

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Mémoire de Mastère

Présenté à l'Université de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Génie civil

Option : Structures



Thème : Les Pathologies des Bâtiments
(Cas Université de Guelma)

Présenté par : Chiheb Amira

Azizi Hakima

Toualbia Nadjia

Sous la direction de : *M^{me}* Bendjaiche Robila

juin 2013

REMERCIEMENTS

En préambule à ce mémoire nous remercions ALLAH qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

Nous souhaitant adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire.

Ces remerciements vont tout d'abord au corps professoral et administratif du département de génie civil, pour la richesse et la qualité de leur enseignement et qui déploient de grands efforts pour assurer à leurs étudiants une formation actualisée.

Nous tenant à remercier sincèrement Monsieur, Boudjahem Rafik, qui, en tant que Directeurs de mémoire, se sont toujours montrés à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour l'inspiration, l'aide et le temps qu'ils ont bien voulu nous consacrer et sans qui ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Enfin, nous adressons nos plus sincères remerciements à tous nos proches et amis, qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de la réalisation de ce mémoire.

Merci à tous et à toutes.

Résumé

Les pathologies sont des problèmes des plus importants dans l'évaluation de la durabilité des structures.

L'objectif de notre travail est de générer l'information sur le matériau «béton armé » et les différentes pathologies, nous avons expliqué les principales pathologies et les dommages qu'elles peuvent causer aux ouvrages. Nous avons essayé de présenter les méthodes de diagnostic pour connaître la source du problème et expliquer les méthodes de réparation pour retarder ou de limiter de nouvelles pathologies similaires a la fin nous avons proposer une démarche à suivre pour réhabiliter efficacement les ouvrages dégradé par l'humidité avec des mesures préventives pour empêcher ou retarder le plus longtemps possible la dégradation de ces ouvrages.

Mots clés : Pathologie, diagnostic, réhabilitation, humidité, toiture, étanchéité, ...

Abstract

Pathologies are the most important in structure durability evaluation. The objective of our work is to generate information about the material "reinforced concrete" and the different pathologies; we explained the main ones and the damages that cause to construction work.

We tried to give an overview on the different diagnostic methods used to know the origin of the problem and explain the repairing methods to (post pone) or limit the development of similar new pathologies. At the end, we proposed a procedure to efficiently revamp the damp damaged construction works in order to avoid or postpone or long or possible the degradation of these ones.

Keywords: Pathologies, diagnostic, rehabilitation, damp, roofing, waterproofing, ...

ملخص

الهدف من عملنا هذا هو تدقيق المعلومات حول مادة "الخرسانة المسلحة" و مختلف التشوهات التي تؤثر على الهياكل , لأنها تعتبر من أهم مشاكل تقييم ديمومة و متانة المنشآت . و حاولنا تقديم طريقة تشخيص الخلل لمعرفة مصدر المشكلة و شرح طريقة المعالجة لتعطيل و تخفيف التشوهات المشابهة.

في النهاية اقترحنا منهجية ترميم فعال للهياكل المتضررة بسبب الرطوبة و هذا بإجراءات وقائية لتفادي او تعطيل اطول وقت ممكن لتدهور الهياكل.

الكلمات المفتاحية : التشوهات ، التشخيص ،إعادة التأهيل، الرطوبة، السقف، تسرب المياه، ...

« Sommaire »

Introduction.

CHAPITRE I

Principales pathologies d'une construction

I.1 – Fondations et infrastructures	01
I.1.1– Les mouvements de fondations d’une maison individuelle	02
I.1.2 - Le tassement de dallage	03
I.2 - Le gros œuvre et la structure	04
I.2.1 – Les fissures dites structurelles	04
I.2.2 – Les deux sources d’humidité en sous-sol.....	06
I.2.3 - Désordres des constructions à ossature bois.....	08
I.2.4 – Principe de la construction parasismique	08
I.3 – Enveloppes et revêtements extérieurs	09
I.3.1 - Les désordres des enduits extérieurs	09
I.3.2 - Infiltrations par la liaison fenêtre-gros œuvre des bâtiments	13
I.4 - EQUIPEMENTS	15
I.4.1 – VMC et condensations dans les logements	15
I.4.2 - Fuites sur canalisations encastrées	16
I.4.3 - Désordres atteignant les conduits de fumée	17
I.4.4 - Défauts d’isolation acoustique	18
I.4.5 – Principe d’une installation électrique	19
I.5 – Aménagements intérieurs	22
I.5.1 - Décollement de revêtements de sols souples collés	22

I.5.2 - Fissuration et décollement des carrelages de sol	23
I.5.3 – Défaut de joint périphérique sur baignoire et bac à douche.....	24
I.5.4 – Désordres sur parquet bois	25
I.5.5 – Décollement de peinture	25

CHAPITRE II

Description des pathologies du béton armé

II.1- CORROSION DES ARMATURES	27
II.1.1 Hétérogénéité du béton.....	28
II.1.2 Processus de protection des armatures	29
II.1.3 Déroulement du processus de corrosion	30
II.1.4 Conséquences de la corrosion	32
II.1.5 Carbonatation	34
II.1.6 Dispositions préventives contre la corrosion	37
II.2. MESURE DE L'ÉPAISSEUR D'ENROBAGE	
DES ARMATURES	39
II.2.1 Détecteurs classiques	40
II.2.2 Exemples d'applications	40
II.2.3 Méthodes de détection de la corrosion des armatures	42
II.3. FISSURATION	43
II.3.1 Causes les plus fréquentes	43
II.3.2 Définition et classification des fissures	44
II.3.3 Techniques de réparation	47
II.3.4 Produits de réparation	48

II.4. ALTÉRATION DES SURFACES EN BÉTON SOUS	
L’ACTION DU VENT	56
II.5. RÉPARATION EXTERNE DU BÉTON : ÉCLATEMENTS,	
DESTRUCTIONS ACCIDENTELLES	57
II.5.1 Réparation externe	58
II.5.2 État de surface du béton	58
II.5.3 Adhérence du produit rapporté au béton	59
II.6. NETTOYAGE DU BÉTON	60
II.6.1 Projection d’eau chaude ou surchauffée sous pression	61
II.6.2 Sablage à sec	61
II.6.3 Sablage hydropneumatique	62
II.6.4 Projection basse pression de microfines de verrerie	62
II.6.5 Procédés chimiques	63
II.6.6 Traitement pour l’enlèvement des salissures diverses	64
II.6.7 Taches sur le béton	64
II.7. TRAITEMENT DE LA SURFACE DU BÉTON	65
II.7.1 Traitements durcisseurs	66
II.7.2 Hydrofuges de surface	67
II.8. TRAITEMENT ANTI-GRAFFITIS	68
II.9. PROTECTION DES SURFACES EN BÉTON	
(PEINTURE, REVÊTEMENT)	69
II.9.1 Préparation des supports	69
II.9.2 Produits de protection des parements en béton	70

CHAPITRE III

Humidité dans le bâtiment

III.1. Les origines de l'humidité	71
III.1.1. Condensation :	71
III.1.2. Remontées capillaires (ou humidité ascensionnelle) :	71
III.1.3. Infiltrations directes (L'infiltration d'eau).....	72
III.2. Les solutions pour réparer et améliorer	75
III.2.1. Contre la condensation.....	75
III.2.2. Contre les remontées capillaires	75
III.2.3. Contre les infiltrations directes	79
III.2.4. Les fausse solutions	80
III.3. Cas particulier : toitures terrasses	
(pathologie de l'étanchéité)	80
III.3.1. INTÉRÊT DE CONSERVER L'ANCIENNE ÉTANCHÉITÉ	81
III.3.2. DÉSORDRES SPÉCIFIQUES DES TOITURES TERRASSES	82
III.3.3. REVÊTEMENTS D'ÉTANCHÉITÉ EXISTANTS	84
III.3.4. INTERVENTIONS COMPLÉMENTAIRES	87
III.3.5. ISOLANTS THERMIQUES DES TERRASSES	90
III.3.6. MISE EN CONFORMITÉ DES RELIEFS	91
III.3.7. PRODUITS D'ÉTANCHÉITÉ INNOVANTS	96
III.3.8. ENTRETIEN DES TOITURES TERRASSES	96

Chapitre IV

Etude de réhabilitation d'un immeuble

à l'université de Guelma

IV.1. Introduction	101
IV.2. Identification de l'immeuble	101
IV.2.1. Présentation de la structure existante	102
IV.2.2. Étude de diagnostic des cas pathologiques.....	104
IV.2.3. Solutions de réhabilitation et travaux préconises	111

Conclusion.

Références bibliographiques et site web.

Annexe.

Glossaire.

L'apparition des premiers bétons se situe à la fin du premier quart du XIX^{ème} siècle lorsque la chaux hydraulique, liant utilisé jusqu'alors, est remplacée par le ciment Portland.

C'est vers 1870 que l'on introduit des barres d'acier dans le béton afin de compenser sa faible résistance à la traction, donnant ainsi naissance au béton armé. Cependant, ce n'est que vers 1900 que le béton armé remplace peu à peu les structures métalliques dans la construction d'ouvrage de génie civil. Les premières théories des calculs statiques apparaissent 30 ans plus tard et les progrès réalisés au XX^{ème} siècle ont fait du béton armé, le principal matériau de construction utilisé aujourd'hui.

Le béton est un matériau obtenu après malaxage de ciment, d'eau, de granulats (sable, gravier, caillou...) et éventuellement d'adjuvants dans des proportions bien déterminées et en fonction des caractéristiques voulues. L'ensemble doit être homogène et la pâte résultant des réactions entre le ciment et l'eau est l'élément actif du béton.

Le béton résiste bien à la compression mais possède une faible résistance à la traction. C'est pourquoi, pour lui conférer une bonne résistance à la traction, on dispose dans la partie tendue des armatures.

Le béton armé est l'intime assemblage d'armatures (généralement en acier) et de béton afin de compenser la mauvaise tenue de ce dernier à la traction. Cet assemblage est rendu possible grâce à la dilatation comparable des deux matériaux.

Depuis il est devenu un matériau composite incontournable. Les éléments en béton armé sont très présents dans notre vie.

Que ce soit dans un pont pour traverser une route, dans un bâtiment pour abriter des personnes ou dans des activités, ou autres ouvrages en béton armé, ils remplissent tous une ou plusieurs fonctions bien précises.

Ces ouvrages sont nécessaires au bon fonctionnement de notre société, car ce sont des éléments facilitant ou améliorant la vie des usagers. Pour leur permettre de remplir leur rôle, il est nécessaire de s'assurer de leur bonne santé et dans le cas contraire les réparer.

C'est dans cette optique que s'inscrit le diagnostic d'un ouvrage.

À partir du moment où une pathologie est apparue, même si cela ne remet pas en cause la stabilité de l'ouvrage, il est important de diagnostiquer d'une part d'où vient le problème, mais à quel degré il affecte l'édifice.

Dans un second temps, il est nécessaire de supprimer le problème à la source et de réparer l'ouvrage.

Le diagnostic est un moment clé lorsqu'il y a présence de pathologies.

En effet, si la source du problème est mal diagnostiquée, les réparations préconisées ne correspondront pas réellement à ce qui est nécessaire et l'ouvrage sera toujours soumis aux mêmes attaques.

Pour effectuer un diagnostic, différents moyens d'investigation sont disponibles. On a d'une part les méthodes destructives, pour les structures pouvant être localement dégradées et les méthodes non destructives pour les ouvrages nécessitant d'être préservés tels que les bâtiments classés monuments historiques.

Une fois les causes ainsi que les pathologies diagnostiquées, il est nécessaire de prévoir des travaux de réhabilitation afin de redonner à la structure ses caractéristiques physiques et mécaniques initiales.

Afin de retarder ou de limiter de nouvelles pathologies similaires, il est possible de protéger la structure. Il existe un grand nombre de protections, elles sont à choisir selon les différentes pathologies, mais aussi sur la durée de pérennisation espérée. Elles vont du simple revêtement appliqué sur le parement, aux traitements électrochimiques.

Ces expertises se développent de plus en plus notamment du fait d'une volonté des pouvoirs politiques de s'inscrire dans un schéma de développement durable, à savoir, pérennisé l'existant.

Il est aussi possible de ne pas prévoir des travaux, mais seulement s'intéresser à l'évolution des pathologies.

C'est le cas par exemple pour des fissures, il peut être utile de vérifier si son ouverture est continue dans le temps, dans ce cas il sera nécessaire de prévoir des travaux de confortement. Ou bien si l'ouverture de la fissure dépend de l'évolution de la température, auquel cas il est possible de laisser l'ouvrage en l'état sans craindre une dégradation de l'ouvrage.

Pour remédier à cette situation et œuvrer à la réhabilitation efficace et durable des ouvrages en béton armé lorsqu'il y a présence de pathologies, nous avons décidé de travailler pour notre mémoire de fin d'étude, sur le thème « *LES PATHOLOGIE DES BATIMENTS* ».

Les objectifs visés par notre étude sont :

- expliquer les principales pathologies d'une construction ;
- présenter les méthodes de diagnostic pour connaître la source du problème ;
- présenter et expliquer les méthodes de réparation pour retarder ou de limiter de nouvelles pathologies similaires ;
- proposer une démarche à suivre pour réhabiliter efficacement ces ouvrages dégradés par l'humidité ;
- donner des mesures préventives pour empêcher ou retarder le plus longtemps possible la dégradation de ces ouvrages. Conformément à l'adage qui dit que :
« **prévenir vaut mieux que guérir** »

Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques (Abrasion ; Erosion ; Cavitation ; Chocs ; Surcharges ; Le feu ; Cycle gel/ dégel) et chimiques (Alcali-réaction ou cancer du béton ; Réactions sulfatiques ; Corrosion) supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif. Les dégradations peuvent provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

I.1 – Fondations et infrastructures

I.1.1 – Les mouvements de fondations d'une maison individuelle

I.1.1.1 - Les mouvements courants

Les maisons individuelles sont habituellement fondées superficiellement par des semelles en béton armé.

En présence d'un sol déformable, ces fondations peuvent subir des mouvements susceptibles d'engendrer des dommages importants :

à titre d'exemple, un tassement différentiel de 1 cm. entre deux points d'appui distants de 5 m. suffit à provoquer la fissuration.

Les tassements entraînent principalement des dommages structurels : fissures de cisaillement en diagonale ou fissures de traction horizontales et verticales sur les murs extérieurs.

Trois conditions doivent être réunies pour déclencher la fissuration :

- 1) un sol compressible sous le niveau d'assise des fondations ;
- 2) des charges irrégulièrement réparties aux fondations. Ce déséquilibre des efforts sur le sol provoque un tassement différentiel. Le sol se déformera donc plus ou moins selon les points d'appui ;
- 3) la fragilité de la superstructure. Les déformations différentielles du sol vont engendrer des efforts de traction et de cisaillement dans la superstructure. Les points faibles et notamment les joints de maçonnerie seront les 1^{er} à ne pas résister à ces contraintes.

Les autres causes de fissuration peuvent être :

- 1) l'implantation du bâtiment sur un sol hétérogène, renfermant des inclusions rocheuses qui constituent autant de points durs ou, au contraire, des débris végétaux (tourbes) ou des matières organiques en décomposition (vases) qui forment des zones compressibles ;
- 2) l'implantation de la maison directement sur la terre végétale de surface ou à une si faible profondeur que le sol n'est pas à l'abri du gel ;
- 3) la présence juxtaposée de 2 remblais d'âge différent sous les fondations : un ancien, peu compressible, et un récent, mal compacté lors des travaux ;
- 4) la création ultérieure d'une plate-forme contre une façade du pavillon. Elle crée une surcharge parasite excessive au droit de la semelle de ce mur.

