis en place.
- ✓ Lorsque la fondation à reprendre se compose d'une maçonnerie de moellons, prenant appui directement sur le sol sans semelle de répartition, il est recommandé de construire sous cette fondation, par tronçons successifs une poutre continue en béton armé. Cette poutre permettra de prolonger le mur avec plus de sécurité jusqu'au niveau inférieur prévu (bon sol)<sup>190</sup>.

Lorsque le mur (fondation) d'un bâtiment doit être repris en sous œuvre, des précautions spéciales sont à prévoir aux emplacements de départ des murs porteurs perpendiculaires. Le sol intérieur étant fortement chargé dans ces zones, il y a lieu de renforcer le blindage de la tranche d'excavation correspondante et, si nécessaire, de faire une amorce de mur en sous œuvre sous chaque mur porteur perpendiculaire au mur à reprendre<sup>191</sup> (voir figure 4.1).

### I.2.1.2. Reprises en sous-œuvre par puits alternés

Deux conceptions sont possibles dans le projet d'exécution :

- Ou bien le mur construit en sous-œuvre n'est destiné qu'à soutenir une seule construction, et la fondation du bâtiment mitoyen est alors indépendante de celui-ci (voir figure 4.2) ;
- Ou bien le dit mur est destiné à servir de fondation commune aux deux bâtiments, ou plus, qui deviennent alors solidaires (voir figure 4.3).

Dans les deux cas, le mur à construire en sous œuvre et le terrassement qu'il nécessite sont exécutés par petites parties indépendantes, de longueur variable suivant la nature du terrain. Les tranches en exécution simultanées doivent toujours être séparées par des tranches non

---

<sup>188</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous œuvres.... 1964 rééditer 1994. Op. Cite

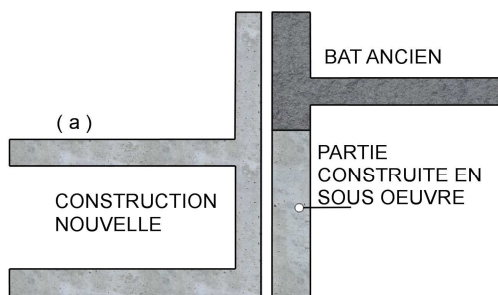
<sup>189</sup> Ibid.

<sup>190</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous œuvres.... 1964 rééditer 1994. Op. Cite.

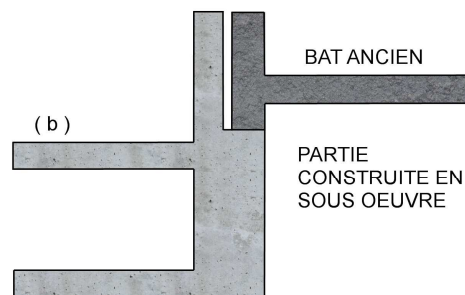
<sup>191</sup> Info maçonnerie. Reprises-en sous œuvre. L'artisanat du bâtiment. CAPEB JURA. Février. 2008.

entreprises ou par des tranches totalement terminées, c'est-à-dire aptes à supporter à elles seules la construction existante.

Le procédé utilise l'effet de voûte qui prend naissance dans une maçonnerie homogène au-dessus d'un vide de faible portée<sup>192</sup>.



**Figure 4.2.** Cas de mur porteur avec fondations séparées.



**Figure 4.3.** Cas de mur porteur avec la même fondation.

### I.2.1.3. Mode d'exécution d'un premier tronçon de mur

A partir du terrain naturel ou d'un niveau découpé au-dessus des fondations, on exécute un puits à parois blindées ayant la profondeur de la phase de reprise envisagée. Si le terrain est vierge, de bonne tenue, exempt de toute venue d'eau, on peut blinder le puits sur les trois parois extérieures au mur et laisser apparentes les parois sous le mur (paroi du fond et parois latérales) en assurant cependant la butée transversale des cadres<sup>193</sup> (voir figure 4.4). Le mur ancien sera étayé pour éviter tout désordre. Dans le cas d'un terrain de mauvaise qualité on installera une protection pour que les travailleurs dans le puits soient abrités des chutes de pierres. La méthode de blindage qui offre le plus de sécurité est celle à planches verticales jointives<sup>194</sup>. La semelle de fondation est bétonnée et le mur monté en maçonnerie ou en béton jusqu'à niveau sous la fondation à reprendre (voir figure 4.4). Les bois qui assuraient la butée des cadres contre le terrain derrière le mur ne sont enlevés progressivement que lorsqu'une butée compensatrice a été effectuée en se servant du mur. Cette méthode ne doit être employée que si l'étude approfondie du terrain donne l'assurance qu'aucun éboulement n'est à craindre pendant le court laps de temps que dure l'exécution d'une tranche de mur<sup>195</sup>.

<sup>192</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP). Code de bonne pratique. Démolition /reprise... Juin 1997. Op. Cite.

<sup>193</sup> S. Channing. Op. Cite.

<sup>194</sup> G Duval. Op. Cite.

<sup>195</sup> Y-M. Froidevaux. Techniques de l'architecture ancienne. Construction et restauration. Troisième édition. Mardaga. 1993.

S'il n'en est pas ainsi, et c'est le cas le plus fréquent, il faut blinder toute la périphérie du puits de façon à ne laisser subsister aucune partie verticale de terrain apparente cependant des cadres complet seront placés sous le mur<sup>196</sup>. L'enfilage des planches au début du terrassement sous le mur étant impossible par le haut, on sera amené soit à terrasser une hauteur réduite de fouille pour éviter les éboulements et placer les planches de blindage verticales entre le mur et un cadre inférieur, soit à blinder au fur et à mesure du terrassement, une certaine hauteur de puits jusqu'à ce que ayant un dégagement suffisant vers le haut<sup>197</sup>, afin qu'on puisse reprendre la méthode normale de blindage à planches verticales jointives.

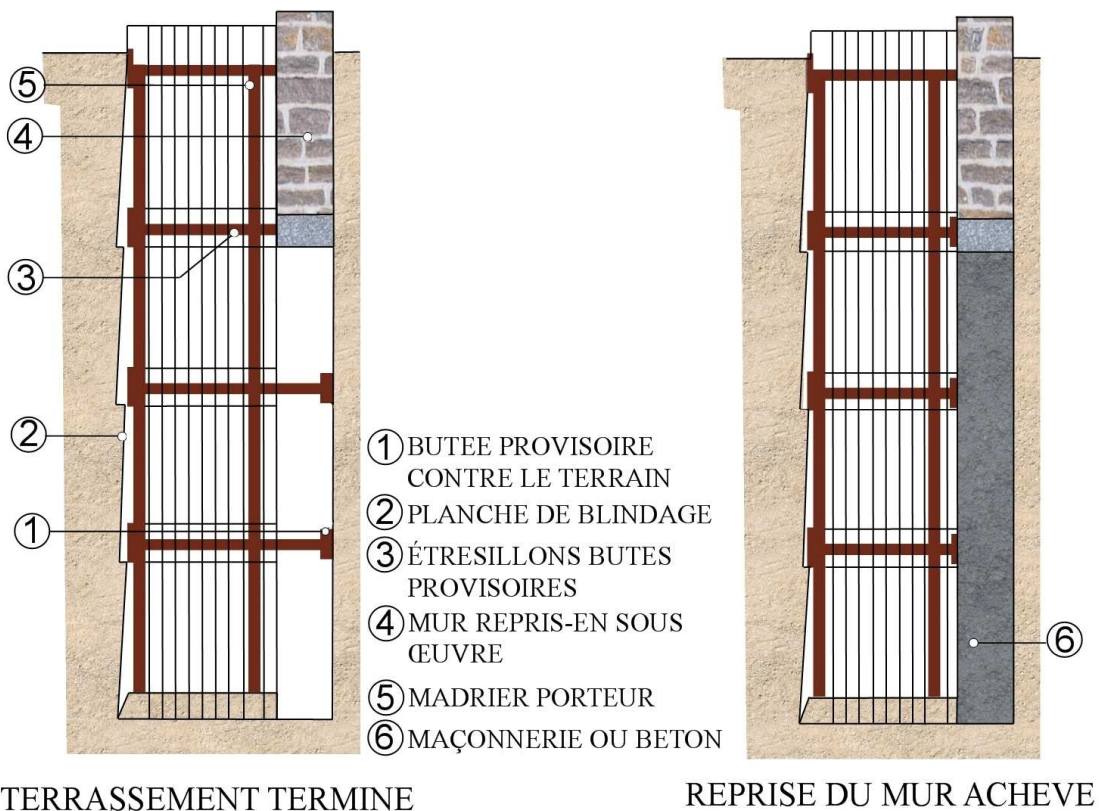


Figure 4.4. Blindage d'un mur en reprise en sous œuvre.

#### I.2.1.4. Reprises en sous-œuvre par puits alternés

Le mode opératoire est le même que celui d'un tronçon exécuté en 1<sup>ère</sup> phase, mais en terrassant suivant DCFE (voir figure 4.5), on supprime la butée que ce terrassement opposait

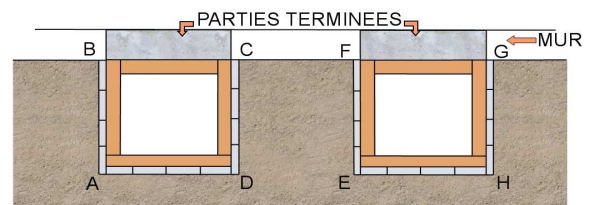


Figure 4.5. Schéma de principe de reprise en sous-œuvre par puits alternés.

<sup>196</sup> G Duval. Op. Cite

<sup>197</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTBTP). Code de bonne pratique. Démolition /reprise ...Juin 1997. Op. Cite.

aux pressions exercées sur les faces transversales AB et GH par l'intermédiaire des longrines parallèles au mur<sup>198</sup>. Il faut donc, dans le blindage du nouveau puits, reprendre les efforts en solidarissant les pièces maîtresses du nouveau puits à celles correspondantes des puits adjacents<sup>199</sup>.

### I.2.1.5. Reprises en sous-œuvre par élargissement du mur porteur

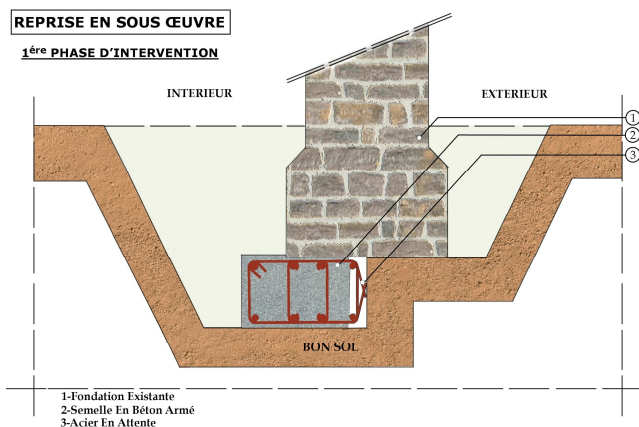


Figure 4.6. 1<sup>ère</sup> phase de reprise en sous-œuvre.

- Fouiller le sol des deux côtés du mur jusqu'au niveau de la fondation ;
- Creuser au-dessous de la semelle existante sur la moitié de sa largeur. Procéder par tranches de longueur qui ne dépassent pas deux mètres chacune ;
- Couler une semelle en béton armé dont les dimensions et le ferrailage dépendent de la charge qu'elle va supporter ;
- Garder des aciers en attente pour la continuité du ferrailage dans la nouvelle semelle, du côté opposé ;
- Creuser du côté opposé de la première intervention, sur la même hauteur et les mêmes longueurs et largeurs ;

Après évaluation de la charge transmise au sol par les fondations, on pourra définir la dimension convenable de la semelle pour assurer la stabilité du mur. Dans le cas d'un bon sol, il suffit d'élargir les semelles afin d'augmenter la surface de répartition de la charge au sol<sup>200</sup>. Ce procédé consiste à :

- Fouiller le sol des deux côtés du mur jusqu'au niveau de la fondation ;

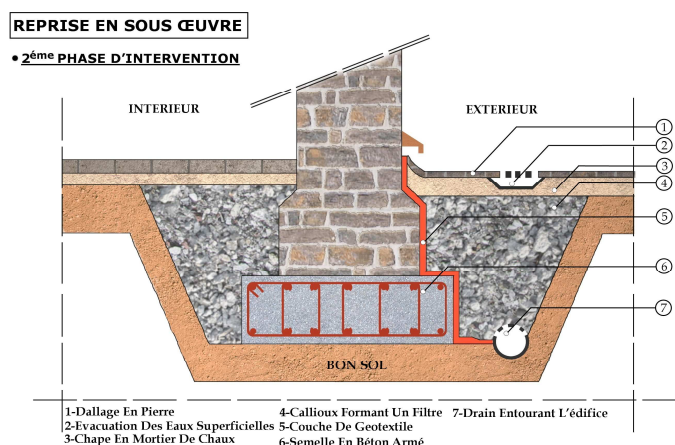


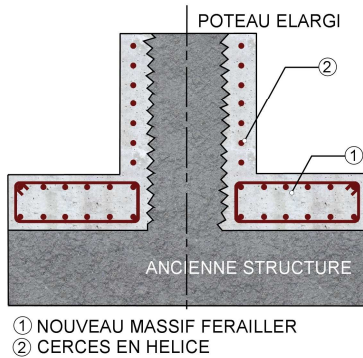
Figure 4.7. 2<sup>ème</sup> phase de reprise en sous-œuvre.

<sup>198</sup> G. Duval. Op. Cite.

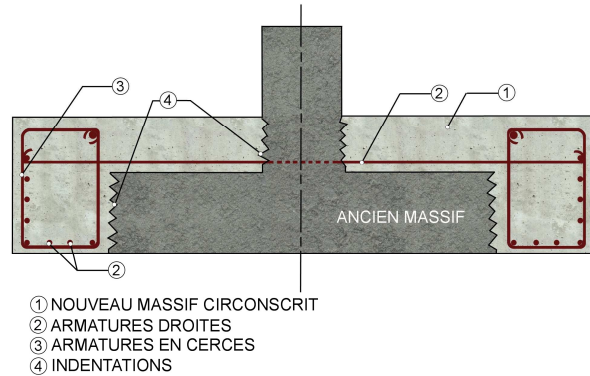
<sup>199</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTB). Code de bonne pratique. Démolition /reprise ... Juin 1997. Op. Cite.

<sup>200</sup> G. Duval. Op. Cite.

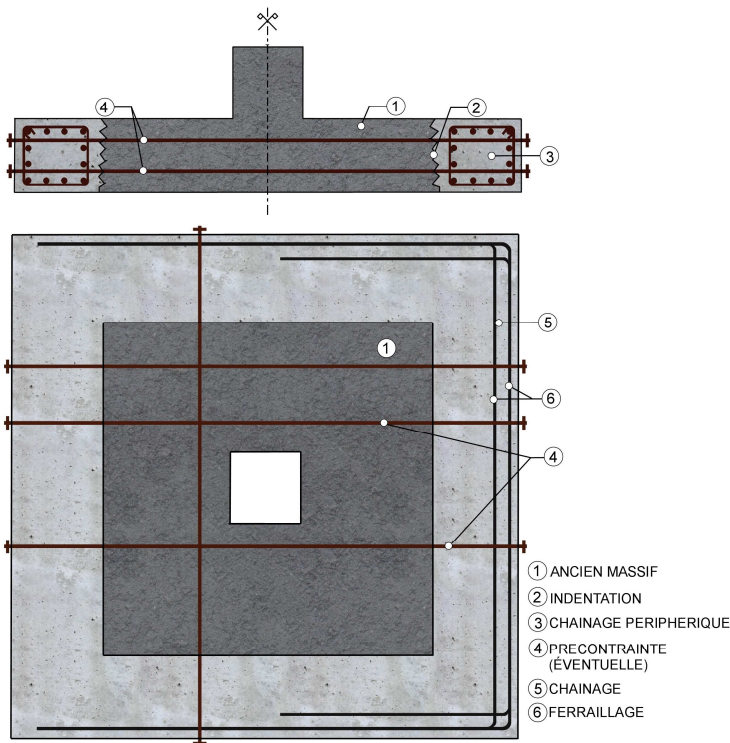
- Nettoyer les aciers en attente, compléter le ferrailage et couler la deuxième partie de la semelle ;
- Continuer dans le même principe l'élargissement de la semelle.



**Figure 4.8.** Pas d'augmentation de la surface de la semelle.



**Figure 4.9.** Augmentation de la surface de la semelle avec surépaisseur.



**Figure 4.10.** Élargissement de la semelle.

Le transfert des charges peut être aussi réalisé soit de part et d'autre de la zone de travail, par une augmentation de la surface de la semelle (béton armé), qui permet de réduire la contrainte sur le sol (voir figure 4.9 et 4.10) ou bien par une augmentation de la rigidité de la semelle et de la section du poteau, dans ce cas la surface au sol est suffisante vis-à-vis de la contrainte (voir figure 4.8)<sup>201</sup>.

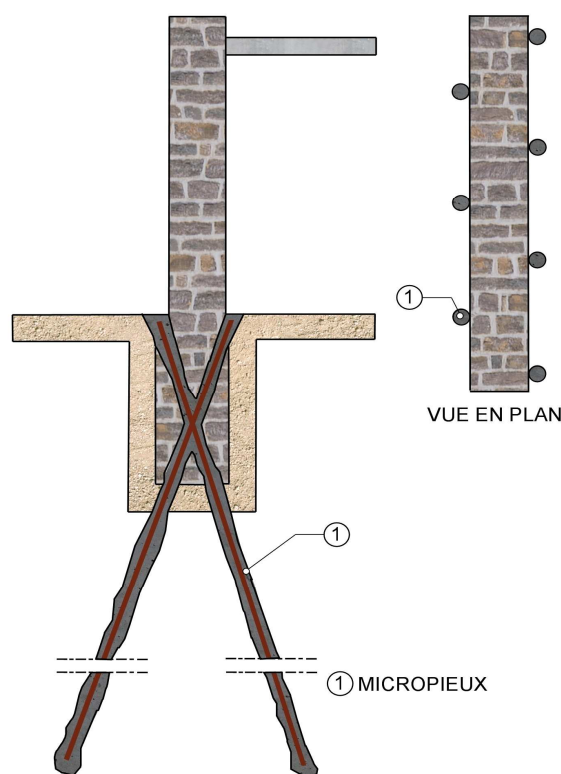
## I.2.2. Sous fondation par des micro-pieux

Cette technique est utilisée dans le cas de sol fragile<sup>202</sup>, elle consiste à implanter des micro-pieux qui descendent profondément vers le bon sol au-dessous des semelles existantes (voir

<sup>201</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>202</sup> P Brenda. Bâtiments en maçonnerie, analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidations, 1993 EPAU Snap.

figure 4.11). Cette solution nécessite des sondages préalables afin de reconnaître le sous-sol et le niveau du bon sol. Ainsi, elle nécessite la technicité et la main d'œuvre spécialisée dans ce type de travaux pour éviter les problèmes imprévus<sup>203</sup>. Les micro-pieux sont des pieux de petit diamètre (15 à 20 cm), forés par rotation pour éviter toute vibration ou choc au dessous des semelles existantes. Ces pieux sont armés d'un ferrailage tendu formant du béton compact précontraint, afin de supporter des charges élevées malgré leur petit diamètre. Ils seront intégrés à l'intérieur de la maçonnerie de la fondation afin d'assurer une parfaite liaison par une augmentation des



**Figure 4.11.** Reprises-en sous œuvre d'un mur.

frottements entre le sol et la fondation réalisé. Ce procédé présente donc des avantages, puisque la faible section droite minimise les désordres dans la structure traversée (rupture d'aciers), de même qu'au sein du massif de sol<sup>204</sup>.

### **I.2.2.1. Domaine d'utilisation**

Les micros pieux sont utilisés dans les cas suivant<sup>205</sup> :

- ✓ l'ouvrage existant est porté par des fondations superficielles, semelles ou radier, qui se révèlent insuffisantes ;
- ✓ il comporte déjà des pieux assurant le transfert des charges à un terrain porteur, il s'agit de renforcer ou remplacer ces pieux par d'autres descendus au même horizon ;
- ✓ le terrain porteur des pieux s'est dégradé ou s'est avéré impropre à porter les charges, les nouveaux pieux ou micro pieux doivent être prolongés jusqu'à une formation plus profonde en mesure de supporter les charges de l'ouvrage.

<sup>203</sup> G. Duval.Op. Cite.

<sup>204</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>205</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

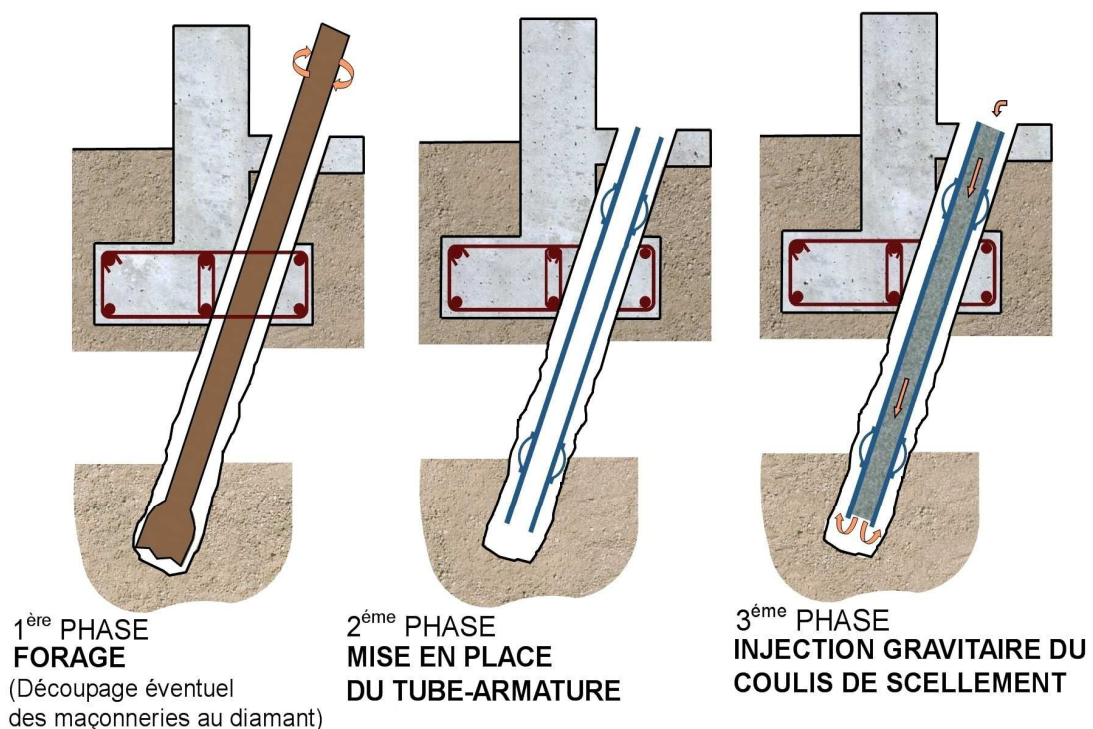
On peut classer les pieux en deux catégories essentielles, les pieux battus ou foncés<sup>206</sup>, refoulant le sol, accompagnés de règles de dimensionnement adaptés à ce caractère refoulant, et les pieux forés<sup>207</sup> avec excavation du sol avec les règles de calcul correspondantes.

### I.2.2.2. Mise en œuvre

La mise en œuvre d'un micro pieu se déroule en plusieurs phases (voir figure 4.12)<sup>208</sup> :

- ✓ Réalisation d'un forage, d'un diamètre compris entre 150 et 200 mm, avec découpage éventuel des maçonneries au diamant et une inclinaison envisageable ;
- ✓ Après nettoyage du forage on met en place le tube-armature ;
- ✓ Une fois l'armature est mise en place on procède à une injection gravitaire du coulis de scellement.

Il faut néanmoins veiller à ce que les pressions d'injection, moyennes ou fortes, ne produisent pas de soulèvement de la superstructure.



**Figure 4.12.** Principe de réalisation du micro pieu.

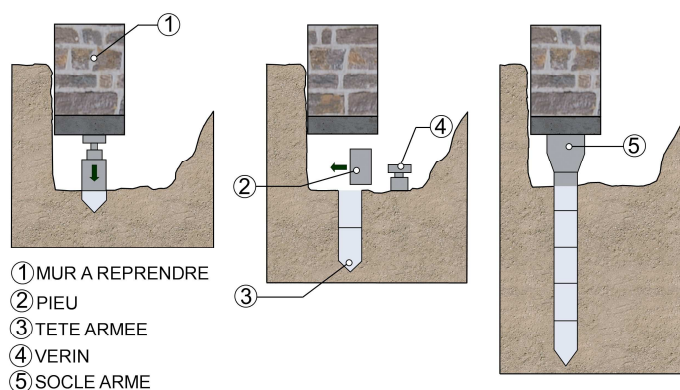
<sup>206</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>207</sup> Ibid.

<sup>208</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

## ① Pieux forcés par vérins sous la fondation à reprendre

Ce procédé, quoiqu'ancien, est intéressant quand le terrain se prête au fonçage et qu'on dispose de très peu de place<sup>209</sup>. Il n'exige pas la mise en œuvre d'un matériel important et peut être employé sur des chantiers modestes. Il ne produit ni bruit, ni vibrations, ni chocs, ni fumées<sup>210</sup>. La méthode consiste à enfoncer des pieux par pression et par tronçons successifs au

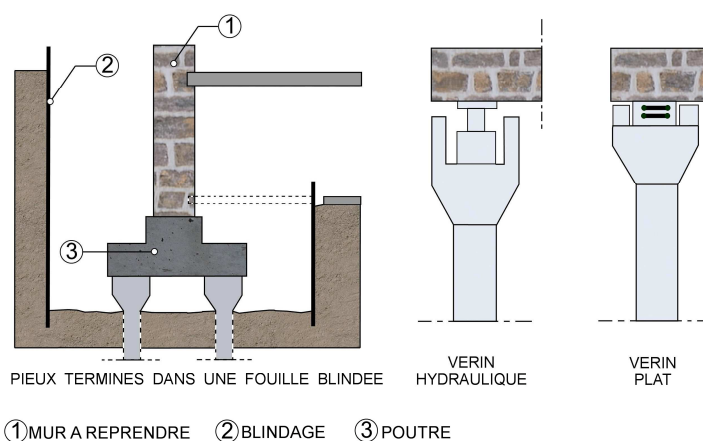


**Figure 4.13.** Différentes phases d'exécution, pieux forcés par vérin.

moyen d'un vérin hydraulique prenant appui sous la fondation à reprendre (voir figure 4.13). Si celle-ci ne comporte pas de semelle armée, il faut en constituer une avant de foncer les pieux, car on risquerait de fissurer, voire de disloquer l'ancienne fondation. De plus, les points d'appui doivent être judicieusement choisis<sup>211</sup>. Le premier élément de pieu est muni d'une pointe renforcée favorisant son enfoncement. Les autres éléments viennent se superposer par emboîtement, ils peuvent être métalliques ou en béton armé, comportent des évidements intérieurs qu'on remplit ensuite de béton pour réaliser un pieu continu. Le procédé supprime par ailleurs tout risque de décompression du sol et permet un contrôle de la force portante des pieux. Il peut être utilisé pour le relevage ou le redressement d'une construction ancienne<sup>212</sup>.

## ② Pieux forcés encadrant le mur le mur

Ce procédé n'est applicable que si les deux côtés du mur à reprendre sont accessibles (voir figure 4.14)<sup>213</sup>. Le matériel nécessaire étant peu encombrant, un sous-sol de cave constitue un



**Figure 4.14.** Pieux forcés encadrant le mur.

<sup>209</sup> Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTB), terrassements en sous-sol..., 1964 réédité 1994. Op. Cite.

<sup>210</sup> S. Channing, Op. Cite

<sup>211</sup> Ibid.

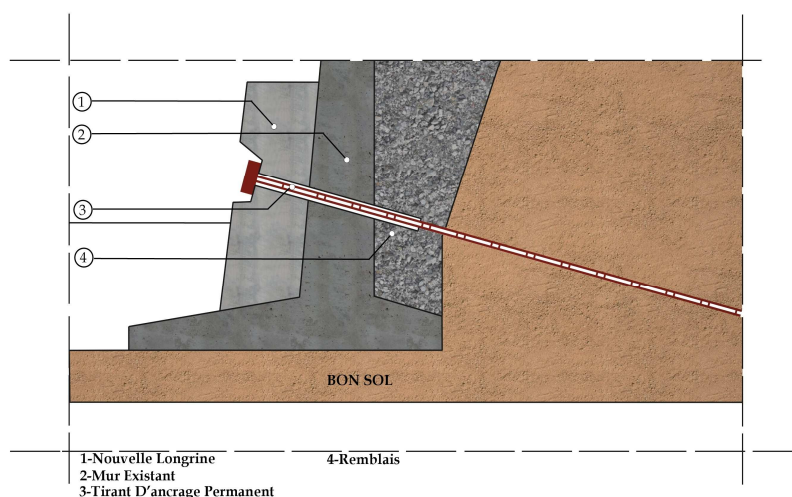
<sup>212</sup> LCPC-SETRA. Les pieux forcés- recueil des règles de l'art. 1978.

<sup>213</sup> Ibid.

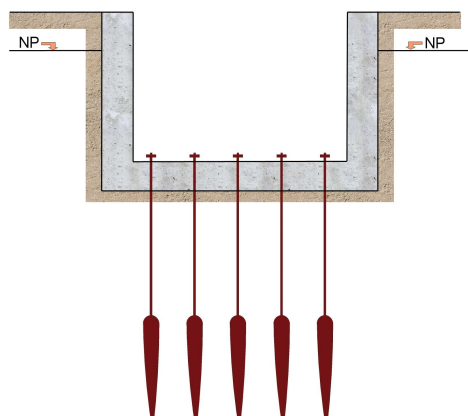
espace généralement suffisant pour la mise en œuvre du procédé. Celui-ci consiste à exécuter deux files de pieux de chaque côté et le plus près possible du mur, et à reporter les charges de l'ouvrage sur ces pieux, par l'intermédiaire de poutres semelles et de consoles en béton armé exécutées sous le mur par petites parties<sup>214</sup>.

### I.2.3. Mise en place de tirants d'ancrages

Utiliser pour rétablir la stabilité des fondations aux glissements, renversements et aux tassements par la mobilisation d'un volume de terrain ou de rocher<sup>215</sup>. Les tirants et boulons d'ancrage sont des éléments sollicités en traction<sup>216</sup>. Ils sont d'une longueur supérieure à celle des boulons d'ancrage, leur système d'armature peut être constitué d'une barre unique,



**Figure 4.15.** Renforcement d'un mur de soutènement.



**Figure 4.16.** Renforcement d'un radier.

d'un faisceau de barre, d'un ensemble de fils ou de torons parallèles<sup>217</sup>. Ils sont mis



**Photo 4.1.** Réalisation de tirant d'ancrage à la basilique Notre-Dame d'Afrique.

<sup>214</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>215</sup> Tirants d'ancrage. Recommandation TA95 du comité Français de mécanique des sols et travaux des fondations. Eyrolles.

<sup>216</sup> S. Chaning. Op. Cite.

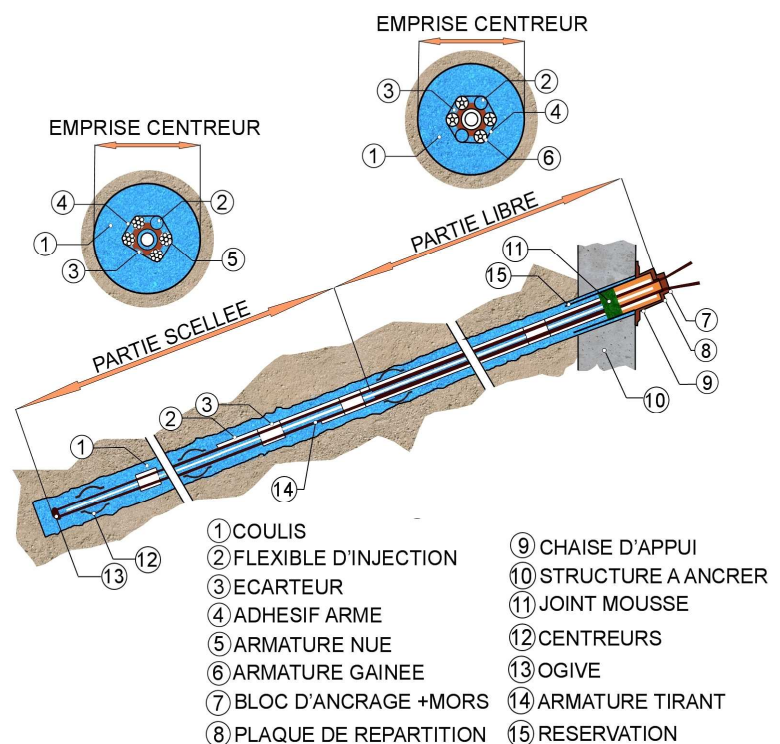
<sup>217</sup> Ibid.

en précontraint par l'application d'un effort de traction qui est au moins égale à l'effort qui leur sera transmis au moment de leur mise en service. Ils peuvent être mis en terrain meuble ou bien terrain rocheux ainsi que dans des maçonneries ou des structures en bétons (voir figure 4.15 et 4.16)<sup>218</sup>. Les boulons d'ancrage sont constitués d'une barre et d'un tube le plus souvent en acier, ils sont passifs c'est-à-dire que leur mise en tension n'est appliquée que lorsque l'ouvrage est mis en charge<sup>219</sup>. Utilisés dans plusieurs domaines d'application tel que le renforcement des murs de soutènements sous dimensionnés, des massifs de fondations de poids insuffisant, des radiers soumis à des sous pressions.

### I.2.3.1. Mise en œuvre

La mise en œuvre d'un tirant d'ancrage se déroule en plusieurs phases<sup>220</sup> (voir figure 4.17) :

- ✓ Réalisation d'un forage, diamètre compris entre 100 et 200 mm, toutes inclinaisons envisageables au moyen d'un outillage et d'un fluide de perforation adaptés au terrain ;
- ✓ Après nettoyage du forage, substitution du fluide de forage par un produit de scellement, généralement un coulis de ciment fortement dosé ;
- ✓ Mise en place de l'armature (barre, torons...). La mise en place se fait avec une grue, un dérouleur, voire à bras d'hommes ;
- ✓ Après prise, le scellement peut être injecté sous pression avec un coulis de ciment. Divers systèmes coexistent pour conduire cette injection en fonction du terrain et des



**Figure 4.17.** Mise en œuvre d'un tirant d'ancrage.

<sup>218</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>219</sup>. Tirants d'ancrage. Recommandation TA95. Op. Cite.

<sup>220</sup> Guide stress. Op. Cite.

moyens mis en œuvres. Le procédé le plus courant est celui utilisant un tube à manchettes ;

- ✓ Après un délai de 1 à 7 jours suivant le type de terrain et le produit de scellement utilisé, mise en précontrainte avec un vérin et cachetage de la tête d'ancrage par un capot.

### **I.2.3.2. Spécifications des fournitures**

Le choix du type de tirants et de sa puissance est fait en fonction de l'importance des efforts à reprendre, des caractéristiques de la structure et celles du terrain d'ancrage<sup>221</sup>. Ce choix doit tenir compte des possibilités d'accès du matériel aux emplacements prévus pour l'installation des nouveaux ancrages, par exemple, la mise en œuvre de tirants barres nécessite un recul au droit du forage pour l'installation de la barre elle-même si cette dernière ne peut être fractionnée<sup>222</sup>. Le choix de la protection contre la corrosion est fait en fonction de la durée de vie prévue pour l'ouvrage et de l'agressivité du milieu ambiant.

### **I.2.3.3. Protection contre la corrosion**

La protection contre la corrosion des tirants d'ancrage est destinée à assurer leur intégrité tout au long de leur durée de vie. Plusieurs cas sont distingués suivant les utilisations<sup>223</sup> :

- ✓ Protection poussée contre la corrosion pour des tirants d'ancrage définitifs (durée d'utilisation de plus de 2 ans), ou pour des tirants d'ancrage provisoires en milieu agressif ;
- ✓ Protection limitée contre la corrosion pour des tirants d'ancrage provisoires (durée d'utilisation de moins de 2 ans) ;
- ✓ Pas de protection spéciale pour des tirants d'ancrage dont la durée d'utilisation est inférieure à 6 mois et dont la défaillance est sans préjudice pour la sécurité publique.

Dans le premier cas, l'armature doit être enrobée sur toute sa longueur d'une gaine isolante. Sur la longueur de scellement, cette gaine est remplie de coulis de ciment. La longueur libre est doublée de gaines individuelles sur chaque toron. De plus, on doit prévoir une isolation entre la tête du tirant d'ancrage et la structure porteuse : la tête est soit coulée dans du béton, soit protégée par un capot démontable isolant insensible à la corrosion<sup>224</sup>. Dans le cas de

---

<sup>221</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>222</sup> CRITERRE. Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection, établi dans le cadre du projet national CRITERRE. Décembre 2000.

<sup>223</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>224</sup> F. Hunkler. H. Ungricht. TFB. Dégradation des aciers de précontraintes due à la corrosion dans des câbles de précontrainte et des tirants précontraints en sol et en rocher. Rapport VSS N° 534. Décembre 1998.

tirants d'ancrage provisoires, la protection limitée contre la corrosion impose un enrobage des armatures de 20 mm minimum grâce à des écarteurs répartis sur la longueur de scellement<sup>225</sup>. La longueur libre est graissée et recouverte d'une gaine. La zone de la tête est protégée par une peinture isolante hydrofuge.

### **I.2.4. Traitement des sols par des procédés d'injection**

Les projets de réparation et de renforcement des structures peuvent faire appel à des traitements de terrain sur lequel les fondations de ces structures reposent. Ces techniques s'appliquent soit sur des sols en place (terrains meubles ou roches), soit sur des sols rapportés (remblais).

#### **I.2.4.1. Principe et objectif de la technique**

La technique consiste à introduire sous pression dans le sol à partir de forages répartis selon des mailles primaires et secondaires, un mortier (à base de ciment ou autres liants) à angle de frottement élevé afin d'augmenter le niveau de contrainte jusqu'à atteindre le niveau de consistance recherché, et réduire les déformabilités du terrain sous les charges existantes ou supplémentaires appliquées<sup>226</sup>. Que se soit en terrain meuble ou rocheux où les cavités, les fissures et les points de discontinuité seront comblés, ce procédé permet aussi l'étanchement des terrains afin de réduire les débits d'infiltration et réduire aussi les risques d'érosion des parties fines ou soluble du sol ainsi une protection à l'égard d'agents polluants ou agressifs qui risquent de s'infiltrer<sup>227</sup>.

#### **I.2.4.2. Choix de la méthode<sup>228</sup>**

Le choix de la technique d'injection à appliquer est fonction de plusieurs paramètres :

- ✓ La nature des problèmes à résoudre et des objectifs à atteindre, augmentation de la capacité portante, arrêt de déformation, étanchement en tenant compte de l'environnement ;
- ✓ Le type et l'importance de l'ouvrage et son histoire ;
- ✓ La connaissance géotechnique du milieu à traiter, dont les éléments sont :

#### **① En amélioration ou renforcement en terrains meubles**

---

<sup>225</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>226</sup> S. Channing. Op. Cite.

<sup>227</sup> H Cambefort. Injection des sols. Eyrolles 1964.

<sup>228</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

- La courbe granulométrique des particules composant les terrains et la densité relative de leur arrangement ;
- La nature physico-chimique de ces particules ;
- les caractéristiques mécaniques (cisaillement, compressibilité) avant traitement et à obtenir après traitement ;
- Le régime et la composition des eaux baignant ces terrains ;
- L'état de chargement des terrains par les structures sus-jacentes et voisines ;
- Les déformations admissibles de ces structures.

### ② En amélioration ou renforcement en terrain rocheux

- La nature physico-chimique des terrains ;
- La répartition des vides et des joints et la nature des remplissages ;
- Le module de déformation avant traitement et à obtenir ;
- Le régime et la composition chimique des eaux baignant ces terrains ;
- L'état de chargement des terrains par les structures sus-jacentes et voisines et les déformations admissibles de ces structures.

### ③ En étanchement

Il faut ajouter aux paramètres cités ci-dessus :

- Pour les terrains meubles : la perméabilité globale de chacune des différentes formations des terrains à étancher avant traitement et à obtenir après ce dernier, ainsi que le régime piézométrique avant et après traitement ;
- Pour les terrains rocheux, il sera ajouté le régime d'écoulement avant le traitement et celui à obtenir après celui-ci.

## I.2.4.3. Modes d'injection

### I.2.4.3.1. Injections classiques

Il s'agit d'une technique qui vise à combler les vides naturels que se soit des fissures (terrains meubles, rocheux) ou bien des vides de terrains granulaires par remplissage de ceux-ci avec des coulis sans déformation intentionnelle ni déplacement de terrain<sup>229</sup>. Le but recherché est la diminution de la perméabilité du massif ainsi que l'amélioration des

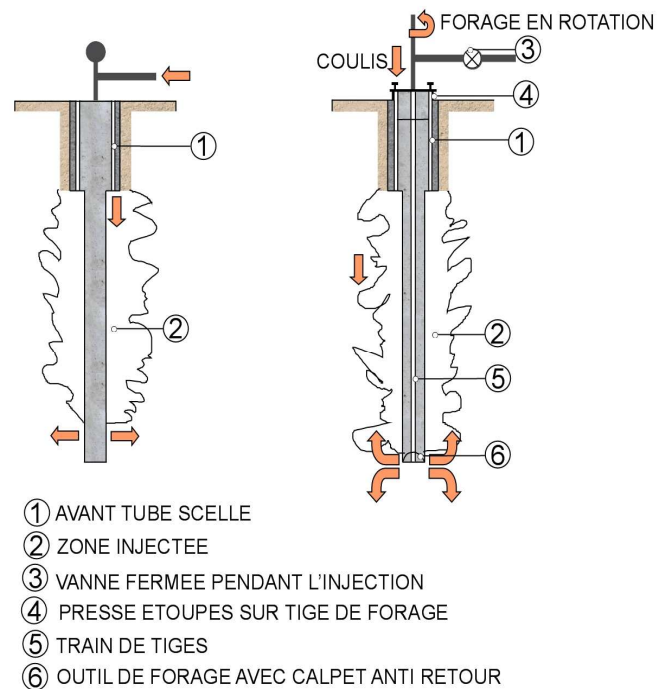
---

<sup>229</sup> CRITERRE. Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection. Op. Cite

caractéristiques de résistances et de déformabilité de celui-ci<sup>230</sup>. Cette technique de confortement est envisageable dans le cas où les désordres ne sont pas très avancés ou leur arrêt d'évolution est suffisant.

### I.2.4.3.1.1. Forage

C'est une méthode qui consiste à introduire le produit injecté en forçant le sol par basse pression (jusqu'à environ 2 MPa) sans rejet d'une partie du terrain à la surface<sup>231</sup>. Cette opération se fait par forage de faible diamètre (50 à 80 mm), soit à « trou ouvert » avec un obturateur simple, en montant ou descendant (re-forage dans ce cas), soit avec un tube à manchettes et un obturateur double (voir figure 4.18)<sup>232</sup>.



**Figure 4.18.** Injection en descendant.

L'espacement des points de forages dépend du volume à traiter, des conditions géométriques de l'ouvrage, de son environnement, ainsi que du rayon d'action du coulis et du type de sol. A titre indicatif, pour les terrains meubles, l'espacement peut varier de 1,00 m pour les sables fins, 1,50 m dans les sables et graviers, dans le rocher, l'espacement varie de 1 à 3,00 m en cas de fissures fines et de 2 à 4,00 m en cas de fissures ouvertes<sup>233</sup>.

La réussite du chantier repose sur le bon choix de la méthode de forage à exécuter, qui dépend aussi de la connaissance géotechnique du massif. Les méthodes disponibles sont<sup>234</sup> : rotation et percussion, avec tubage de travail ou non (tige tube) et la possibilité ou la nécessité d'un fluide de forage particulier : air, eau, boue ou polymère.

<sup>230</sup> H Cambefort. Op. Cite.

<sup>231</sup> Documentation technique. Cim béton. Les coulis et les bétons pour les fondations spéciales documentation technique.

<sup>232</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>233</sup> H. Cambefort. Op. Cite.

<sup>234</sup> Documentation technique. Cim béton. Les coulis et les.... Op. Cite.

#### **I.2.4.3.1.2. Coulis d'injection**

Les coulis à injecter sont de deux catégories<sup>235</sup> :

- Les suspensions granulaires : mélange eau + ciment, cendres volantes, argile, bentonite, chaux, sable. Ils sont instables ou stables, rigidifiés ou fluidifiés. Leur avantage est un coût modéré, une résistance mécanique élevée, ils sont pérennes et non toxiques ;
- Les liquides ou solutions, au comportement rhéologique simple, pour obtenir une résistance mécanique qui reste limitée.

La capacité de pénétration des coulis dépend des caractéristiques du terrain, de la taille des particules, de sa viscosité, de la nature des terrains absorbants et de la pression d'injection du coulis.

#### **I.2.4.3.1.3. Domaines d'utilisation de l'injection classique**

L'injection classique est bien adaptée pour les situations suivantes<sup>236</sup> :

- reprise par injection des maçonneries d'ouvrages anciens, où il y a en parallèle nécessité d'améliorer le sol. Le choix, si possible, d'une méthode d'injection unique pour les deux milieux est recommandé ;
- comblement de cavités, mettant en péril les ouvrages les surplombant, il s'agit de cavités franches ou plus ou moins remplies, susceptibles de mettre en péril les constructions.

#### **I.2.4.3.2. Injection de claquage**

Les fondations, tout comme leurs sol d'assise, font partie intégrante de tout ouvrage. Au fil du temps, pour des raisons diverses, l'un ou l'autre de ces éléments peut ne plus remplir sa fonction. Ce problème concerne largement le patrimoine architectural ancien. Lorsque des tassements incompatibles avec la pérennité des ouvrages se sont produits, l'injection de claquage est le procédé le mieux adapté pour rétablir la transmission des charges entre les fondations et le sol<sup>237</sup>.

---

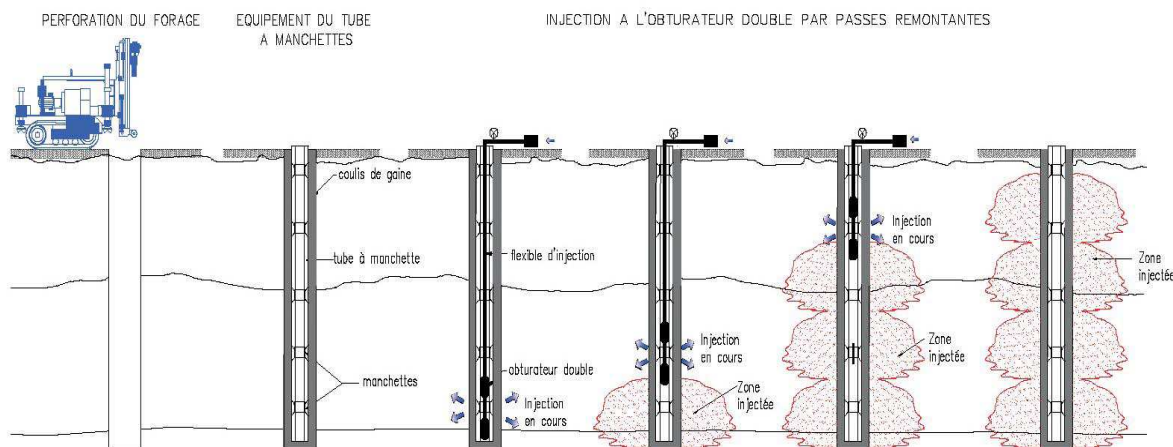
<sup>235</sup> CRITERRE. Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection. Op. Cite.

<sup>236</sup> H. Cambefort. Op. Cite.

<sup>237</sup> Keller Fondations Spéciales SPA Le procédé Soilfrac. Brochure 61-02 F.

### I.2.4.3.2.1. Principe et objectif de la technique

L'injection de claquage constitue un complément pour les injections classiques mais différente de celle-ci, c'est une injection qui provoque le mouvement dynamique du terrain par rupture de ce dernier, soit par compactage, soit par déplacement<sup>238</sup>. Ce procédé provoque des petites fractures dans le sol (Fracs), qui se remplissent de coulis qui y fait prise. Grâce à des injections répétitives et sélectives, on peut améliorer n'importe quel terrain et également provoquer des soulèvements contrôlés en cas de tassement<sup>239</sup>.



**Figure 4.19.** Principe de l'injection de claquage – séquence des opérations.

Le procédé permet également de combler dans ce cas les vides dans les fondations en moellons déstructurées, en opérant une injection classique à faible pression dans ces volumes<sup>240</sup>.

### I.2.4.3.2.2. Matériel et la mise en œuvre

#### a. Mise en place des tubes à manchette

Des forages dans le sol à traiter permettent la mise en œuvre de tubes à manchette. L'espace annulaire est rempli avec un coulis de gaine<sup>241</sup>.

#### b. Injection de claquage

On insère dans le tube à manchette un flexible d'injection, muni à son extrémité d'un double obturateur. Celui-ci permet de réaliser une étanchéité totale dans le tube, de part et d'autre de la manchette à injecter, ce qui permet une injection sélective<sup>242</sup>.

<sup>238</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>239</sup> CRITERRE Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection. Op. Cite.

<sup>240</sup> H Cambefort. Op. Cite.

<sup>241</sup> Keller Fondations Spéciales. Brochure 61-02 F Op. Cite.

### **c. Injection répétitive**

Selon le but à atteindre, chaque manchette fera l'objet d'une ou plusieurs injections. Les critères à respecter seront les quantités à injecter, la pression maximale d'injection, et, lors d'injections répétitives, le temps de prise entre deux passes successives. Les tubes à manchettes peuvent être utilisables sur de longues périodes<sup>243</sup>.

Dans les terrains très peu perméables au coulis, la fissuration est obtenue par une pression d'injection qui doit être supérieure à la résistance à la traction au niveau considéré dans le massif. Dans les terrains perméables, c'est la recherche d'un débit d'injection supérieur à la capacité d'absorption du terrain qui permet la fissuration<sup>244</sup>.

### **I.2.4.3.3. Compactage statique horizontal ou injection solide**

#### **I.2.4.3.3.1. Principe**

L'injection solide ou le compactage statique horizontal consiste à introduire un mortier de consistance raide sous pression sans claquage ni imprégnation du sol, mais par refoulement du sol environnant afin d'améliorer les caractéristiques géotechniques de celui-ci<sup>245</sup>. Les mailles sont réparties de telle sorte que les inclusions de mortier apportent des améliorations supplémentaires.

#### **I.2.4.3.3.2. Domaines d'application**

Les applications du procédé étaient limitées à l'origine à la consolidation sous les fondations d'ouvrages susceptibles de subir des tassements, il en existe aujourd'hui beaucoup d'autres domaines d'application de cette méthode<sup>246</sup> tels que :

##### **✓ Amélioration de sols**

Augmentation des caractéristiques d'un sol de fondation de portance insuffisante, ou augmentation de sa densité relative, par exemple en tant que variante ou traitement complémentaire à des pieux ou autre procédé de traitement de sols, comme les colonnes ballastées ;

---

<sup>242</sup> Keller Fondations Spéciales. Brochure 61-02 F Op. Cite.

<sup>243</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>244</sup> Keller Fondations Spéciales SPA. Brochure 66-01 F.

<sup>245</sup> H. Cambefort. Op. Cite.

<sup>246</sup> Keller Fondations. Brochure 66-01 F. op. Cite.

### ✓ Confortement ou renforcement de fondations

Augmentation ou rétablissement de la capacité portante du sol sous des fondations existantes, par exemple en cas d'augmentation des charges ou de tassements constatés ;

### ✓ Comblement de vides

Remplissage «actif» et total de cavités, ou densification de sols à porosité élevée, par exemple dans des remblais non consolidés, des cavités d'origine accidentelle (ruptures d'adduction d'eau), ou encore sous des voies de circulation ou chemins de roulements.

Ce procédé complète avantageusement la gamme existante des techniques de fondations spéciales, et peut être combiné avec tout autre procédé.

#### I.2.4.3.3. Matériel mise en œuvre

Le dispositif est constitué d'une unité de préparation et du malaxage du mortier et une pompe d'injection permettant des débits jusqu'à 10 m<sup>3</sup>/h et des pressions jusqu'à 8 MPa à la pompe, laquelle constitue un élément essentiel du dispositif, les diamètres de forage sont de l'ordre de 100 mm les hauteurs de tranches sont couramment comprise entre 0,5 et 2,0 m<sup>247</sup> (voir figure 4.20).

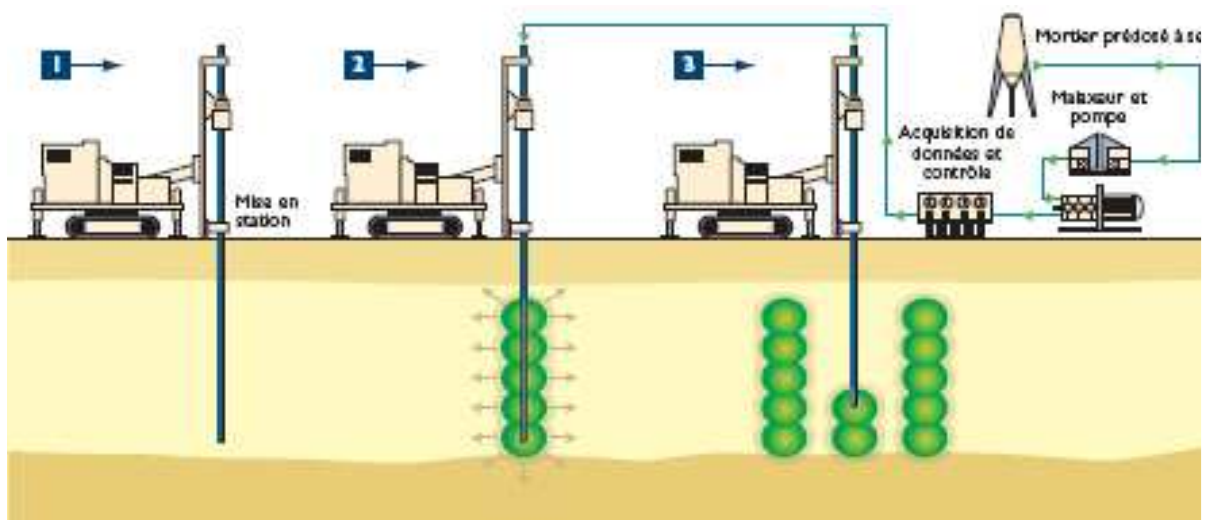


Figure 4.20. Mise en œuvre du compactage statique horizontale.

#### ① Mise en place du tube d'injection

En fonction de la nature du sol ou du type de projet, le tube est mis en place soit par forage, soit par battage.

<sup>247</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

## ② Compactage Horizontal Statique

Le mortier, préparé dans une centrale adéquate, est injecté sous pression dans le sol grâce à une pompe spéciale. En procédant par paliers successifs montants ou descendants, on réalise une inclusion constituée d'une succession de «bulbes» de mortier recoupés entre eux.

## ③ Compactage par colonnes alternées

Afin d'assurer une répartition homogène du compactage, on commence par un maillage primaire assez large. Ensuite, des colonnes secondaires en inter maille permettent d'arriver au compactage optimal.

### I.2.4.3.4. Avantage et inconvénient de la méthode<sup>248</sup>

- ✓ L'injection solide permet plus de précision que l'injection classique dans la localisation du matériau injecté, elle est donc plus souple ;
- ✓ C'est un procédé qui n'entraîne ni rejet, ni évacuation de déblais ;
- ✓ Elle ne produit pas de vibration et, de ce fait, les risques de tassement en cours de travaux dans les sols sableux lâches sont inexistant ;
- ✓ La densification, alliée à la présence des éléments rigides que constituent les colonnes de mortier, diminue le risque de liquéfaction ;
- ✓ Il est préférable de se limiter à la densification des sols limoneux ou sableux, pour les sols cohérents fins et saturés, déplacés lors de l'injection, les pressions interstitielles développées, en se dissipant, entraînent ultérieurement de légers tassements ;
- ✓ En l'absence de surcharge superficielle au point d'injection, il apparaît le plus souvent des décompressions et des soulèvements concernant le sol sur 1 à 2 m en partie supérieure, qui peuvent être dommageables.

### I.2.4.3.4. Jet grouting

#### I.2.4.3.4.1. Principes et objectifs

On désigne par jet grouting un procédé utilisant un jet de fluide à haute énergie cinétique pour déstructurer un terrain et le mélanger à un coulis liquide<sup>249</sup>. Il ne s'agit donc pas exactement d'une technique d'injection, mais d'un procédé de mélange hydrodynamique

---

<sup>248</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite..

<sup>249</sup> Documentation technique. CIM BETON, centre d'information sur le ciment et ses applications T 97.

terrain-coulis visant à former un béton-sol in situ dans la masse du terrain<sup>250</sup>. Différentes méthodes de jet grouting (jet simple, jet double, jet triple) sont utilisées en fonction de l'énergie hydrodynamique nécessaire pour détruire et mélanger le terrain avec un coulis liquide. Le jet grouting fait appel, séparément ou en combinaison, à trois phénomènes physiques<sup>251</sup> à savoir la déstructuration du terrain par un jet à très grande vitesse, l'extraction d'une partie du terrain jusqu'à la surface par les fluides de jetting et enfin l'incorporation d'un liant apporté par le coulis.

#### **I.2.4.3.4.2. Matériel et mise en œuvre**

L'atelier de jet grouting se compose d'une centrale de fabrication du coulis, comprenant les silos de stockage de ciment et les systèmes de malaxage et de pompage. La centrale est reliée par une conduite à une foreuse mobile, montée en général sur chenilles (voir figure 4.21)<sup>252</sup>.

Le diamètre et la résistance mécanique de la colonne de « sol ciment » obtenue sont fonction de la méthode de jet (simple, double ou triple), des paramètres de traitement (débit des jets, vitesse de rotation et de translation des tiges, énergie de jet...), de la nature et des caractéristiques géométriques du terrain (granulométrie, compacité, cohésion...), du dosage en ciment du coulis d'apport. Il est indispensable de réaliser, avant le démarrage des travaux, des colonnes d'essais qui permettent d'apprécier la faisabilité du traitement, le diamètre des colonnes et la résistance mécanique du sol-ciment. Après réalisation des colonnes, des carottages et des forages permettent de contrôler la géométrie du traitement réalisé et les résistances mécaniques.

#### **I.2.4.3.4.3. Mise en œuvre**

Le traitement se déroule généralement ainsi<sup>253</sup> :

- ✓ Réalisation d'un forage de petit diamètre (100 à 200 mm) sur la hauteur à traiter ;
- ✓ Dans ce forage, mise en vitesse d'un jet de fluide envoyé par une pompe à haute pression (plusieurs dizaines de MPa) à travers une ou plusieurs buses de petit diamètre (1-10 mm) placées sur un moniteur au pied d'un train de tiges de diamètre 70-100 mm ;
- ✓ Remontée lente des tiges, avec mise en rotation pour former une colonne de béton-sol.

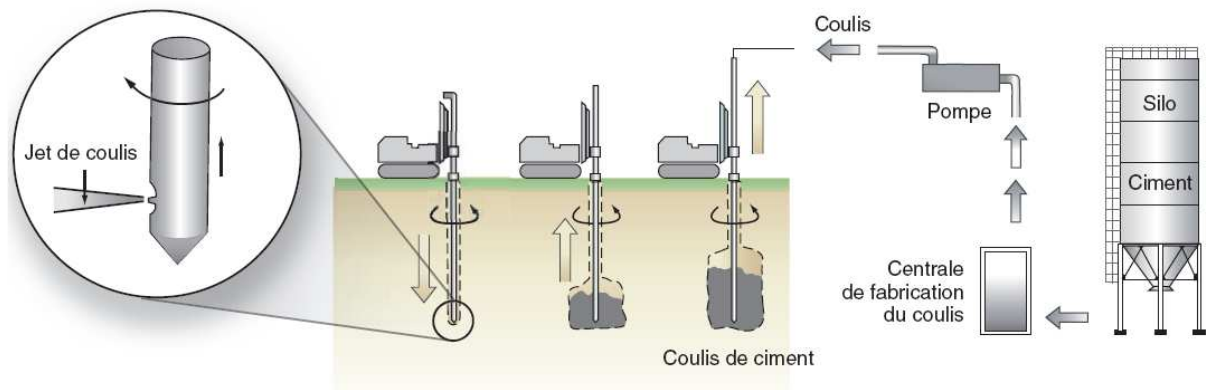
---

<sup>250</sup> D. Bastia, jet grouting principes et applications. Centre d'études techniques de l'équipement méditerranéen (CETE)

<sup>251</sup> Solétanche-Bachy. Procédés Généraux de Construction Fondations profondes, parois de soutènement, amélioration des sols.