1.1.1.2 - Les mouvements exceptionnels en sols sensibles

Les argiles dites "gonflantes" sont dangereuses pour les fondations : tassements en période de sécheresse, soulèvements quand l'eau revient.

Cette alternance de tassements et de soulèvements provoque des dégâts dans les murs.

Dans les cas graves, les fissures peuvent atteindre une largeur d'ouverture de l'ordre de 30 à 40 mm. : On parle alors de fractures ou lézardes.

Le diagnostic des désordres : en alternance saisonnière normale, les variations de teneur en eau de sols perturbent son équilibre hydrique sur moins d'un mètre de profondeur.

En revanche, une sécheresse prolongée entraîne une forte évaporation d'eau entre la surface et le banc argileux sur une profondeur de 2 à 4 m. Ce phénomène provoque une importante diminution du volume du sol argileux, ce qui se traduit par un retrait pouvant atteindre une dizaine de centimètres.

Ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments car ceux-ci forment un écran contre l'évaporation. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre du pavillon et sa périphérie, d'où l'apparition de fissures ou de lézardes.

Ce processus peut être aggravé par la présence, à proximité du pavillon, de végétaux dont les besoins en eau sont importants : chênes, peupliers, frênes,...

La nature même des argiles concernées peut donner naissance, lors d'une période ultérieure très pluvieuses, à un phénomène opposé de gonflement qui tend à refermer les fissures.

1.1.2 - Le tassement de dallage

De nombreux terrains ne sont pas aptes à recevoir une dalle sur terre-plein.

Ceci vise notamment :

- les sols meubles incluant des rognons rocheux aptes à constituer des points durs ;
- les sols de natures différentes pouvant entraîner des tassements différentiels de la forme ;
- les sols constitués de remblais non contrôlés.

La réalisation de la forme est souvent mise en cause.

1 – La forme a été réalisée à partir de matériaux inadaptés :

Généralement, 2 types de matériaux sont utilisables :

- a) Les “granulats” (cailloux, graviers, sable) en provenance de carrières ou de lits de rivières, bien calibrés et propres (sans impuretés argileuses), de mise en œuvre peu aléatoire.
- b) Les matériaux dits “tout-venant”, beaucoup plus dangereux car ils possèdent parfois un pourcentage d'éléments fins qui rendent la mise en œuvre très délicate. Notons toutefois qu'un tel matériau peut voir ses performances améliorées par un faible apport de chaux ou de ciment, mais cette option est généralement réservée aux sous-couches de dallages industriels.

2 – La forme a été mal compactée :

L'opération de compactage du matériau de forme est le point clé de l'exécution d'un dallage sur terre-plein.

Dans le cas d'un dallage d'habitation, de surface réduite, elle est effectuée généralement, à l'aide de petits engins mécaniques “vibrants”, manipulables par un seul homme, du type plaque ou rouleau.

Son but est d'obtenir un serrage maximal du “squelette” granulaire, afin de lui conférer la capacité portante adéquate ainsi qu'une bonne résistance à la déformation.

L'exécutant peut aussi faire des erreurs, par exemple :

- compacter des couches trop épaisses pour la profondeur d'action de l'engin (20 cm étant un maximum pour les rouleaux courants) ;
- effectuer un nombre insuffisant de passages du rouleau ;
- négliger le serrage des zones de rives, contre les "bêches" des fondations.

Le compactage insuffisant le long des murs de façades est très souvent observé.

I.2 - Le gros œuvre et la structure

I.2.1 – Les fissures dites structurelles

L'analyse des sinistres montre en effet que, si la fonction "porteuse" ne donne guère lieu à déboires, par contre la fonction "paroi" est, elle, victime de fréquents problèmes d'origines diverses, que l'on peut répertorier selon quatre familles principales :

- les désordres par tassements de fondation ;
- les fuites des liaisons fenêtres-gros œuvre ;
- les désordres des enduits ;
- les fissures de la maçonnerie, liées au fonctionnement de la paroi -et dites pour cela "structurelles"- sous l'effet de certaines sollicitations (internes ou externes).

Les trois catégories de fissures structurelles d'un mur extérieur :

Ces fissurations relèvent, pour l'essentiel, de trois grandes catégories, en fonction de leur origine mécanique :

- 1 - les fissures de retrait différentiel des matériaux ;
- 2- les fissures de mouvements hygrothermiques, saisonniers ou ponctuels, qui affectent cette même paroi ou ses constituants, et d'autant plus facilement que cette paroi est fortement "isolée" thermiquement sur sa face intérieure ;
- 3- les fissures dues à la flexion du plancher supérieur du pavillon, quand il est réalisé en béton armé ;
- 4- les fissures dues aux ponts thermiques.

1 – Le retrait des mortiers et bétons de ciment est un phénomène de *rétraction* du matériau lors de la perte d'une partie de son eau de fabrication (par séchage et évaporation).

Il se manifeste très rapidement et avec une intensité d'autant plus grande que la quantité d'eau utilisée excède par trop le minimum nécessaire à la « prise » de ce mortier ou de ce béton.

Des fissures peuvent alors naître au contact de deux éléments d'âges différents, tels les blocs et les joints de montage, notamment lorsque le mortier qui les constitue est « étalé » par temps très sec et que, parallèlement, les blocs ne sont pas « mouillés » avant pose.

2 – Les variations de température ou d'humidité peuvent de leur côté, affecter la paroi de plusieurs manières :

- a) Lorsque celle-ci est formée de matériaux hétérogènes, par exemple : briques et linteaux/chaînage en béton armé.

Le comportement différent de ces matériaux peut créer des fissures à leur jonction.

- b) On sait, par ailleurs, que ces matériaux présentent, du fait des changements de température, des variations dimensionnelles non négligeables (dilatation en été, rétraction hivernale).

Ainsi, la paroi d'un mur-pignon, de quelques mètres de longueur, tend en période froide à se rétrécir de plusieurs millimètres.

Mais du fait de sa liaison rigide avec les planchers, qui restent à une température à peu près constante, elle subit des contraintes de traction, susceptibles d'engendrer des fissures verticales.

3 – Le plancher haut du pavillon, quand il existe, est généralement réalisé à l'aide de poutrelles préfabriquées, en béton armé.

Un tel plancher peut prendre une légère déformation de flexion dans sa partie centrale.

Elle ne nuit pas à sa solidité, mais peut s'accompagner d'une rotation de l'appui sur le mur de façade et d'un soulèvement de la rive du plancher.

Cela génère une fissure horizontale sous son arête basse d'appui.

Ce défaut peut aussi affecter un angle de plancher réalisé en dalle de béton armé, si l'on a omis de doter le croisement des parois d'un chaînage vertical, à l'aide de blocs d'angles spécialement perforés à cet effet.

4 – Le plancher bas et/ou haut d'un pavillon peut générer des ponts thermiques si dans sa mise en œuvre certaines dispositions ne sont pas prises, notamment l'interposition d'une «planelle» en rive de plancher.

1.2.2 – Les deux sources d'humidité en sous-sol

- 1 - les eaux de ruissellement ;
- 2 - la remontée de nappe phréatique.

Le danger d'accumulation des eaux de ruissellement dans le remblai des fouilles ceinturant le bâtiment exige la réalisation d'un drainage.

Cependant, un "drain" peut se colmater et la paroi se fissurer. Il convient alors généralement de coupler le drain avec un revêtement extérieur des parois, d'imperméabilisation ou d'étanchéité, selon la destination des locaux qu'elles bordent (local technique ou habitation)

Moins fréquente, la remontée accidentelle d'une nappe phréatique située à faible profondeur sous le bâtiment.

Elle peut être due à la crue de la rivière où elle s'alimente, ou à de fortes précipitations.

On protège normalement le bâtiment par l'application, sur parois et dallage, d'un revêtement intérieur spécial, un "cuvelage", à base de liants hydrauliques afin de réaliser une "cuvette" étanche ; ajoutons que, dans certains cas, il faut en outre lester les fondations et renforcer ce dallage (en béton armé), pour rendre ces ouvrages capables de s'opposer aux poussées vers le haut que cette montée de l'eau engendre.

Quelles sont les causes de l'humidification ?

En dehors des rares ruptures de parois sous la poussée des terres, ou de dallage par sous-pressions de nappe, on peut retenir quelques causes principales d'humidité dans les sous-sols :

1 – l'inexistence pure et simple d'un ouvrage nécessaire :

- l'absence de cuvelage en cas de nappe peu profonde ;
- l'absence de drainage autour de bâtiments érigés sur un terrain imperméable n'absorbant pas les eaux de ruissellement.

2 – le fonctionnement défectueux du système de drainage sachant que le rôle et le fonctionnement de cet ouvrage sont souvent mal connus :

- il ne convient pas dans tous les terrains. Il est inutile, par exemple, dans un sol baigné par une nappe et perméable. Il est même dangereux dans un terrain en pente et hétérogène, où il peut rendre le talus instable en “mettant en charge“ des couches perméables ;
- il ne sert à rien, et peut même être nuisible, s’il ne possède pas un exutoire, situé autant que possible en contrebas (fossé, cours d’eau, égout d’eaux pluviales). Sinon, il faut installer une pompe de relevage ;
- il est susceptible de se colmater à la longue (généralement dans un délai inférieur à deux ans) si ne sont pas respectées certaines règles de mise en œuvre :

- La perméabilité suffisante et croissante vers le bas des couches de matériaux remplissant la tranchée drainante ;
- Le non-emploi de matériaux terreux ou argileux ;
- L’utilisation d’un textile non tissé en fond de tranchée lorsque le terrain environnant est à grains fins (limons, argiles) ;
- La réalisation de regards de visite (afin de prévenir tout début de colmatage) et de nettoyage, à chaque changement de direction du drain et en son point haut ;
- La canalisation qui recueille les eaux en pied de mur doit être perforée en partie supérieure et présenter une pente minimale. Le fil d’eau ne doit jamais être plus bas que le niveau de fondation, ni plus haut que le sol intérieur.

3 – la défaillance de la paroi verticale :

Ceci vise notamment le cas de voiries comportant des dallages dont la pente ramène l’eau vers le bâtiment – et non l’inverse, comme il se doit – ou encore des niveaux de terre de jardin au-dessus de la coupure de capillarité du mur.

1.2.3 - Désordres des constructions à ossature bois

Le bois subit à la fois les effets de l'eau et les attaques d'organismes xylophages. Un pré-traitement avec un produit agréé est impératif.

D'une manière générale, tous les détails de conception de l'ouvrage doivent être prévus pour que l'eau soit rejetée vers l'extérieur ou ne puisse pénétrer à l'intérieur des panneaux ou des pièces de bois. Il en va de la pérennité de l'ouvrage.

Les pièces en contact direct avec le milieu extérieur doivent être conçues en conséquence et faire l'objet d'un entretien régulier (tous les 5 ans pour une lasure, tous 6-7 ans pour une peinture).

Le voile externe du panneau ne suffit pas à assurer l'étanchéité du complexe. Il est impératif qu'un film pare-pluie (avec lame d'air) soit mis en place avant l'exécution du parement extérieur. Il faut aussi éviter tout risque de condensation à l'intérieur des panneaux (pare-vapeur indispensable).

Pour éviter les remontées capillaires, outre la mise en œuvre d'une barrière étanche entre le soubassement maçonné et le bois, une garde minimum de 20 cm devra être ménagée entre la base de l'enveloppe et le terrain.

Les liaisons entre panneaux, entre panneaux et ossature ou entre menuiseries extérieures et panneaux nécessitent la mise en œuvre de joints adaptés (type "compribande®" + joint silicone)

Au niveau de la conception et de l'exécution de la structure, les éléments devront faire l'objet d'une vérification. Les désordres proviennent habituellement d'une mauvaise appréciation des sollicitations (risques de sous-dimensionnement) ou d'une insuffisance des contreventements (risques de flambement) .

1.2.4 – Principe de la construction parasismique

Au-delà du seul aspect des techniques de construction, c'est toute une conception parasismique d'ensemble qui peut et qui doit être mise en œuvre :

- par une implantation judicieuse, hors des zones instables (susceptibles d'être affectées par des mouvements de terrain de tous types : glissements, éboulements, etc...);
- par des fondations adaptées au type de sol concerné ;

- par l'utilisation de matériaux de bonne qualité ;
- par toute une série de dispositions constructives qui sont énoncées dans les guides techniques de construction parasismique ;
- enfin, par un dimensionnement adapté à l'agression sismique devant être prise en compte sur le site considéré.

Toutes ces prescriptions techniques sont précisées dans les règles parasismiques de construction obligatoire en certaines zones, en fonction de la protection minimale imposée par la Puissance Publique.

Tout maître d'ouvrage peut, à travers un cahier des charges, viser une protection supérieure en regard des critères qui lui sont propres.

Lorsque ces informations existent, les données relatives à la cartographie des failles actives et des zones exposées à des mouvements de terrain ou potentiellement liquéfiables, sont consignées dans des documents d'urbanisme consultables en mairie :

- plans d'exposition aux risques (PER) ;
- plans de prévention des risques (PPR) par application de la loi de février 1995 ;
- annexes techniques au plan d'occupation des sols (POS) ou PLU.

I.3 – Enveloppes et revêtements extérieurs

I.3.1 - Les désordres des enduits extérieurs : Une grande variété de sinistres

Il y a d'abord les défauts d'aspect : citons simplement, à cet égard, le nuançage dans la teinte d'une même façade, les "spectres" (ou "fantômes"), réapparition du dessin des joints des éléments de maçonnerie sous l'enduit, des salissures par la pollution ou les micro-organismes.

Mais surtout les atteintes à la durabilité : ce sont tous les désordres affectant d'une manière ou d'une autre la fonction principale d'imperméabilisation de l'enduit, c'est-à-dire sa capacité à participer, avec la paroi maçonnée, à l'étanchéité globale du mur extérieur.

Les enduits monocouches sont des produits « pointus » dont la formulation industrialisée, intégrant liants, sables et adjuvants divers, fait l'objet d'études et de tests approfondis.

Ils ont des caractéristiques de bases fiables, telles l'adhérence au support, l'imperméabilité à l'eau (liée à une faible capillarité), la perméance, ou encore une résistance aux tractions engendrées par le retrait ou les variations thermiques.

L'application est explicitée par des documents détaillés.

Bien que trop souvent négligée, la préparation du support est un préalable incontournable, car le comportement de l'enduit ne peut être isolé de la qualité de la paroi sur laquelle il est appliqué.

Un défaut de préparation de celle-ci peut entraîner une chute de l'adhérence, voire un décollement de toute une surface :

- c'est le cas d'un support non humidifié préalablement (surtout par temps chaud et sec), qui absorbe brutalement l'eau de gâchage de l'enduit et provoque une dessiccation de celui-ci à l'interface (d'où la perte d'adhérence) Dans certains cas, il y a dessiccation dans toute son épaisseur, le rendant friable et inconsistant (on parle alors du "brûlage" de l'enduit) ;
- c'est aussi le cas des parois en béton banché trop lisses, sur lesquelles l'accrochage mécanique de l'enduit est difficile à obtenir, en l'absence d'un repiquage ou de l'application d'une couche d'un produit "primaire" adéquat ;
- ce peut être enfin le cas de murs anciens mal nettoyés de restes de poussières, peintures, plâtres...

Il y a des causes des fissurations spécifiques :

Même sur un support préparé suivant les règles de l'art, un enduit "prêt à l'emploi" peut être victime de fissures.