<sup>252</sup> Ibid.

<sup>253</sup> CRITERRE Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection. Op. Cite.



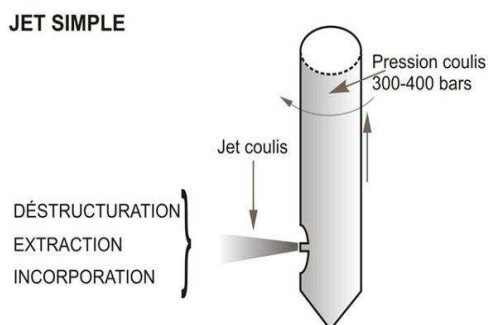
**Figure 4. 21.** Principe du jet grouting : matériel et mise en œuvre.

Pendant la phase jet, les volumes en excès du mélange sol-ciment (appelés « rejets ») doivent ressortir librement en tête de forage (sinon, l'excès de matériaux risque de « claquer » le terrain et de créer des désordres au voisinage) et être évacués du chantier au fur et à mesure. Le résultat (diamètre, composition, résistance des colonnes) dépend des paramètres du traitement (vitesses de translation et de rotation des tiges, pressions et débit des fluides utilisés, dosages du coulis), des caractéristiques du terrain en place (nature, granulométrie, composition, compacité...) et de la méthode employée (simple, double ou triple)<sup>254</sup>.

#### I.2.4.3.4.4. Les principales méthodes d'injection

##### ① Méthode du jet simple

Dans ce procédé, le fluide du jet est le coulis lui-même qui assure les trois fonctions de déstructuration, extraction et incorporation (voir figure 4.22). Une partie importante de l'énergie cinétique du jet est dissipée par frottement dans le terrain mis en suspension et les rejets formés deviennent parfois trop visqueux pour remonter librement jusqu'en tête de forage. Cette technique est plutôt utilisée dans les terrains peu compacts, de faible cohésion dans lequel il n'est pas recherché un rayon d'action important<sup>255</sup>.



**Figure 4.22.** Jet simple.

<sup>254</sup> Guide stress. Réparation et renforcement des fondations. Op. Cite.

<sup>255</sup> Solétanche-Bachy. Op. Cite.

## JET DOUBLE

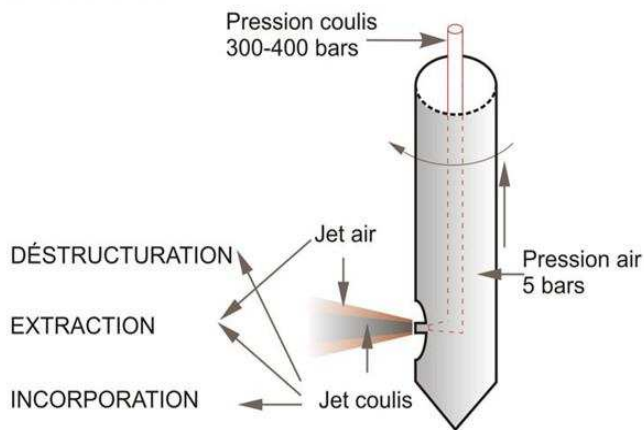


Figure 4.23. Jet double.

## JET TRIPLE

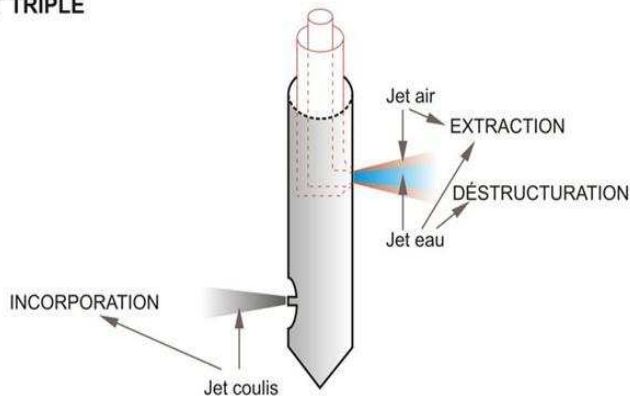


Figure 4.24. Jet triple.

## ② Méthode du jet double

Ce procédé consiste à projeter le jet de coulis à très grande vitesse par un jet d'air, qui permet d'augmenter considérablement le rayon d'action du jet (voir figure 4.23)<sup>256</sup>. Dans le procédé jet double, le rôle de l'air est d'améliorer les possibilités d'extraction du terrain en place par phénomène d'air lift<sup>257</sup>.

## ③ Méthode du jet triple

Dans le jet triple, les fonctions déstructuration et extraction du terrain sont obtenues par un jet double d'eau et d'air séparément de la fonction d'incorporation du liant assurée par un jet de coulis envoyé simultanément à basse pression une buse inférieure (voir figure 4.24)<sup>258</sup>.

### I.2.4.3.4.5. Domaines d'utilisation du jet grouting

Le type de technique est choisi en fonction des caractéristiques du terrain à consolider, du diamètre des colonnes à réaliser et des performances souhaitées<sup>259</sup>. Ce procédé de traitement hydrodynamique des sols s'applique à des terrains meubles, pas ou difficilement injectables par des procédés classiques d'injection tels que les sols fins (limons et argiles sableuses) ou injectables tels que les sables, les alluvions grossières<sup>260</sup>. Il permet de réaliser des colonnes de fondation (de bâtiments ou des structures de génie civil), des massifs de fondation (renforcement d'un massif de sol)<sup>261</sup>. Ce procédé est d'une grande souplesse d'utilisation, il

<sup>256</sup> D. Bastia. Op. Cite.

<sup>257</sup> Solétanche-Bachy. Op. Cite.

<sup>258</sup> Keller. Le procédé de jet grouting. soilcret brochure 67-03F.

<sup>259</sup> Documentation technique. CIM BETON, centre d'information sur le ciment... Op. Cite.

<sup>260</sup> Dhoub, Magnan et Mestat Amélioration des sols en place. Édition Presses de l'ENPC/LCPC, Paris. 2004.

<sup>261</sup> Ibid.

peut être utilisé à partir de forages verticaux ou inclinés de petits diamètres pour des applications particulières, telles que par exemple, la consolidation de terrain derrière des ouvrages existants fragiles ou instables, la reprise de bâtiment en sous-œuvre, le soutènement de talus...<sup>262</sup>. Les spécificités de cette technique nécessitent, en général, l'utilisation d'un ciment à forte teneur en laitier offrant une faible chaleur d'hydratation initiale (minimiser le retrait-contrainte de Le Chatelier), une cinétique de prise lente et une bonne résistance aux agressions éventuelles des eaux pures et des eaux sulfatées(ciment PM et ES)<sup>263</sup>.

## **II. Réhabilitation des planchers**

### **Introduction**

La réhabilitation des planchers existants est particulièrement fréquente dans les anciennes constructions, en revanche pour les récentes, elle concerne souvent l'amélioration du confort à savoir l'isolation phonique et thermique. Les causes d'une opération de réhabilitation sont multiples, la réhabilitation légère peut concerner la réfection des sols pour améliorer son aspect, et la réhabilitation lourde permet l'amélioration de la résistance et de la stabilité de l'ensemble et parfois l'isolation phonique et thermique<sup>264</sup>. L'état des éléments porteurs d'un plancher (solives, poutres, etc.) conditionne souvent l'aspect fini d'un plancher, les flèches sont importantes, les revêtements décollés ou fissurés. Ce type de désordre est causé principalement par un vieillissement (pourriture pour les structures en bois et rouille pour les structures en acier) ou à un sous dimensionnement des éléments du plancher au départ. Nous aborderons ici l'aspect de réhabilitation de différents types de plancher.

### **II.1. Réhabilitation des planchers en bois**

#### **Introduction**

Les planchers ou les toitures des bâtiments anciens sont souvent construits au moyen de rondins de bois sommairement équarris qui ont été scellés de manière plus ou moins régulière dans la maçonnerie<sup>265</sup>. Une perte d'étanchéité de la toiture ou simplement une humidité persistante peut entraîner un pourrissement des éléments porteurs du plancher ou de la toiture avec des dégradations irrémédiables et le risque, à terme d'un effondrement généralisé. Avant

---

<sup>262</sup> Solétanche-Bachy. Op. Cite.

<sup>263</sup> Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection. Op. Cite.

<sup>264</sup> U. Sacilor. L'acier dans la construction. Le Moniteur. Paris 1992.

<sup>265</sup> Fascicule technique. Ouvrage de charpente en bois. Ministère de la culture et de la communication. Direction de l'architecture et du patrimoine. Février 2002.

toute intervention de renforcement des poutres aux appuis, il faut évacuer ces eaux loin du bois et aérer l'espace où il se trouve, afin d'éliminer la cause de la croissance des micro-organismes qui contribuent à la détérioration du bois, un étaieement de l'ensemble du plancher et l'élimination du bois détérioré est primordial<sup>266</sup>.

### II.1.1. Réparation des appuis de solives

Les poutrelles en bois qui sont détériorées dans la zone d'encastrement au niveau du mur perdent effectivement leurs appuis. La technique de réparation consiste à poser une poutre de rive en acier perpendiculaire aux solives du plancher ou aux poutres affectées qui seront scellées dans le mur adjacent et qui serviront désormais d'appuis aux solives (voire figure 4.25).

La répartition des charges dans les maçonneries s'effectuera par l'intermédiaire de deux semelles de répartition en béton armé coulées sous les deux extrémités de la poutre IPN à poser en renfort<sup>267</sup> d'autre méthode de réparation existe :

- Remplacement de l'extrémité de la solive par une pièce de bois traitée. L'assemblage peut être réalisé par deux flasques en acier ou en bois fixés par des tire-fond ou au boulonnage (voir figure 4.26)<sup>268</sup>;
- Les flasques aciers peuvent être assemblés entre-elles par des tiges filetées posées dans les entretoises en tube d'acier. Une platine de répartition de contraintes de compression sur le mur doit être prévue (voir figure 4.27)<sup>269</sup>.

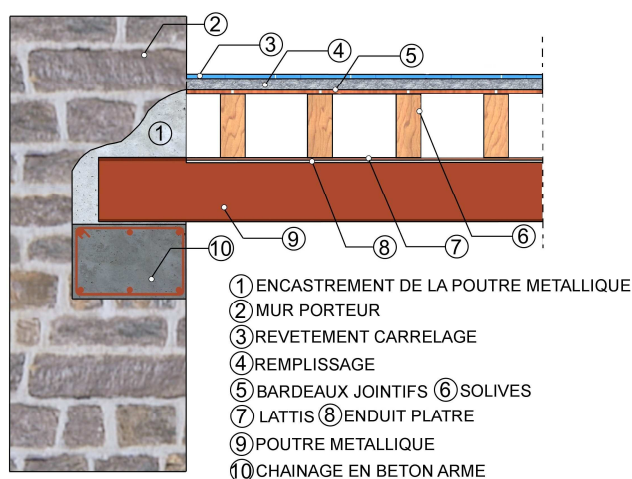


Figure 4.25. Réparation d'un plancher en bois par soutien des poutres aux appuis.

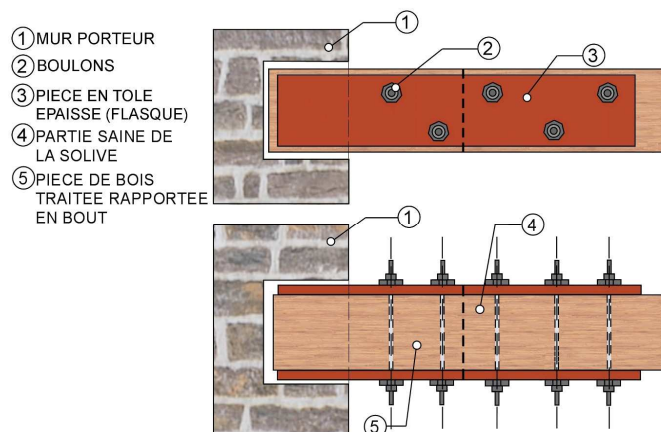


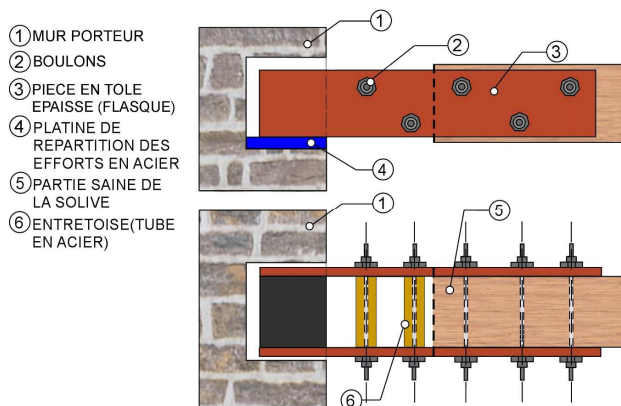
Figure 4.26. Réparations d'un appui de solive.

<sup>266</sup> S. Chaning. Op. Cite.

<sup>267</sup> Ibid.

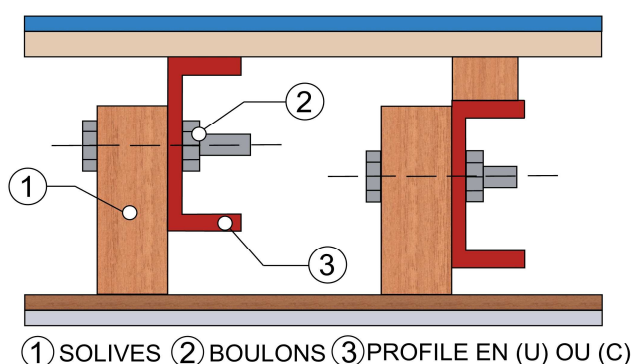
<sup>268</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

La réparation des appuis de solives peut être aussi réalisée par un chevêtre en bois ou en acier prenant appuis sur solives saines; un profil en U ou en L ou une poutre en bois scellée au mur, la partie saine des solives doit être suffisamment longue<sup>270</sup>.

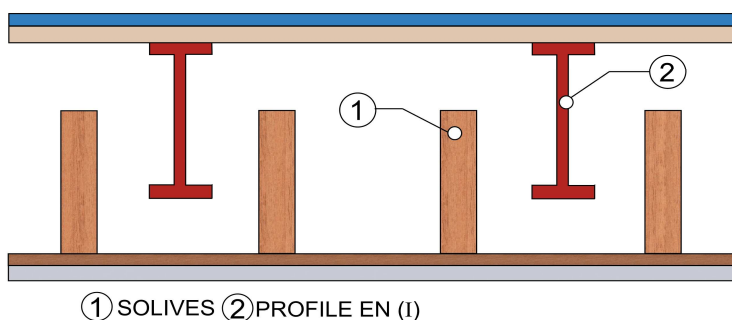


**II.1.2. Consolidation de solives porteuses par adjonction de profilés métalliques en acier** **Figure 4. 27.** Réparations d'un appui de solive.

Cette consolidation est adaptée, aussi bien pour renforcer des structures détériorées (pourries ou vermoulues), que pour supporter les accroissements des charges. Les profils de renfort prennent appui sur la structure existante ou sur une structure rajoutée (murs, poutres...), qui permettent de conserver le plafond



**Figure 4.28.** Moilage de solives en bois par profilés U ou C pour un renforcement.



**Figure 4.29.** Renforcement par substitution des solives porteuses en bois par des solives métalliques.

existant sans le déposer. On donne quelques variantes : soit le renfort s'effectue avec des profilés métalliques de type U, entretoisés pour limiter les risques de torsion, positionnés d'un ou des deux côtés de la pièce à renforcer (voir figure 4.28). Les solives défectueuses, souvent gauches, sont calées sur ces nouveaux profilés<sup>271</sup>, ou bien renforcer le plancher sans utiliser les solives existantes qui portent uniquement le plafond par la réalisation de solivages

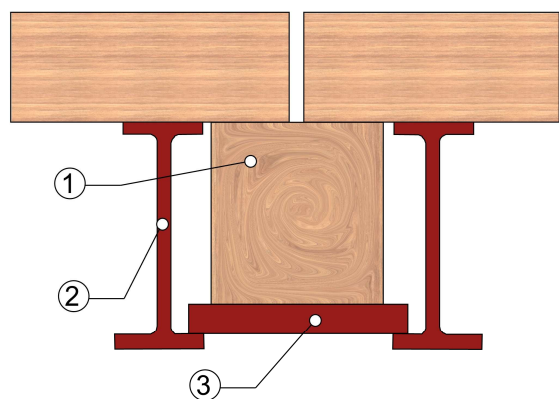
<sup>269</sup> OTUA. L'Acier pour construire in périodique Office technique pour l'utilisation de l'acier. N° 80 mars 2004.

<sup>270</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

<sup>271</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

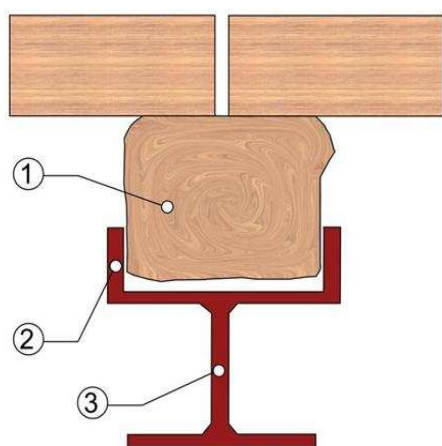
métalliques entre les solives en bois. Les charges sont intégralement reprises par ces poutres métalliques de substitution logées dans le corps du plancher (voir figure 4.29).

### II.1.3. Consolidation de poutres (charpente) par adjonction de profils métalliques en acier



① SOLIVE ② PROFILE EN (H) ③ PROFILE EN (I)

**Figure 4.30.** Renfort par poutre moisanse I, H.



① SOLIVE ② PROFILE EN (I) ③ PROFILE EN (H)

**Figure 4.31.** Renfort en dessous par profilés I, U ou H.

Cette technique consiste à ajouter de nouveaux éléments qui vont collaborer à l'absorption des efforts jouant sur la poutre ou les poutrelles, lorsque le dimensionnement est jugé insuffisant ou lorsque les effets du fluage du bois ont créé des déformations excessives<sup>272</sup>. Les matériaux de renfort utilisés sont généralement en bois ou constitués de

profilés en acier, leur position étant latérale, inférieure ou supérieure par rapport à l'élément à renforcer. On choisit la position supérieure dans tous les cas où il y a lieu de conserver l'apparence du plancher d'origine, en présence de peintures ou de faux plafonds de valeur. La position inférieure est retenue le plus souvent pour renforcer les poutrelles quand la hauteur libre au sol admet une réduction, tandis que

la position latérale est plus répandue si les poutres en bois à renforcer supportent des pans entiers de planchers de poutrelles; il suffit alors de fixer deux éléments avec des goujons traversant la poutre<sup>273</sup>.

La consolidation des poutres maîtresses des charpentes anciennes est facilement réalisable. Les solutions possibles sont nombreuses et on peut citer :

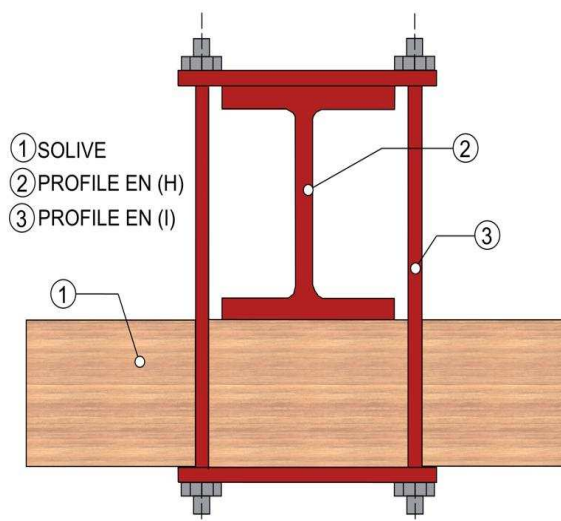
<sup>272</sup> Y-M. Froidevaux. Techniques de l'architecture ancienne. Construction et restauration. Troisième édition. Mardaga. 1993.

<sup>273</sup> Ibid.

➤ La poutre en bois est renforcée par moisage de profilés en acier, I ou H (voir figure 4.30)<sup>274</sup> ;

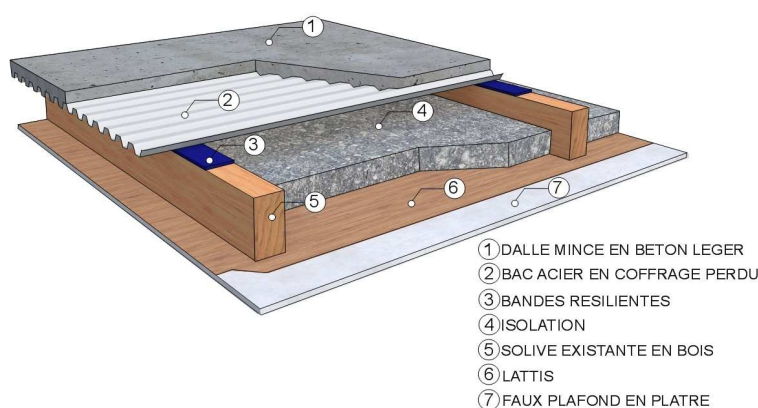
➤ une autre solution peut également être efficace, lorsque la retombée de poutre n'est pas problématique, glisser une poutrelle pour soutenir la poutre existante (voir figure 4.31)<sup>275</sup>. La mise en place de connecteurs (tire fonds) en nombre suffisant a pour effet de solidariser le bois et l'acier dont résulte une inertie accrue qui est supérieure à la somme des inerties des deux poutres<sup>276</sup> ;

➤ Enfin, la figure 4.32 montre un exemple de soutien d'une poutre en bois par suspension. Une poutre métallique perpendiculaire à la portée initiale de la charpente est ancrée dans les murs. Les poutres en bois sont ensuite accrochées à cette poutre d'une inertie suffisante par des étriers<sup>277</sup>.



**Figure 4.32.** Renfort au dessus par suspente accrochée à des profils I ou H.

## II.1.4. Renforcement de plancher en bois par pose d'une chape légère sur bac acier en coffrage perdu



**Figure 4.33.** Ecorché d'un plancher à coffrage perdu sur bac acier.

Cette solution est la plus lourde elle consiste à créer une dalle mince en béton allégé coulé sur des bacs en aciers à coffrage perdu au dessus des solivages conservés, lorsque les murs sont constitués de maçonneries suffisamment épaisses et résistantes. La

<sup>274</sup> U. Sacilor. Op. Cie.

<sup>275</sup> C. Roy. Architecture, acier, construction in revue d'architecture. Centre d'étude et de documentation sur l'architecture métallique. 22<sup>ème</sup> édition. Paris CEDAM. 2006.

<sup>276</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

<sup>277</sup> C. Roy. Op. Cite.

technique permet de conserver la poutraison du plancher existant en allégeant l'ensemble (voir figure 4.33). Après dégarnissage complet de l'ancien plancher et étaieage des solives conservées, des bacs en acier utilisés comme coffrage perdu sont calés par l'intermédiaire de connecteurs qui évitent d'épouser les fluctuations du plancher ainsi permettent aux solives de participer à la structure. La dalle en béton allégé aura généralement une épaisseur comprise entre 16 et 18 cm reposant sur la maçonnerie par l'intermédiaire d'une engravure de 10 à 15 cm de profondeur. Une homogénéité dans le coulage de la dalle diminue les surépaisseurs de béton.<sup>278</sup>

## **II.2. Réhabilitation des planchers en acier**

### **Introduction**

Les bâtiments construits à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle possèdent souvent des planchers à poutrelles IPN complétées par des entrevous en briques ou des voûtains garnis de béton maigre<sup>279</sup>. La structure était complétée en superposant une sous-couche de remplissage (dalle de compression) pour niveler la surface du plancher et constituer la surface pour la pose du revêtement de sol. Lorsque les charges de service augmentent (logement transformé en bureaux), la reconstruction totale de ces planchers n'est pas toujours facile car les poutrelles intimement liées au bâti constituent des éléments de stabilité de la construction.

Le changement d'affectation pose le problème de la charge admissible du bâti. La maçonnerie et les fondations sont souvent capables d'accommoder les accroissements de charge résultant du changement d'affectation. Les poutrelles ont souvent beaucoup moins de réserve de résistance et doivent être renforcées<sup>280</sup>.

#### **II.2.1. Pose d'un plancher collaborant sur une poutre ancienne (IPN)**

Une méthode efficace consiste à superposer une dalle en béton, d'environ 5 cm d'épaisseur, armée avec un treillis soudé et reliée aux poutres porteuses en acier au moyen de connecteurs (tire fonds)<sup>281</sup> (voir figure 4.34). L'interposition des connecteurs entre les deux éléments limite

---

<sup>278</sup> Arcelor mittal. Réhabilitation de bâtiments anciens. Remplacer un plancher en bois existant par une dalle massive. 1996.

<sup>279</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat(ANAH), fiche technique N°24, ossature et structure de l'immeuble.

<sup>280</sup> Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (A.N.A.H.). Les planchers anciens, le Moniteur, Paris. 1979.

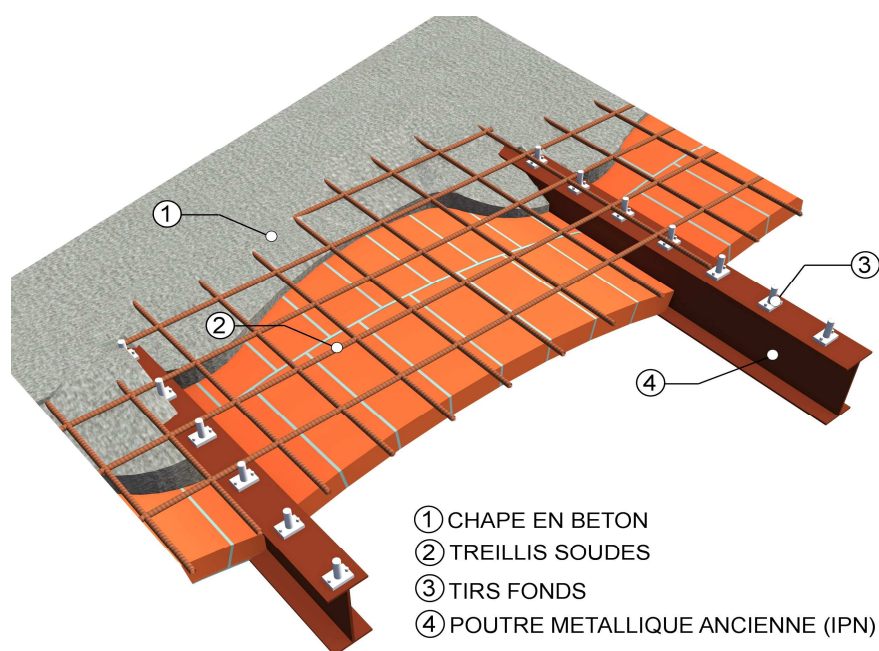
<sup>281</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

le glissement en réalisant une structure où, par effet des charges verticales, l'acier est principalement soumis à une traction tandis que le béton est soumis à une compression<sup>282</sup>.

La structure mixte réalisée de cette façon exploite au mieux les caractéristiques des deux matériaux, en augmentant les performances du plancher aussi bien au niveau de la résistance que de la rigidité. L'utilisation des connecteurs permet donc de réaliser une structure solidaire où les deux matériaux travaillent de manière homogène. Les connecteurs peuvent être soit soudés, soit fixés, soit fixés mécaniquement sur les poutrelles. Ils fonctionnent<sup>283</sup> ;

- Comme butée en s'opposant au glissement dalle-profilé.
- Comme ancrage en s'opposant au décollement dalle-profilé.

L'intervention est réalisée en mettant à nu la face supérieure des poutres, il faut ensuite fixer les connecteurs, poser un treillis soudé adapté puis couler le béton. L'étayage du plancher avant la coulée garantit que la section mixte est active aussi bien par rapport au poids de la structure que des charges d'exploitation<sup>284</sup>.



**Figure 4.34.** Pose de plancher collaborant sur une poutre ancienne (IPN).

La pose de connecteurs est soumise à la compatibilité de l'acier dont on doit évaluer la résistance, la soudabilité et l'aptitude à accepter les clous posés avec un pistolet à charge. Les connecteurs cloués plus faciles à mettre en œuvre sont plus appréciés sur les chantiers<sup>285</sup>.

<sup>282</sup> P. Bourrier. Construction métalliques mixte acier/ béton. Paris. Eyrolles. 1996.

<sup>283</sup> P. Trouillet. Comportement local de connecteurs acier béton sollicités au cisaillement. Paris. Laboratoire central des ponts et chaussées. 1987

<sup>284</sup> SETRA Travaux de construction en acier. Guide du Maître d'œuvre. SETRA 2001

## II.2.2. Consolidation des poutres en aciers

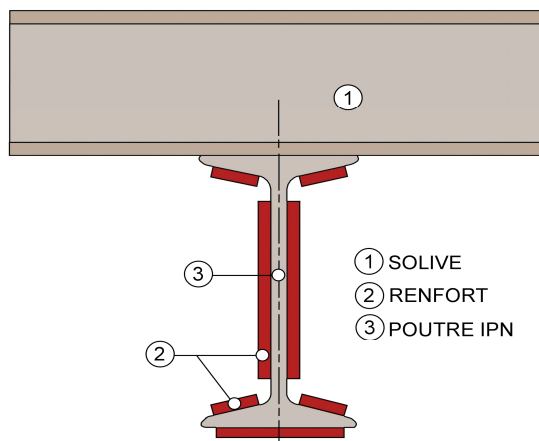


Figure 4.35. Ajout de plats soudés, semelles et âmes.

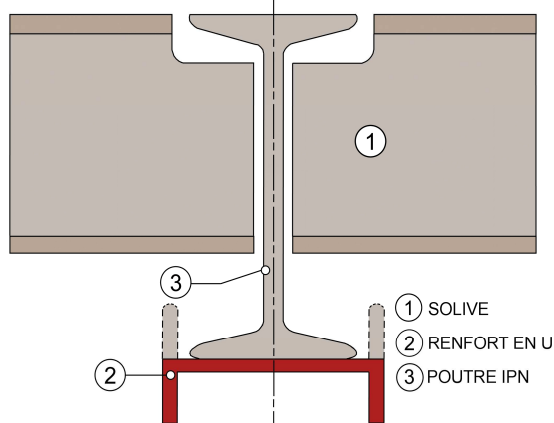


Figure 4.36. Ajout d'un profilé sous la semelle inférieure.

importants comme les appuis<sup>288</sup>. Ces ajouts de composants métalliques doivent tenir compte des compatibilités métallurgiques entre les matériaux en particulier si on souhaite faire appel au soudage<sup>289</sup>. Ces techniques de consolidations de planchers en métal par adjonction de plats métalliques sont aussi employées pour la consolidation définitive d'éléments de charpentes métalliques.

Pour les planchers en acier, les renforts de la section d'acier initiale sont effectués par des adjonctions de plats et ou de profilés métalliques qui sont fixés à la poutre d'origine par des opérations de soudage, de boulonnage et ou de collage<sup>286</sup>. Ces renforts sont généralement disposés sous la semelle inférieure, ou éventuellement sur l'âme des profils existants (voir figure 4.35, 4.36). La semelle supérieure peut également être renforcée lorsqu'elle est accessible (voir figure 4.37).

En général, les faiblesses de rigidité des poutres sont compensées en ajoutant des plats sur les semelles qui permettent d'accroître au maximum l'inertie<sup>287</sup> de la nouvelle section ainsi constituée. Les faiblesses au cisaillement sont réparées en ajoutant des renforts sur des âmes dans les zones d'effort tranchants

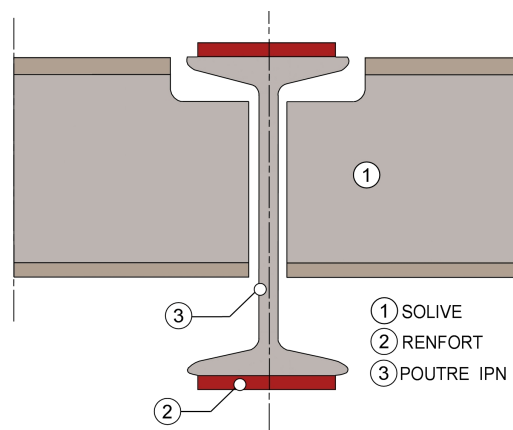


Figure 4.37. Ajout de plats soudés sur les semelles.

<sup>285</sup> Guide stress. Réparation et rénovation des structures métalliques. Décembre 2008.

<sup>286</sup> Guide stress. Réparation et rénovation des structures métalliques. Op. Cite.

<sup>287</sup> SETRA Travaux de construction en acier. Op. Cite.

<sup>288</sup> Guide stress. Réparation et rénovation des structures métalliques. Op. Cite.

<sup>289</sup> J.P. Persy. Réparation et renforcement par soudure d'OA en fer puddlé. BLLPC 130 mars-avril 1984.

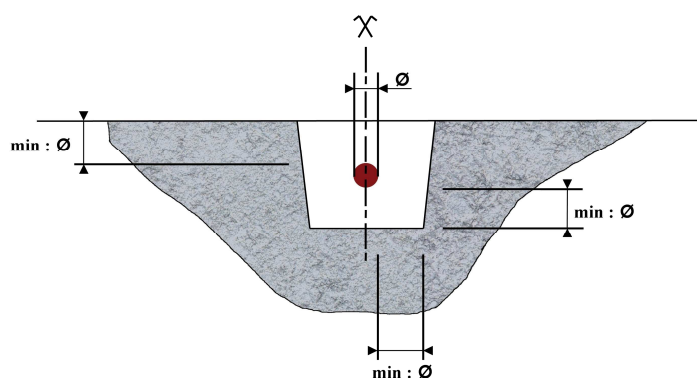
## II.3. Réhabilitation des plancher en béton armé

### Introduction

Le renforcement ou la réparation des ouvrages en béton armé sont souvent réalisés par adjonction de matière dans les zones où les sections sont trop sollicitées. Une section devient trop sollicitée si, du fait même des dispositions adoptées ou de changements des conditions d'exploitation, les efforts appliqués sont supérieurs à ceux pris en compte dans les calculs (problème du renforcement), ou bien si la résistance a diminué par suite de dégradations (fissures, corrosions, épaufrures...). On peut également citer les erreurs commises lors des phases d'exécution (défauts d'enrobage, défauts du béton mis en œuvre...), et également le cas des percements de nouvelles trémies dans des dalles existantes. Ce pendant les solutions retenues pour réparer ou renforcer ces éléments sont multiples à savoir ;

### II.3.1. Adjonction d'armatures complémentaires

Lorsque les armatures sont corrodées ou bien coupées accidentellement on peut prévoir des armatures complémentaires. Cette solution peut également être envisagée lorsqu'il s'agit de renforcer une structure (poutre, poteau ...). Dans tous les cas, les armatures existantes conservées doivent faire l'objet de soins de manière à éviter la poursuite de leurs dégradations<sup>290</sup>.



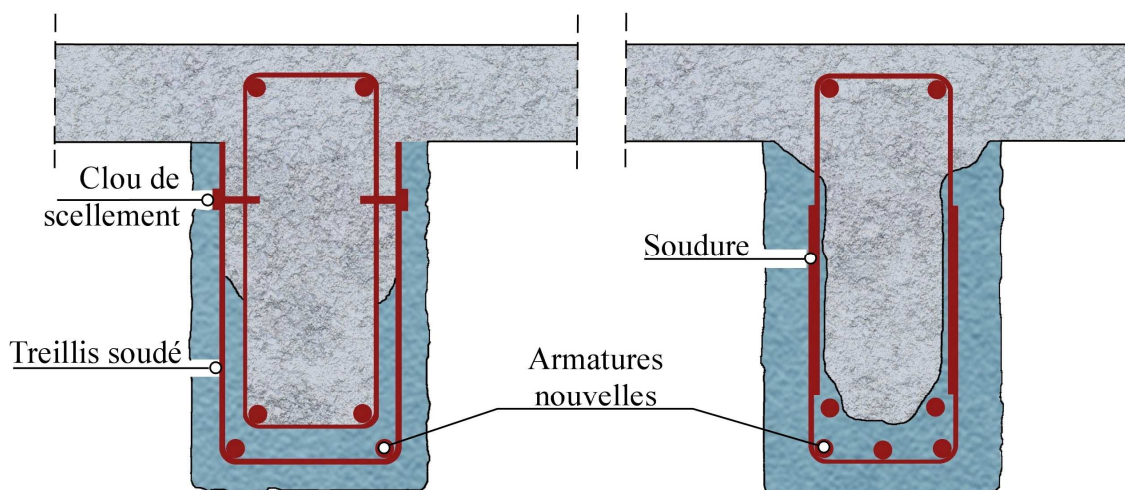
**Figure 4.38.** Armature supplémentaire en engravure (celle-ci pouvant être en sous face).

Un étaie et un déchargement de l'ouvrage à réparer peuvent éventuellement être nécessaires. Ces armatures complémentaires auront pour rôle de s'opposer à la fissuration, ainsi participer à la résistance des sections renforcées. Il faut donc porter une attention particulière à la disposition et à l'ancrage de ces armatures<sup>291</sup>. Les armatures complémentaires peuvent s'inscrire dans la géométrie de l'élément (par exemple, en les disposant dans des engravures dimensionnées en fonction du diamètre de l'acier et des caractéristiques du produit d'enrobage, (voir figure 4.38) ou en surépaisseur (le treillis soudé constitue alors souvent une

<sup>290</sup> Réparation d'élément en béton dans le bâtiment in revue CSTC N°2, avril /juin 1984.

<sup>291</sup> Collection FPC SNBATI STREES Les techniques de réparation et de renforcement des ouvrages en béton. Fascicule 1 guide général janvier 1985.

bonne solution)<sup>292</sup>. La protection des armatures en surépaisseur est assurée par un béton coulé, ou projeté (voir figure 4.39).



**Figure 4.39.** Armatures supplémentaire en surépaisseur d'une poutre.

Dans tous les cas, un enrobage minimal égal au diamètre des barres est nécessaire<sup>293</sup>. Les armatures longitudinales de renfort doivent être cousues par des armatures transversales ancrées dans des zones saines de la structure existante. Les jonctions des armatures existantes et des armatures supplémentaires peuvent se faire par les procédés classiques habituels (recouvrements, soudure...).

### II.3.2. Renforcement par Béton projeté

Cette technique, très au point et très utilisée tant pour le renforcement de structures insuffisantes ou défailantes que pour la réparation d'ouvrages endommagés<sup>294</sup>, exige pour sa mise en œuvre un personnel spécialisé. Le béton projeté peut être, ou non, combiné avec l'adjonction d'armatures complémentaires (voir figure 4.40).

La projection est réalisée soit par voie sèche, ou bien mouillée. Dans le premier cas, la grande vitesse de projection (80 à 100 m/s) fait que le procédé par voie sèche est particulièrement recommandé pour la réparation des ouvrages car il permet d'obtenir un béton très compact. Dans le second cas, la faible vitesse de projection (entre 10 et 40 m/s) rend indispensable l'exécution préalable d'une couche d'accrochage<sup>295</sup>. Après durcissement, le béton projeté

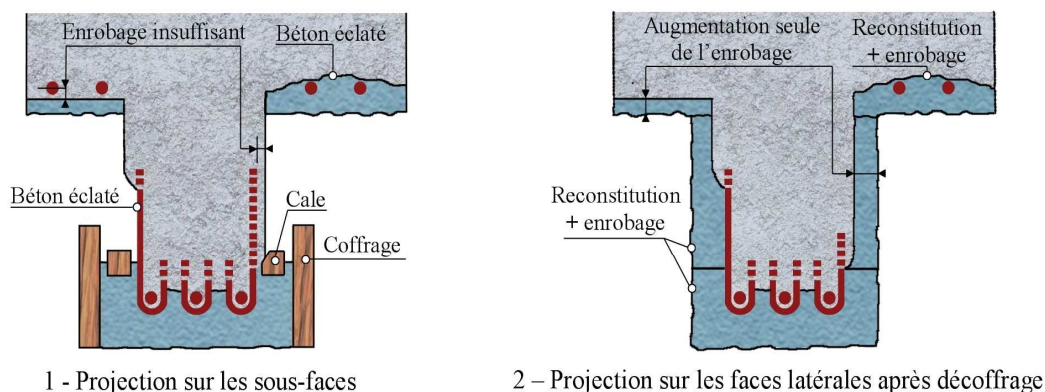
<sup>292</sup> Collection FPC SNBATI STREES. Op. Cite.

<sup>293</sup> Ibid.

<sup>294</sup> M. Venuat, C. Resse. Projection des mortiers. Bétons et plâtres. ITBTP. 1981.

<sup>295</sup> Guide technique de l'Association pour la qualité de la projection des mortiers et bétons (ASQUATRO). Fascicule mise en œuvre du béton projeté. juillet 2007.

possède les propriétés d'un béton coulé, puis vibré. La projection est possible dans toutes les directions et, en particulier, en plafond<sup>296</sup> (voir figure 4.40b).



(a) réparations diverses, sans adjonction d'armatures complémentaires

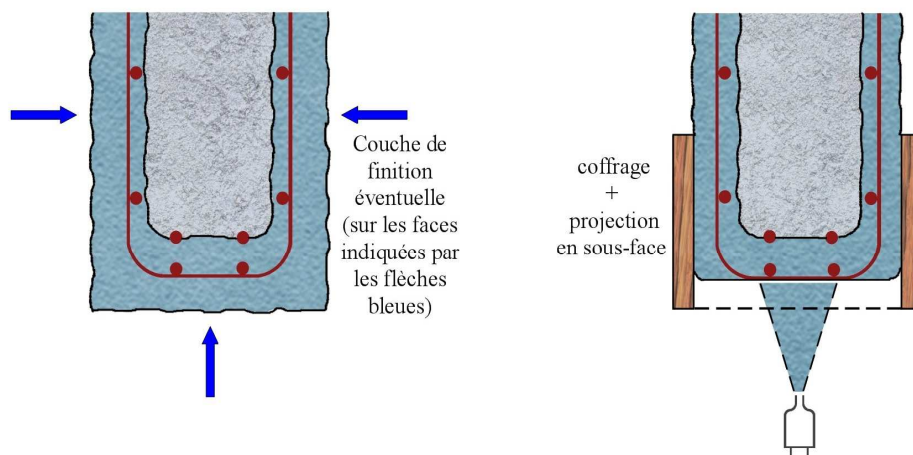


Figure 4.40. Réparation au moyen de béton projeté.

### II.3.3. Renforcement de panneaux de hourdis

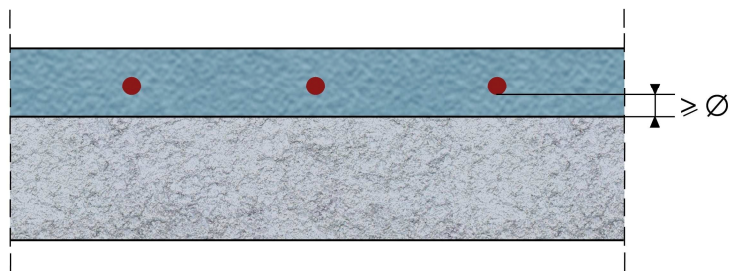
Le procédé consistant à disposer des armatures de renfort dans des saignées exécutées en sous face (le même procédé que l'adjonction des armatures) et à les coller au béton au moyen de produits spéciaux<sup>297</sup>, mais il est d'exécution délicate et onéreuse. En revanche, on peut renforcer des dalles en mettant en œuvre une surépaisseur de béton coulée sur la face supérieure après traitement de celle-ci et application d'une colle spéciale<sup>298</sup> (voir figure 4.41), les sollicitations sous charges permanentes sont bien évidemment augmentées, cependant II

<sup>296</sup> Guide stress. Béton projeté. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES). Novembre 2008.

<sup>297</sup> J. Bresson. Renforcement par collage d'armature. Annales I.T.B.T.P n°350 mai 1977 pp 36 à 52.

<sup>298</sup> Ibid.

est important de vérifier l'effet de l'accroissement du poids propre des dalles sur les sollicitations des poutres secondaires et celles des poutres principales.



**Figure 4.41.** Surépaisseur de dalle.

### **II.3.4. Renforcement des poutres**

Les renforcements peuvent avoir pour objet de remédier à des insuffisances<sup>299</sup> :

- ✓ des armatures tendues en travée ;
- ✓ des armatures tendues sur appuis ;
- ✓ des armatures d'âme.

Les désordres qui risquent d'apparaître sont multiples<sup>300</sup> :

- Dans le cas des armatures tendues en travée, les désordres sont des fissures sensiblement verticales plus ou moins ouvertes partant de la partie inférieure de la poutre ;
- Dans le cas des armatures tendues sur appuis, les désordres possibles sont des fissures en partie supérieure dans la poutre et les hourdis adjacents dans les zones voisines des appuis; il faut noter que de telles fissures peuvent ne pas nécessiter de renforcements, si la résistance aux sollicitations de flexion en travée demeure convenablement assurée dans l'hypothèse où les moments sur appuis seraient nuls ;
- Dans le cas des armatures d'âme, les désordres qui risquent de se manifester sont des fissures inclinées plus ou moins ouvertes.

Il importe de procéder à une auscultation par procédé non destructif pour repérer le diamètre et les espacements des armatures d'âme afin de vérifier dans quelle mesure la sécurité à la rupture est assurée. Les laboratoires et bureaux de contrôle spécialisés disposent de matériels permettant une telle auscultation.

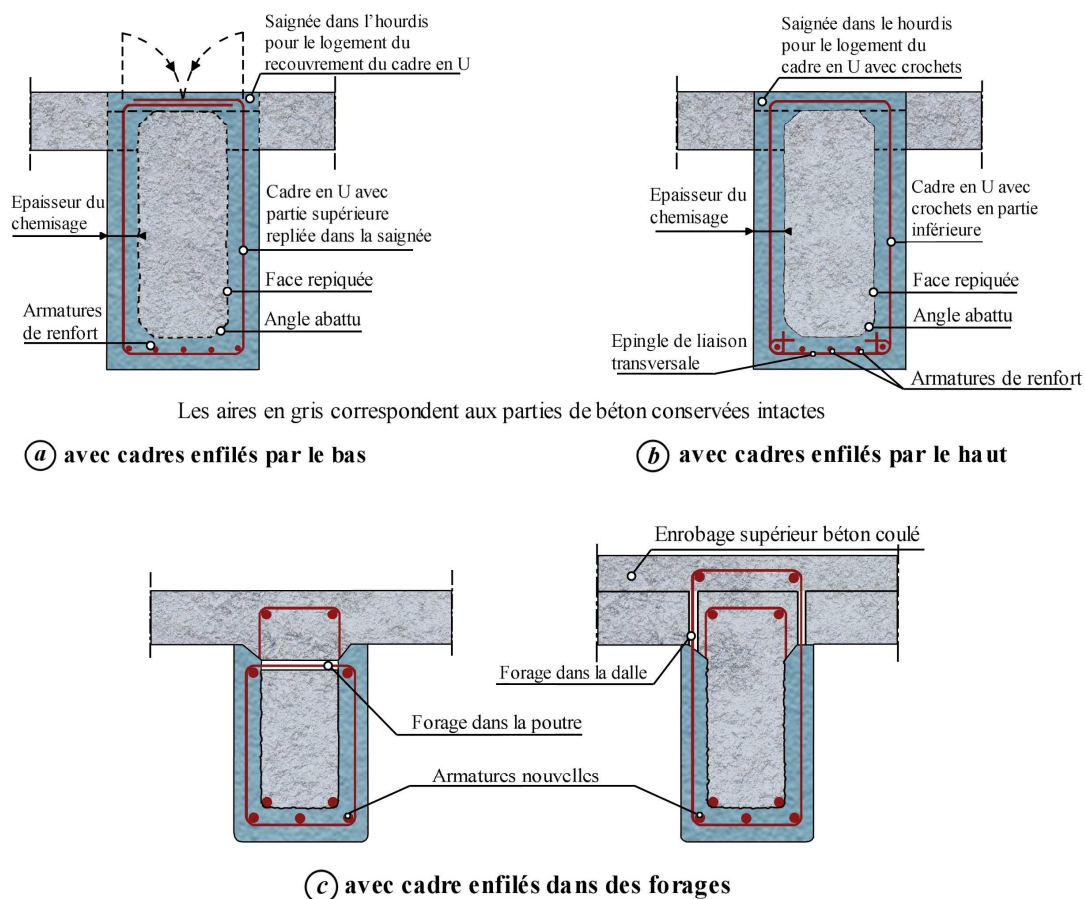
Les deux techniques de renforcement suivantes peuvent être utilisées :

<sup>299</sup> J.P. Jaccoud et R. Favre. Flèche des structures en béton armé. Vérification expérimentale d'une méthode de calcul. ITBTP, juil.-août 1982.

<sup>300</sup> Collection FPC SNBATI STREES. Op. Cite.

### II.3.4.1. Adjonction d'armatures complémentaires

Dans des surépaisseurs de béton projeté en sous face et sur les faces latérales (voir figure 4.40b), ce procédé exige d'abattre les angles inférieurs des nervures, de repiquer les faces latérales et démolir au moins localement le hourdis adjacent pour permettre le bétonnage et le passage des armatures d'âme<sup>301</sup> (voir figure 4.41). L'ancrage des armatures d'âme pose fréquemment des problèmes qui peuvent être résolus comme suit<sup>302</sup> :



**Figure 4.42.** Renforcement de poutre.

- ou bien on enfile par le bas des cadres en U dont on replie les parties supérieures dans des saignées pratiquées dans la face supérieure de la poutre (voir figure 4.42a) ; ces cadres en U peuvent être remplacés par un treillis soudé plié (voir figure 39) ;

<sup>301</sup> Guide technique de l'Association pour la qualité de la projection des mortiers et bétons (ASQUATRO). Op. Cite

<sup>302</sup> M. Mamillan. Restauration des bâtiments en béton armé. Techniques de l'Ingénieur, traité Construction.1978.

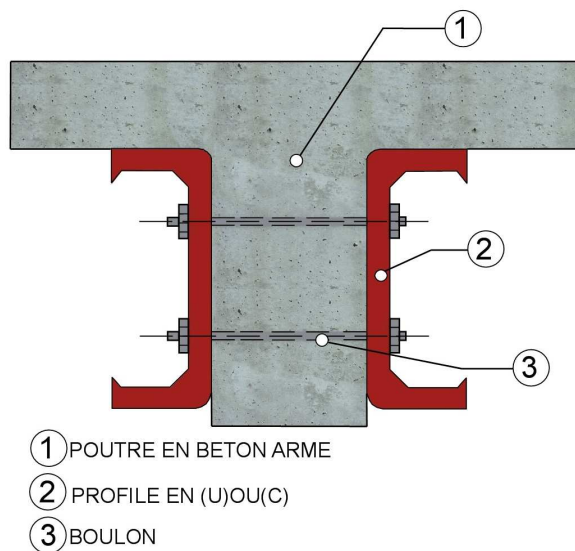
- ou bien on enfile par le haut des cadres en U crochetés en partie inférieure, les armatures longitudinales de renfort sont disposées dans les crochets et on ajoute des épingles de liaison reliant les branches des U (voir figure 4.42b).
- ou bien on utilise des cadres en U enfilés par le bas et l'on assure l'ancrage en partie supérieure par un dispositif mécanique (écrou fixé sur la partie supérieure filetée des cadres ou soudure sur des éléments métalliques longitudinaux ou transversaux ;
- ou bien encore on exécute des forages dans la poutre ou dans la dalle, dans lesquels on fait passer les brins de l'armature transversale (voir figure 4.42c).

Le simple énoncé de ces opérations montre qu'il s'agit de travaux délicats nécessitant une main d'œuvre de qualité.

### II.3.4.2. Adjonction de composants en acier

Si d'autres techniques de renfort existent (béton projeté, résines synthétiques...) la consolidation avec de l'acier des poutres et des dalles en béton armé est très appréciée car il offre une flexibilité et une facilité de mise en œuvre tout à fait pratique<sup>303</sup>. Les trois techniques présentées ci-dessous résument quelques interventions possibles :

- Le moilage<sup>304</sup> (voir figure 4.43) d'une poutre en béton armé permet son renfort.
- le renfort d'une poutre par engraisage et par encaissement de profilés compacts (voir figure 4.44).
- le renfort d'une section de poutre par collage de plaques d'acier au moyen de résine époxy (voir figure 4.45). Cette technique encore appelée "procédé l'Hermite"<sup>305</sup> est également utilisée pour renforcer les tabliers de pont en béton armé, elle consiste à augmenter la résistance à la traction et à l'effort tranchant



**Figure.4.43.** Renfort moisés par profilé U ou C.

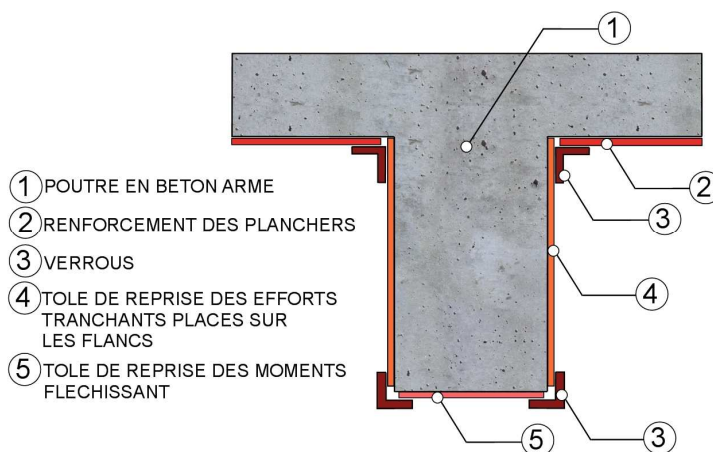
<sup>303</sup> Collection FPC SNBATI STREES. Op. Cite.

<sup>304</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

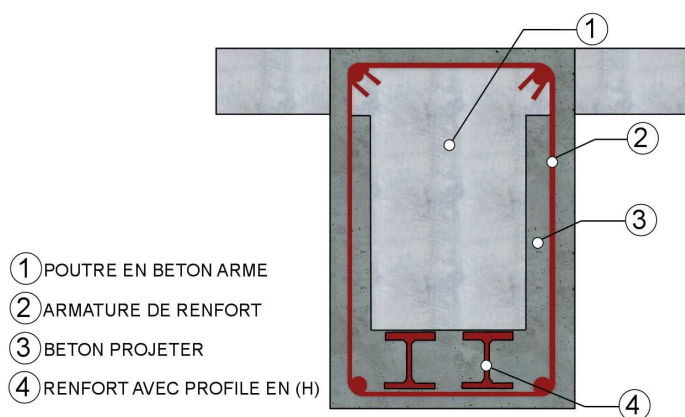
<sup>305</sup> S. Chaning. Op. Cite.

des poutres ou de dalle lorsque la section des aciers travaillant en traction est jugée insuffisante<sup>306</sup> (modification des charges d'exploitations, corrosion des aciers en place...). L'épaisseur des tôles sont limités de

3 à 5 mm<sup>307</sup> afin que celles-ci puissent suivre les déformations de la structure. Il faut



**Figure 4.45.** Collage de tôles minces (procédé l'Hermitte).



**Figure 4.44.** Renforts par encaissement de profilés I ou H.

dalle ou d'une poutre est également une solution performante de renfort.

cependant noter que cette solution ne permet pas d'apporter un degré complémentaire de stabilité au feu, du fait de la tenue au feu des colles. L'adjonction d'une poutrelle en acier dûment connectée (perçage de la dalle au pas des goujons) en sous face d'une

### II.3.5. Renforcement par fibre de Carbone

Ce procédé consiste à réparer ou à renforcer une structure insuffisante par collage, à l'aide d'une colle époxydique, d'armatures passives qui sont constitués de fibre de carbone noyées dans une matrice polymère<sup>308</sup>. Il s'applique à toute structure pour laquelle une augmentation des capacités portantes est recherchée. Les armatures se présentent sous formes de bandes de fibres livrées généralement en rouleaux, dont l'épaisseur est de l'ordre de 1,2 mm et de largeur allant de 50 à 150 mm. Ce procédé présente l'avantage d'une facilité de mise en œuvre et insensible aux ambiances agressives ainsi qu'à la corrosion.

<sup>306</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

<sup>307</sup> P. Cognard colle et adhésifs, application dans le bâtiment, technique de l'ingénieur, traité construction 1992.

<sup>308</sup> Ibid.

## II.4. Réhabilitation des structures (charpentes) métalliques

### Introduction

La réhabilitation des structures métalliques est obtenue par des méthodes qui tendent à rendre à la structure sa portance initiale ou bien à l'augmenter. Elle est réalisée en intervenant sur l'élément endommagé par des opérations de soudure, de protection contre la corrosion par des revêtements, des peintures, ou bien le changement total de la pièce endommagée lorsque celle-ci ne remplit plus sa fonction porteuse. Aussi la fatigue des assemblages engendre des glissements, des fissurations au niveau des pièces qui seront changées ou bien renforcés.

#### II.4.1. Réparation de fissure

La méthode de réparation dépend de la taille et de l'emplacement de l'élément fissuré. Lorsque la fissure est de petite taille et sujette à de basse gamme d'effort, un trou réalisé à l'extrémité de la fissure peut arrêter sa progression. Cette méthode permet de réaliser une zone tampon entre la partie altérée et la partie saine. Pour une fissure plus grande qui reprend une plus grande gamme d'effort, elle peut être traitée par enlèvement de la partie fissurée par création d'un trou, et la réparer la partie par soudure ou bien par des plaques boulonnées. La méthode de perforation de trou est la méthode la plus utilisée pour réparer les fissures de fatigue<sup>309</sup>.

La méthode suivante est la procédure à suivre pour arrêter une petite fissure dans une structure métallique sujette à une série d'efforts de petite intensité<sup>310</sup> :

- ✓ localiser l'extrémité de bout de la fissure en utilisant l'essai de ressuage ;
- ✓ percer un trou à l'extrémité de la déchirure ;
- ✓ inspecter la surface forée du trou en utilisant un liquide pénétrant (essai de ressuage) afin de s'assurer du déplacement complet de la fissure vers le trou.

Dans certain cas la propagation de la fissure peut être empêchée en utilisant les boulons, bien serrés dans les trous, provoquant une certaine décompression locale dans la direction de la fissure empêchant la propagation du trou.

Pour des fissures plus longues et des séries d'efforts plus intenses, en plus du trou foré on doit traiter la fissure restante par soudure, ou ajouts de renforts (plaques).

---

<sup>309</sup> Calgaro. Jean Armand, La croix Roger "Maintenance et réparation des ponts" LCPC Juillet 1997

<sup>310</sup> Guide stress. Réparation et rénovation des structures métalliques. Décembre 2008. Op. Cite.

## II.4.2. Remèdes aux jeux d'assemblages

Les jeux d'assemblage sont provoqués par des rivets sans tête, des boulons desserrés ou bien une tête manquante, et doivent être remplacés. Ils occasionnent des glissements d'éléments, provoquent la déformation de l'ouvrage, créent des zones d'accumulation d'efforts très élevées, et accroissent la possibilité de rupture par fatigue<sup>311</sup>. Les principales actions de réparation sont les suivantes :

Dans le cas d'assemblages rivés, il faut d'abord procéder à l'opération de dérivetage c'est-à-dire à l'extraction des parties de rivet subsistant dans l'assemblage. Cette opération nécessite quelques précautions, en veillant notamment à ce que le dérivetage ne provoque pas de déformation, même localisée, ou à ce que les éléments assemblés ne soient pas désaxés. On remplace généralement les rivets par des rivets identiques ou de diamètre supérieur

## II.4.3. Réparation des sections corrodées

La principale cause de dégradation des structures métalliques revient toujours aux problèmes de corrosion qui en fonction du degré d'agressivité, de la durée de protection envisagée, des possibilités de mise en œuvre et d'entretien, et du coût, l'acier doit recevoir une protection plus ou moins poussée selon ses fonctions dans la construction :

- ✓ enveloppe : l'acier devra résister aux agressions extérieures et intérieures ;
- ✓ éléments porteurs : généralement peu exposés s'ils sont à l'intérieur des ouvrages, ils ne nécessitent pas de protections importantes. À l'extérieur, il faut en revanche assurer leur pérennité ;
- ✓ esthétique : pour les éléments visibles, même si la corrosion n'est pas redoutée, il peut parfois être nécessaire d'appliquer des revêtements pour des raisons esthétiques.