Il faut alors distinguer le "faièçage" (superficiel et non dangereux) et la "microfissure" qui peut progresser dans toute l'épaisseur de l'enduit sous l'effet des intempéries (gel ou autres), et être ainsi source d'infiltrations.

➤ **La microfissure a principalement deux causes :**

- Le retrait excessif du mortier, conséquence d'un gâchage avec une trop grande quantité d'eau.

Il s'agit d'un défaut de mise en œuvre qui peut être aggravé par une durée de malaxage insuffisante, ne permettant pas une bonne homogénéisation du mortier, notamment à l'égard des adjuvants. L'expérience montre que ces fissures de retrait se canalisent régulièrement au droit des joints qui constituent en quelque sorte des lignes de plus faible résistance.

Il faut encore noter, sur ce point, l'importance des conditions de séchage de l'enduit, pour lequel une évaporation rapide (par temps sec et, en l'absence de protection) peut s'avérer catastrophique, tandis qu'une atmosphère humide lui sera au contraire bénéfique.

- Une rétraction d'origine thermique, pour la compréhension de laquelle quelques explications préalables s'imposent. Ce phénomène, auquel on donne le nom de "choc thermique", exprime le fait que la température de surface externe de la paroi, lorsque celle-ci est bien isolée côté intérieur, peut subir sur un temps très court (une douzaine d'heures, par exemple) un écart très important pouvant atteindre les 50 °C (ainsi, de + 65 °C à l'ensoleillement maximal, à + 15 °C seulement après un orage nocturne).

Une telle chute de température engendre dans l'enduit des rétractions empêchées (par l'adhérence), donc des contraintes, aptes à conduire à la fissuration.

Le problème est aggravé par une orientation sud-est-ouest (maximum de soleil), ou par une teinte foncée (forte absorption du rayonnement solaire), et atteint son maximum la première année, où son effet se cumule avec celui du retrait.

➤ **La porosité excessive**

La porosité d'un enduit trop mince peut entraîner l'apparition d'humidité interne, en l'absence de toute fissure. Mais on peut souligner au passage qu'un enduit trop épais est, lui, plus enclin au retrait.

➤ **Les principaux micro-organismes responsables des salissures en façade :**

- les bactéries vivent avec ou sans air, ont besoin d'eau liquide et peuvent avoir une action corrosive sur les vêtements. Elles sont présentes dans les salissures de couleur verte ou noire ;
- les algues ne vivent pas aux dépens du substrat mais secrètent des acides organiques qui agissent chimiquement sur le support. L'insertion des cellules dans les pores à une action mécanique sur le revêtement. Elles ont besoin d'une forte humidité pour leur croissance. Elles sont présentes dans les salissures de couleur verte, rouge, bleue ou noire ;
- les champignons secrètent des acides organiques qui peuvent attaquer le support. Ils sont présents dans les salissures de couleur brune à noire ;

- les lichens vivent collés à la surface, mais les thalles peuvent s'enfoncer de plusieurs millimètres dans le support. Ils secrètent de l'anhydrite carbonique et des produits avides qui ont une action chimique sur le carbonate de calcium. Ils sont présents dans les salissures de couleur jaune orange à gris ;
- les mousses affectionnent les milieux humides. Elles produisent des acides organiques.

➤ **Les facteurs influant sur le développement des micro-organismes :**

- l'eau est indispensable pour la vie des micro-organismes. Elle joue un rôle dans les échanges gazeux et dans le transport des substances nutritives. C'est le vecteur de contamination par excellence ;
- la température : à chaque espèce de micro-organismes correspond une température optimale de croissance. Seul le gel peut provoquer la disparition des micro-organismes ;
- le pH a un rôle important dans le développement des micro-organismes. Chaque espèce possède une zone optimale ;
- les conditions nutritives : le développement des micro-organismes est lié à la présence d'éléments chimiques dans le milieu ;
- l'exposition : il faut souligner l'importance de l'orientation d'un bâtiment vis-à-vis de la pluie battante et des vents dominants.

➤ **Les points sensibles :**

Le vecteur de propagation le plus important des micro-organismes est l'eau de ruissellement. Ce ruissellement est d'autant plus important à certains endroits spécifiques : principalement les arêtes (chevronnières, haut d'un mur...) et au niveau des points singuliers.

Les enduits monocouches sont, a priori, plus sensibles à ce phénomène.

1.3.2 - Infiltrations par la liaison fenêtre-gros œuvre des bâtiments

La pathologie peut toucher tous les types de menuiseries en bois, en métal, en PVC.

Elle est largement influencée par les conditions climatiques du site (la façade reçoit plus au moins d'eau accompagnée de vent), ainsi que par la hauteur de la baie au-dessus du sol (le vent soufflant plus fort quand on s'élève)

Il existe deux modes principaux de pose :

- au « nu intérieur », la plus fréquente, car elle permet le raccord direct avec l'isolation thermique du local ;
- ou « en ébrasement avec feuillure », quelquefois utilisée pour des murs en béton banché. Avec ce type de paroi, l'interposition de plus en plus fréquente de précadres, mis en place au coulage du béton, facilite beaucoup l'exécution du calfeutrement et limite le risque d'infiltrations.

C'est avec les maçonneries en parpaings de ciment ou de blocs de terre cuite que le problème se pose le plus.

Il se complique du fait que cette étanchéité doit être assurée sur quatre lignes de contact, à savoir :

- traverse basse/appui de baie ;
- montants verticaux/tableaux ;
- traverse haute/linteau.

Les résultats d'expertises montrent que la première zone est la plus sensible, les secondes n'étant pas pour autant à l'abri de désagréments.

L'appui est maintenant le plus souvent coulé (sur place ou préfabriqué) en premier et l'étanchéité est réalisée, soit par un cordon préformé mis en place avant pose de la fenêtre, soit par un mastic extrudé après coup par-dessous le rejet d'eau de la traverse basse.

L'ancienne méthode qui consistait à couler cet appui sous la fenêtre préalablement fixée, et qui a donné lieu à tant de mésaventures par infiltrations directes ou capillaires est quasiment abandonnée aujourd'hui.

Le calfeutrement des joints verticaux, ou du joint horizontal supérieur, est généralement constitué par un mastic extrudé...

Les travaux de menuiseries sont en cause, mais aussi le gros œuvre :

Il a été mis en évidence deux grandes familles de causes de désordres, toutes deux consécutives à des défauts de mise en œuvre sur le chantier :

1 – La première concerne la tâche de l'entreprise de gros œuvre, et elle se traduit par un montage irrégulier de la maçonnerie de baie :

- les dimensions du cadre ne respectent pas les tolérances usuelles vis-à-vis des cotes de plans ;
- des tableaux se présentent avec du faux-aplomb ou un défaut de parallélisme ;
- l'appui n'est pas plan, ou est mal raccordé aux tableaux.

Dans ces conditions, le garnissage du joint est délicat si, par exemple, le recouvrement du bâti sur la paroi est trop faible, ou si ce joint présente une ouverture en sifflet, passant du haut en bas de presque rien à quelques 2 cm.

De même, un cordon sous traverse basse n'est que partiellement écrasé, donc inefficace, si l'arête de la pièce d'appui n'est pas parallèle à la sous-face de la traverse.

2 – La seconde est relative aux travaux du menuisier et se manifeste par une mise en place aléatoire du mastic de calfeutrement, le plus souvent liée à une méconnaissance du fonctionnement de ce type de garniture.

Ceci se traduit par exemple :

- par une section du cordon inadaptée à la taille de l'interstice à calfeutrer, ou nuisible au maintien de l'adhérence dans le temps (ainsi, l'épaisseur de mastic doit se tenir entre un minimum, mais aussi un maximum) ;
- dans le cas d'une extrusion, par l'oubli de l'interposition préalable d'un fond de joint (ou sa mise en place défectueuse), indispensable pour assurer le bon serrage du produit contre les parois ;
- encore, par un manque de nettoyage soigné des parois de contact, lesquelles exigent en outre, dans certains cas (les fenêtres en plastique, par exemple), l'application d'un "primaire" adapté au matériau de ces parois.

Enfin, une zone s'avère particulièrement délicate : les angles entre tableaux et pièce d'appui.

Le raccordement du cordon sous traverse basse avec les cordons verticaux des montants de châssis est souvent négligé.

I.4 - EQUIPEMENTS

I.4.1 – VMC et condensations dans les logements

Les condensations peuvent se produire :

- en surface ;
- ou à l'intérieur d'une paroi.

Les condensations de surface ou dites superficielles :

On les observe sur les vitrages des menuiseries, mais aussi sur les parois opaques (les murs), les sols (un carrelage, par exemple), ou les dallages sur terre-plein.

Le paramètre influent alors est la propension de cette paroi à laisser passer les calories produites dans le local par le chauffage vers l'extérieur (les condensations sont essentiellement un phénomène hivernal).

Les condensations à l'intérieur d'une paroi :

En effet, il faut d'abord savoir que la vapeur d'eau est susceptible de migrer à travers la paroi, et ce, depuis le milieu intérieur vers le milieu extérieur.

Si aucun « pare-vapeur » n'est apposé sur la face interne du mur, cette vapeur "diffuse" vers l'extérieur et le processus peut entraîner sa condensation à l'intérieur de la paroi.

Production de vapeur d'eau, ventilation insuffisante, défaut de chauffage et ponts thermiques sont tous causes de sinistres :

Les condensations se manifestent par les taches sur les papiers peints, moisissures dans les angles de murs, aux jonctions façades-abouts de planchers, ou encore derrière les meubles.

La très grande majorité est la conséquence conjointe de la production de vapeur d'eau et d'une ventilation insuffisante.

La production de vapeur d'eau est presque toujours suffisante pour saturer l'air ambiant : il faut moins de cinq heures dans une chambre où dorment deux personnes.

La ventilation peut être insuffisante, par le fait de l'installation même mais aussi par le fait des occupants, qui calfeutrent les orifices de ventilation sous le prétexte de ne pas faire entrer le froid, mais qui empêchent ainsi le renouvellement nécessaire de l'air.

Il faut souligner l'existence de zones de paroi privilégiées à l'égard des condensations : les "ponts thermiques". Assez nombreux dans les immeubles modernes, ce sont par exemple les encadrements de baies, les chaînages en béton armé disposés dans les angles de murs, ou en nez de planchers.

Plus généralement, ce sont les zones où la température de paroi peut rester relativement froide en hiver, alors que celles des parties courantes des murs, mieux isolés thermiquement, est proche de la température d'ambiance des locaux.

1.4.2 - Fuites sur canalisations encastrées

Les percements sont la conséquence d'une corrosion (phénomène chimique), d'une abrasion (phénomène mécanique) et parfois les deux :

- la corrosion apparaît sous forme de piqûres ou "pitting" ;
- la corrosion externe est relativement fréquente.

Elle provient du passage de l'eau par les arases de gaines au niveau du sol ou par les raccords de gaine de protection non étanches.

L'eau provient des lavages de sol et contient donc des produits de nettoyage (présence de chlorures et de sulfates) la concentration de ces sels agressifs, dans les points bas entraîne une attaque rapide et caractéristique ;

- la corrosion interne peut être due à plusieurs facteurs qui rendent complexe le phénomène.

Les principaux sont :

- o la nature de l'eau (minéralisation, température, aération, pollution) ;
- o la nature et l'état métallurgique du métal ;
- o les couples galvaniques (effet de "pile" par différence locale de potentiel électrique) ;
- o une contrainte dans le tube (déformation excessive, par exemple) ;
- o la vitesse du fluide.

- le pitting apparaît principalement sur les réseaux d'eau froide assez fortement minéralisée, sur du cuivre traité thermiquement lors des assemblages par brasure. Ceci est lié à la présence d'un film de résidus carbonés à la surface du tube ou à la formation de certains oxydes apparaissant à haute température. La plupart des industriels ont pratiquement supprimé ces résidus carbonés.
- la corrosion – érosion n'apparaît que dans les circuits bouclés. En général, ce phénomène est lié à la vitesse de circulation de l'eau et à la géométrie de l'installation. La présence de particules solides ou gazeuses dans l'eau peut accélérer la corrosion.

1.4.3 - Désordres atteignant les conduits de fumée

- o **Cause principale :**

L'évacuation trop lente des gaz brûlés et le refroidissement trop rapide de ceux-ci peut entraîner une condensation des goudrons et imbrûlés contenus par les fumées sur les parois du conduit.

Ces dépôts de bistre risquent ensuite de s'enflammer provoquant un feu de cheminée.

Ce phénomène peut résulter :

- d'une mauvaise géométrie du conduit ralentissant la vitesse d'évacuation. Les conduits doivent être verticaux afin d'offrir le moins de résistance possible à l'évacuation des gaz ;
- d'une insuffisance d'isolation du conduit et/ou de la souche. Une isolation correcte du conduit et de la souche permet d'éviter une baisse trop rapide de la température des gaz de combustion. Une température trop froide des gaz entraîne une élévation moins rapide de ceux-ci et favorise la condensation sur les parois du conduit de la vapeur d'eau qu'ils contiennent ;
- d'une mauvaise géométrie du conduit. Le tirage d'un conduit est fonction à la fois de la section du conduit et de sa hauteur.

Plus on augmente l'un ou l'autre de ces facteurs (ou les deux), plus le tirage augmente. Plus le tirage est élevé, plus la vitesse d'évacuation des gaz est rapide ce qui diminue les risques de refroidissement, condensation et bistrage.

Autres causes de sinistres :

- une insuffisance de hauteur de la souche peut être à l'origine d'un défaut de tirage ou même de refoulement dans le conduit ;
- une insuffisance de distance au feu peut provoquer également un incendie de charpente.

En cas de feu de cheminée, l'incendie peut être propagé du fait d'un défaut d'étanchéité du conduit de la charpente. Par ailleurs, du fait du simple échauffement par proximité de la charpente, un enflamment des pièces de bois peut se déclencher spontanément.

1.4.4 - Défauts d'isolation acoustique

Les bruits dans les bâtiments se décomposent en trois grandes familles :

- 1) les bruits aériens dont la source est intérieure ou extérieure ;
- 2) les bruits d'impact dont la source correspond à des chocs intérieurs ;
- 3) les bruits d'équipements internes du bâtiment.

1 - Les défauts d'isolation aux bruits aériens :

• Défauts de conception :

- trop grande légèreté d'une paroi séparative simple (exemple : plancher béton trop mince entre un logement et un garage) ;
- performances inadaptées d'une paroi séparative double (exemple : cloison en plaques de plâtre entre logements présentant un indice d'affaiblissement acoustique trop faible) ;
- absence de prise en compte de la présence dans la paroi de parties aux performances plus faibles (exemple : grandes baies vitrées avec portes-fenêtres coulissantes) ;
- absence de prise en compte d'exigences réglementaires particulières (exemple : isolation aux bruits extérieurs à proximité d'un aéroport)

- **Défauts de réalisation :**

- mauvaise étanchéité à l'air des parois séparatives (exemple : défauts de calfeutrement de menuiseries de coffres de volets roulants)

2 – Défauts d'isolation aux bruits d'impact :

- **Défauts de conception :**

- mauvais choix de revêtements de sol (exemple : carrelage posé directement sur un plancher béton) ;
- mauvais choix des couches isolantes intermédiaires entre élément porteur et sol (exemple : chape flottante sur une couche résiliente aux performances insuffisantes)

- **Défauts de réalisation :**

- existence de ponts phoniques accidentels (exemple : poinçonnement des sous-couches résilientes par un matériau dur)

- **Défauts liés aux produits :**

- dégradation dans le temps ou inadaptation de la sous-couche résiliente.