La méthode de réparation passe par les phases suivantes<sup>312</sup> :

- ✓ Enlever les incrustations et la rouille au grattoir ou à la brosse métallique, si elles se détachent facilement, ou en utilisant un outillage mécanique si elle adhèrent d'avantage ;
- ✓ Enlever les incrustations et la rouille au grattoir ou à la brosse métallique ;
- ✓ Ensuite, on peut appliquer les différentes couches de revêtement anticorrosion,

Dans le cas de l'existence d'une fissure suite à une corrosion, ou une rupture suite à un excès d'effort l'application du revêtement est précédée de soudure, ou d'un renforcement.

---

<sup>311</sup> Johnson Sidney M. Op. Cite.

<sup>312</sup> M. Landowski. B. Lemoine. Op. Cite.

Dans le cas de fissure plus grande ou bien la perte d'épaisseur est plus importante, nous devons remplacer l'élément définitivement. Les pièces métalliques exposées (extérieures) doivent être étudiées pour éviter les rétentions d'eau, particulièrement aux liaisons poteaux/poutres et aux scellements sur des parois verticales ou sur des socles d'assise. Les pénétrations de structure dans la maçonnerie ou le béton sont particulièrement vulnérables et doivent être protégées avec soin. Les eaux de ruissellement, de lavage ou de condensation peuvent séjourner aux points de pénétration et attaquer les sections métalliques.

## **Réhabilitation des structures verticale**

### **I. Réhabilitation des murs porteurs en maçonnerie de pierre**

#### **Introduction**

Le choix des techniques et des matériaux à adopter est fonction de l'importance, du nombre et de la dimension des dégradations. Il est possible de différencier les injections des maçonneries de pierres calcaires, à base de coulis de liants hydrauliques (technique et matériaux les moins onéreux), des injections de résines plus appropriées pour le traitement des petits éléments. Dans ce cadre d'intervention, compte tenu des surfaces à traiter, l'aspect économique prédomine souvent sur le choix des méthodes. Donc il convient de distinguer les interventions qui ont essentiellement pour rôle de renforcer la résistance structurelle de celles qui sont réalisées dans le seul but esthétique (le bouchage)<sup>313</sup>.

#### **I.1. Injection de coulis de liants hydrauliques**

Les maçonneries anciennes rencontrées dans le bâti ancien sont soit de type homogène ou composite (dite de blocage)<sup>314</sup>. Cette technique qui consistait à monter les parements intérieurs et extérieurs en pierre de taille et de remplir l'espace intermédiaire avec des produits moins nobles tels que gravats, détritrus...le tout liaisonné par un mortier composé de chaux aérienne, de sable, de terre argileuse, à souvent était désagrégée suite à la décohésion du mortier après lavage au cours du temps<sup>315</sup>, cependant les deux parements se trouvent sans liaisonnement. Dans ce type de maçonnerie, l'injection dans ces vides importants a pour rôle d'assurer la liaison par contact d'adhérence entre les blocs (moellons apparents et blocages

---

<sup>313</sup> Y-M. Froideveaux. Op. Cite.

<sup>314</sup> R. Chaise. Restauration des anciennes maçonneries et percement d'ouvertures en sous œuvre. Eyrolles. 1984.

<sup>315</sup> J Coignet, L Coignet. Maçonnerie de pierre, Matériaux et techniques, désordres et interventions. Eyrolles.2006.

intérieurs)<sup>316</sup>. Comme souvent la stabilité de cette maçonnerie est précaire, il est impossible d'injecter sous une forte pression, pour ne pas accroître les désordres de la structure. La nature du coulis à injecter peut être définie en fonction de la taille des vides à remplir et, de la nature minéralogique des matériaux utilisés (mortier de blocage et de rejointoiment).

On peut envisager différents coulis selon les sollicitations de l'ouvrage<sup>317</sup> :

- Si la maçonnerie est faiblement chargée, un simple remplissage à faible performance réaliser généralement avec de la chaux NHL (chaux hydraulique naturelle) suffit ;
- Si la maçonnerie est fortement chargée, un coulis de bentonite ciment peut être suggéré.

Nous citerons l'injection de coulis de barbotine de ciment obtenue par un mélange de ciment hydraulique et d'eau. Ce coulis ne convient pas car il n'a pas la faculté de pénétrer en grande profondeur ; sa fluidité est réduite par l'absorption de l'eau par succion des particules (argiles, sable et matériaux divers) que l'on souhaite réagglomérer. Mais la solution qui consiste à injecter une barbotine trop fluide ne convient pas non plus, car un tel mélange est trop ségrégeable. La séparation de l'eau de ses constituants lourds (ciment) ne permet plus la progression d'un mélange homogène<sup>318</sup>.

## **I.2. Injection de résines**

Le choix des résines doit être fait en fonction du rôle que l'on attend de cette intervention, de la nature des maçonneries, de la disposition et de l'importance des parties fragmentées<sup>319</sup>. L'injection nécessaire pour redonner de la cohésion n'est pas la même que celle destinée à obstruer des pores pour imperméabiliser, par exemple pour empêcher les transferts d'eau par capillarité. Pour le collage, les résines sont principalement des époxydes et des polyesters<sup>320</sup>. L'injection dans les fissures s'effectue avec des produits et des techniques déjà éprouvés depuis plusieurs années, mais le résultat n'est garanti que si l'opération respecte la réalisation de ces différentes phases<sup>321</sup> :

- dépoussiérage et nettoyage avec un solvant compatible ;
- percement des trous d'injection ;

---

<sup>316</sup> M. Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels. 1972.

<sup>317</sup> M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Centre technique et de documentation. Cated. 2003.

<sup>318</sup> J. Coignet. Réhabilitation, art de bâtir traditionnel : connaissances et techniques. Sud. 1987.

<sup>319</sup> Le collage structural et le renforcement par résines des structures de construction. In annales ITBTP. N° 349, avril 1977.

<sup>320</sup> J Bresson. Op. Cite

<sup>321</sup> M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Op. Cite.

- scellements des injecteurs et des événements ;
- après séchage, injection par gravité ou sous pression suivant la viscosité de la résine.

Dans le cas d'injection sous pression, les injecteurs formés de tôle sont collés à cheval sur la fissure. Celle-ci est colmatée en surface pour éviter les fuites de produit. Des événements permettent à l'air de s'échapper pendant le remplissage, et le contrôle de la fin d'injection<sup>322</sup>.

### **I.3. Bouchage**

L'opération de bouchage consiste surtout à obstruer des vides et des cavités qui apparaissent en surface par un apport de matières étrangères donnant le même aspect<sup>323</sup>. Dans la plupart des cas, l'apport n'est que superficiel (de quelques millimètres de profondeur), mais dans le temps cette reconstitution devient visible. Il est pratiquement impossible de garantir qu'un matériau artificiel vieillira de la même façon et aura donc le même aspect que la roche naturelle qui est autour. Le matériau de bouchage est constitué d'une pâte contenant les liants et une charge minérale inerte<sup>324</sup> (la poudre inerte est souvent obtenue par le broyage de la même pierre avec l'ajout éventuel de petites quantités de pigments inorganiques, chimiquement stable). Le liant utilisé est principalement une résine acrylique en émulsion, son rôle est d'assurer la résistance mécanique (dureté de surface, collage pour l'adhérence à la pierre). Son aspect peut être modifié par des pigments inorganiques. De bons résultats sont obtenus avec des mélanges composés de 12 à 20 % de résine par rapport au poids sec de poudre broyée<sup>325</sup>.

La quantité de résine doit être adaptée, expérimentalement, à la granulométrie de la poudre, pour que les grains inertes soient parfaitement enrobés. Le bouchage avec des liants inorganiques (ciment blanc, chaux) est délicat à réaliser par suite des risques de coloration et de fissuration<sup>326</sup>.

### **I.4. Réfection des joints (rejointoiement)**

Les murs constitués de blocs assemblés entre eux nécessitent fréquemment la réfection des joints extérieurs s'ils sont dégradés ou fissurés. Aussi, avant d'envisager de reprendre les joints d'une façade, il est indispensable d'effectuer les opérations suivantes<sup>327</sup> :

- dégarnissage des joints sur une profondeur de 2 à 3 cm ;

---

<sup>322</sup> J. Luvet, R Longechal. Rénover les murs et ouvertures. Éyrolles. 1983.

<sup>323</sup> Y-M. Froidevaux. Op. Cite.

<sup>324</sup> J Coignet, L Coignet. Op. Cite..

<sup>325</sup> M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Op. Cite.

<sup>326</sup> M. Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Op. Cite.

<sup>327</sup> Ibid.

- remise en place d'un mortier de rejointoiment dont le rôle est d'assurer l'étanchéité à la pluie, tout en laissant respirer la maçonnerie.

Théoriquement, le mortier de rejointoiment doit avoir une porosité voisine de celle de la pierre. Une erreur fréquente consiste à réaliser un mortier très riche en ciment; sa présence contribue à provoquer l'altération de la pierre tendre qui est autour<sup>328</sup>. La meilleure solution consiste à réaliser un mortier à la chaux ou un mortier bâtard (chaux, et ciment ou bien plâtre)<sup>329</sup>. À sa mise en place, ce mortier relativement sec devra être comprimé et serré au fer à joint pour qu'il adhère le mieux possible à la pierre et qu'il soit suffisamment compact<sup>330</sup>.



**Figure 4.46.** Injection par gravité

## **I.5. Remplacement des pierres altérées**

Si l'état de désagrégation des blocs de pierre est très important dans le mur, la consolidation par un traitement superficiel n'a aucune chance d'être efficace et durable. Le remplacement de la pierre altérée (en totalité ou en partie) s'impose. Le choix de la nature et de la qualité de la pierre à utiliser pose souvent trois problèmes: l'éthique, l'esthétique et la technique<sup>331</sup>. En général, on essaie d'utiliser une pierre provenant de la même carrière, d'aspect, de couleur, de grain et de résistance les plus identiques possible.

La méthode de réfection de la pierre, comprend les phases suivantes<sup>332</sup> :

- ✓ Le refouillement du bloc de pierre altérée sur la totalité de sa surface en découpant le bloc jusqu'aux joints latéraux. La purge doit être effectuée sur toute la

<sup>328</sup> L Lazzarini et M Tabaso. La restauration de la pierre. ERG. 1989.

<sup>329</sup> J Coignet, L Coignet. Op. Cite.

<sup>330</sup> M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Op. Cite.

<sup>331</sup> M. London. Maçonnerie traditionnelles: entretien, réparation et remplacement, Montréal.1984.

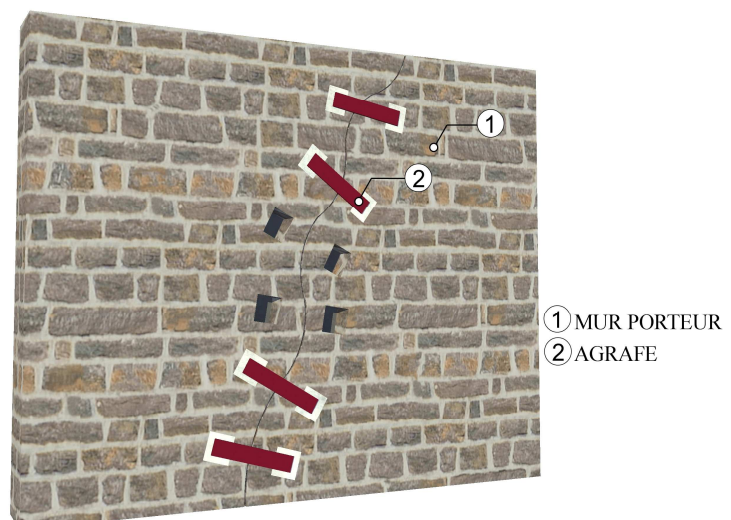
<sup>332</sup> Y-M. Froidevaux. Op. Cite.

profondeur en état de décohéssion. En général le remplacement s'effectue sur une épaisseur de 5 à 10 cm ;

- ✓ suivant l'état d'humidité, il est nécessaire de laisser sécher le défoncement pendant plusieurs jours ;
- ✓ le remplacement s'effectue par l'encastrement du morceau de pierre de substitution dans le défoncement en effectuant un scellement avec goujons et couler au mortier ;
- ✓ les joints sont coulés ou fichés tout autour de la pierre neuve au mortier de liants hydrauliques (chaux aérienne et ciment ne tachant pas la pierre); le rejointoiement est réalisé sur 1 ou 2 cm de profondeur. Le garnissage et le bourrage s'effectuent en serrant énergiquement le mortier de consistance ferme au fer à joint. Ce mortier de rejointoiement ne doit pas être trop riche en ciment, mais il doit avoir une compacité voisine de celle de la pierre après serrage au fer et prise.

## I.6. Reprise des fissures par agrafes

Cette technique consiste à restituer la résistance initiale du mur par remplacement de la partie lézardée, par des éléments plus résistants et plus rigides tel que les agrafes métalliques (voir figure 4.47). Il s'agit de retrouver la continuité du mur endommagé de manière à redistribuer les charges transmises d'une façon homogène est uniformément réparti. Cette



**Figure 4.47.** Reprise de fissure par agrafes

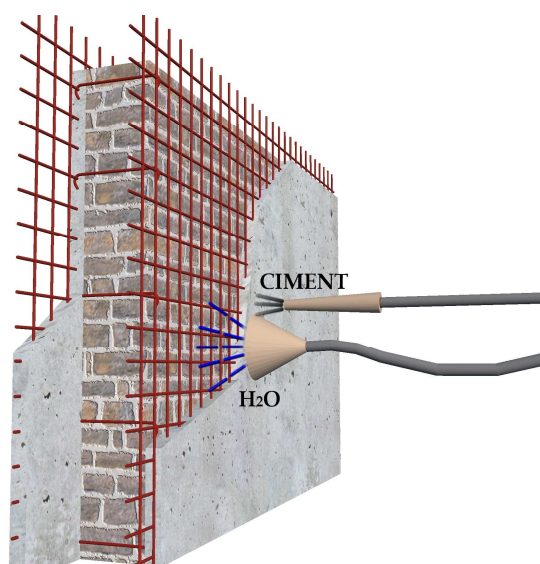
méthode est efficace dans le cas des fissures passives c'est-à-dire que les causes de leurs apparitions n'agissent plus sur la partie à réparer.

## I.7. Consolidation par grillage armé

Cette technique consiste à augmenter la section du mur endommagé ou sous-dimensionné en incorporant aux parements des épaisseurs de matériau après la pose de treillis métalliques, solidarisés entre eux dans le mur<sup>333</sup> (voir figure 4.48). La mise en œuvre du matériau de renfort peut se faire en disposant des coffrages parallèles aux parements et en y coulant

<sup>333</sup> G. Duval. Op. Cite.

ensuite la préparation (mortier de chaux), ou bien par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place ou encore par gunitage en choisissant la procédure selon l'épaisseur requise et le supplément de résistance attendu du renfort<sup>334</sup>. L'application du mortier de chaux hydraulique est traditionnellement réalisée en trois couches successives<sup>335</sup> :



**Figure 4.48.** Consolidation par grillage armé.

### ① Le gobetis

Il est appliqué avec une épaisseur comprise entre 5 à 8 mm dosé de 400 à 450 Kg. En cas d'application de corps d'enduit par projection mécanique, cette couche n'est pas nécessaire. Le délai de durcissement à respecter pour le gobetis est de 2 jours minimum, selon les conditions climatiques

### ② Corps d'enduit

Il est appliqué sur gobetis durci et ré-humidifié. Dosé de 300 à 350 Kg de chaux hydraulique par m<sup>3</sup> de sable. L'épaisseur moyenne du corps d'enduit est comprise entre 15 à 20 mm, suivant les conditions climatiques, le délai de durcissement du corps d'enduit à respecter est au minimum 7 jours. Ce délai peut être allongé pour les mortiers par temps humide et frais.

### ③ Couche de finition

Elle est appliquée sur corps d'enduit durci et ré-humidifié, avec une épaisseur comprise entre 5 à 7 mm.

Cette solution est très polyvalente en ce qu'elle s'adapte à des structures de murs complètes, à des murs entiers ou à des pans précis. Cette qualité la rend tout spécialement appropriée pour renforcer des bâtiments que les mouvements sismiques auront abîmés, en augmentant la rigidité des parties du bâtiment qui l'exigent et, au besoin, celle de l'ensemble du bâti<sup>336</sup>.

<sup>334</sup> P Brenda. Bâtiment en maçonnerie, analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidations, EPAU, Snasp.1993.

<sup>335</sup> B. Ruot. Guide pratique. Les enduits de façades. Mise en œuvre des enduits minéraux sur supports neufs et anciens. CSTB. Juillet 2008.

<sup>336</sup> G. Duval. Op. Cite.

## II. Réhabilitation des structures verticales en béton armé.

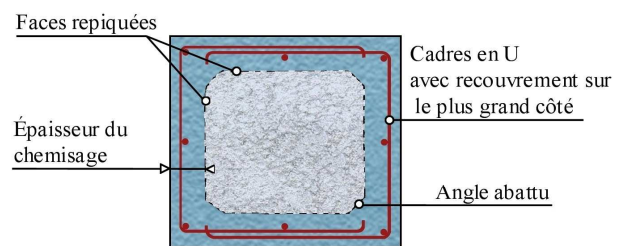
### II.1. Renforcement de poteaux

Le problème peut se poser dans le cas de modification des conditions d'exploitation des locaux, quelquefois dans le cas de doute sur la qualité du béton mis en œuvre ou de sections reconnues trop réduites, alors il convient d'intervenir avant que la totalité des charges ne soit appliquée car les ruptures de poteaux sont imprévisibles.

Le procédé classique de renforcement, consiste à chemiser ou corseter le poteau en augmentant sa section transversale par mise en œuvre d'une épaisseur de béton sur tout le périmètre du poteau primitif (voir figure 4.49)<sup>337</sup>. Pour que le procédé soit efficace, il faut<sup>338</sup> :

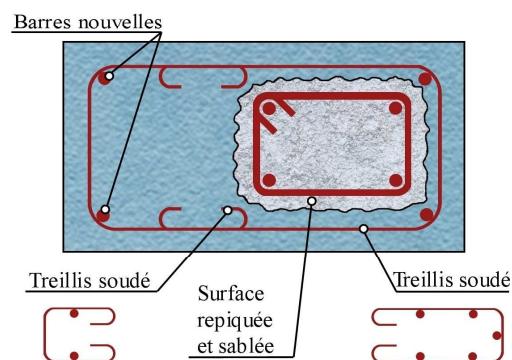
- ① abattre préalablement les angles du poteau et repiquer ses faces ;
- ② avoir la possibilité de bétonner sur une épaisseur suffisante (6 cm paraît un minimum absolu), le coffrage étant établi en montant par tranches de faible hauteur ;
- ③ disposer des armatures

- verticales au moins aux angles du renforcement et surtout des armatures transversales assez resserrées de façon à compléter l'effet de freinage résultant du retrait du béton de renforcement par rapport au béton ancien ; comme il est pratiquement impossible de constituer ces armatures transversales par des cadres complets préalablement façonnés, on est conduit à prévoir



L'aire en gris correspond au poteau ancien

(a) Utilisation de cadres en deux parties



(b) Utilisation de treillis soudés

**Figure 4.49.** Renforcement de poteau par chemisage complet.

<sup>337</sup> Collection FPC SNBATI STREES. Op. Cite.

<sup>338</sup> M. Mamillan. Restauration des bâtiments en béton armé. Op. Cite.

pour chaque cours de ces armatures des cadres en U dont les branches se recouvrent sur les côtés les plus grands du poteau et comportent un retour de 2 cm environ à leurs extrémités libres; on peut aussi utiliser avantageusement des U en treillis soudés avec recouvrement sur trois soudures de fils verticaux.

Lorsqu'il n'est pas possible de faire un chemisage complet du poteau (comme cela est généralement le cas en façade) il faut recourir à d'autres procédés, par exemple le renforcement par placage d'éléments métalliques ou l'épaississement du poteau en béton sur deux faces opposées<sup>339</sup>; dans ces deux cas, les éléments de renfort en métal ou en béton doivent être ancrés dans le béton du poteau primitif, la disposition la plus sûre consistant à relier les éléments disposés sur les faces opposées par des organes de liaison (boulons par exemple) traversant le poteau primitif<sup>340</sup>.

## **II.2. Réhabilitation des murs porteurs en béton armé**

### **Introduction**

Le traitement d'une fissure ou d'un ensemble de fissures est fonction de leur origine, de leur importance, de leur accessibilité, de leur activité ou non (fissures actives ou mortes) et du but recherché (reconstitution de la continuité du matériau, étanchéité à l'air, étanchéité à l'eau sans ou sous pression, etc.), peut être recherché parmi plusieurs techniques :

#### **II.2.1. Traitement des fissures par injection<sup>341</sup>**

Consiste à faire pénétrer dans des fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique et/ou une étanchéité. Il ne s'applique normalement qu'aux fissures injectables, c'est-à-dire dont l'ouverture est au moins comprise entre 0,1 et 0,2 mm. Afin de mener à bien l'opération d'injection, un certain nombre de matériel doit être mis en œuvre entre autre ;

- ✓ Un malaxeur.
- ✓ Les pompes ou les réservoirs d'injection.
- ✓ Les injecteurs (collés ou forés).

##### **II.2.1.1. Préparation du support**

Elle comporte plusieurs opérations :

---

<sup>339</sup> Réparation d'élément en béton dans le bâtiment in revue CSTC N°2, avril /juin 1984.

<sup>340</sup> U. Sacilor. Op. Cite.

<sup>341</sup> Guide stress. Traitement des fissures par injection. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES).2008.

- ✓ le relevé contradictoire des défauts du support et des fissures ;
- ✓ la préparation de la surface du support où sont situées les fissures de façon à le débarrasser des diverses salissures qui pourraient gêner l'injection ;
- ✓ le nettoyage, si nécessaire, des fissures.

Le relevé contradictoire des fissures permet de métrer les fissures à traiter et de fixer définitivement les moyens à utiliser pour la préparation du support et d'estimer globalement le volume des fissures à injecter et donc d'en déduire le volume de produit d'injection à utiliser. Ce relevé contradictoire permet aussi de statuer sur la nature d'injection à utiliser et d'éliminer l'opération d'injection des fissures qui relèvent d'autres techniques et qui ne peuvent être traitées par une simple injection.

### **II.2.1.2. Nettoyage des fissures**

Le nettoyage des fissures est une opération délicate, elle permet de débarrasser la fissure de tous les dépôts tel que la boue, les traces de calcite, les mousses etc., qui pourrait gêner le remplissage des fissures lors de l'injection. Cette opération fait appel à un matériel bien spécifique : brosses, aspirateurs, de l'air comprimé déshuilé, de l'eau sous pression (à éviter si le produit d'injection est sensible à l'eau), des détergents. Le recours à l'eau sous pression nécessite un soufflage à l'air comprimé afin d'éliminer l'eau en excès, de plus, si le produit d'injection est sensible à l'eau, il faudra procéder à un séchage complet des fissures (dans un tel cas, il est préférable d'éviter le recours à l'eau). Il est aussi possible d'utiliser des détergents lorsque le support est souillé par la graisse ou de l'huile, sous réserve de procéder ensuite à un rinçage soigné suivit d'un soufflage, voire d'un séchage. Dans le cas d'une injection avec un produit à base de liants hydrauliques, il est rappelé que la fissure doit être humidifiée pour éviter que l'eau du coulis ne soit absorbée par le béton sec.

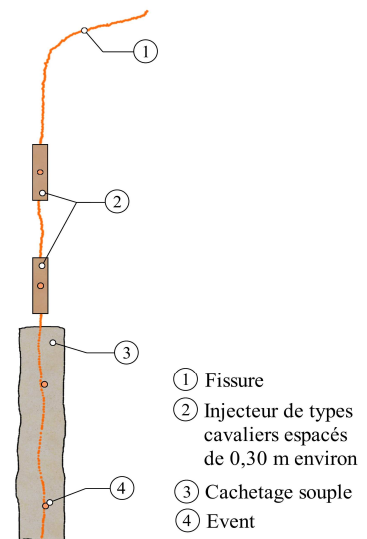
### **II.2.1.3. Préparation de l'injection**

Les fissures peuvent être classées comme accessibles et visibles ou comme inaccessibles et cachées. Elles peuvent être aussi classées comme ouvertes ou fermées. Les fissures fermées concernent essentiellement les structures précontraintes, Le choix de la technique d'injection est à adapter en conséquence.

#### **II.2.1.3.1. Cas de fissures ouvertes**

Lorsque la fissure est accessible sur toute la longueur on fait recours aux injecteurs collés disposés à cheval sur la fissure (voir figure 4.50). Lors de cette opération les fissures sont cachetées extérieurement par un produit pâteux qui facilite le remplissage en empêchant le coulis de s'échapper.

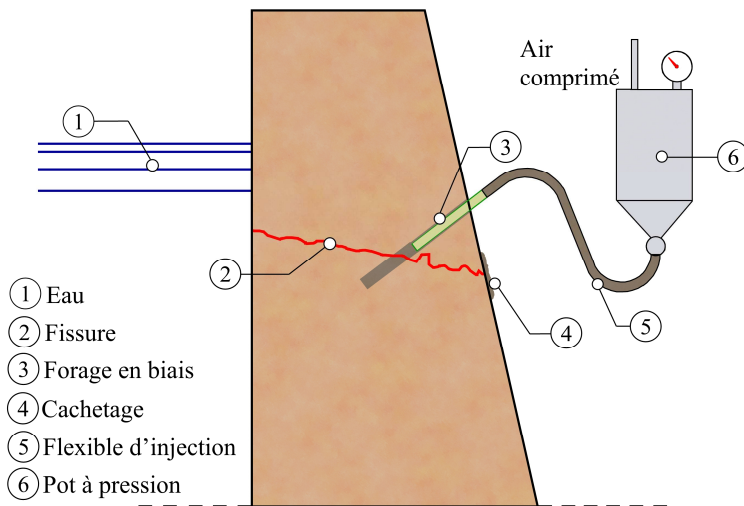
Il existe d'autre type d'injecteurs qui sont forés (voir figure 4.51) dont l'utilisation est plus délicate car elle peut entrainer avec les débris de forage l'obturation des fissures ce qui impose un nettoyage minutieux, il peut être suivi d'un contrôle à l'air comprimé afin de s'assurer



**Figure 4.50.** Détails de mise en place d'événements collés.

que la fissure n'est pas obstruée et que les injecteur et les événements communique correctement entre eux.

Afin de faciliter l'injection et dans le cas ou le produit injecté risquerait de s'infiltrer dans des vides existant on peut remplir par un mastic souple les fissures afin de créer des zones confinées.



**Figure 4.51.** Principe d'injection avec des injecteurs forés.

### II.2.1.3.2. Cas des fissures fermées (actives)

Elles représentent les fissures de flexions présentes dans les poutres précontraintes, Dans ce cas l'injection à elle seule ne pourra pas rétablir la continuité et la résistance du matériau béton sans mise en place d'une contrainte additionnelle. Ce pendant l'injection n'est qu'une petite phase des travaux mais essentielle pour la réparation. Des dispositions particulières sont à prendre lors de l'injection :

- ① d'une part, ouvrir les fissures, ce qui facilite leur remplissage. La mise en place d'un chargement est le procédé le plus courant.

- ② d'autre part, éviter toute variation d'ouverture des fissures pendant la durée de l'injection et du durcissement du produit d'injection pour éviter de détruire les liaisons en train de se former ;
- ③ enfin, attendre le durcissement du produit d'injection avant de décompresser les fissures:
  - ✓ En premier, soit par l'enlèvement des charges, soit par un vérinage permettant d'imposer une dénivellation différentielle des appuis ;
  - ✓ En second, par la mise en tension de la précontrainte additionnelle.

Ces opérations nécessitent la prise en compte d'un certain nombre de mesures avant, pendant, et après l'injection. Ces mesures imposent l'implantation des capteurs de déplacement électrique, de jauges de déformation et de thermocouple :

- ① Les capteurs de déplacement: disposés à cheval sur un certain nombre de fissures jugées représentatives ;
- ② Les jauges de déformation: sont disposées sur le béton à proximité immédiate des capteurs ;
- ③ Les thermocouples, sont disposés entre les travées et à mi-épaisseur des hourdis supérieur et inférieur.

#### **II.2.1.3.2.1. Chargement de la structure**

Afin de faciliter l'injection, on met en place progressivement des charges statiques qui permettront d'ouvrir les fissures. Ses chargements seront adaptés à la capacité portante de la structure avant renforcement. Les capteurs de déplacement permettent de s'assurer que les fissures s'ouvrent sous les chargements.

#### **II.2.1.3.2.2. Stabilisation thermique de l'ouverture**

Dans le cas des structures isostatiques (poutre sur appuis simple) les variations d'ouvertures des fissures sont arrêtées seulement par chargement. Dans le cas d'une structure hyperstatique (par exemple poutre continue) les effets de variations de températures (gradient thermique) engendrent des variations d'ouvertures des fissures, ce pendant la maîtrise de ces phénomènes est primordiale afin de mener à bien l'opération d'injection.

Afin de réduire le gradient de température des solutions peuvent être mises en œuvre tel que :

- ✓ L'arrosage en permanence de l'ouvrage, mise en place d'une peinture blanche facile à éliminer une fois les températures prises ;

- ✓ Les thermocouples qui donnent la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur de la structure permettent de s'assurer de l'efficacité de la solution de stabilisation des gradients thermiques. Des mesures sont effectuées avant et pendant la mise en œuvre des mesures de stabilisation ;
- ✓ Les capteurs de déplacement permettent de déterminer, d'une part, le cycle journalier d'ouverture des fissures en fonction des gradients thermiques, de façon à déterminer l'heure optimale de début d'injection (c'est-à-dire, l'heure à laquelle les fissures sont les plus ouvertes et, d'autre part, que les ouvertures des fissures restent stables durant toute la durée de l'injection.

### **II.2.1.3.2.3. Déchargement de la structure**

Après durcissement des produits d'injection (la durée de polymérisation est fonction des conditions climatiques et des produits choisis, compter normalement de 24 à 48 h), au moment où les charges sont évacuées ou lorsque le vérinage est appliqué, il est nécessaire de s'assurer que les fissures se sont bien refermées et sont bien injectées et qu'elles sont suffisamment recomprimées pour ne pas se rouvrir avant la mise en tension de la précontrainte additionnelle. Ce sont les jauges de déformations qui sont utilisées pour ce contrôle. Elles enregistrent les valeurs des compressions développées lors de l'enlèvement des charges ou lors du vérinage. Tout défaut de réaction d'une jauge indique un mauvais remplissage local d'une fissure.

### **II.2.1.4. Réalisation de l'injection**

L'injection des fissures ne peut avoir lieu que si les conditions thermiques et hygrométriques d'emploi des produits sont respectées. Il est donc nécessaire de mesurer la température du support et celle de l'atmosphère ainsi que l'hygrométrie de l'air avant tout début de l'opération. Ces mesures doivent être renouvelées si les conditions climatiques évoluent pendant l'injection. La mise en place d'un abri de protection peut permettre d'éviter des variations trop rapides de la température du support.

## **II.2.2. Traitement des fissures par calfeutrement<sup>342</sup>**

C'est un colmatage avec des produits souples voire rigide en profondeur des fissures, afin de rétablir une étanchéité à l'air ou à l'eau ou pour empêcher la pénétration de matières

---

<sup>342</sup> Guide stress. Traitement des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES).2008.

solides (risque de blocage des mouvements des fissures). Il s'applique donc aux fissures qui ne mettent pas en jeu la résistance de la structure.

### II.2.2.1. Produit à utiliser

Les différentes familles de produits utilisables pour le calfeutrement peuvent être à base de liant hydraulique ou liant organique :

- ① **Produits à base de liants hydrauliques** : sont sous forme de mortiers hydraulique (ciment' eau, granulats, adjuvant.). Les adjuvants utilisés sont composés de résines dites miscibles à l'eau de gâchage. Leur rôle est d'améliorer certaines propriétés essentielles (adhérence, résistance à la traction, réduction des effets du retrait).
- ② **Produits à base de liants organiques** : La plupart des familles de produits utilisés pour le calfeutrement sont soit des mastics constitués d'un liant organique et de charges minérales, soit des monocomposants ou des bicomposants. Ils nécessitent quelquefois l'application d'un primaire d'accrochage.

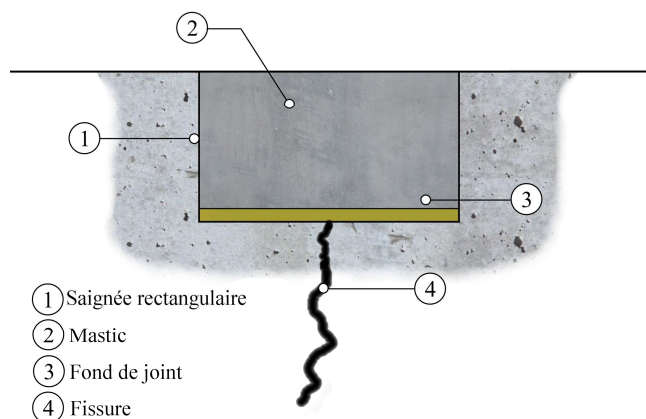
Les catégories suivantes sont utilisées :

- ✓ Silicones monocomposant ;
- ✓ Polyuréthanes le plus souvent monocomposant ;
- ✓ Polysulfures mono composant ou bicomposants ;
- ✓ Acryliques en solution aqueuse ou en solution dans un solvant organique,
- ✓ époxydes bicomposants ;
- ✓ polyesters bicomposants.

### II.2.2.2. Matériel à utiliser

#### ① Cas des mortiers

Les mortiers de calfeutrement sont à base de plusieurs composants: tel que cités ci dessus ; soit à base de mortier à base de liant hydraulique (un liant hydraulique et des additions, de l'eau ou un composant liquide (eau et résine), ou bien a base de mortier de résine époxydiques (une base, un durcisseur et des charges) ;



**Figure 4.52.** Calfeutrement avec un mortier ou un mastic d'une fissure échancrée en rectangle.

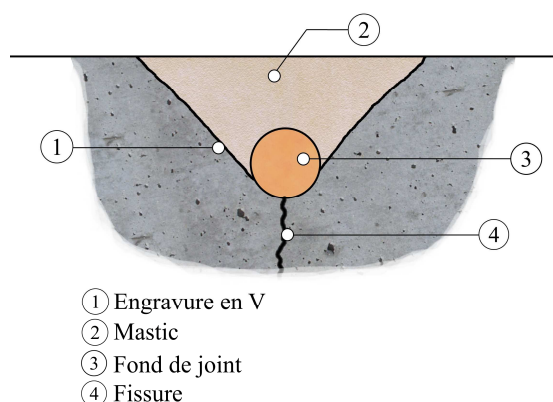
Il faut donc utiliser un malaxeur pour fabriquer le mélange qui sera ensuite mis en œuvre dans la saignée réalisée au droit de la fissure. Comme les quantités de mortier à fabriquer sont faibles, le mélange se fait le plus souvent avec l'aide d'un agitateur électrique ou pneumatique. La mise en place d'un mortier de calfeutrement nécessite :

- ✓ une spatule ou une truelle pour la mise en place du mortier ;
- ✓ un couteau de peintre ou un riflard de maçon (sorte de ciseau de maçon à lame plate en forme de demi-cercle) pour le lissage.

## ② Cas des mastics

Pour la réalisation des engravures ou saignées en forme de V ou rectangulaires (voir figure 4.53) :

- ✓ une meuleuse électrique ou pneumatique portable équipée d'une lame diamantée ;
- ✓ une rainureuse équipée de deux lames diamantées (engravures rectangulaires) ;
- ✓ une scie équipée d'une lame diamantée montée sur un bâti métallique qui se translate sur un rail-guide... ;



**Figure 4.53.** Calfeutrement avec un mortier ou un mastic d'une fissure

Pour la mise en œuvre d'un mastic de calfeutrement conditionné en cartouches :

- ✓ un pistolet manuel ;
- ✓ ou un pistolet pneumatique à débit contrôlable.

Pour la mise en place d'un mastic de calfeutrement conditionné en bidons (chantier important) :

- ✓ un pot à pression et un pistolet pneumatique à débit contrôlable ;
- ✓ une pompe pneumatique et un pistolet pneumatique à débit contrôlable.

### II.2.2.3. Préparation du calfeutrement

Le calfeutrement concerne soit des fissures situées sur une paroi soit des fissures d'angle à l'intersection de deux parois.

#### ① Cas d'une fissure située sur une paroi

L'opération de calfeutrement nécessite l'élargissement des lèvres par une ouverture en V celle-ci est pratiquée manuellement ou avec une meuleuse électrique ou pneumatique. Le mastic de calfeutrement est réalisé avec un pistolet manuel ou pneumatique.

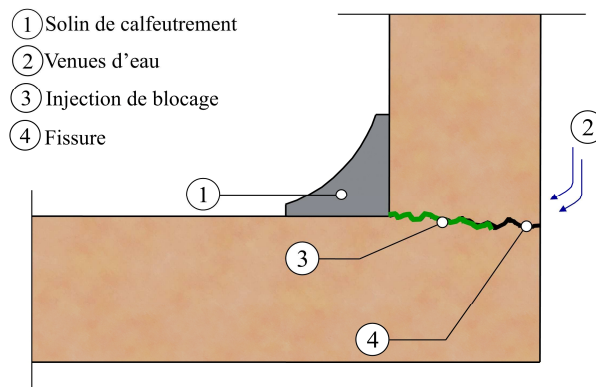
## ② Cas d'une fissure d'angle

L'opération impose la création d'un solin de forme triangulaire soit avec un mortier soit avec un mastic. En cas de venue d'eau, la fissure doit être traitée avant la création du solin (voir figure 4.54) ;

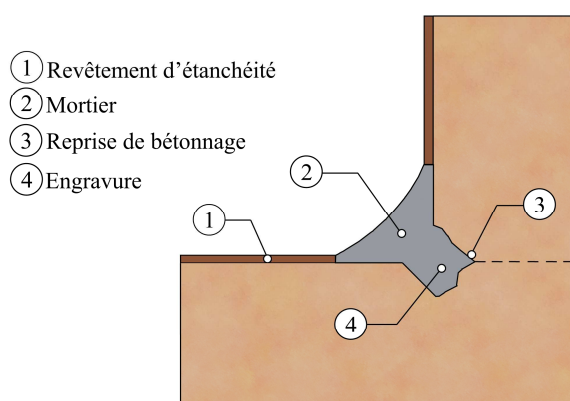
## ③ Cas d'un solin d'angle au mortier

Le solin est souvent complété, en cas de venues d'eaux extérieures à la construction, comme suit :

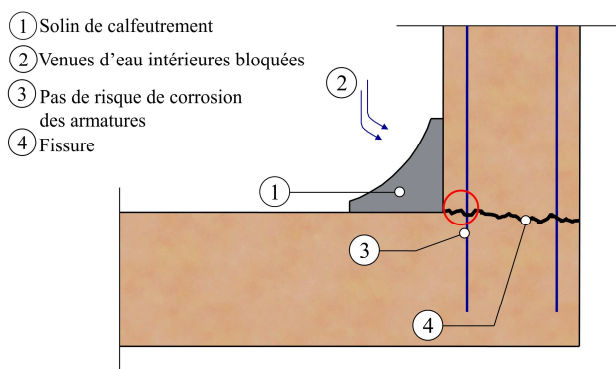
- ✓ S'il n'est pas possible d'accéder par l'extérieur et donc de créer le solin du côté des venues d'eau, un revêtement d'étanchéité intérieur compatible avec le matériau du solin est mis en place (voir figure 4.55) ;



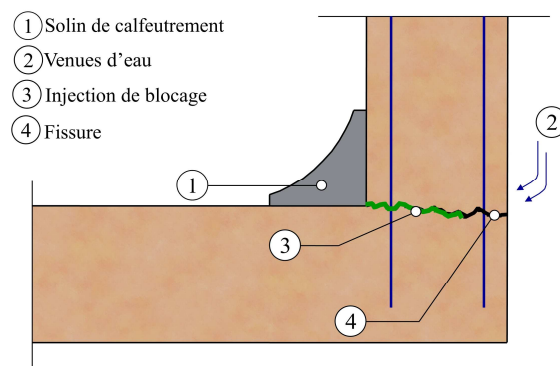
**Figure 4.54.** Solin de calfeutrement mis en place après une injection de blocage.



**Figure 4.55.** Solin d'angle avec revêtement intérieur.



**Figure 4.56.** Calfeutrement d'une fissure d'angle du côté des venues d'eau.



**Figure 4.57.** Calfeutrement d'une fissure d'angle.

- ✓ dans le cas contraire, le revêtement est mis en place, comme le solin, du côté extérieur (voir figure 4.57).

### **II.2.3. Le traitement des fissures par pontage et protection localisée<sup>343</sup>.**

Cette technique consiste à recouvrir en surface des fissures, actives ou non, pour assurer l'étanchéité à la structure. Cette intervention permet, si nécessaire, la pose d'un revêtement de finition. Il est bien adapté, par exemple, à certaines fissures des balcons d'habitation, lorsque celles-ci ne compromettent pas la stabilité. Il est possible de distinguer trois sortes de familles de produits de pontages et protection localisée :

- ✓ Les produits de pontage associant une armature en textile et un liant dans lequel l'armature est noyée. L'armature limite les risques de fissuration du liant qui assure la protection ;
- ✓ Les produits de pontage associant une feuille et un adhésif qui sert à coller les bords de la feuille de part et d'autre de la fissure. Certaines feuilles peuvent être recouvertes par un revêtement de protection compatible ;
- ✓ les produits de protection localisée, qui utilisent certains revêtements de protection générale. Ils sont utilisés pour traiter une zone fissurée de surface limitée sans y incorporer d'armature.

#### **II.2.3.1. Matériel à utiliser**

##### **① Cas des mortiers armés**

Pour la préparation et la mise en œuvre d'un mortier à base de liants hydrauliques modifiés

##### **① Cas d'une réparation locale**

- ✓ un agitateur électrique ou pneumatique est utilisé pour la préparation du liant (mortier) ;
- ✓ les couches de liant sont mises en œuvre avec une taloche,
- ✓ le marouflage de l'armature se fait avec un couteau à enduire de grande taille ou au rouleau ;

##### **② Cas de la réalisation d'un enduit (épais) sur une paroi fissurée localement (dans un tel cas, le mortier recouvre toute la surface de la paroi et il est armé par un**

---

<sup>343</sup> Guide stress. Traitement des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation. Op. Cite.

textile uniquement au droit de la fissure. Les quantités de mortier à mettre en œuvre sont importantes) ;

- ✓ le liant (mortier) est fabriqué, soit dans une bétonnière, soit dans une bétonnière à gâchage continu ;
- ✓ le liant est mis en place à l'aide d'une buse pneumatique ;
- ✓ le marouflage de l'armature se fait avec un couteau à enduire de grande taille ou au rouleau.

### **③ Pour la fabrication et la mise en œuvre d'un mortier à base de liants de synthèse**

Cas d'une réparation locale ou de la réalisation d'un enduit sur une paroi fissurée localement :

- ✓ le liant et les autres produits nécessaires (par exemple, régulateur ou stabilisateur de fond) se présentent en seaux prêts à l'emploi ;
- ✓ le liant et les autres produits sont mis en place au rouleau et/ou à la taloche ;
- ✓ le marouflage de l'armature se fait avec un couteau à enduire de grande taille ou au rouleau.

### **Cas des feuilles auto-adhésives ou collées**

#### **✓ Cas d'une feuille auto-adhésive**

- un chalumeau pour réchauffer la feuille par temps froid ;
- un pinceau pour appliquer un éventuel primaire lorsque le support est poreux ;
- un cutter ou des ciseaux pour les découpes ;
- une spatule ou un rouleau pour appliquer et plaquer la feuille sur le support.

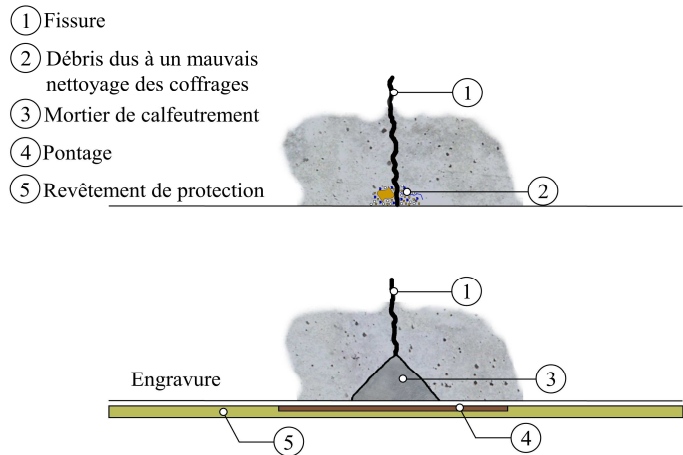
#### **✓ Cas d'une feuille collée**

- un agitateur électrique ou pneumatique pour mélanger à faible vitesse les composants de la colle ;
- une spatule pour appliquer la colle sur le support, puis sur les bords de la feuille après sa mise en place ;
- des chiffons et un nettoyant pour dégraisser la feuille avant sa mise en place ;
- une truelle pour presser la feuille.

### II.2.3.2. Préparation et réalisation du pontage et de la protection localisée

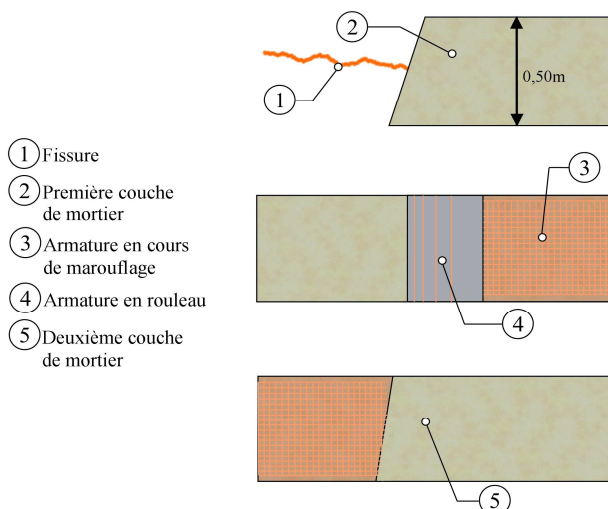
Le support doit être décapé afin d'éliminer les traces de laitance, de peinture, de graisse, ainsi s'assurer de la bonne tenue de l'enduit sur le support s'il existe, dans le cas contraire, les zones douteuses doivent être reprises. Lorsque le béton le long de la fissure comporte des inclusions de débris divers, un repiquage soigné s'impose pour éliminer tous les détritrus et la saignée

qui sera rebouchée au moyen d'un mortier. Cette opération de rebouchage doit être suivie d'un nettoyage soigné de la zone afin d'assurer une bonne adhérence du pontage. En cas de suintement ou de venue d'eau, il faut procéder à un pré-étanchement de la fissure de la même manière que la réparation des fissures par calfeutrement. Le pré-étanchement doit être suivi d'un nettoyage et d'un séchage de la zone traitée.



**Figure 4.58.** Purge des débris contenus dans une fissure puis rebouchage et pontage.

### II.2.3.3. Réalisation d'un pontage armé par textile à l'aide d'un mortier à base de liants hydrauliques ou de synthèse



**Figure.4.59.** Schéma de réalisation d'un pontage en mortier armé.

Le mortier à base de liants hydrauliques, est applicable au fissure dites mortes vu la rigidité de celui-ci. Le système constitué par l'armature et le mortier est mis en oeuvre conformément à la procédure d'exécution après humidification du support (voir figure 4.59). Pendant la mise en oeuvre et après celle-ci, il faut protéger la zone de travail contre une dessiccation prématurée. la réalisation d'un pontage comporte les opérations suivantes:

- ✓ application d'une couche de mortier d'une largeur de l'ordre de 0,50 m à cheval sur la fissure ;
- ✓ pose et marouflage de l'armature ;
- ✓ application d'une deuxième couche de mortier de finition.

#### **II.2.3.4. Réalisation d'un pontage armé par textile à l'aide d'un mortier à base de liants de synthèse**

Le mortier à base de liants de synthèse est relativement souple après durcissement. Un tel pontage est donc applicable à des fissures actives. Le système de pontage doit être choisi en fonction de la largeur et du souffle de la fissure à traiter.

la réalisation du pontage a l'aide d'armature et de mortier comporte les opérations suivantes :

- ✓ mise en place d'un éventuel primaire pour améliorer la surface du support ;
- ✓ application d'une couche de mortier d'une largeur de l'ordre de 0,50 m à cheval sur la fissure ;
- ✓ pose et marouflage de l'armature ;
- ✓ application d'une deuxième couche de mortier, voire, en complément, d'un revêtement d'étanchéité.

En général, la seconde couche de mortier est mise en place après séchage de la première couche armée.

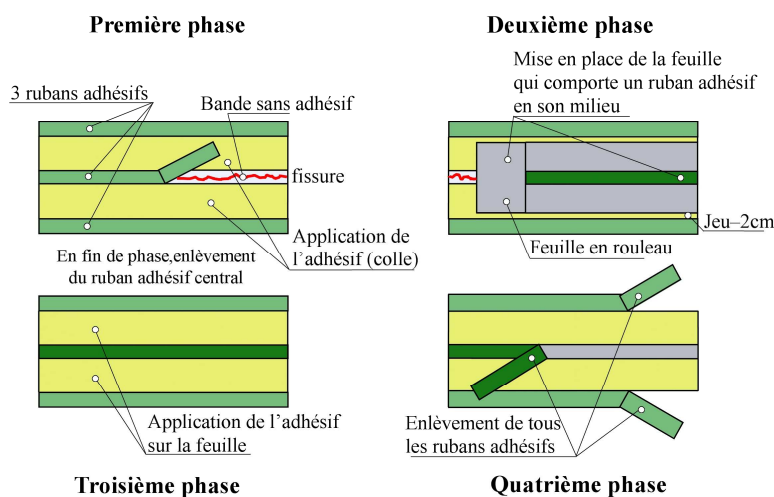
#### **II.2.3.5. Réalisation d'un pontage à l'aide de feuilles auto-adhésives et collées**

##### **II.2.3.5.1. feuilles auto-adhésives**

Afin d'améliorer l'adhérence de la feuille de pontage un primaire peut être mis en oeuvre de chaque côté de la fissure. Elle peut être chauffée à l'aide d'un chalumeau pour faciliter le collage, Par temps froid. Après sa mise en place, la feuille est marouflée avec l'aide d'une roulette de tapissier ou d'un couteau à maroufler pour chasser les bulles d'air.

##### **II.2.3.5.2. feuilles collées**

Une fois la colle époxydique ou polyuréthane préparée et son temps de mûrissement écoulé, elle est appliquée au pinceau de chaque côté de la fissure. Ensuite, la feuille est posée et marouflée avec une roulette de tapissier ou un couteau à maroufler. Enfin une couche de colle est appliquée sur la feuille avec un débordement de quelques centimètres sur le support.



**Figure 4.60.** Les différentes phases de pose d'une feuille

Il faut éviter, d'une part que la colle ne déborde trop sur les côtés de la feuille et, d'autre part, en service, les risques de déchirure de la feuille causée par l'adhérence de celle-ci au droit de la fissure (voir figure 4.60).

### III. Ravalement de façades

#### Introduction

Le ravalement concerne non seulement la remise en état des façades mais aussi de tous les éléments qui la composent<sup>344</sup> :

- ✓ éléments liés aux ouvertures, (fenêtres, volets et persiennes, portes, garde corps) ;
- ✓ éléments d'étanchéité (appuis de fenêtre et balcons, bandeaux de zinc...)
- ✓ éléments décoratifs (moulure, corniche, bas relief) ;
- ✓ autres : conduits et souches de cheminé, gouttières et descentes des eaux pluviales, gaines et réseaux divers).

Exécuter un ravalement sans prendre en compte ces éléments conduit inévitablement à un gaspillage d'argent et en limite l'effet, dans le temps comme dans le résultat. Le ravalement de façades est un traitement superficiel, s'il peut nécessiter des réparations ponctuelles (raccord de pierre, reprise d'appareillage) son objet n'est pas de conforter la structure d'immeuble mais remettre en état l'enveloppe<sup>345</sup>. Lors du ravalement on doit se pencher sur les points suivants<sup>346</sup> :

- ✓ Vérification et réfection de tous scellements (balcons, garde corps) ;
- ✓ Recherche et suppression de toute cause d'infiltration apparente ou non sur la façade ;

<sup>344</sup> ANAH, Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat, Guide pratique pour l'entretien d'un immeuble. Le moniteur 1979.

<sup>345</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.

<sup>346</sup> CAU. Conseil d'Architecture d'Urbanisme et de l'environnement de Seine Saint Denis. Ravalier une façade. Pathologies. Techniques. Procédures. Octobre 1994.

- ✓ Vérification de la structure de la construction (linteau, plancher, mur porteur) ;
- ✓ Dépose des câbles, évacuation des eaux usées, conduite de gaz et autre fluides courant sur la façade (disgracieux et nuisent à la façade).

### **III.1. Techniques de nettoyage des façades**

Le choix de la méthode ne doit pas se faire d'une manière arbitraire, avant chaque choix il faut procéder à un examen complet et minutieux de la façade. La sélection de la méthode de nettoyage pour un immeuble donné se fait suivant<sup>347</sup> :

- ✓ la nature et le degré des salissures.
- ✓ la nature des matériaux constitutifs de la façade (pierre, béton): nature du liant et des granulats ;
- ✓ le traitement de surface et de protection (nature de la peinture) et, éventuellement, l'application d'un hydrofuge ;
- ✓ la nature des joints ;
- ✓ la forme de la surface (plane ou sculptée) ;

L'examen sur parement doit détecter les traces d'oxydation des armatures (taches de rouille, adhérence du béton de recouvrement). Les points critiques sont toujours les bandeaux, balcons, linteaux, acrotères, scellements (de volets, garde-corps, etc.). Pour enlever les salissures des parements, les méthodes classiques de nettoyage sont utilisées dans la majeure partie des cas. Mais si, après essais, elles se révèlent insuffisantes, il convient de choisir des procédés plus puissants (abrasifs ou chimiques). Après avoir vérifié expérimentalement la technique la plus performante en fonction du degré d'encrassement et de la cohésion du parement, on adopte une des méthodes proposées ci-après :

#### **III.1.1. Projection d'eau chaude ou surchauffée sous pression**

Cette méthode convient particulièrement aux matériaux peu poreux (comme le béton entre 15 et 25 % de porosité), mais non fragiles. Elle est efficace pour décaper les façades revêtues d'anciens revêtements<sup>348</sup>. Dans la méthode de projection d'eau chaude surchauffée, le nettoyeur produit au niveau de la lance une eau en phase liquide, portée à une température d'environ 140°C sous pression qui, à la sortie de la buse, se transforme en vapeur<sup>349</sup>. La

<sup>347</sup> G. Vallière Le ravalement de façade: mode d'emploi : nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes. Eyrolles.1998.

<sup>348</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades, guide pour le choix de traitements et leur bon usage, CSTB 1984.

<sup>349</sup>. ANAH. Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point... Op. Cite.

pression est en général de 8 MPa<sup>350</sup>. Le lavage à la vapeur réduit la consommation d'eau. Ce type de nettoyage ne permet pas d'éliminer les salissures incrustées.

### III.1.2. Sablage à sec

Cette technique consiste à projeter sous faible pression un jet de sable sec sur le parement. Tous les inconvénients dus à l'eau sont évités. Cette méthode est rapide, efficace, peut éliminer toutes salissures ou peintures anciennes, mais elle est dangereuse pour l'opérateur qui doit porter un masque (contre les risques de silicose). Une attaque trop brutale conduit à l'usure des angles et des arêtes<sup>351</sup>. Le nettoyage régulier du parement n'est pas facile à obtenir, et des nuisances importantes pour l'environnement sont à craindre (poussières, bruit...).

### III.1.3. Sablage hydropneumatique

Ce procédé consiste à projeter du sable fin siliceux ou des grains abrasifs avec de l'eau sous pression sur la façade. Cette projection s'effectue à basse pression. La proportion de sable et d'eau doit être réglée en fonction de la dureté et de la compacité du parement à nettoyer. Le sable use la surface des matériaux à nettoyer, l'eau détrempe, amollit et facilite le détachement des salissures. Cette technique est rapide, efficace, particulièrement préconisée pour les surfaces en béton, moins poreux et moins fragile que certaines pierres calcaires tendres<sup>352</sup>.

Cette méthode n'est pas polluante pour l'environnement, mais l'utilisation est délicate pour une application à pression très élevée sur les arêtes vives et dans le cas de façades en matériaux mixtes ; certaines briques de parement n'ont pas une dureté suffisante pour subir le même traitement que le béton<sup>353</sup>.



**Photo 4.2.** Appareil de mise en œuvre du sablage hydropneumatique.

<sup>350</sup> F virolleaud. Le ravalement : guide technique, réglementaire et juridique. Le Moniteur.1990.

<sup>351</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades... Op. Cite.

<sup>352</sup> ANAH. Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point... Op. Cite.

<sup>353</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades... Op. Cite.

### **III.1.4. Micro sablage**

Ce procédé consiste à projeter à sec sous pression une poudre très fine depuis une nacelle. Initialement, ce procédé est appelé aussi « procédé Thomann-Henry »<sup>354</sup>. Le micro sablage s'effectue avec des appareils fonctionnant à l'air, capable de diriger le jet abrasif avec précision sur des croûtes noires ou sur des motifs finement sculptés. Le dispositif comporte un pistolet ou un crayon muni d'une buse à très petite ouverture. La pression du jet est finement réglable et ainsi applicable à différents types de pierres, même dégradées après les avoir consolidées<sup>355</sup>. Dans une première phase, la finesse de ce procédé a surtout été développée pour les monuments historiques, et ne permettait que de nettoyer quelques dizaines de cm<sup>2356</sup>. A l'heure actuelle son application aux immeubles a montré beaucoup d'avantages. Son utilisation ne nécessite pas d'échafaudage (dont le coût représente souvent une part importante du montant des travaux de ravalement). La technique est propre et souvent assez efficace. Elle s'impose dans le cas de mur de faible épaisseur ou dont la pierre est très tendre<sup>357</sup>.

### **III.1.5. Procédés chimiques**

L'utilisation des produits chimiques est moins dangereuse pour les façades en béton que pour les façades en pierre calcaire<sup>358</sup>; toutefois il convient de respecter certaines prescriptions. Le procédé facilite l'élimination des salissures par une action physico-chimique de surface. La méthode consiste à appliquer, après mouillage du parement, un agent chimique, mélangé à un liquide ou à un produit pâteux, avec une spatule, une brosse, un pinceau ou un pulvérisateur basse pression<sup>359</sup>. Le temps d'action varie de quelques minutes à quelques heures. Suivant la concentration des agents actifs et la nature de l'encrassement, cette durée de contact est à adapter. Ensuite, un rinçage abondant à l'eau est indispensable jusqu'à l'arrêt total de la réaction. Après une analyse de la nature des salissures et un essai de traitement, il est possible de mettre au point un processus spécifique au support. Ainsi cette technique bien adaptée peut s'avérer plus efficace et moins nocive que les méthodes traditionnelles. Les produits chimiques à utiliser doivent remplir certaines conditions<sup>360</sup> :

---

<sup>354</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades... Op. Cite.

<sup>355</sup> F. Virolleaud. Op. Cite.

<sup>356</sup> G. Vallière. Op. Cite.

<sup>357</sup> ANAH. Réhabiliter et entretenir un immeuble ancien point par point... Op. Cite.

<sup>358</sup> M. Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Op. Cite.

<sup>359</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades... Op. Cite.

<sup>360</sup> G. Vallière Op. Cite.

- ✓ ne pas modifier l'aspect du parement ; il faut s'assurer par des essais que ni la teinte ni la rugosité ne seront changées (par exemple, sur un béton lisse, le mortier fin de peau ne devra pas être décapé) ;
- ✓ la structure cristalline du béton ou de la pierre ne doit pas être modifiée ;
- ✓ le vieillissement de la couche superficielle du parement (béton ou pierre) ne doit pas être compromis ;
- ✓ aucun sel nocif, tel que les sulfates, ne doit résulter de la réaction de l'agent nettoyant sur la pâte de ciment. Toute attaque anormale augmentant la porosité (déchaussement des granulats ou autres) est à proscrire pour éviter l'oxydation des aciers qui deviendraient moins protégés par suite du nettoyage.

Pour le traitement des salissures alcalines, les acides minéraux ou organiques sont toujours utilisés en dilution dans l'eau<sup>361</sup>. Pour éviter la pénétration par capillarité du produit de nettoyage dans le béton, il faut, à l'avance, imprégner abondamment d'eau la masse de béton. L'action du produit est toujours facilitée par un brossage mécanique. Le rinçage est indispensable pour supprimer l'excès de produit et les sels formés.