3 – Défauts d'isolation aux bruits d'équipements :

- **Défauts de conception :**

- choix d'un équipement aux performances inadaptées (exemple : bouche d'extraction VMC dont la performance acoustique est insuffisante) ;
- emplacement maladroit des équipements (exemple : machinerie d'ascenseur au-dessus d'une pièce habitable)

- **Défauts de réalisation :**

- installation défectueuse des équipements (exemple : appareil de chauffage posé sans plots antivibratiles ou sur une cloison légère).

1.4.5 – Principe d'une installation électrique

➤ **Quelques données de base :**

L'électricité est généralement distribuée :

- soit en courant de 220 volts (V) ;
- soit en courant de 380 volts (V).

La puissance des appareils se mesure en watt (W) et celle de l'installation en kilowatts (kW).

Les surintensités de courant sont réglées par des protections appelées fusibles ou disjoncteurs.

La puissance :

De symbole la lettre P, la puissance est égale au produit de la tension (U) par son intensité (I) et se mesure en watts (W).

Par exemple une ampoule de 100 W, un radiateur de 1 500 .

La consommation :

La consommation est égale au produit d'une puissance (P) par un temps de fonctionnement en heure (h).

Par exemple : un appareil de 500 W fonctionnant pendant 4 heures consommera $500 \times 4 = 2\,000$ W, soit 2 kwh (kilowatts/heure).

Promotelec :

Il s'agit d'un organisme décernant des labels pour les logements anciens après rénovation ou neufs en immeubles collectifs ou en maisons individuelles, équipés d'une installation électrique répondant à certaines prescriptions.

L'attribution de ces labels est gratuite et donne accès à des primes.

La mise en service de l'installation :

Le distributeur (généralement EDF) ne peut mettre l'installation sous tension que sur présentation par le constructeur ou l'installateur électricien d'une attestation de conformité visée par le Consuel (Comité national pour la sécurité des usagers de l'électricité) après contrôle sur place.

La mise à la terre :

L'installation de mise à la terre est constituée par :

- une prise de terre générale est souvent réalisée soit par une boucle en cuivre enterrée à fond de fouille lors de la construction, soit par un piquet enfoncé dans le sol ;

- un réseau de conducteurs de protection : repéré par une double coloration, jaune et vert, de leur gaine de protection.

Pour la salle de bains, la réglementation définit 3 volumes :

- le volume enveloppe : toute implantation d'appareils électriques est proscrite, sauf quelques exceptions ;
- le volume de protection : périphérique au 1^{er} volume et où certains types d'appareils sont autorisés ;
- le volume extérieur : aux 2 précédents volumes, pour lequel une gamme plus large d'appareils est autorisée.

La liaison équipotentielle :

Les éléments métalliques de la salle de bains (canalisations, huisseries,...) doivent être reliés entre eux par des conducteurs de protection constituant la liaison équipotentielle, ce qui élimine tout risque d'électrocution par contact simultané avec 2 éléments conducteurs se trouvant à une tension différente.

➤ **Les pathologies les plus courantes sont :**

- un mauvais dimensionnement des conducteurs lequel peut conduire à un échauffement excessif ;
- une mauvaise mise en œuvre dans les parois susceptibles d'être humides peut entraîner des risques d'électrocution des personnes ;
- une absence ou une mauvaise réalisation de la liaison équipotentielle pouvant conduire à des risques d'électrocution ;
- une surintensité à la suite d'une décharge ou d'un court-circuit pouvant entraîner un incendie ;
- un défaut d'isolement des conducteurs par altération de la gaine protectrice pouvant entraîner un court-circuit ;
- un défaut de connexion des composants d'une armoire électrique entraînant un phénomène d'arc et de grésillements lesquels sont susceptibles d'évoluer vers une panne de l'installation avec une disjonction ou même une destruction, voire un début d'incendie ;
- les surtensions atmosphériques, tel qu'un coup de foudre.

I.5 – Aménagements intérieurs

I.5.1 - Décollement de revêtements de sols souples collés

Plus complexe qu'il n'apparaît en première vue, un revêtement de sol souple collé associe en fait différents éléments :

- **le support** : le revêtement peut être mis en œuvre directement sur une chape de mortier à base de ciment ou sur un béton surfacé ;
- **les produits de préparation de la surface** : afin d'obtenir un meilleur état de surface, le support est éventuellement traité à l'aide d'un primaire. Il peut être ensuite recouvert d'un enduit de lissage ou de ragréage de quelques millimètres d'épaisseur ;
- **les adhésifs** : les colles habituellement utilisées sont à base de résine acrylique en émulsion dans l'eau ;
- **le revêtement proprement dit** : à base de plastique, de caoutchouc ou de linoléum.

Les revêtements de sols souples sont étanches à l'eau et à la vapeur d'eau.

Ils empêchent donc l'évaporation de l'eau présente en excès dans le support par le dessus du plancher.

Cette humidité résiduelle retarde la prise de la colle qui reste donc poisseuse.

L'augmentation de la tension de vapeur due à un écart important de température peut entraîner le soulèvement du revêtement.

Le phénomène affecte davantage encore les revêtements en lès que ceux en dalles, car les nombreux joints entre dalles peuvent laisser s'échapper un peu d'humidité qu'au contraire les lés bloquent complètement.

Les remontées d'eau par capillarité peuvent également entraîner la rupture de cohésion de l'enduit de lissage.

Les points sensibles

La présence d'eau peut avoir deux origines :

- l'eau qui a servi à la fabrication du béton : l'eau libre qui ne sert pas à la prise du béton s'évapore normalement au contact de l'air extérieur. Ce séchage ne concerne que les premiers centimètres superficiels.

Le phénomène n'est rapide qu'en surface. Au-delà de 3 cm, il est très lent : il peut prendre des mois voire des années si les conditions sont défavorables : mise hors d'eau retardée, locaux non ventilés et non chauffés.

Certaines configurations défavorables, comme les dallages sur terre-plein, pour lesquels la présence d'une barrière étanche ou d'un bac acier en sous-face empêche l'évaporation par le dessous, la pose du revêtement arrête donc complètement le séchage ;

- les venues d'eau extérieures : elles concernent les planchers sur vide sanitaire ou cave, peu ventilés, et donc exposés aux remontées d'humidité du sol. La préparation du support est essentielle pour assurer un bon collage du revêtement de sol.

1.5.2 - Fissuration et décollement des carrelages de sol

La mince membrane que constitue le carrelage traduit rapidement les carences de son support et de sa mise en œuvre.

Les dommages les plus fréquemment rencontrés sur les surfaces carrelées sont de trois ordres :

1 – La fissuration laquelle se développe linéairement dans diverses directions, notamment aux emplacements les plus sensibles (angles rentrants ou saillants, passage de porte, charge concentrée...).

Elle traduit une déformation des couches constituant le support du carrelage due à :

- le soulèvement du plancher porteur ;
- un fléchissement localisé du support dû à une charge concentrée sans effort ;
- un tassement différentiel de l'isolant par la présence de points durs ou l'inadaptation du matériau isolant ;
- le franchissement d'un joint de gros-œuvre sans précaution ;
- le retrait de la chape ou du mortier de pose.

2 – Le décollement des carreaux lequel a pour causes principales :

- une mauvaise préparation du mortier de pose ou une mise en œuvre qui n'optimise pas l'adhérence ;

- une préparation insuffisante du support (traces de plâtre ou présence de poussières réduisant l'adhérence, défaut de planimétrie entraînant des surépaisseurs de colle...);
- une mise en œuvre de la colle ne respectant pas les prescriptions du fabricant (temps d'ouverture, simple ou double encollage...)

3 - Le soulèvement lequel peut survenir de façon brutale après un réchauffement rapide du carrelage, alors que le support est encore à une température inférieure, ou après retrait du gros œuvre dans les premières années.

La cause principale est une mise en compression du revêtement due :

- au retrait du support si le carrelage est posé prématurément ;
- aux variations dimensionnelles thermo-hygrométriques ;
- à l'absence de joints périphériques et de fractionnement ;
- à la flexion des planchers.

Si à ces différents facteurs s'ajoutent un collage ou un scellement défailant, le revêtement carrelé se soulève par flambement.

Nombre de fissures ont pour origine l'incorporation de canalisations (électricité, plomberie) dans le mortier de pose (amoindrissement localisé de son épaisseur), une pratique pourtant interdite de longue date.

1.5.3 – Défaut de joint périphérique sur baignoire et bac à douche

Les causes principales sont :

- l'inadaptation du support de la faïence. Il en découle une ruine de l'ouvrage dont seule la réfection totale est possible ;
- le déplacement du receveur de douche. Le glissement ou le tassement du receveur sur ses appuis est dû aux calages de qualité médiocre, souvent constitués d'empilements de matériaux de nature diverse, sensibles à l'eau et non solidaires ;
- le jointoiement. Même si les joints sont correctement calibrés en partie courante, les carreaux sont souvent en contact dans les angles ;
- le défaut d'étanchéité des traversées ;

Le traitement d'étanchéité des traversées de parois par les canalisations est souvent omis et les dispositifs d'évacuation insuffisamment testés à la mise en route de l'installation.

1.5.4 – Désordres sur parquet bois

Deux grandes causes peuvent être à l'origine de désordres liés à l'humidité.

1 – Une mise en œuvre prématurée du parquet dans des chantiers dont l'état ne le permet pas encore :

- clos et couvert non totalement assurés ;
- travaux de maçonnerie, carrelage, marbrerie intérieure inachevée ;
- support non suffisamment sec.

2 – La réhumidification du parquet en service dont les causes peuvent être nombreuses :

- fuite du clos et couvert ;
- remontée d'humidité dans le support ;
- non-maîtrise du taux d'humidité des locaux.

1.5.5 – Décollement de peinture

La description de l'apparition des phénomènes, telle qu'elle est relatée par les sociétaires des lieux, est strictement la même, d'une déclaration à une autre :

- quelques semaines, ou quelques mois après l'entrée dans les lieux dans les locaux, on constate une fine fissuration de la peinture, généralement en « étoile » (3 branches à 120° l'une par rapport à l'autre) ;
- la fissuration évolue, en taille et en densité, le film se soulève ;
- en phase ultime, on assiste à l'écaillage spontané du revêtement. Les manifestations sont généralement plus spectaculaires, en locaux humides, surtout qu'il s'agit de pièces aveugles.

Essai sur site

La mesure du taux d'humidité du subjectile est primordiale.

Les différentes causes :

- **les produits (enduits et peintures)** : les surépaisseurs au niveau de passes d'enduit sont préjudiciables au bon comportement de ce dernier ;
- **l'enduit de peintre (ou le ragréage)** présente, en zone de rupture d'adhérence, une pulvérulence anormale ;
- **les huiles de décoffrage** : il peut subsister des reliquats de produits de décoffrage restés nichés dans les micro-anfractuosités du béton. Ce mélange coloré imprègne l'enduit de peintre et provoque la formation d'auréoles brunâtres visibles au travers du film de peinture de finition ;
- **les désordres constatés** sont le résultat d'application des produits de peinture sur **des supports trop humides**. En travaux neufs cette humidité **correspond à de l'eau résiduelle du gâchage du béton**.

La forme concave des écailles montre que les forces de traction de la peinture se sont révélées supérieures aux forces de cohésion internes de l'enduit et ont entraîné sa rupture.

Processus de dégradation :

On peut admettre que l'eau résiduelle de gâchage des dalles (ainsi que celle provenant du coulage du sol béton sur ces dalles) n'a pas eu le temps de s'évacuer suffisamment, lorsque l'ambiance ne le permettait pas comme c'est souvent le cas lorsque les travaux sont effectués entre novembre et mars. Les produits de peinture mis en œuvre prématurément, freinent le départ de l'humidité.

Facteurs aggravants :

On peut retenir comme facteurs aggravants une mauvaise ventilation des locaux, leur occupation excessive (étendage du linge, lessives répétées) et l'absence d'ouverture (pièces aveugles) favorisant la stagnation d'humidité.

Dans cette partie, nous nous intéresserons aux principales pathologies apparaissant dans le béton armé durci. Ces pathologies ont des causes et conséquences variables.

Les matériaux de construction ont, sans exception, une durée de vie limitée. Au fil des temps, tout ouvrage connaît plus ou moins rapidement des altérations. Le béton et le béton armé, dont nous avons une expérience de durabilité de l'ordre d'un siècle, n'échappent pas à cette règle. En fin de compte, tout ouvrage exposé aux intempéries doit être entretenu, réparé, ou même refait ou remplacé.

Le point faible du béton armé, qui met le plus en péril sa pérennité, est son armature. En effet la corrosion des parties métalliques constitue un danger potentiel pour la conservation et la stabilité des bâtiments. Ce phénomène se traduit par l'apparition, en surface exposée à l'extérieur, de différentes altérations (taches de rouille, fissures, épaufrures...).

Si certaines mesures préventives ou confortatives ne sont pas appliquées, ces phénomènes physico-chimiques peuvent s'amplifier et entraîner une détérioration du béton armé qui n'assurera plus sa fonction porteuse. La détection aussi rapide que possible du début de la corrosion des aciers, avant que le processus atteigne un degré critique, est fondamentale.

La rapidité d'intervention permet, en agissant sur un matériau encore sain, de ralentir ou même d'arrêter totalement le mécanisme de corrosion.

II.1- CORROSION DES ARMATURES

Le béton est une matière dont la constitution n'est pas stable et évolue dans le temps. Cette transformation entraîne, au point de vue global, à l'échelle des éléments, des modifications dimensionnelles. En ce qui concerne la structure du composite interne, aux échelles macro et microscopique, les composés d'hydratation du liant sont l'objet de différentes combinaisons.

Comme nous le verrons au paragraphe suivant, le béton est hétérogène et les phénomènes de diffusion sont complexes. Les espaces vides (pores et capillaires) contenant de l'air ou différentes solutions jouent un grand rôle dans le processus de solidification des cristaux constituant la phase liante, qui englobent et assurent les liaisons avec les granulats inertes.

II.1.1 Hétérogénéité du béton

À partir d'une composition initiale de mélange, parfaite à la fin du malaxage, la mise en œuvre du béton à l'état frais, dans des pièces de formes variées, constitue l'action technologique la plus délicate à réaliser en pratique pour que le mélange mis en place reste homogène.

Un ensemble de recherches réalisées sur des pièces en béton en vraie grandeur et des mesures et prélèvements effectués sur plusieurs bâtiments et ouvrages d'art conduisent à classer ces différences de structures en deux catégories :

- Hétérogénéité à l'échelle de plusieurs dizaines de centimètres dans la hauteur des pièces de grande hauteur, poteaux, voiles verticaux ;
- Hétérogénéité à l'échelle de quelques dizaines de millimètres entre la qualité du béton au cœur et le béton de parement.

Ces hétérogénéités provoquent des variations de qualité du béton, très importantes, modifiant les principales caractéristiques.

La résistance mécanique d'un poteau peut être 30 à 50 % plus faible en haut qu'en bas. La porosité d'un béton constituant la peau d'une poutre (35 mm du parement) peut être de 20 % supérieure à celle du cœur.

Plusieurs facteurs sont responsables de ces différences. Le problème résulte de la difficulté de compacter d'une façon identique le béton frais qui, par gravité, se met en place d'une façon différente suivant l'emplacement dans les coffrages. Sur les parois latérales, la mise en place des granulats les plus gros (de diamètre D) est gênée si la distance e de passage entre les armatures ne respecte pas la règle suivante : $e > 1,8 D$.