### **III.1.6. Traitement pour l'enlèvement des salissures diverses**

Les taches grasses causées par les agents de décoffrage sont difficiles à enlever totalement. La meilleure solution consiste à pulvériser, à chaud si possible, une lessive fortement détergente. Un rinçage abondant à l'eau doit suivre ce traitement. Dans les cas les plus difficiles, il faut ramollir le corps gras avec un solvant avant le traitement à la lessive, mais il faut veiller à ce qu'aucun excès de solvant n'entraîne une pénétration du corps gras dans les capillaires du béton, ce qui créerait une tache indélébile.

Les taches de peinture ou de goudron sont traitées avec le solvant approprié, mais, pour éviter la pénétration du corps gras, le solvant doit être en émulsion, et un rinçage à l'eau sous pression est indispensable pour terminer l'opération<sup>362</sup>. Dans certains cas, le seul recours consiste à poncer. Cette technique nécessite un ruissellement d'eau pour éviter l'échauffement, qui entraînerait le noircissement de la partie traitée.

## **III.2. Menuiserie extérieure**

La menuiserie extérieure fait aussi l'objet d'une réhabilitation, il s'agit de faire recours à des fenêtres de remplacement en PVC tout en concevant le dormant de l'ancienne fenêtre.

<sup>361</sup> EPEBAT. Entretien et réhabilitation des façades... Op. Cite.

<sup>362</sup> G. Vallière. Op. Cite.

Cette méthode offre une facilité de mise en œuvre et permet d'éviter l'altération des maçonneries et des peintures existante par la dépose de la fenêtre, car les dormant sont très solidaires aux murs. Ces fenêtres présentes une excellente garantie d'étanchéité et de fiabilité à la condition impérative de vérifier l'état du bâti destiné à recevoir ce type de fenêtre, de bien vérifier l'étanchéité et de permettre la ventilation du dormant afin d'éviter les problèmes de condensation et de pourrissement à l'intérieur du logement.

## IV. Traitement d'humidité

### Introduction

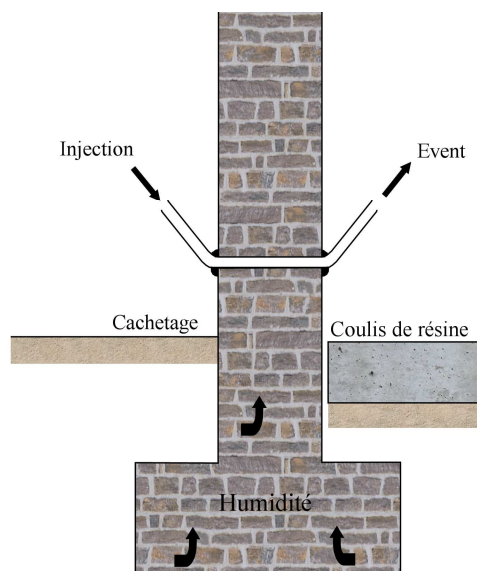
L'eau est à l'origine d'un grand nombre de problèmes que peut connaître un bâtiment. L'humidité peut avoir une origine naturelle ; remontée d'eaux par capillarité (absence de drainage) accidentelle, rupture de canalisation par exemple ; ou lié à un défaut d'entretien (infiltration à travers la toiture). Avant de traiter un problème d'humidité il faut bien identifier les origines plusieurs méthodes s'apprentent à régler ces problèmes :

### IV.1. Traitement contre les remontées d'eau par capillarité

#### IV.1.1. Création d'une coupure étanche horizontale

Dans une saignée horizontale réalisée dans toute l'épaisseur du mur, une barrière étanche est réalisée, soit en introduisant des plaques métalliques inoxydables, soit en mettant en place un mortier étanche (voir figure 4.62) (par exemple un mortier de résine époxyde) ou un autre produit étanche<sup>363</sup>, l'espace résiduel est ensuite bourré au mortier, qu'on mate énergiquement afin d'éviter les tassements différentiel ultérieur.

Le découpage du mur s'effectue par tronçon alterné. Cette technique s'apparente à une reprise en sous-œuvre. Quand la totalité du périmètre est réalisée, l'ensemble de la construction au-dessus repose sur le matériau étanche introduit.



**Figure 4.62.** Création de coupure étanche.

<sup>363</sup> M. Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement. Centre d'Assistance Technique et de Documentation CATED.2000.

### IV.1.2. Barrière verticale étanche

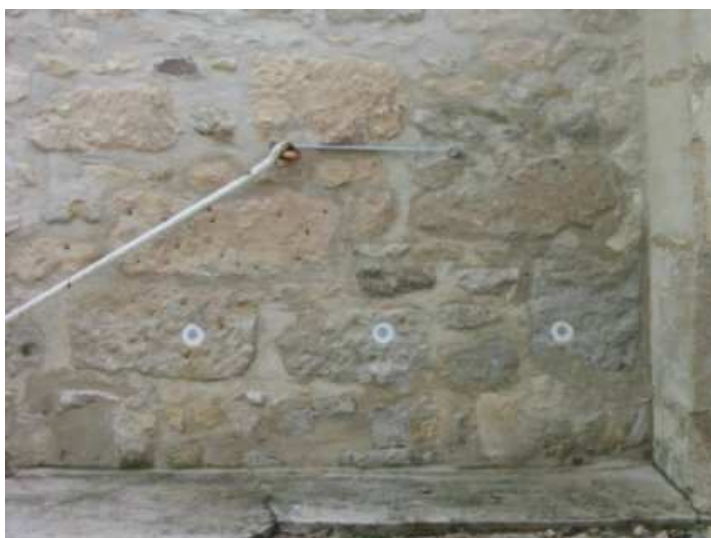
Ce procédé consiste à empêcher le contact entre le terrain et le mur. Pour cela, un contre-mur est réalisé avec des dalles de béton moulé (béton très compact et pas capillaire)<sup>364</sup>. Des saillies aux quatre coins de ces éléments assurent un vide d'air. Les eaux de ruissellement s'écoulent vers le bas et sont évacuées par un drain.

### IV.1.3. Injection de résine

Ce procédé consiste à introduire une résine dans la maçonnerie, soit par gravité, soit par sous pression. Une rangée de trous est réalisée dans le mur à des diamètres, des intervalles et des profondeurs qui dépendent des caractéristiques du mur à traiter. Une résine à l'état liquide (siliconate, latex, etc.) est injecté dans chaque orifice, le liquide s'infiltré alors par capillarité dans la microstructure. Après une certaine durée, la résine polymérise et forme un gel qui obstrue les canaux capillaires, formant une barrière étanche à la remontée d'eau<sup>365</sup>.

### IV.1.4. Siphon atmosphérique ou aérateurs (procédé knapen)

Ce système d'assèchement est utilisé généralement en site urbain dans le cas où le mur est inaccessible par l'extérieur, il comprend un tube en terre cuite poreuse, scellé au mortier dans un forage réalisé dans le mur (voir photo 4.3) ce tube est placé avec une inclinaison de 10° afin de permettre à l'eau de s'écouler à l'extérieur du mur<sup>366</sup>. Le nombre de tube à mettre en œuvre dépend de la quantité d'eau à évacuer, ils sont encastrés dans le premier tiers de l'épaisseur du mur.



**Photo 4.3.** Principe de pose du siphon atmosphérique.

Le principe du procédé est le suivant<sup>367</sup> :

<sup>364</sup> CEBTP. Etude des méthodes de luttés contre les remontées d'eau par capillarité. Décembre 1983.

<sup>365</sup> S. Luong, Pour traiter les locaux humides : les résines polymérisables in Cahiers technique du bâtiment N°50. Décembre 1982.

<sup>366</sup> Y. Baret. Traiter l'humidité, comprendre les origines de l'humidité, diagnostiquer les désordres, évacuer l'humidité, prévenir son retour. Eyrolles. 2007.

<sup>367</sup> Humidité ascensionnelle dans le bâtiment in revue CSTC N° 1 Mars 1980.

- ✓ l'eau du mur est aspirée par succion par la terre cuite plus capillaire ;
- ✓ sous l'effet de la ventilation naturelle, l'air sec à l'extérieur passe dans la partie supérieure du tube car il est plus léger, l'air humide, plus lourd, s'accumule en partie inférieure et s'évacue par gravité vers l'extérieur.

#### IV.1.5. Drain assurant l'assèchement du terrain en contact avec le mur

Si les parois verticales en contact avec le sol ne sont pas étanches ou sont constituées de

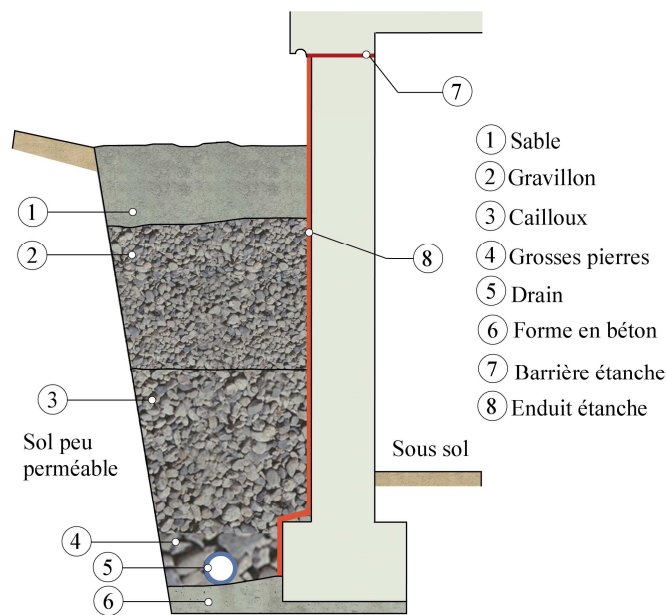


Figure 4.63. Barrière verticale étanche.

matériaux (briques, pierres ou mortier) trop capillaires, la meilleure solution consiste à assainir le terrain<sup>368</sup>. Si un accès existe autour des murs périphériques du bâtiment dont les murs sont à assécher, on peut éloigner l'eau du mur par un drainage complet. Ce drainage est avantageusement complété d'une part par la réfection et l'imperméabilisation des enduits enterrés et par la technique de drainage vertical présenté dans la figure 4.63<sup>369</sup>.

## IV.2. Traitement de l'humidité à l'intérieur du logement

### IV.2.1. Lutte contre la condensation par ventilation

Dans le logement le problème d'humidité le plus commun est la condensation, en effet, ce phénomène se produit lorsque le différentiel de température entre l'air ambiant et les parois est tel que l'humidité se condense sous forme de gouttelettes. Ce phénomène engendre des moisissures, taches et champignons. Les solutions sont multiple en premier lieu on peut intervenir par un simple nettoyage des murs car les moisissures et les champignons présents sur les parois ne sont rien d'autre que la poussière piéger par des gouttelettes d'eau. Une autre solution est également d'une remarquable simplicité consiste à aérer les espaces et surtout en hiver. En effet, les spécialistes recommandent que le volume d'air d'une salle de bains soit

<sup>368</sup> A. Bouineau étude de l'assèchement des murs soumis a des remontées capillaires.

<sup>369</sup> CEBTP. Etude des méthodes de lutttes contre les remontées ... Op. Cite.

renouvelé jusqu'à cinq fois plus que les autres pièces de la maison ; c'est pour cela que les bouches de Ventilation Mécanique d'Extraction (V.M.E.) sont justement installées dans les cuisines et salles de bains. La VME est de fait une solution efficace aux problèmes d'humidité dans les pièces d'eau quand ces endroits ne peuvent pas être aérés efficacement (une salle de bains sans fenêtres par exemple). La hotte aussi est une bonne solution pour évacuer la vapeur d'eau en cuisine mais elle est aussi très bruyante. On peut également opter pour un aérateur, branché sur la vitre d'une fenêtre, mais il ne dispense pas d'un dispositif mécanique. Il faudra, en outre, veiller à le nettoyer très régulièrement car il s'encrasse de graisse et tourne alors moins bien ou fait du bruit. Mais rien ne vaut la ventilation naturelle : ouvrir la fenêtre pour évacuer l'excédent des vapeurs d'eau est un geste de bon sens qui peut suffire.

#### **IV.2.2. Traiter les murs intérieurs des pièces humides**

Les murs des salles d'eau et cuisines, où les projections d'eau sont fréquentes, seront garnis de carreaux de faïence, car les enduits ne résisteront pas si le milieu est très humide. Les murs contre lesquels s'appuient les plans de travail, dans les cuisines, devront faire recours aux produits manufacturés, carrelage, stratifié, inox, est de même inévitable. Il faut toujours une continuité entre les matériaux du plan de travail et le mur, sur environ 10 cm (surtout à la hauteur du rejaillissement de l'eau du robinet).

La douche doit être installée dans une pièce disposant d'une ventilation naturelle ou d'une ventilation mécanique continue. Deux solutions sont envisageables :

- ✓ soit on fait le choix d'installer une cabine de douche, complètement étanche et suffisamment large pour pouvoir commencer à se sécher et préparer sa sortie de douche ;
- ✓ soit c'est la pièce elle-même que l'on équipe d'une dalle étanche, avec siphon de sol de 90 mm, facile à entretenir. Avec une baignoire, cette solution s'impose.

Toute peinture décorative recouvrant l'enduit des murs de ces espaces doit être obligatoirement respirante.

### **Conclusions**

- L'intervention sur les fondations peut prendre trois directions :
  - ✓ augmenter la surface de contact des fondations afin de réduire la contrainte de compression cette technique fait recours aux techniques exclusivement traditionnelle (reprise en sous œuvre) ;

- ✓ raccorder la fondation à un terrain plus résistant en profondeur, cette solution met en œuvre la technique du micro-pieu et des tirants d'ancrage, le recours à ces options ne doit être fait que dans les cas extrêmes vue l'agressivité qu'elle présentent ;
- ✓ augmenter la résistance du terrain avec des opérations d'injection, cette technique n'est pas accessible dans toutes les régions. Il s'agit manifestement de techniques qui n'ont rien de traditionnel, faisant appel à des matériaux qui n'existaient pas par le passé, potentiellement porteurs d'effets secondaires.
- L'intervention sur les planchers que se soit à ossature bois, métallique, béton s'effectue par augmentation de la capacité portante avec des opérations de renforcement, par ajout de matière, ou bien par remplacement de l'élément endommagé ;
- Les murs porteurs en maçonnerie de pierre sont renforcés par des opérations de rebouchage, d'injection de liant hydraulique avec ou sous pression, aussi des opérations de renforcement par une augmentation de section du mur existe, ou bien un remplacement totale de la pierre détériorer est préconisé, les poteaux aussi sont renforcés par des opérations de chemisage par une augmentation de section. Les matériaux utilisés doivent être compatibles avec ce qui était utilisé à l'origine
- Les murs porteurs en béton armé sont réparés par des opérations d'injections, de pontage et de calfeutrement. Ces opérations ne visent pas à renforcer ou à augmenter la capacité portante de la structure mais plutôt à étancher contre l'air et l'humidité ;
- Le ravalement de façade n'est efficace que lorsque ces éléments constitutifs sont réparés tel que les évacuations d'eau, les menuiseries...les méthodes de ravalement peuvent faire recours à des méthodes classiques par projection d'eau avec ou sans pression, par des méthodes abrasives (sablage) ou bien par des procédés chimiques ;
- L'humidité est à l'origine de la plupart des dégâts qu'on retrouve dans le bâtiment, le traitement de cette humidité peut passer par plusieurs méthodes ; par des procédés d'assèchement, de drainage par mise en place de barrière horizontale et verticale, ou bien par de simple gestes tels que la ventilation et le recouvrement des salles d'eaux par de la céramique.

## CONCLUSIONS GENERALES

Le patrimoine architectural de la période coloniale est doté de valeurs architecturales et architectoniques inestimables qui méritent d'être préservé,

- ✓ La réhabilitation architecturale à pour objectif principal l'amélioration des conditions de vie des habitants, elle met aux normes d'habitabilité le bâti ancien, c'est une opération qui exige la conservation des valeurs architecturales authentiques inscrites dans la typologie du bâti. ;
- ✓ L'opération de réhabilitation peut être de différente nature ; légère, moyenne, lourde ou exceptionnelle ;
- ✓ le choix de la nature de l'opération de réhabilitation est relatif au degré de dégradation dans lequel se trouve le bâti ;
- ✓ toute opération de réhabilitation nécessite l'établissement d'une méthodologie de travail qui permet d'aborder la réhabilitation de manière correcte ;
- ✓ la méthodologie consiste à faire un diagnostic de l'état de préservation du bâti, elle passe par plusieurs phase à savoir ; le pré diagnostic; les études pluridisciplinaires et elle se termine par un diagnostic ;
- ✓ Les différentes solutions apportées doivent respecter les caractéristiques architecturales, plastiques, esthétiques et patrimoniales du bâtiment.
- ✓ Le patrimoine bâti de la période coloniale présente des caractéristiques et valeurs architecturales et architectoniques inestimable et des typologies structurelles variées ;
- ✓ La réussite de toute opération de réhabilitation repose sur la connaissance approfondie des technique et des matériaux utilisés dans la construction ;
- ✓ Les principaux facteurs de dégradation des matériaux sont dues principalement à des facteurs humains et naturels ; présence d'eau (humidité) et de pollution atmosphérique ;
- ✓ La conjugaison des facteurs extérieurs avec les causes chimiques, physiques et mécaniques accentuent la dégradation des matériaux ainsi que les structures ;
- ✓ Le type de dégradation des structures dépend des matériaux utilisés ;
- ✓ La réparation des structures peuvent faire appel à des techniques aussi bien traditionnelles que modernes ;
- ✓ La réussite d'une opération de renforcement ou de réparation dépend des compatibilités physico-chimiques des matériaux.

## Références

- [1] F. Choay et P. Merlin : Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, édition PUF, 1988.
- [2] N. Simon; E Bertrand. Rapport sur l'amélioration de l'habitat ancien. Paris 1975.
- [3] Charte de Burra, charte d'ICOMOS Australie pour la conservation de lieux et de biens patrimoniaux de valeur culturelle ,1979 article 1.5.
- [4] Bureau Veritas. Guide Veritas du bâtiment Edition le Moniteur 1988.
- [5] J. Perret. Guide de la maintenance des bâtiments. Édition le Moniteur, Paris, 1995.
- [6] Charte de Venise : Charte Internationale Sur la Conservation et la Restauration des Monuments et des Sites, présentée lors du II<sup>ème</sup> Congrès international des architectes et des techniciens des monuments historiques, Venise, 1964. Adoptée par ICOMOS en 1965.
- [7] 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.
- [8] F. Choay, L'allégorie du patrimoine, seuil. Paris 1992.
- [9] G. Giovannoni, « L'urbanisme face aux villes anciennes » (traduction de Vecchie Citta et Edilizia Nuova 1931), Paris, édition du seuil 1998.
- [10] Méthode RehabiMed pour la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Réhabimed Aout 2005.
- [11] G. Duval, Restauration et réutilisation des monuments anciens, techniques contemporaines, Mardaga, Bruxelles, 1990.
- [12] N. Bouche. La réhabilitation en France. Les procédures les outils (ANAH), Paris. 2000.
- [13] E. Rouger, Du principe d'analyse stratigraphique à l'archéologie d'élévation. Réflexion et méthode, dans Archéologie médiévale. Paris 1998.
- [14] 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.
- [15] C. Arnauld et J Burnouf, l'archéologie du bâti médiéval urbain, les nouvelles de l'archéologie n°53-54 Automne- Hiver, 1993.

- [16] F. Journot, Archéologie du bâti, dans La construction. Les matériaux durs: pierre et terre cuite, coll. "Archéologiques", Paris, Errance, 2004.
- [17] 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.
- [18] 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 expériences. Paris.
- [19] A. Baud, I. Parron, Les techniques du relevé d'élévation, table ronde, CERIAH, Bibliothèque municipale de Lyon, 1997, Centre international d'études romanes, Tournus, 1998.
- [20] 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.
- [21] Joaquín Monton. Applications de la photographie digitale. Faire le relevé du bâti ancien in publication Méthode Réhabimed. Architecture traditionnelle méditerranéenne, juin 2007.
- [22] CERTU/DHC. La Gestion des patrimoines immobiliers publics. Pré diagnostic et approche opérationnelle. CERTU, Octobre 1995.
- [23] Agence qualité construction (A Q C) Premier regard sur l'état général d'un bâtiment, les aspects extérieurs et leur environnement.
- [24] Bureau Veritas. Guide Veritas du bâtiment Gestion technique du patrimoine, Réhabilitation et maintenance. Edition le Moniteur, (tome 4) Paris. 1993.
- [25] J. Coignet, La maison ancienne, construction, diagnostic, interventions. Eyrolles, Paris, 2003.
- [26] Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat (ANAH), Guide du diagnostic des structures. France 1984.
- [27] Réhabimed. Bulletin trimestriel du projet pour promouvoir la réhabilitation de l'architecture traditionnelle méditerranéenne. Avril 2006.
- [28] Petroccioli Attilio, Alger 1830-1930 pour une étude typologique des immeubles d'habitation, Environmental Design: Journal of the Islamic Environmental Design Research Centre 1-2 (1992).

- [29] Programme municipal de construction de 2000 logement, in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. n°15, 1954.
- [30] Immeuble Lafayette à ossature métallique soudée, in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N°12 juillet, aout, septembre, 1953.
- [31] S. Chaning. La chirurgie des structures, réhabilitation structure enveloppe. Centre d'Assistance Technique Et de Documentation (CATED).1993.
- [32] Le groupe les cadis à Tizi-Ouzou in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 32 1er et 2ème trimestre, 1959.
- [33] Immeuble la liberté à Oran in revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 32, 1954.
- [34] Euromed héritage. Architecture traditionnelle en méditerranée MEDA. Brochée. 144p.
- [35] Bureau Veritas. Guide Veritas du bâtiment, Gestion technique du bâtiment. Réhabilitation et maintenance 3<sup>ème</sup> édition. Le Moniteur, Paris 1993.
- [36] 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.
- [37] Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat(ANAH), fiche technique N°24, ossature et structure de l'immeuble.
- [38] .Les Eucalyptus, cité des 700 logements, in revue chantier nord africain : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 23. 1956.
- [39] D. Montharry, M. Platzer. La technique du bâtiment, tout corps d'état. Le Moniteur, 4<sup>ème</sup> édition. Paris 2004-2007.
- [40] M. Froidevaux. Techniques de l'architecture ancienne. Construction et restauration. Troisième édition. Mardaga. 1993.
- [41] J Coignet, L Coignet. Maçonnerie de pierre, Matériaux et techniques, désordres et interventions. Eyrolles. 2006.
- [42] HLM Hélène Boucher à Alger, in chantier revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 17 octobre, novembre, décembre1954.

- [43] Les Eucalyptus 634 logements. In chantier revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 13 octobre, novembre, décembre, 1953.
- [44] Résidence du petit Hydra à Alger. In revue chantier : revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N° 11 avril, mai, juin 1953.
- [45] D. Dubor. F. Félix. Fernand Pouillon. Paris ; éclata. Le Moniteur. 1986.
- [46] Guide stress. Réparation et renforcement des structures métalliques. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES). 2008.
- [47] Y. Lescouarc'h. Construction métallique, conception des structures des bâtiments. Cours de l'école nationale des ponts et chaussées. France 2008.
- [48] I. Gantray, J. Marie Duraffourg, construire en acier, structure, enveloppe, assemblage et composante. Le moniteur. Paris.1993.
- [49] Chantier, revue illustrée de la construction en Afrique du nord, l'architecture, la décoration, l'ameublement, le confort. N°8 1952.
- [50] E. Olivier. Technologie des matériaux de construction. Collection technicien de la construction. Tome 1, 6<sup>ème</sup> édition actualisée.
- [51] Ecole d'Avignon. Technique et pratique de la chaux. 2<sup>ème</sup> édition. Eyrolles 2004.
- [52] Dahli M. Cours P-G, Module : Matériaux de construction et expression architecturale, Chaux aérienne et hydraulique, 2007/2008.
- [53] Université de Colombie- Britannique (UBC). Fiche technique sur la protection du bois : causes et conséquences. 2002, Forintek Canada corp.
- [54] Julius Natterer, Traité de génie-civil, Construction en bois, Matériaux, Technologie et Dimensionnement, Presse polytechnique et universitaire Romande, Lausanne 2004.
- [55] Michel Houeix, fiches pathologie bâtiment. Agence Qualité construction (A Q C), SMABTP. Paris 2003.
- [56] M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Centre technique et de documentation. Cated. 2003.
- [57] RILEM. Altération et protection des monuments en pierre. Actes du Symposium International. Colloque UNESCO. Bulletin RILEM 13, no 75, Paris, 5-9 juin 1978
- [58] F. virolleaud. Le ravalement : guide technique, réglementaire et juridique. Le Moniteur1990.

- [59] M Louvigné humidité dans les bâtiments prévention et traitement. Centre d'Assistance Technique et de Documentation CATED.2000.
- [60] M .Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels. 1972.
- [61] J, G. Faugère. J. Dufoir. J.G. Salinières .influence des nuisances urbaines sur la dégradation des immeubles anciens in Actes du Vi<sup>e</sup> congrès mondial pour la qualité de l'air, paris. 1983.
- [62] G. Vallière Le ravalement de façade: mode d'emploi : nettoyage et décapage des façades anciennes et modernes. Eyrolles.1998.
- [63] D. Garnier. G. Bajoux. Diagnostic avant nettoyage ou ravalement d'une façade comportant de la pierre in Revu technique du batiment et des constructions industrielles N°210.
- [64] L. LOGEAIS. Les maçonneries dans leur fonction de paroi. Annales de l'ITBTP no 303, mars 1973. Supplément Série gros œuvre no 16.
- [65] 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.
- [66] P. Maurice. Les maçonneries dans leur fonction porteuse. Annales de l'ITBTP no 290, Février. 1992. Supplément Série gros œuvre no 13.
- [67] Gestion des sites pollués- Version O Partie III. BRGM Editions – juin 2000.
- [68] A. Komar. Matériaux et éléments de construction. Edition Mir 1989. Moscou.
- [69] Organisation mondiale de la santé, bureau régional de l'Afrique. Rapport de mission séisme en Algérie 24 mai au 14 juin 2003.
- [70] M. Landowski. B. Lemoine. Concevoir et construire en acier. Collection mémentos acier. Arcelor Luxembourg 2005
- [71] Johnson Sidney M. « Dégradation, Entretien et réparation des ouvrages » Traduit par Michel Londez. Eyrolles 1969
- [72] NF. EN. Eurocade 3. Calculs des structures en acier partie 1-9 fatigue. Décembre 2005. ISO 5817 Soudage, Assemblage en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) - Niveaux de qualité par rapport aux défauts (ISO 5817 : 2003, version corrigée: 2005, inclus corrigendum technique 1 : 2006).

- [73] D. Garnier, G. Bajoux. Diagnostic avant Nettoyage ou ravalement d'une façade comportant de la pierre, in revue technique du bâtiment et des constructions industrielles N°201
- [74] A. Caussarieu. T Gaumart. Guide pratique de la rénovation de façades Pierre, béton, brique. Eyrolles 2005.
- [75] C. Carrie, D. Morel. Salissure de façades, étude effectuée sous la direction du RAUC (centre de recherche d'architecture d'urbanisme et de la construction). Eyrolles 1975
- [76] Guide stress. Réparation et renforcement des fondations syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES).2008.
- [77] Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux public (OPPBTP), terrassements en sous œuvres et fondations, 1964 rééditer 1994.
- [78] 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
- [79] Info maçonnerie. Reprises-en sous œuvre. L'artisanat du bâtiment. CAPEB JURA. Février. 2008.
- [80] P. Brenda. Bâtiments en maçonnerie, analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidations, 1993 EPAU Snap.
- [81] LCPC-SETRA. Les pieux forés- recueil des règles de l'art. 1978.
- [82] Tirants d'ancrage. Recommandation TA95 du comité Français de mécanique des sols et travaux des fondations. Eyrolle.
- [83] CRITERRE. Etat de l'art des contrôles de l'amélioration des sols par injection, établi dans le cadre du projet national CRITERRE. Décembre 2000.
- [84] F. Hunkler. H. Ungricht. TFB. Dégradation des aciers de précontraintes due à la corrosion dans des câbles de précontrainte et des tirants précontraints en sol et en rocher. Rapport VSS N° 534. Décembre 1998.
- [85] H Cambefort. Injection des sols. Eyrolles 1964.
- [86] Documentation technique. Cim béton. Les coulis et les bétons pour les fondations spéciales documentation technique.
- [87] Keller Fondations Spéciales SPA Le procédé Soilfrac. Brochure 61-02 F.
- [88] Keller Fondations Spéciales SPA. Brochure 66-01 F.

- [89] Documentation technique. CIM BETON, centre d'information sur le ciment et ses applications T97.
- [90] D. Bastia, jet grouting principes et applications. Centre d'études techniques de l'équipement méditerranéen (CETE)
- [91] Solétanche-Bachy. Procédés Généraux de Construction Fondations profondes, parois de soutènement, amélioration des sols.
- [92] Keller. Le procédé de jet grouting. soilcret brochure 67-03F.
- [93] Documentation technique. CIM BETON, centre d'information sur le ciment... Op. Cite.
- [94] Dhoub, Magnan et Mestat Amélioration des sols en place. Édition Presses de l'ENPC/LCPC, Paris. 2004.
- [95] U. Sacilor. L'acier dans la construction. Le Moniteur. Paris 1992.
- [96] Fascicule technique. Ouvrage de charpente en bois. Ministère de la culture et de la communication. Direction de l'architecture et du patrimoine. Février 2002.
- [97] OTUA. L'Acier pour construire in périodique Office technique pour l'utilisation de l'acier. N° 80 mars 2004.
- [98] 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
- [99] C. Roy. Architecture, acier, construction in revue d'architecture. Centre d'étude et de documentation sur l'architecture métallique. 22<sup>ème</sup> édition. Paris CEDAM. 2006.
- [100] Arcelor mittal. Réhabilitation de bâtiments anciens. Remplacer un plancher en bois existant par une dalle massive. 1996.
- [101] Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat (A.N.A.H.). Les planchers anciens, le Moniteur, Paris. 1979.
- [102] P. bourrier. Construction métalliques mixte acier/ béton. Paris. Eyrolles. 1996.
- [103] P. Trouillet. Comportement local de connecteurs acier béton sollicités au cisaillement. Paris. Laboratoire central des ponts et chaussées. 1987
- [104] SETRA Travaux de construction en acier. Guide du Maître d'œuvre. SETRA 2001
- [105]. Calgaro. Jean Armand, La croix Roger "Maintenance et réparation des ponts"LCPC  
Juillet 1997
- [106] J.P. Persy. Réparation et renforcement par soudure d'OA en fer puddlé. BLLPC 130  
mars-avril 1984.