Par ailleurs, la répartition de l'eau de gâchage, après séchage du béton, montre que la perte d'eau s'effectue surtout dans les 30 à 50 mm à partir du parement.

Les conséquences de cette diminution de la teneur en eau sont très importantes sur les propriétés du béton. La couche périphérique a une qualité mécanique (résistances en compression et en traction) beaucoup plus faible que la partie interne. L'hydratation du ciment, qui est totale au cœur, n'est que partielle pour le béton de recouvrement (l'analyse complète de ce phénomène a été développée dans plusieurs publications [1] [2]). L'inconvénient principal de ce phénomène est qu'il réduit la durabilité du béton de recouvrement. La protection des armatures contre les risques de corrosion est plus faible (porosité du béton plus élevée de 20 % que celle du cœur), l'eau évaporée a laissé la place à des vides d'air.

II.1.2 Processus de protection des armatures

La protection des armatures est liée à deux processus :

- chimique, par l'alcalinité produite lors de l'hydratation du ciment ;
- physique, par l'enrobage agissant comme une barrière vis-à-vis de l'environnement.

Immédiatement après sa mise en place, le béton jeune entourant les armatures constitue une barrière protectrice, car l'hydratation du liant hydraulique libère de la chaux et des sels alcalins. Il se produit à la surface de l'acier une fine couche dite de passivation qui protège l'armature. Ce film protecteur est constitué d'oxydes ou d'hydroxydes. D'après les diagrammes tension-pH fondamentaux, la composition de cette pellicule protectrice comprend soit du $\text{Fe}(\text{OH})_2$, du $\text{Fe}(\text{OH})_3$, du Fe_3O_4 , Fe_2O_3 ou FeOOH selon les oxydes pris en compte. En fait, la nature exacte du film passif dépend du pH, du potentiel de l'acier et de la teneur en oxygène du milieu. Son épaisseur est très faible (quelques nanomètres).

La seconde barrière qui sert de couverture aux agents de l'environnement extérieur est constituée par l'épaisseur et la qualité du béton de recouvrement. Suivant la constitution de ce béton (forte compacité, faibles porosité et perméabilité), un écran plus ou moins important s'oppose aux agents agressifs, gaz carbonique de l'air qui neutralise l'alcalinité du béton et chlorures. Bien entendu, si les matériaux utilisés (ciments, eaux, granulats, adjuvants) contiennent par nature des chlorures, ils seront les premiers générateurs de la corrosion.

II.1.3 Déroulement du processus de corrosion

- **Le mécanisme comprend deux phases.**

La première, dite phase d'incubation, dépend en grande partie des processus assurant le transport des éléments agressifs jusqu'à l'armature, mais aussi des réactions chimiques se produisant au sein du béton et des réactions électrochimiques à l'interface.

La seconde phase est la période de croissance pendant laquelle la corrosion se poursuit avec une certaine vitesse, conduisant à la formation de la rouille et aux états ultimes de dégradation.

La pénétration des agents agressifs (figure 1) s'effectue sous forme gazeuse (molécules d'air ou de CO₂) ou ionique. Les processus de transport font intervenir les phénomènes de diffusion et de convection (sous l'effet des gradients de température) ou de capillarité.

La diffusion obéit aux lois de Fick. Les gaz sont transportés en phase gazeuse ou aqueuse mais la vitesse de diffusion des gaz dans l'eau est 10⁴ fois plus grande qu'elle ne l'est dans l'air. L'état de saturation en eau du béton de recouvrement affecte essentiellement la résistance à la diffusion des gaz.

Les mouvements de l'eau sont très importants, ils assurent en grande partie le transport d'ions ou de molécules dissous. Ils sont dus à des variations de température, de pression ou au contact entre le béton et l'eau liquide (immersion, pluie, condensation). La peau du béton est le plus souvent soumise à des cycles de séchage-humidification.

Les fissures du béton ont un rôle à part (figure 2). Ce sont en effet les passages préférentiels pour le milieu ambiant. Dans le cas où elles pénètrent jusqu'à l'armature, le temps d'initiation est très court. Il se produit tout d'abord une perte d'adhérence locale, pouvant se propager suivant le profil de l'acier. Le milieu agressif environnant pénètre alors jusqu'à l'acier, pour dépasser localement le métal (figure 3). Parallèlement, le front de progression des agents agressifs se modifie et il est possible que la microfissuration joue un rôle dans ce domaine (figure 4).

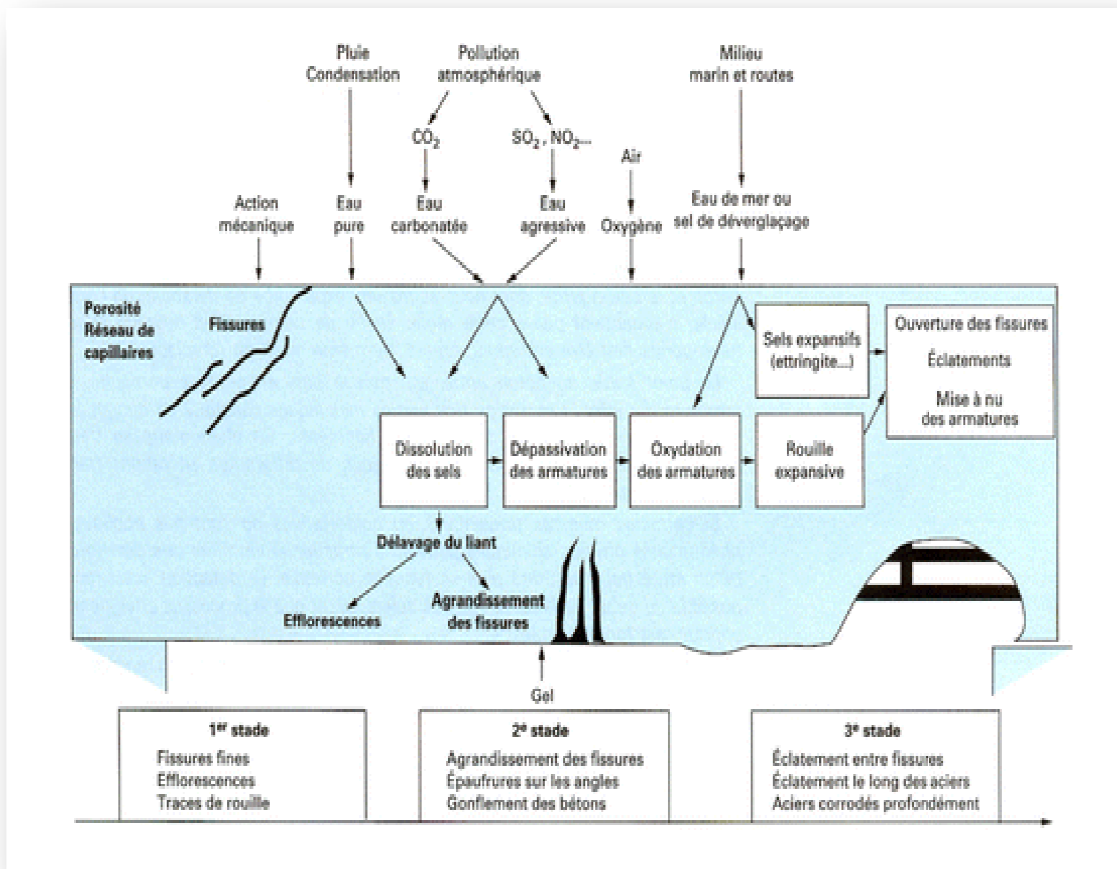


Figure 1 - Processus de corrosion (d’après M. Ducrot, Sté SIKA)

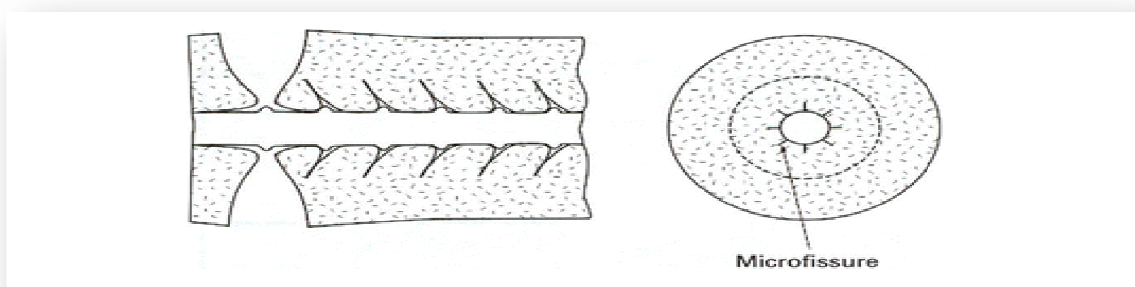


Figure 2 - Déformation du béton autour de l’acier, après formation de fissures internes (d’après G. Taché, CEBTP)

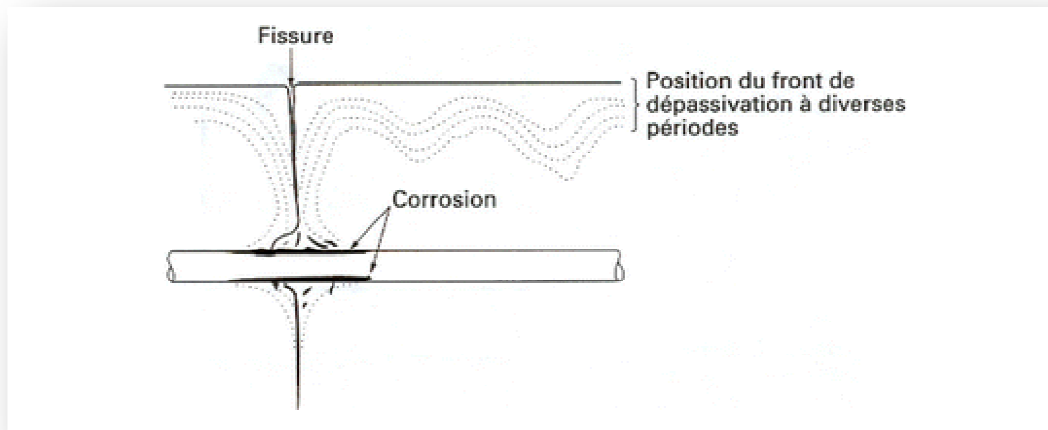


Figure 3 - Avancement du front de dépassivation en fonction du temps (d'après G. Taché, CEBTP)

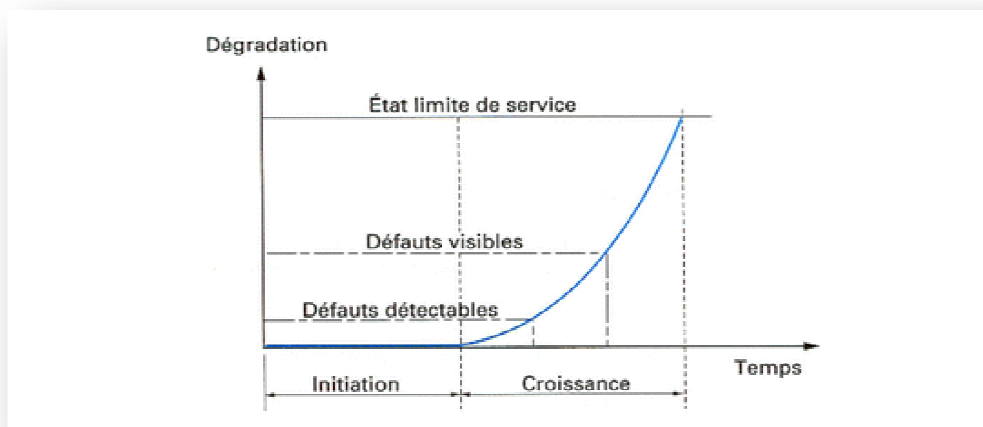


Figure 4 - Évolution de la dégradation d'une structure en béton armé (d'après G. Taché, CEBTP)

II.1.4 Conséquences de la corrosion :

La corrosion de l'acier provoque la réduction de la section de l'armature (partiellement, localement ou en totalité). De plus, la réaction chimique de formation de la rouille (mélange d'oxydes et d'hydroxyde de fer) s'effectue avec une expansion (le volume de l'acier devient 3 à 4 fois supérieur). Ce gonflement provoque dans le béton des contraintes d'expansion importantes, supérieures à la résistance à la cohésion du béton.

La manifestation visuelle qui en résulte se présente sous forme de fissures en surface qui s'amorcent à partir de l'acier (figure 5).

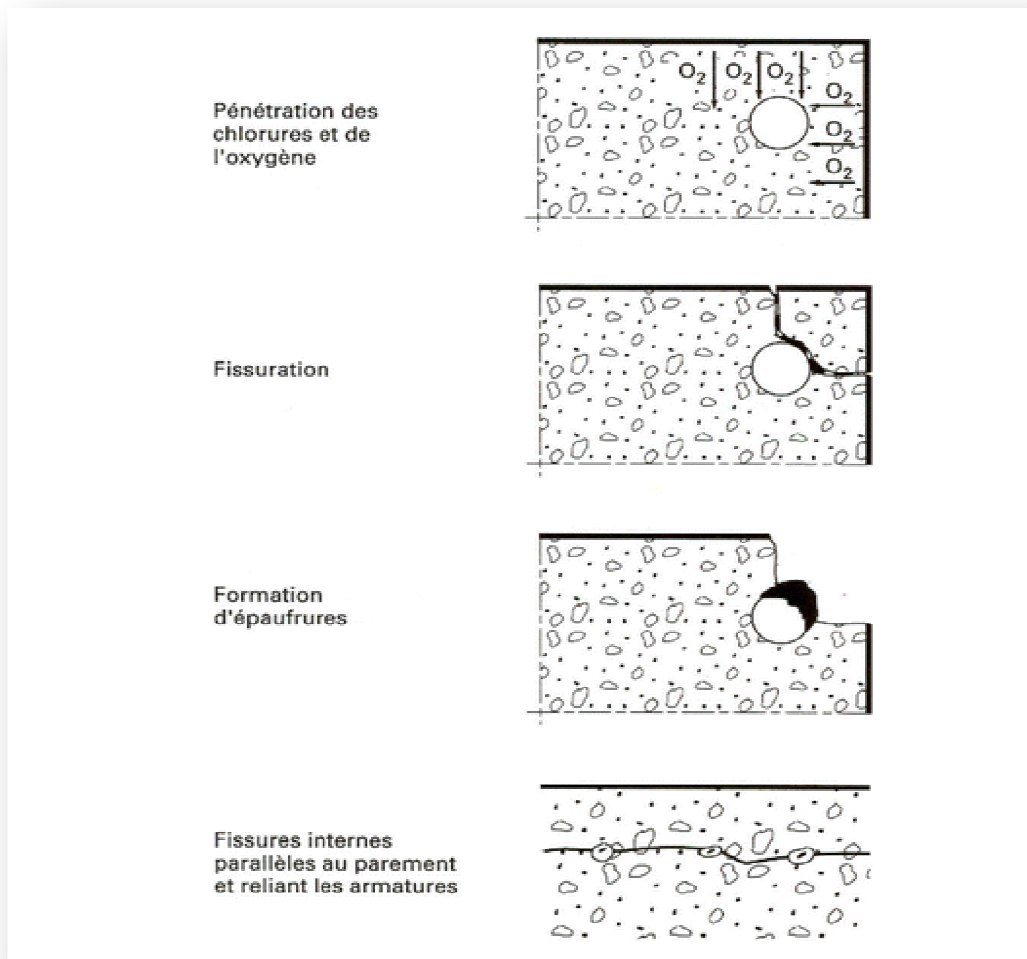


Figure 5 - Fissurations dues à la corrosion

Des fissures internes reliant les armatures peuvent aussi disloquer le béton. La décohesion peut présenter des pustules ou des plaques de béton. Les manifestations diffèrent selon l'épaisseur du béton, l'écartement et le diamètre des aciers. Il en résulte que l'élément en béton armé ne fonctionne plus, au point de vue de la résistance des matériaux, comme il avait été calculé primitivement (figure 6). À la limite, cet état de déséquilibre peut entraîner la ruine par l'effondrement de l'ouvrage.



Figure 6 - Corrosion de l'armature métallique d'un balcon. Sous l'effet de la corrosion des armatures, le béton armé de recouvrement s'est fissuré et a éclaté. Ces destructions mettent en cause la stabilité de ce balcon

II.1.5 Carbonatation

Les bétons exposés à l'atmosphère se carbonatent plus ou moins rapidement. Le dioxyde de carbone qui pénètre à la surface du béton réagit avec les constituants alcalins contenus dans la pâte du ciment, surtout le calcium.

Pendant le durcissement du béton, de la portlandite $\text{Ca}(\text{OH})_2$ se forme. Avec le temps, celle-ci associée au dioxyde de carbone crée du carbonate de calcium (CO_3Ca).

Cette carbonatation a pour conséquence une modification lente de la structure du matériau et un changement de son comportement.

La carbonatation génère deux propriétés antagonistes :

- elle est bénéfique en améliorant la résistance mécanique et la résistance aux eaux agressives ;
- elle est néfaste en réduisant la protection chimique des armatures.

II.1.5.1 Déroulement du phénomène

La chaux provenant de l'hydratation des silicates de calcium bi et tricalciques $\text{SiO}_2, 2\text{CaO}$ et $\text{SiO}_2, 3\text{CaO}$ se carbonate plus facilement (cas des ciments Portland) pour donner du carbonate de calcium, suivant la réaction : $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$

Chaque molécule de gaz absorbé (44 g) libère une molécule d'eau (18 g). Cette carbonatation s'effectue avec gain de masse. Elle progresse du parement vers l'intérieur et provoque une neutralisation progressive de l'alcalinité du ciment, d'autant plus rapidement que le mélange est plus poreux (figure 7).

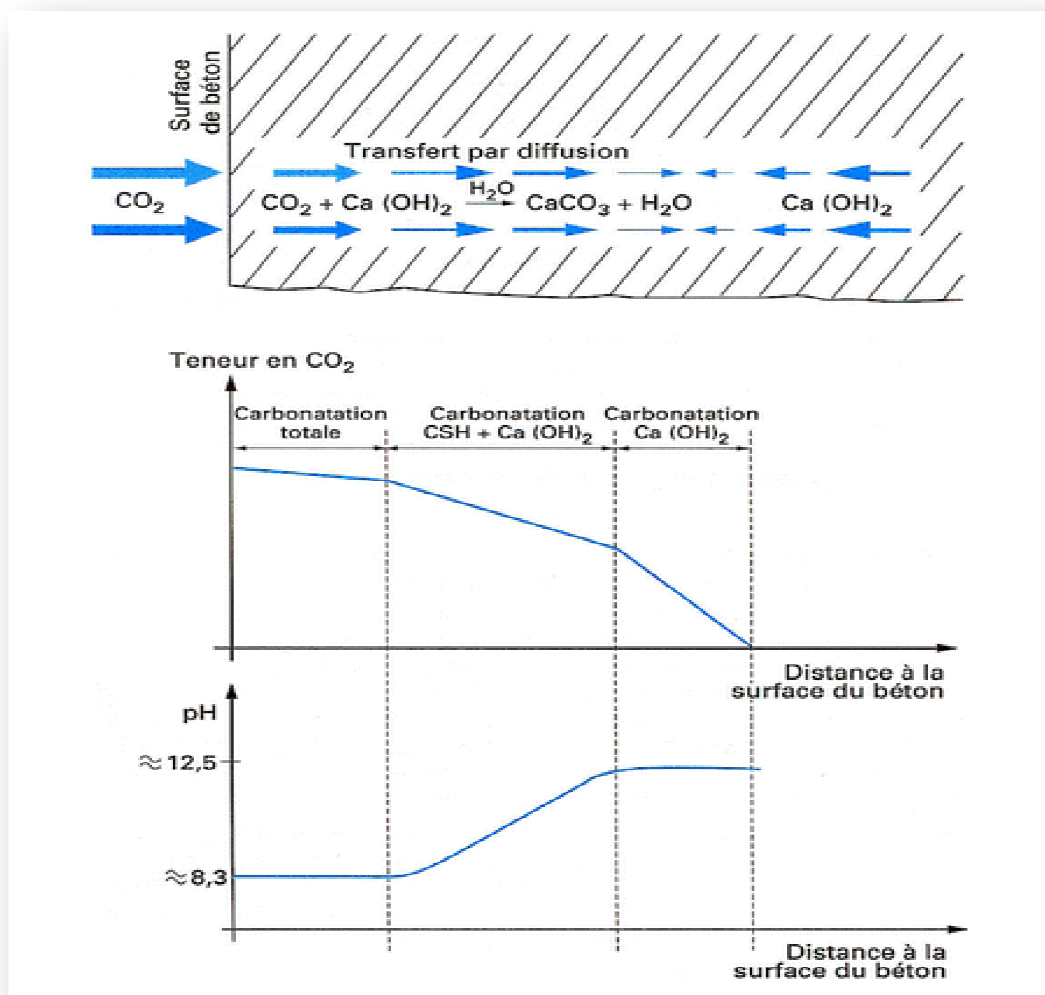


Figure 7 - Modèle simplifié de la carbonatation du béton (d'après)

Au départ, le milieu est basique (pH 12,6 pour une saturation en chaux), ensuite cette basicité diminue. Le pH passe à 10 (pour le $\text{CO}_3 \text{Ca}$) et devient inférieur à 10 pour un mélange de carbonate de calcium et de $\text{Ca}(\text{OH})_2$. C'est pour cette raison que la protection des armatures devient moins bonne lorsque la couverture en béton se carbonate, le carbonate de calcium n'est plus protecteur.

Par contre, physiquement, la carbonatation augmente l'imperméabilité grâce au colmatage de certains pores par le carbonate. Ainsi l'absorption capillaire est-elle réduite.

Bien que la carbonatation protège physiquement l'armature en réduisant la migration de l'humidité et de l'oxygène, cette transformation est néfaste au point de vue chimique car l'alcalinité du ciment est neutralisée.

II.1.5.2 Recherche de la profondeur de carbonatation

Afin d'évaluer le stade de vieillissement d'un béton en vue de sa réparation, il peut être intéressant de connaître jusqu'où, à un moment donné, la carbonatation a pénétré, c'est-à-dire la limite de protection existant encore par rapport aux emplacements des armatures. Comme beaucoup de paramètres interfèrent sur la vitesse de progression de la carbonatation (humidité relative, perméabilité du béton, température, etc.), seule une détermination expérimentale peut donner cette information importante. La corrosion ne peut s'initier que lorsque la couverture en béton est totalement carbonatée. La détermination de cette profondeur de carbonatation s'effectue sur une coupe fraîche de béton ou sur une saignée. Après dépoussiérage, on pulvérise un colorant sensible au pH (la phénolphthaléine). La coloration rose instantanée donne la profondeur carbonatée [3]. La partie non entièrement carbonatée se colore en rose violacé [4], la phénolphthaléine vire au rouge au contact de matériaux dont le pH est supérieur à 9,2 et demeure incolore pour les faibles valeurs de pH.

L'évolution de la carbonatation en fonction du temps dépend du coefficient de diffusivité du CO_2 , de sa concentration et des composés formés. Cependant, une autre théorie estime qu'il existe une profondeur limite de carbonatation, et que la loi de progression n'est pas linéaire mais se ralentit dans le temps (figure 8).

II.1.6 Dispositions préventives contre la corrosion

Les facteurs essentiels sont l'épaisseur et la qualité du béton d'enrobage de l'acier.

Les recommandations pour l'épaisseur du béton de recouvrement sont les suivantes.

Pour les ouvrages au voisinage de la mer (chlorures), l'épaisseur d'enrobage doit être au moins de 4 cm.

Pour les parements non coffrés susceptibles d'être soumis à des actions agressives, l'enrobage doit être au moins de 3 cm.

Pour les autres régions près des parements exposés aux intempéries, aux condensations ou au contact d'un liquide, il est nécessaire d'avoir au moins 2 cm.

Pour les parois situées dans des locaux couverts et clos, non exposées aux condensations, on impose au moins 1 cm.

La constitution de ce béton doit respecter les impératifs suivants :

- le dosage en ciment doit être suffisant pour réaliser un béton qui englobe parfaitement les granulats (au moins 350 à 400 kg/m³) ;
- L'incorporation de chlorure de calcium ou d'adjuvants pouvant en contenir est interdite pour le béton précontraint, les cuves de réservoirs, les planchers chauffants ;
- la nature du ciment dépend de sa compatibilité avec l'adjuvant. Les ciments suivants sont compatibles : CPA, CPAL, CPF et CLK. La teneur maximale en ions chlorés (Cl⁻) admissible pour les coulis, mortiers et bétons non armés est de 1 % de la masse de ciment. Pour les bétons armés, la limite est de 0,65 % de la masse du ciment.

Un exemple de corrosion due à l'insuffisance d'enrobage des armatures est donné figure 9.

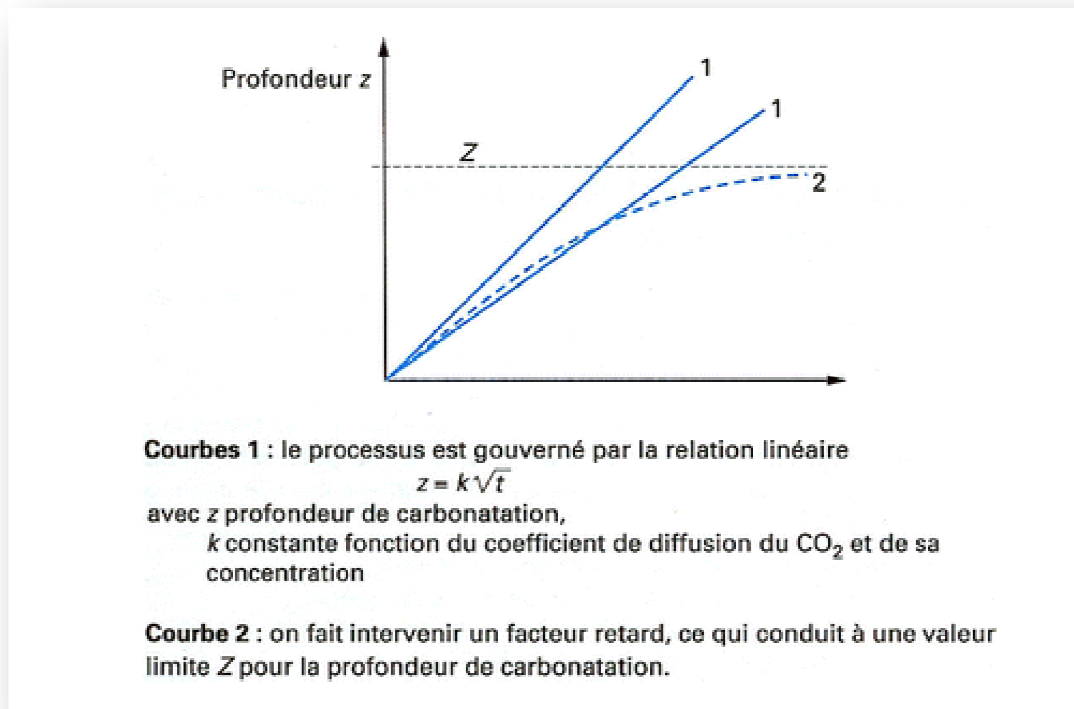


Figure 8 - Évolution de la carbonatation en fonction du temps



Figure 9 - Dégradation du béton due à l'insuffisance d'épaisseur

II.2. MESURE DE L'ÉPAISSEUR D'ENROBAGE DES ARMATURES

La localisation des armatures s'effectue assez couramment avec des appareils (profomètre, pachomètre) basés sur le principe des détecteurs de métaux. Ces appareils sont sensibles à l'influence exercée par un objet métallique sur les champs magnétiques qu'il crée. Mais des techniques plus élaborées ont fait l'objet de recherches ces dernières années. Un système d'imagerie micro-onde pour le contrôle non destructif des armatures métalliques a été conçu par le LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) et une équipe du CNRS/ESE (Centre National de la Recherche Scientifique / École Supérieure d'Électricité) [5]. Cette nouvelle technique permet, à partir de l'acquisition du champ électrique micro-onde réfléchi, de former des images en coupes (tomographie micro-onde) du milieu ausculté. Ainsi est-il possible d'obtenir des images avec une résolution inférieure au centimètre, dans les deux directions du plan de coupe, en ce qui concerne la localisation et l'évaluation du diamètre des aciers. La profondeur maximale d'investigation est d'environ 8 cm. La comparaison entre cette nouvelle méthode et les résultats obtenus avec le matériel léger disponible dans le commerce montre que des développements expérimentaux restent encore à accomplir pour être plus performants dans la détection classique : diamètre des aciers, épaisseur d'enrobage...

L'examen par gammagraphie est aussi une technique très performante mais relativement onéreuse et qui nécessite d'avoir l'accès aux deux parements opposés. Son principe est basé sur les variations d'absorption que subit un rayonnement ionisant (rayon γ) en fonction de la nature, de la densité du matériau et de l'épaisseur qu'il traverse.

Pour réaliser une image gammagraphique, il suffit de disposer un film sensible sur le parcours du rayonnement transmis. Après traitement, à l'aide d'un négatoscope, on obtient un cliché « gammagraphique » observable par transparence. Actuellement, cette méthode est la seule qui permette de détecter les aciers dans les poutres à plus de 10 cm des parements.

Pour certaines applications (épaisseurs supérieures à 30 cm), l'importance de la puissance de la source de radiation nécessaire limite l'utilisation de cette technique (à cause du poids dû aux épaisseurs de plomb servant de protection).

Les applications pour les ouvrages en béton précontraint, en béton armé, sont assez nombreuses pour justifier l'intérêt de cette technique. D'excellents résultats ont été obtenus pour la détection d'armatures sous les blocs de pierre constituant les voûtes du Panthéon à Paris. Aucune méthode non destructive n'était susceptible de déterminer les armatures utilisées pour armer les pierres (technique utilisée par Soufflot) dans le cas de voûtes dont la statique de l'assemblage n'était pas assurée par le montage habituel de la théorie des voûtes.

II.2.1 Détecteurs classiques

Le fonctionnement des profomètres est basé sur le principe des courants de Foucault. Un courant de fréquence connue parcourt la bobine de la sonde, créant un champ magnétique variable. Les aciers se trouvant dans l'action de ce champ sont parcourus par des courants de Foucault, qui émettent à leur tour un champ magnétique. Ce champ magnétique induit provoque une altération de la tension de la bobine de réception qui est fonction de l'épaisseur de la couverture du béton et du diamètre de l'armature. Le pachomètre comporte en plus un transformateur de référence qui permet une comparaison des forces électromotrices obtenues dans la bobine de réception avec celles du transformateur (figure 10).