- [107] Réparation d'élément en béton dans le bâtiment in revue CSTC N°2, avril /juin 1984.
- [108] Collection FPC SNBATI STREES Les techniques de réparation et de renforcement des ouvrages en béton. Fascicule 1 guide général janvier 1985.
- [109] M. Venuat, C. Resse. Projection des mortiers. Bétons et plâtres. ITBTP. 1981.
- [110] Guide technique de l'Association pour la qualité de la projection des mortiers et bétons (ASQUATRO). Fascicule mise en œuvre du béton projeté. juillet 2007.
- [111] Guide stress. Béton projeté. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES). Novembre 2008.
- [112] J. Bresson. Renforcement par collage d'armature. Annales I.T.B.T.P n°350 mai 1977.
- [113] J.P. Jaccoud et R. Favre. Flèche des structures en béton armé. Vérification expérimentale d'une méthode de calcul. ITBTP, juil.-août 1982.
- [114] M Mamillan. Restauration des bâtiments en béton armé. Techniques de l'Ingénieur, traité Construction.1978.
- [115] P. Cognard colle et adhésifs, application dans le bâtiment, technique de l'ingénieur, traité construction 1992.
- [116] R. Chaise. Restauration des anciennes maçonneries et percement d'ouvertures en sous œuvre. Eyrolles. 1984.
- [117] M .Mamillan. Restauration des bâtiments en pierre. Centre international d'études pour la conservation et la restauration des biens culturels. 1972.
- [118] M. Mamillan. Pierre de carrière et produits manufactures. Centre technique et de documentation. Cated. 2003.
- [119] J. Coignet. Réhabilitation, art de bâtir traditionnel : connaissances et techniques. Sud. 1987.
- [120] Le collage structural et le renforcement par résines des structures de construction. In annales ITBTP. N° 349, avril 1977.
- [121] J. Luvet. R Longechal. Rénover les murs et ouvertures. Éyrolles. 1983.
- [122] L Lazzarini et M Tabaso. La restauration de la pierre. ERG. 1989.
- [123] M. London. Maçonnerie traditionnelles: entretien, réparation et remplacement, Montréal.1984.
- [124] B. Ruot. Guide pratique. Les enduits de façades. Mise en œuvre des enduits minéraux sur supports neufs et anciens. CSTB. Juillet 2008.
- [125] Réparation d'élément en béton dans le bâtiment in revue CSTC N°2, avril /juin 1984.

- [126] Guide stress. Traitement des fissures par injection. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES).2008.
- [127] Guide stress. Traitement des fissures par calfeutrement ou pontage et protection localisée ou création d'un joint de dilatation. Syndicat national des entrepreneurs spécialistes de travaux de réparation et renforcement de structures (STRRES).2008.
- [128] ANAH, Agence nationale pour l'amélioration de l'habitat, Guide pratique pour l'entretien d'un immeuble. Le moniteur 1979.
- [129] CAU. Conseil d'Architecture d'Urbanisme et de l'environnement de Seine Saint Denis. Ravalier une façade. Pathologies. Techniques. Procédures. Octobre 1994.
- [130].PEBAT. Entretien et réhabilitation des façades, guide pour le choix de traitements et leur bon usage, CSTB 1984.
- [131] CEBTP. Etude des méthodes de lutttes contre les remontées d'eau par capillarité. Décembre 1983.
- [132] S. Luong. Pour traiter les locaux humides : les résines polymérisables in Cahiers technique du bâtiment N°50. Décembre 1982.
- [133] Y.Baret. Traiter l'humidité, comprendre les origines de l'humidité, diagnostiquer les désordres, évacuer l'humidité, prévenir son retour. Eyrolles. 2007.
- [134] Humidité ascensionnelle dans le bâtiment in revue CSTC N° 1 Mars1980.
- [135] A. Bouineau étude de l'assèchement des murs soumis a des remontées capillaires.
- [136] CEBTP. Etude des méthodes de lutttes contre les remontées d'eau par capillarité. Décembre 1983.



**Séminaire International**

# **La Conservation Du Patrimoine**

**DIDACTIQUES ET MISE  
EN PRATIQUE**

## **Les grands axes d'un guide technique de réhabilitation de l'habitat du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle.**

**M. Dahli**<sup>1</sup> Maître de conférences

**S. Soukane**<sup>1</sup> Etudiante en post graduation

<sup>1</sup> Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Département d'Architecture.

### **Résumé**

Le patrimoine architectural colonial du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle, mal connu et non reconnu, occupe une place importante dans le parc national du logement. Il est clair que sa mise à l'écart ne pourra que renforcer sa dégradation et par conséquent la perte des valeurs de ce dernier. Il est important de souligner que l'ensemble de ce parc immobilier, représentant un patrimoine d'une valeur inestimable, se trouve actuellement dans un état de dégradation avancée nécessitant une intervention (réhabilitation, restauration ...) urgente de la part des pouvoirs publics. Cet état vétuste de ce cadre bâti est essentiellement dû à l'action conjuguée de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer l'action du milieu environnemental, l'effet des séismes, l'absence d'entretien, les contraintes sociales (densité d'occupation), l'inexistence d'instruments adaptés pour mener des opérations de réhabilitation et de conservation, entre autre un guide technique de réhabilitation. L'objectif de ce travail est la mise en place des grands axes d'un guide technique de réhabilitation de l'habitat du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle.

**Mots- clés :** Habitat, patrimoine architectural, colonial, dégradation, réhabilitation, guide technique.

## **Introduction**

Le patrimoine colonial du 19<sup>ème</sup> et 20<sup>ème</sup> siècle, considéré comme patrimoine d'autrui, est une richesse architecturale mal connue et non reconnue, elle reste le plus important repère de nos villes. En effet, l'intérêt a toujours été porté sur le parc arabo-musulman en tant que patrimoine identitaire, mais il existe cependant d'autres typologies non encore considérées comme traditionnelles, mais tout autant faisant partie du passé reflétant la beauté spécifique de nos villes aujourd'hui.

Ces typologies s'appuient sur une architecture qui s'inspire d'un modèle occidental et une architecture qui fait référence à la tradition locale, où certaines réalisations permettent un prolongement de l'art indigène en se réappropriant ses différents éléments, alors que d'autres reflètent des tendances classiques ou modernes introduisant un nouveau langage.

La qualité et la diversité dans la production architecturale et urbaine de ce patrimoine a suscité depuis un certain temps un intérêt particulier notamment dans les milieux universitaires, toutefois les études restent centrées sur les grandes compositions et aménagements, sur les réalisations et projets de célèbres noms de l'architecture et de l'urbanisme. Certains des édifices coloniaux ont été récupérés, après l'indépendance, pour les lieux de pouvoirs, pour les sièges d'administration et autres. Ces derniers ont été relativement bien conservés, par contre, le parc architectural le plus important, celle des édifices d'habitation, de commerce et de bureaux, est la plus problématique.

Ces constructions présentent actuellement des signes inquiétant de vieillissement et posent de sérieux problèmes de préservation. L'indifférence, la négligence et le manque d'entretien, les transformations incontrôlées (illicites) la forte spéculation foncière ainsi que l'absence d'un cadre législatif adapté ont gravement altéré et détruit ce patrimoine. Malgré les tentatives de réhabilitation qui ont été entreprises çà et là, le manque de méthodologie et de savoir-faire font parfois peser la dégradation et le manque de préservation de ce patrimoine. C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail à savoir la confection d'un guide technique de réhabilitation.

## **1. Guide technique de réhabilitation**

### **1.1. Définition du guide technique**

C'est un outil destiné à accompagner l'ensemble des professionnels du patrimoine tels que l'architecte, l'ingénieur, gestionnaires ou même les particuliers dans les opérations de réhabilitation afin de les mener à bien. Il s'agit d'un guide technique qui vise à être dans la mesure du possible clair, objectif, précis et facile à utiliser en donnant une grande importance aux phases du pré-diagnostic et du diagnostic ainsi qu'aux techniques de réhabilitations, car on part du principe que si l'on ne connaît pas on ne peut pas intervenir, et par conséquent on ne peut pas réhabiliter.

## **1.2. Objectif du guide**

Afin de réhabiliter le patrimoine bâti d'une manière consciente, ordonnée et adéquate nous proposons les grandes lignes d'un guide à suivre pendant les opérations de réhabilitation. Ce guide aura une double vocation, d'une part la nécessité de préserver le fait d'habiter dans la perspective d'améliorer les conditions de vie des habitants, ainsi que la préservation du sens de cette architecture, d'autre part la reconnaissance des valeurs patrimoniales qui caractérisent ce patrimoine afin de les transmettre aux générations futures (historiques, esthétiques, artistiques...).

## **1.3. Définition de la réhabilitation**

C'est la mise en conformité d'un patrimoine architectural et urbain déconsidéré (habitations et immeubles vétustes, îlots, quartiers...) aux normes de confort de tout type, d'hygiène et de sécurité en vue de leur réutilisation (Boito, C.2000, Choay F et al 1988). La réadaptation à de nouveaux usages doit se faire en conservant les principales caractéristiques patrimoniales des édifices (Benazzouz, K 2009). Bien qu'elle présente certaines difficultés d'ordre humaines tel que le relogement des populations déplacées et d'autres liées à la délicatesse des travaux, elle est jugée plus économique que la restauration ou la rénovation.

## **1.4. Méthodologie d'une opération de réhabilitation**

### **1.4.1. Le pré-diagnostic**

C'est le point de départ de chaque opération de réhabilitation (Guide Veritas du bâtiment 1993), elle consiste en une première approche du bâtiment, de ses valeurs (architecturale, esthétique, historique...) et de ses problèmes qu'ils soient constructifs, d'habitabilités... grâce à une inspection oculaire au cours de laquelle on tente de découvrir le système constructif utilisé, les valeurs architecturales qui le caractérisent et les pathologies qui l'affectent.

### **1.4.2. Etudes pluridisciplinaires**

Phase de recueil de données (Méthode Réhabimed, 2005), c'est l'ensemble des études engagées afin de comprendre l'œuvre dans sa consistance historique, esthétique, culturelle, physique etc. Elles mettent également en œuvre certaines études spécifiques, déterminées par le pré-diagnostic en particulier pour les désordres observés telle que :

- ✓ Etudes historico-critique et socio-économiques ;
- ✓ Le relevé : relevé graphique complet de l'édifice y compris les installations, les structures. Le relevé comprend également le relevé des désordres (fissures, humidité, perte de matières ou altération, le relevé des abords de l'édifice (analyse du sol, de l'air...)) ;

Etude des structures, des installations et des matériaux de construction

### **1.4.3. Le diagnostic**

L'étape du diagnostic (Guide Veritas du bâtiment 1993) est un travail de synthèse et de réflexion qui est fondé sur l'étude du pré-diagnostic où on peut déjà avoir une première compréhension du bâtiment, tout en détectant ses déficits et ses potentiels. Le but du diagnostic est de compiler les informations relatives au projet, et évaluer l'état de conservation du bâtiment et d'en déterminer les remèdes. Cette étape prend en compte plusieurs éléments à savoir :

- ✓ Le principal système constructif du bâtiment, ainsi la période de la réalisation de la construction ;
- ✓ La technologie de construction ;
- ✓ Déterminer l'état de santé de chaque ouvrage et de chaque installation ;
- ✓ La stabilité structurelle du bâtiment et ses ajouts secondaires ;
- ✓ La condition physique générale des éléments architecturaux et architectoniques.

Au cours de l'étude du diagnostic un certain nombre de documents sont nécessaires pour le bon déroulement de celui-ci en l'occurrence :

- ✓ Une fiche technico-administrative de ou des immeubles à diagnostiquer ;
- ✓ Un plan masse, permettant l'identification de l'immeuble sur lequel s'effectue l'intervention, en indiquant le nombre de niveaux, le sens d'orientation... ;
- ✓ Les plans des différents niveaux de l'immeuble (plan d'architecture et plan des différentes installations) qui permettront une lecture des différents espaces, ainsi qu'une compréhension des différents systèmes constructifs et installations. C'est un outil indispensable, lorsqu'une anomalie est décelée ou bien des désordres sont repérés.

## **2. La réhabilitation structurelle**

### **2.1. Fondations**

La semelle de fondation est l'élément d'appui d'une construction, elle répartie au sol les charges transmises par le bâtiment. Elle est dimensionnée et réalisée, d'une part en tenant compte de la nature du sol et de la configuration du terrain (horizontale ou en pente), d'autre part de l'importance du bâtiment : hauteur, activité, type de construction qui vont déterminer son poids. Généralement constituées en pierre relativement dure de grande ou de petites dimensions avec ou sans liants de chaux, de terre, de ciment ou même d'un mélange.

#### **2.1.1. Les désordres**

La présence de désordres dans les fondations se manifeste généralement par des fissures et des lézardes au niveau des murs porteurs et des cloisons (en général à 45° en élévation), ainsi que des déformations importantes dans les structures (flèche exagérée dans les planchers...).

## 2.1.2. Techniques de consolidation

Un certain nombre de technique sont mises en œuvre lorsque les fondations de l'ouvrage ne sont plus en mesure de reprendre l'ensemble des charges qui lui sont appliquées.

### ① Reprises en sous-œuvre de la semelle

Après l'évaluation de la charge transmise au sol par les fondations, on pourra définir la dimension convenable de la semelle pour assurer la stabilité du mur. Dans le cas d'un bon sol (Brenda, P 1993), il suffit d'élargir les semelles afin d'augmenter la surface de répartition de la charge au sol. Ce procédé consiste à :

- ✓ Fouiller le sol des deux côtés du mur jusqu'au niveau de la fondation ;
- ✓ Creuser au-dessous de la semelle existante sur la moitié de sa largeur. Procéder par tranches de longueur qui ne dépassent pas deux mètres chacune ;
- ✓ Couler une semelle en béton armé dont les dimensions et le ferrailage dépendent de la charge qu'elle va supporter ;
- ✓ Garder des aciers en attente pour la continuité du ferrailage dans la nouvelle semelle, du côté opposé ;
- ✓ Creuser du côté opposé de la première intervention, sur la même hauteur et les mêmes longueurs et largeurs ;
- ✓ Nettoyer les aciers en attente, compléter le ferrailage et couler la deuxième partie de la semelle ;
- ✓ Continuer dans le même principe l'élargissement de la semelle.

### ② sous-fondation par des micro-pieux

Cette technique est utilisée dans le cas de sol fragile (Chaning, S 1993). Elle consiste à implanter des micro-pieux qui descendent profondément vers le bon sol au-dessous des semelles existantes. Cette solution nécessite des sondages préalables afin de reconnaître le sous-sol et le niveau du bon sol. Ainsi, elle nécessite la technicité et la main d'œuvre spécialisée dans ce type de travaux pour éviter les problèmes imprévus. Les micro-pieux sont des pieux de petit diamètre (15 à 20 cm), forés par rotation pour

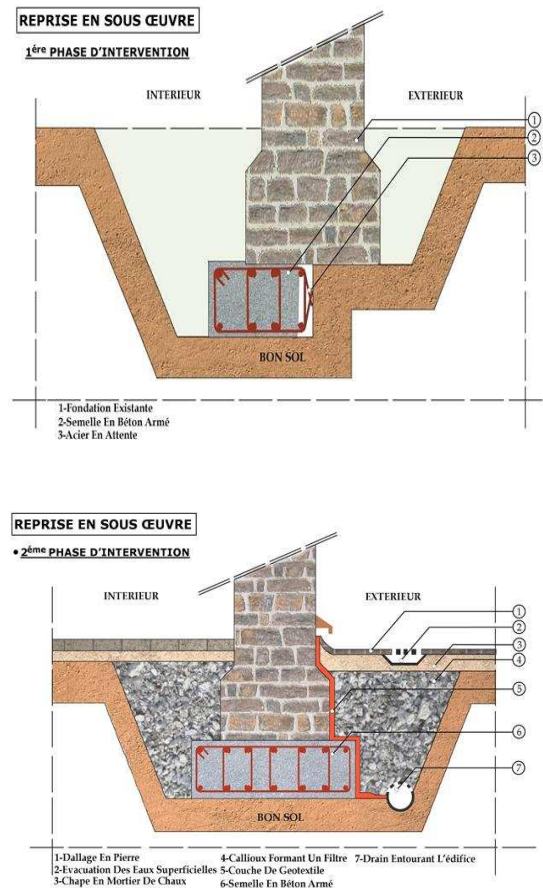


Figure 1 : Reprises-en sous œuvre.

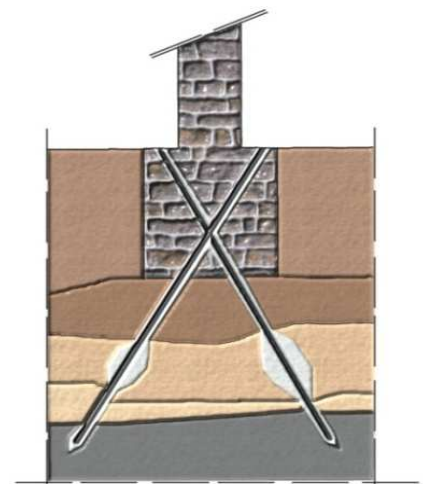


Figure 2 : Reprise par micro-pieu.

éviter toute vibration ou choc au dessous des semelles existantes. Ces pieux sont armés d'un ferrailage tendu formant du béton compact précontraint, afin de supporter des charges élevées malgré leur petit diamètre. Ils seront intégrés à l'intérieur de la maçonnerie de la fondation afin d'assurer une parfaite liaison.

### ③ Mise en place de tirants d'ancrages

Utiliser pour rétablir la stabilité des fondations aux glissements, renversements et aux tassements par la mobilisation d'un volume de terrain ou de rocher. Les tirants et boulons d'ancrage sont des éléments constitutifs sollicités en traction (Chaning, S 1993). Ils sont d'une longueur supérieure à celle des boulons d'ancrage, leur système d'armature peut être constitué d'une barre unique, d'un faisceau de barre, d'un ensemble de fils ou de torons parallèles. Ils sont mis en précontraint par l'application d'un effort de traction qui est au moins égale à l'effort qui leur sera transmis au moment de leur mise en service.

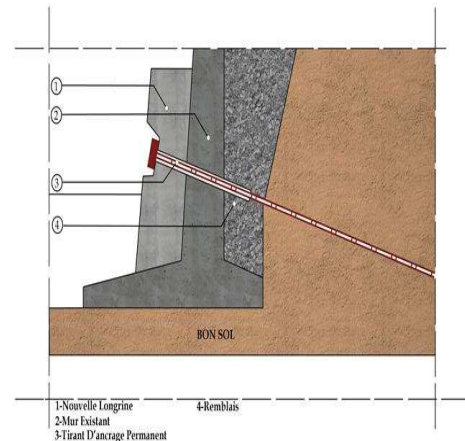


Figure 3 : Tirant d'ancrage.

### ④ Traitement des sols par des procédés d'injection

La technique (Chaning, S. 1993) consiste à introduire, sous pression dans le sol à partir de forages répartis selon des mailles primaires et secondaires, un mortier (à base de ciment ou autres liants) à angle de frottement élevé afin d'augmenter le niveau de contrainte jusqu'à atteindre le niveau de consistance recherché, et réduire les déformabilités du terrain sous les charges existantes ou supplémentaires appliquées. Ce procédé permet aussi l'étanchement des terrains afin de réduire les débits d'infiltration au travers des terrains, et réduire les risques d'érosion des parties fines ou soluble du sol.

## 2.2. Planchers

Les planchers offrent une surface horizontale et plane, support des activités des habitants, ils portent leurs poids propre et le poids d'exploitation.

### 2.2.1. Les planchers à ossature en bois

Jusqu'au milieu du XIX<sup>ème</sup> siècle, l'ossature des planchers était en bois (Chaning, S 1993). Ce type de plancher est constitué d'un certain nombre d'éléments :

#### ① Une couche structurelle

Constituée de solives en bois qui s'appuient sur deux murs porteurs (Chaning S. (1993)) ou bien reposent sur une lambourde, encastrée dans le mur, ou posée sur des appuis en pierre

appelé corbeaux. Pour des portées plus grandes, des poutres de dimensions plus importantes sont placées dans la largeur de la pièce renforcée par la fixation de solives plus petites.

## ② Remplissage

La couche formant la dalle est constituée d'un mortier de plâtre, plâtrât et d'argile battue voir même d'autres matériaux. Ces éléments peuvent être placés au dessus des solives (air) ou entre celle-ci (remplissage en augets). La nature du remplissage est une donnée essentielle car elle conditionne les surcharges admissibles pour le bâtiment.

### 2.2.1.1. Les désordres

Les principaux dégâts constatés sur certaines parties de la structure en bois sont la pourriture, les fissures et la perte de solidité. Ils sont dus aux variations de température et d'humidité, à des causes biologiques et à des problèmes structurels. En outre, les insectes, les champignons ainsi que d'autres processus biologiques peuvent causer des dégâts et provoquer la dégradation des parties en bois, dont la pourriture se produit généralement dans les parties affectées par l'eau et en particulier celles qui sont encastrées dans le mur. Les problèmes survenant dans les structures en bois peuvent également provenir des actions mécaniques supportées par le plancher ou bien à des causes en rapport avec le processus de séchage du bois ou aux cycles d'humidité ambiante. L'autre catégorie de dégradation est la conséquence d'intervention de l'homme qui apporte des modifications sans connaissance préalable des risques que sa peut engendrer. Sa volonté à vouloir intégrer des installations de confort le pousse à apporter des modifications comme la création de salle de bain, de toilette, sans précautions particulières. Sans négliger les dégâts causés par les fuites d'eaux non détectées.

### 2.2.1.2. Techniques de consolidation

Parmi les solutions qu'on peut envisager, nous pourront retenir :

- ✓ L'allégement de la structures par une diminution des charges, ou bien en créant de nouveaux point d'appuis intermédiaires ;
- ✓ Renforcement par fixation de plaques métalliques (fer plat) au droit des fissures ;
- ✓ Reprendre la poutre défectueuse atteinte par une autre poutre métallique au dessous de celle-ci.

### 2.2.2. Les planchers à ossature métallique

Apparaissent à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle notamment utilisés pour les rez-de-chaussée puis généralisés pour l'ensemble des planchers. Ils sont venu substituer les planchers à ossature en bois afin d'augmenter les portées franchies et les espacements entre solives. Ils sont constitués de :

#### ① Une couche structurelle

Assurée par des profilés métalliques: (solives) qui constituent l'ossature du plancher et reprennent les charges qui leurs sont appliqués :

- ✓ L'IAO (apparu vers 1845) (Chaning,S 1993);
- ✓ L'IPN (apparu vers 1885).

L'espace entre les solives sont alors comblés à l'aide de brique généralement pleines appelées voûtains. Ils sont également réalisés en brique creuses ou posées à plat de manière à donner un effet de voûte posée sur l'ail inférieur de la poutrelle. Le montage de ces structures était plutôt complexe et s'effectuait grâce à la confection d'un échafaudage en bois et en acier.

## ② Remplissages

Une fois la structure est réalisée on superpose une couche de remplissage en béton ou avec les déchets du chantier afin de raidir la surface du plancher en constituant le lit de pose pour le revêtement. La partie inférieure du plancher soit elle est laissée brut ou bien revêtue d'une couche de plâtre souvent sous forme de faux plafond.



Figure 4 : Plancher à ossature métallique.



Figure 5 : Décollement de l'enduit plâtre.

### 2.2.2.1. Les désordres

Les pathologies les plus couramment rencontrées dans ce types d'ouvrage est la corrosion de l'ossature métallique. Cette pathologie se traduit par une fissuration puis décollement de l'enduit en sous face du plancher (plafond).

### 2.2.2.2. Les techniques de consolidation

Dans le cas où la corrosion n'est pas très avancée on peut procéder par un simple brossage de la poutre corrodée et l'application de peinture antirouille.

### 2.2.3. Les planchers en béton armé

Les premières structures en béton armé datent du début du XX<sup>ème</sup> siècle, on retrouve les planchers-dalles en béton armé monolithe et les planchers à poutrelles préfabriquées en béton armé.

#### 2.2.3.1. Les désordres

En général dans ce type de planchers les dégradations sont limitées et dues le plus souvent à des défauts de conception ou de mise en œuvre. On retrouve la corrosion des armatures ainsi les éclatements de béton.

### **2.2.3.2. Les techniques de consolidation**

Les techniques de réparation sont variables elles peuvent être à bases de béton projeté ou avec des résines synthétique qui nous permettent la reconstitution des parties manquante du béton.

- ✓ La mise en place d'armature de scellement avec des résines de scellement afin de renforcer la structure ;
- ✓ Le collage de plaque métallique en sous face des dalles ou des poutres ;
- ✓ L'utilisation des fibres de carbone scellées à la résine.

## **2.3. Les murs en *maçonnerie* (Brenda, P 1993),**

### **2.3.1. Les désordres**

Avant toute consolidation il est nécessaire de procéder à la recherche des causes des désordres et leur résolution, car les maçonneries subiront les mêmes dégâts si la cause n'est pas éliminée à l'origine. En général les désordres observés sur les maçonneries se présentent sous forme de lézardes on peut trouver :

- ✓ Lézardes passantes : traversent le mur dans toute son épaisseur ;
- ✓ Lézardes non passantes : la fissuration n'est pas profonde ;
- ✓ Lézardes capillaires : elles sont à peine visibles, l'intervention se limite aux enduits.

### **2.3.2. Cristallisation des sels dissous (Michel, L 2000)**

Les remontées d'eau par capillarité transportent avec elle des sels qu'elle dépose sur les parements. Lors de l'évaporation des eaux les sels alors attaquent les parements ce qui peut entraîner des dégradations. Ces sels peuvent se trouver soit en surface du matériau où le problème n'est qu'esthétique ou bien à l'interface du mur qui provoque la décohésion des matériaux.

### **2.3.3. Techniques de consolidation (Brenda, P 1993),**

#### **2.3.3.1. Consolidation par cimentation**

Cette technique est employée lorsque la maçonnerie est en état de dégradation avancé (grandes surfaces concernées) ou quand les fissurations sont très étendues. Elle consiste à réaliser un mélange cimentant (lait de ciment- ciment et eau, ou mortier de ciment- ciment, sable très fin et eau) qui est destiné à remplir les vides même capillaires, à l'intérieur même de la masse de la maçonnerie. La technique est efficace lorsque le mélange pénètre dans toutes les aspérités de la maçonnerie.

### 2.3.3.2. Cimentation par coulée

Le mélange cimentant pénètre dans les vides du mur par la pression atmosphérique.

### 2.3.3.3. Cimentation par injection sous pression

Le mélange cimentant est dans ce cas injectés sous pression. Les trous d'injection sont pratiqués à l'aide de foreuses mécaniques à rotation (les appareils à percutions sont exclus) dans toute l'épaisseur du mur. Une maille de trous est réalisée, portant des embouts qui seront reliés aux embouts, la rangée inférieure est bouchée pour permettre au lait de ciment ou au mortier une fois qu'il a pénétré toutes les cavités, de remonter dans la rangé supérieur.



Figure 6 : Cimentation par injection sous pression.

### 2.3.3.4. Consolidation par grillage armé

Cette technique consiste à augmenter la section du mur endommagé ou sous-dimensionné en incorporant aux parements des épaisseurs de matériau –mortier ou béton– après la pose de treillis métalliques, solidarisés entre eux dans le mur. La mise en œuvre du matériau de renfort peut se faire en disposant des coffrages parallèles aux parements et en y coulant ensuite la préparation, ou bien par simple projection sur les parements avec le treillis déjà en place ou encore par gunitage en choisissant la procédure selon l'épaisseur requise et le supplément de résistance attendu du renfort. Cette solution est très polyvalente en ce qu'elle s'adapte à des structures de murs complètes, à des murs entiers ou à des pans précis. Cette qualité la rend tout spécialement appropriée pour renforcer des bâtiments que les mouvements sismiques auront abîmés, en augmentant la rigidité des parties du bâtiment qui l'exigent et, au besoin, celle de l'ensemble du bâti.

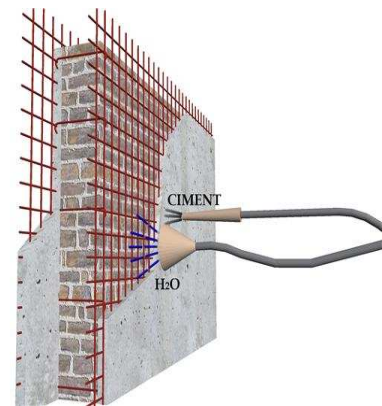


Figure 7 : Consolidation par grillage armé.

## Conclusion

L'Algérie dispose d'un patrimoine bâti d'une richesse exceptionnelle, mais sa sauvegarde reste problématique. Il présente aujourd'hui des signes inquiétants de vieillissement dont la cause est multiple à savoir l'indifférence, la négligence, le manque d'entretien, les transformations incontrôlées (illicites)...

Les différentes opérations de réhabilitation menées jusqu'à présent reste très limitées vu l'absence de spécialistes dans le domaine et d'outils permettant de bien mener ces opérations comme le guide de réhabilitation.

La connaissance du système constructif de la construction, des matériaux utilisés, la typologie, l'environnement avoisinant sont des éléments indispensables lors d'une opération de diagnostic d'un édifice.

Le guide de réhabilitation est un outil indispensable lors des interventions dans un bâtiment, il permet l'accompagnement de l'ensemble des professionnels du patrimoine tels que l'architecte, l'ingénieur, gestionnaires ou même les particuliers.

### **Bibliographie**

**Benazzouz, K (2009)** In Sauvegarde du patrimoine culturel dans le contexte du développement durable : cas de la ville de Bejaia. Mémoire de Magister, dirigé par M. Dahli

**Boito, C. (2000).** In conserver ou restaurer, un dilemme du patrimoine. Editions de l'imprimeur.

**Brenda, P (1993),** In Bâtiment en maçonnerie, analyse des déséquilibres statiques et techniques de consolidations , EPAU, Snasp.

**Chaning, S. (1993)** In La chirurgie des structures, Réhabilitation structures enveloppe CATED.

**Choay, F et al (1988)** In Dictionnaire de l'urbanisme et de l'aménagement, édition PUF.

**Guide Veritas du bâtiment (1993)** In Gestion technique du patrimoine, Réhabilitation et maintenance. Edition le Moniteur, (tome 4) Paris.

**Méthode Réhabimed (2005)** A la réhabilitation de l'architecture traditionnelle, p 21-27

**Michel, L (2000)** In Catalogue des produits du bâtiment, humidité dans les bâtiments, préventions et traitements CATED.