- Limites de ces appareils

Il est nécessaire de connaître l'un des deux paramètres : diamètre de l'acier ou épaisseur de recouvrement. La détection n'est pas possible au-delà de 8 cm d'épaisseur de béton.

Dans le cas de réseaux d'armatures très denses, la lecture est quelquefois incertaine. L'enrobage est détecté avec une erreur de l'ordre de 4 mm, et le diamètre de l'acier est détecté avec une précision de 2 mm.

II.2.2 Exemples d'applications

Une recherche effectuée sur la sécurité des poteaux en béton armé, sur plusieurs chantiers, a montré que la détection de la position des armatures s'effectue jusqu'à une profondeur de 55 mm avec une précision de 5 mm et qu'un recouvrement inférieur à 2 cm n'a été observé que dans très peu de chantiers (moins de 3 %).

Une recherche récente effectuée sur plusieurs bâtiments et ouvrages, le long du littoral breton (42 sites), a montré que, dans certains cas, près de la moitié des armatures ont un enrobage inférieur à 2 cm (façades d'immeubles à Concarneau). Mais sur un autre site (pignon du bâtiment au Relecq Kerhuon), la majorité de l'épaisseur d'enrobage est de 3 à 4 cm (30 % des cas), à peine 1 % a un enrobage inférieur à 2 cm. Par contre, sur un pont dans le Finistère Nord construit en 1934, l'enrobage est excellent (30 à 40 % supérieur à 3 cm).

Les auteurs concluent que les désordres sont en relation avec l'épaisseur d'enrobage, la qualité du béton et de son vieillissement. La forte porosité de certains bétons (supérieure à 15%) due à la composition du béton [fort rapport E / C (eau/ciment), puissance de vibration trop faible) est un paramètre très aggravant.

D'après cette recherche, l'enrobage devrait être d'au moins 4 cm pour les ouvrages exposés directement aux embruns et de 5 cm pour ceux en contact avec l'eau de mer.

Il faut signaler que, pour les ouvrages de grande hauteur, la robotisation d'un châssis automoteur équipé de deux sondes magnétiques de type pachomètre et d'une caméra vidéo (pour détecter les fissures) par permet une inspection globale, facilitant le diagnostic lié à la corrosion. Un logiciel de traitement permet une analyse sur le site, à partir d'enregistrement vidéo. La vitesse de déplacement du chariot détecteur sur un plan vertical (le « lézard ») est de 10 cm/s à des hauteurs pouvant atteindre 50 m.

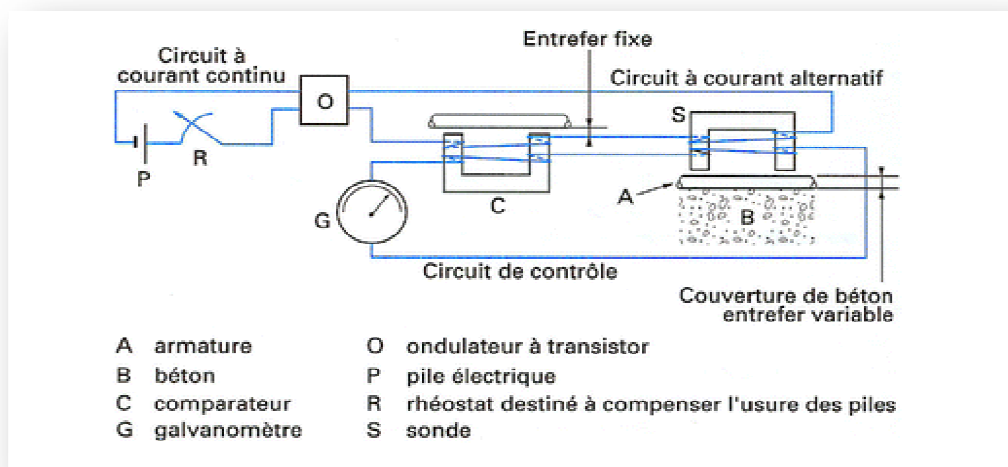


Figure 10 - Schéma de principe du pachomètre

II.2.3 Méthodes de détection de la corrosion des armatures

Avant que les phénomènes de corrosion des armatures soient apparents, il est important de détecter, par une mesure rapide non destructive, la présence d'un début d'oxydation des aciers. La mesure est basée sur le caractère électrochimique de la corrosion. En pratique, on mesure la tension de la pile formée entre l'acier enrobé de béton et une électrode de référence non polarisable placée sur le parement en béton (figure 11a). La valeur de cette tension est complexe car elle dépend de nombreux facteurs :

- les réactions anodiques (oxydation de l'acier) ;
- les réactions cathodiques (réduction de l'oxygène) ;
- les caractéristiques du béton d'enrobage (humidité, salinité, pH, oxygénation, nature du liant, compacité).

En effectuant plusieurs mesures en des points préalablement repérés, on trace les lignes équipotentiels à la surface du béton. On délimite ainsi les zones où le potentiel est le plus faible (zones anodiques, où l'acier est le siège du processus de corrosion).

Pour assurer un contact électrique, on dégage localement l'armature (figure 11). Le réseau d'armatures est ainsi relié aux bornes d'un millivoltmètre à haute impédance d'entrée. L'autre borne est connectée à une électrode de référence appliquée sur le parement du béton, aux nœuds de chaque maille.

L'analyse des résultats est basée sur le fait que, dans le béton armé à pH élevé, l'acier est passivé. Le potentiel d'électrodes des armatures est de -100 mV/ ECS. Au droit des zones corrodées, l'abaissement de potentiel peut varier de -200 à -900 mV/ ECS. Ce procédé doit être utilisé en complément d'autres modes d'investigation : vitesse du son, profondeur de carbonatation.

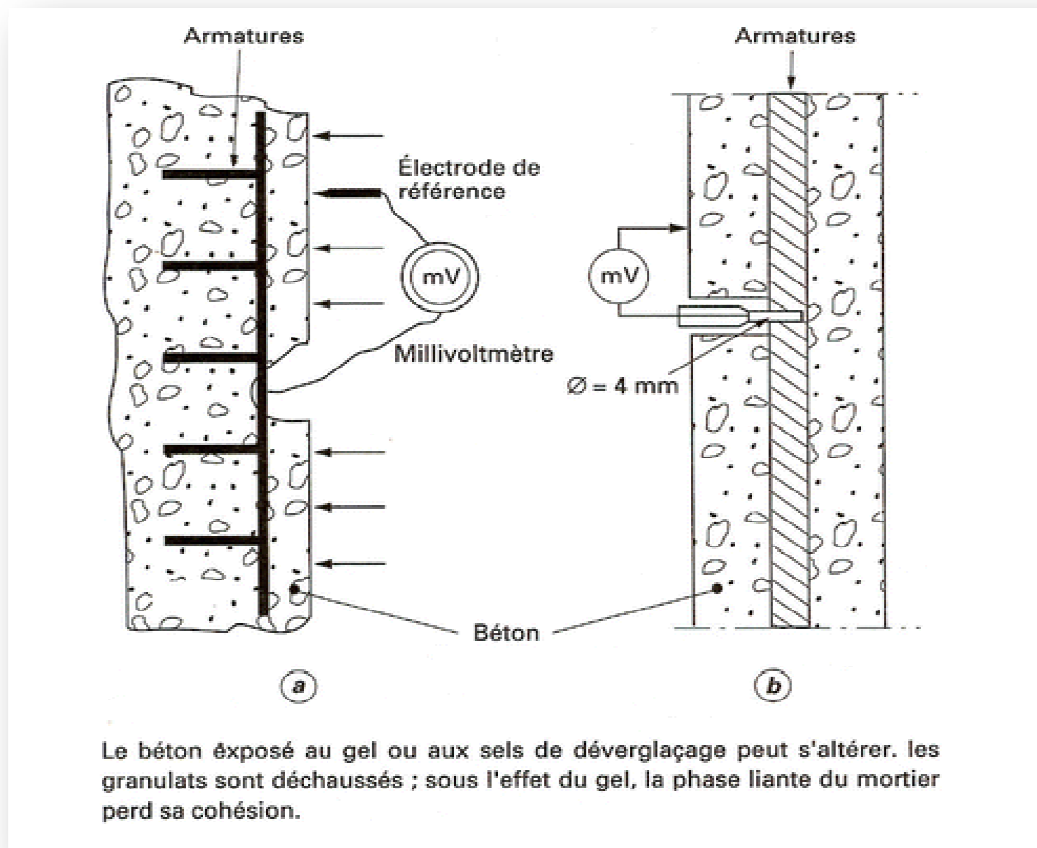


Figure 11 - Méthode de détection de la corrosion des armatures

II.3. FISSURATION

Il est important avant tout de souligner qu'il est impossible aujourd'hui d'éviter la fissuration du béton armé, que ce soit lors de la mise en œuvre, due par exemple au retrait de dessiccation ou sur le béton durci, dû au vieillissement du matériau.

L'un des désordres les plus fréquents des structures en béton est la fissuration.

II.3.1 Causes les plus fréquentes

Ces causes sont multiples, on peut les classer en trois grandes catégories :

- les causes propres inhérentes aux propriétés des matériaux : par exemple, le retrait dû à l'évaporation de l'eau de gâchage, le gonflement dû à la réaction exothermique du liant, la résistance mécanique de la cohésion du liant ;

- les causes directes externes, c'est-à-dire celles agissant directement sur les structures en béton : par exemple, les déformations excessives sous l'action des charges, les déformations sous l'action de la température ou sous l'action de l'humidité ;
- les causes externes indirectes, c'est-à-dire les répercussions sur certaines structures d'actions provenant d'autres éléments : par exemple, le tassement différentiel des fondations, certains cas de concentrations de contraintes, l'association à d'autres éléments qui se déforment excessivement (dilatation de toiture...), les vibrations, les trépidations soumettant certaines sections à une fatigue de déformations dépassant les limites élastiques du béton.

II.3.2 Définition et classification des fissures

Des enquêtes sur les formes de pathologie observées sur des maisons individuelles ont donné les résultats suivants :

- fissuration horizontale au niveau du dernier plancher ;
- fissuration oblique partant des angles de l'appui de fenêtre.

II.3.2.1 Caractéristiques géométriques

- Ouverture

L'ouverture est la largeur entre lèvres, elle peut être évaluée à l'œil nu et peut se mesurer avec précision à l'aide d'un fissuromètre.

- Tracé

Le tracé d'une fissure est le développé de la fissure visible sur toutes les surfaces de la structure.

- Fissure traversante

Une fissure est dite « traversante » lorsqu'elle est visible sur au moins deux faces de la structure.

- Fissure de surface

Une fissure est dite de surface quand elle ne traverse pas l'épaisseur de la structure. L'ouverture, dans ce cas, est maximale en surface et nulle au sein du matériau.

II.3.2.2 Classification des fissures

Il n'existe pas actuellement de normes classant les fissures suivant leur ouverture. On a coutume néanmoins de distinguer les fissures proprement dites du faïençage et des microfissures.

- Faïençage

C'est un réseau caractéristique d'ouvertures linéaires superficielles de très faible largeur qui n'intéresse, le plus souvent, que la couche superficielle du béton ou de l'enduit à base de liant hydraulique.

- Microfissure

C'est une fissure très fine au tracé plus ou moins régulier et le plus souvent discontinu et dont la largeur est inférieure à 0,2 mm. Elle peut évoluer jusqu'à former un réseau.

Fissure

C'est une ouverture linéaire au tracé plus ou moins régulier dont la largeur est d'au moins 0,2 mm.

II.3.2.3 Évolution de la largeur des fissures

L'activité d'une fissure se caractérise par la variation ou la stabilité de son ouverture dans le temps.

- Fissures passives ou mortes

Leur ouverture ne varie plus dans le temps, quelles que soient les conditions de température, d'hygrométrie ou de sollicitation de l'ouvrage.

Ce type de comportement des fissures est très rare, car les ouvrages subissent toujours plus ou moins de variations dimensionnelles sous l'effet de l'évolution des conditions thermiques (l'échauffement conduit à une expansion de la matière, donc à une diminution de la largeur des fissures et inversement).

- Fissures stabilisées

Leur ouverture varie dans le temps dans des limites connues. Souvent leur mouvement suit une évolution cyclique, liée aux variations thermohygro-métriques que subit l'ouvrage.

- Fissures actives ou évolutives

Ces fissures continuent à évoluer car les mouvements qui les ont fait naître ne sont pas stabilisés (par exemple, tassements différentiels de fondation).

II.3.2.4 Mesures de l'évolution des fissures

Avant d'entreprendre le traitement des fissures, il est indispensable, pour choisir la technique appropriée, de déterminer si elles sont mortes, stabilisées ou actives.

La connaissance de l'amplitude d'ouverture et de la période des battements extrêmes correspondants est une information nécessaire en pratique avant l'exécution d'une réparation. Pour cela, il faut appareiller les fissures et suivre leur évolution pendant une durée d'au moins un an. Parmi les dispositifs les plus performants, deux systèmes sont à signaler (cf. article Extensométrie [R 1 850] dans le traité Mesures et Contrôle) :

- l'extensomètre acoustique par cordes vibrantes, qui permet un suivi sans avoir un accès à proximité de la fissure. Il suffit, après la mise en place des cordes, de descendre les fils électriques qui permettent l'excitation des cordes à la base de l'élément à ausculter ;
- les extensomètres mécaniques, qui nécessitent l'accès aux bases de mesures fixées de part et d'autre de la fissure étudiée.

Les anciens dispositifs témoins fixés sur la fissure (en plâtre ou en verre) donnent juste une indication, par tout ou rien, à un moment donné, montrant qu'il y a eu un mouvement dépassant la limite d'extension du verre ou du plâtre utilisé pour la réalisation du témoin. Cette information est intéressante, mais insuffisante pour suivre une évolution précise des fissures.

II.3.3 Techniques de réparation

Quatre procédés permettent de traiter les fissures.

II.3.3.1 Pontage et protection localisés

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.

II.3.3.2 Calfeutrement

C'est un colmatage avec des produits souples en profondeur pour assurer une étanchéité des fissures à l'eau ou à l'air, ou pour éviter des pénétrations de matières solides risquant de gêner le mouvement de la fissure ou du joint [en bâtiment le SNJF (Syndicat National des Joints et Façades) a établi des recommandations de dimensionnement pour les joints de façades, cf. article Calfeutrement des joints dans le bâtiment [C 3 660] du présent traité].

II.3.3.3 Injection

Il s'agit de faire pénétrer dans les fissures un produit susceptible de créer une liaison mécanique et/ou une étanchéité entre les parties disjointes.

II.3.3.4 Traitement généralisé

Ce traitement assure une ou plusieurs des fonctions suivantes :

- esthétique ;
- imperméabilisation ;
- étanchéité.

II.3.4 Produits de réparation

Il est intéressant, pour traiter d'une façon complète ces quatre procédés de réparation, de se référer aux sources d'information suivantes :

- fascicules du STRRES (Syndicat National des Entrepreneurs de Travaux de Réparation et de Renforcement des Structures) ;
- guide pour le choix et l'application des produits de réparation des ouvrages en béton ;
- recommandations d'un fabricant et formulateur de résine (SIKA).

II.3.4.1 Prescriptions du STRRES

II.3.4.1.1 Pontage et protection localisée

- **Produits à base de liants hydrauliques**

Il s'agit de mortiers à base de ciment dont les propriétés sont fortement modifiées par l'ajout de résine de synthèse qui en abaisse le module d'élasticité. Leur emploi est exclusivement limité au faïençage et aux microfissures.

- **Produits à base de liants organiques**

- **Liants**

Ils sont utilisés seuls ou pour saturer les armatures, ou pour le collage de feuilles.

Les produits de base sont les suivants :

- bitumes souples sans solvant ;
- acryliques en émulsion aqueuse ou sans solvant ;
- époxydes assouplis sans solvant ;
- polyuréthanes sans solvant.

- **Armatures**

Ce sont des textiles tissés ou non, de diverses natures et de divers grammages qui sont noyés dans le liant compatible, tels que : toile ou mats de verre, de polyester, etc.

- **Feuilles**

Elles sont collées au support, généralement de part et d'autre de la fissure ; elles peuvent être en métal (aluminium) ou en élastomère armé ou non (Hypalon, Néoprène, PVC...) et collées avec des colles époxydiques.

II.3.4.1.2 Calfeutrement

Le calfeutrement nécessite l'élargissement des lèvres par une ouverture en V qui peut être pratiquée manuellement ou avec une meuleuse électrique ou pneumatique.

Le mastic de calfeutrement est mis en œuvre avec un pistolet manuel ou pneumatique.

Les produits utilisés peuvent être à base de liants hydrauliques ou de liants organiques.

- **Produits à base de liants hydrauliques. Mortiers de ciment**

Les composants ciment, eau, granulats, adjuvants doivent être choisis en accord avec les normes existantes.

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).

- **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 monocomposants ;
- polyuréthanes, le plus souvent monocomposants ;
- polysulfures monocomposants ou bicomposants ;
- acryliques monocomposants, en émulsion aqueuse ou en solution dans un solvant organique ;

- butyls monocomposants ;
- époxydes bicomposants ;
- polyesters bicomposants.

II.3.4.1.3 Injection

Ce traitement a pour but de reconstituer l'intégrité de la cohésion mécanique de la structure.

La possibilité d'injection dans les fissures les plus fines limite ce traitement à des ouvertures supérieures à 0,1 mm. Le choix des produits est fonction de l'ouverture des fissures.

- **Fissures d'ouverture supérieure à 10 mm**

Ces traitements s'effectuent avec des mortiers à base de ciment, complétés par un adjuvant.

Les dosages en ciment sont habituellement supérieurs à 400 kg/m³ avec un rapport C / E compris entre 1 et 2, selon le degré de plasticité souhaité par la technique d'injection.

Les dosages en sable sont variables et compris entre 0,5 et 4 fois le poids du ciment.

Les caractéristiques physico-chimiques des mortiers sont améliorées par des fluidifiants, des plastifiants, des hydrofuges, des minéralisateurs agissant sur les constituants ou sur le support.

Les ajouts employés doivent être adaptés à la nature du liant. Leur rôle peut être de réduire ou de compenser le retrait. Il est aussi possible d'utiliser des mortiers prêts à l'emploi pour compenser le retrait. Les parties apparentes de la fissure doivent être calfeutrées par des coffrages légers ou par bourrage superficiel d'un mortier plus sec.

L'injection est souvent réalisée par gravité à l'aide d'injecteurs placés le long de la fissure.

- **Fissures d'ouverture comprise entre 1 et 10 mm**

On utilise surtout les coulis de ciment et les résines chargées.

- **Les coulis de ciment peuvent être :**

- soit purs ;
- soit additionnés de charges très fines (fillers, poudres, farines, argiles, bentonites, etc.);
- soit en compléments d'émulsions ;
- soit additionnés de minéralisateurs.

Ces coulis, suivant leur composition et leur fluidité, peuvent présenter des risques de décantation (ressuage). Pour remédier à cet inconvénient, des ajouts de fines (bentonites, fumées de silice) améliorent le pouvoir de rétention d'eau.

Les coulis à base de liants contiennent, comparativement aux mortiers, plus de ciment et moins de matières inertes par unité de volume.

- Les **résines chargées** sont utilisées essentiellement dans les fissures d'ouverture inférieure à 3 mm, la nature de ces résines doit être adaptée en fonction des largeurs à injecter.

- **Fissures d'ouverture comprise entre 0,5 et 3 mm**

On utilise pour ces traitements les produits suivants (cf. article Utilisation in situ des polymères liquides dans le génie civil [C 5 435] de ce traité) :

- époxydes (traitement rigide ou semi-rigide en milieu sec ou humide) ;
- polyuréthanes (traitement semi-rigide ou souple à injecter sur un support sec) ;
- acryliques (traitement souple pour l'étanchéité en présence d'eau) ;
- coulis de ciment additionnés de minéralisateurs (traitement rigide en milieu sec ou humide).
- Les époxydes sont des résines thermodurcissables à deux composants : une base ou résine et un durcisseur. Ils doivent être sans solvant pour éviter retrait et contraction volumiques. Après mélange des deux composants, la réaction de polymérisation se produit, conférant au mélange des caractéristiques mécaniques élevées dont l'adhérence au support est généralement bonne.
- Les résines polyuréthanes élastiques sont thermodurcissables à deux composants et doivent être sans solvant. Après mélange des deux composants, la réaction provoque

la prise et l'obtention d'un matériau élastique. Certaines compositions comprennent trois composants : résines, catalyseurs, accélérateur.

- Les acryliques sont de la famille des émulsions polymères thermoplastiques ; ils sont à base de résines acryliques. Leur utilisation est surtout préconisée pour l'obtention d'injections souples en présence d'humidité.
- Les coulis additionnés de minéralisateurs conviennent pour des fissures inertes. Leur rôle est l'étanchement et la reconstitution des caractéristiques mécaniques. Ces coulis sont composés de mélange de ciment, de sable (éventuellement), d'eau et d'un minéralisateur en poudre (silicate).

- **Fissures d'ouverture inférieure à 0,5 mm**

Pour ces fissures très fines, on utilise surtout les époxydes, les acryliques et les minéralisateurs.

- Les époxydes. Dans la mesure où la viscosité dynamique du mélange à la température d'utilisation est inférieure à $0,5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ et même à $0,05 \text{ Pa} \cdot \text{s}$, l'injection est réalisable dans les fissures les plus fines ($< 0,2 \text{ mm}$).
- Les acryliques sont utilisés uniquement pour réaliser des injections souples en présence d'eau.
- Les minéralisateurs sont utilisés en solution non chargée. Certaines résines du type polyesters, phénoplastes, aminoplastiques ou certains mélanges (époxyde-polyuréthane-brai) peuvent être éventuellement utilisés pour leurs propriétés particulières de viscosité ou de résistance chimique. Mais une vérification préalable d'aptitude est nécessaire pour déterminer le retrait, l'adhérence et la compatibilité chimique.

II.3.4.2 Recommandations du guide pour le choix et l'application des produits de réparation des ouvrages en béton (LCPC-SETRA)

Dans ce document sont définies les différentes catégories de produits pouvant être utilisés pour la réparation des ouvrages en béton :

- polymères thermoplastiques (acryliques, acrylamides, styrènes-acryliques, acétate de polyamyle, styrène-butadiène) ;
- polymères thermodurcissables (époxydes, polyuréthanes, polyesters) qui se présentent en général sous forme de deux composants à mélanger au moment de l'emploi ;
- liants hydrauliques classiques et liants spéciaux ;
- mélanges de liants hydrauliques et de polymères.

En ce qui concerne la réparation des fissures, une distinction est faite entre les fissures actives profondes et les fissures passives suivant la largeur de leur ouverture.

- **Fissures actives profondes**

(Si la résistance mécanique n'est pas en cause).

- **Colmatage par injection :**

- liant époxyde non plastifié ;
- liant polyuréthane souple ;
- liant acrylamide.

- **Colmatage superficiel :**

- mastic époxyde souple, après imprégnation avec des polymères non chargés ;
- mastics de polyuréthane souples en milieu sec ;
- mastics de silicone sur couche d'accrochage en liant époxyde.

- **Fissures passives**
 - **Ouverture inférieure à 0,2 mm**

Colmatage par injection de :

- polyester à faible retrait ou époxyde très fluide sans solvant ;
- liant acrylamide.
- **Ouverture comprise entre 0,2 et 0,6 mm**

Colmatage par injection de :

- liant époxyde fluide sans solvant ;
- liant acrylamide.
- **Ouverture comprise entre 0,6 et 3 mm**

Colmatage par injection de :

- liant époxyde pur ou chargé sans solvant ;
- liant acrylamide.
- **Ouverture supérieure ou égale à 3 mm**

Colmatage par injection de :

- liant époxyde pur ou chargé sans solvant ;
- blocage des éléments de la structure pour transmettre les contraintes de compression avec un coulis de ciment Portland ;
- coulis de ciment à retrait compensé ;
- coulis de ciment Portland additionné d'époxyde.

II.3.4.3 Recommandations préconisées par un formulateur et fabricant de résine (SIKA)

Avant d'entreprendre un traitement, on doit analyser les causes de la fissuration.

Cette société conseille de distinguer les fissures actives vivantes et les fissures stabilisées ou mortes.

- **Fissures actives**

Elles doivent être traitées comme un joint de dilatation :

- on ouvre la fissure en V ou en U, de préférence à la scie à béton ;
- on insère un fond de joint, par exemple du polyéthylène ;
- on applique un mastic élastomère, par exemple un polyuréthane à un composant.

De cette façon, la fissure est protégée contre les infiltrations d'humidité et d'air.

Si la fissure active est dans une paroi soumise à une pression d'eau (cas d'un réservoir ou d'un cuvelage), on injectera en profondeur une résine formant un gel élastique.

- **Fissures stabilisées**

Elles sont traitées par injection profonde avec des résines époxydes : on rétablit ainsi la continuité du béton permettant la transmission des contraintes mécaniques.

Après avoir mis en place les injecteurs le long de la fissure préalablement obturée superficiellement, on fait pénétrer la résine en partie basse de façon à laisser l'air s'échapper en partie haute. De proche en proche on injecte la totalité de la fissure.

La résine injectée doit avoir une faible viscosité, c'est-à-dire être très fluide et avoir un bon pouvoir mouillant. Sa durée pratique d'utilisation (pot life) doit être adaptée aux conditions d'emploi.

II.3.4.4 Recherches sur l'injection des coulis de ciment effectuées au LCPC

Une recherche effectuée sur l'injectabilité des coulis de ciment de différentes dimensions de grains a montré que cette possibilité présente l'avantage d'être d'un coût plus faible que les résines.

Une des difficultés de l'injection des coulis à base de liants hydrauliques est leur essorage dès que la largeur de la fissure est inférieure à 3 mm.

La comparaison de la progression de l'injection a montré qu'un mélange (liant 50 %, fines calcaires 50 %) donne un coulis d'injectabilité identique à celles des polymères. La suite des études a montré que la dimension maximale des grains de ciment était le facteur déterminant de l'aptitude à l'injectabilité.

Des essais en semi-grandeur permettent d'établir que l'on ne peut injecter un coulis que dans un interstice de 1,5 à 2,3 fois la taille des grains de ciment.

De très bons résultats ont été obtenus en associant du ciment CPA HPR, de la fumée de silice, du fluidifiant pour réaliser un coulis hydraulique à rapport E / C moins élevé, injectable dans des fissures très fines.

II.4. ALTÉRATION DES SURFACES EN BÉTON SOUS L'ACTION DU VENT

Des particules de matières diverses en suspension dans l'air sont agitées et transportées par le vent. Lorsque ces particules heurtent une paroi, l'impact s'effectue avec une certaine énergie cinétique, qui est fonction de la masse et de la vitesse de déplacement (au carré) des grains. Selon la nature de la paroi, son élasticité, sa rugosité, les particules peuvent adhérer ou rebondir. Ces points d'impact, constamment renouvelés, peuvent provoquer une microdestruction locale. La vitesse du vent joue un rôle important qui dépend de nombreux facteurs : l'altitude, les turbulences ; les écrans créent des obstacles. Suivant l'orientation des parois aux vents dominants, l'érosion sera plus ou moins importante.

Les éléments constituant les polluants atmosphériques se divisent en deux catégories : les particules solides ou liquides.

Les plus abrasives sont les débris de roches dures (quartz), les oxydes de fer, le ciment, le charbon, etc. Selon leur diamètre, la vitesse des particules portées par l'air croît jusqu'à une valeur limite (les forces de frottement freinent la vitesse en fonction de la forme des grains).

D'autres facteurs compliquent ce phénomène, comme par exemple les agglomérats de particules qui sont plus nombreux que les particules isolées.

Dans les zones de vents brisants, les particules de sable et de silt érodent les surfaces sur lesquelles elles sont violemment projetées. Comme ce phénomène est souvent cyclique, année après année, des milliers de fois, il finit par user et creuser les matériaux les plus durs. Les alvéoles, les arêtes des joints, la laitance superficielle du béton, dans les zones balayées par les vents brisants, sont très sensibles à l'érosion.

Pour le béton destiné à rester apparent, la précaution principale consiste à réaliser un béton de haute qualité mécanique. La surface doit être exempte de bulles et ne pas présenter des cavités anormales. Pour obtenir ce résultat la composition granulométrique du béton doit être bien étudiée. Le dosage en ciment doit être d'au moins 400 kg/m³ et sa qualité doit permettre des hautes performances mécaniques. Le liant doit parfaitement recouvrir les granulats pour assurer leur parfaite adhérence. La mise en œuvre du béton doit être réalisée par un serrage puissant en évitant un excès d'eau. La peau du béton doit être composée de grains fins de sable dur. Un mortier de forte compacité doit être en quantité suffisante pour remplir tous les vides entre les gros granulats et la paroi du moule.

II.5. RÉPARATION EXTERNE DU BÉTON : ÉCLATEMENTS, DESTRUCTIONS ACCIDENTELLES

L'exécution d'une réparation est dans tous les cas une opération délicate qui constitue souvent un cas particulier. Il est nécessaire au préalable de vérifier :

- que le procédé utilisé répond au problème posé et permet d'atteindre l'objectif que l'on s'est fixé ;
- que l'équipe chargée de l'exécution est en mesure, avec le matériel mis à sa disposition, d'obtenir le résultat escompté.

Pour les opérations de réfection, il convient de distinguer la reconstitution partielle du renforcement qui peut avoir pour objet de remédier à des insuffisances pour résister à des sollicitations.

II.5.1 Réparation externe

Il s'agit d'une reconstitution partielle (d'une épaufrure, d'un éclat), d'un traitement superficiel tel qu'un colmatage, ou d'une étanchéité à l'aide d'un matériau d'apport.

La technique la plus utilisée est le ragréage, il peut intéresser des épaisseurs de béton ou de mortier très variables. Les matériaux utilisés sont :

- du mortier ou béton avec des ciments classiques (conformes aux normes) ou spéciaux;
- du béton projeté ;
- du mortier ou béton aux polymères (béton époxyde par exemple).

Depuis ces dernières années, une importante société française spécialisée dans les adjuvants pour le béton a mis au point un produit de réparation à hautes performances, à base de fumée de silice.

Ce mortier prêt à l'emploi comporte l'addition d'adjuvants améliorant les propriétés pour la réparation et la protection du béton : l'adhérence est supérieure à la cohésion du béton support, la résistance mécanique est très élevée, son coefficient de dilatation thermique est identique à celui du béton.

Par ailleurs la protection des armatures est garantie.

II.5.2 État de surface du béton

La mise en œuvre des produits nécessite un soin très important. Rien ne sert de choisir le produit le plus performant si l'application ne respecte pas les préconisations d'emploi.

Toutes les réparations nécessitent des qualités d'adhérence élevées sur le support en béton dégradé. Cette exigence garantit la longévité de la réparation.

Dans tous les cas de réfection rencontrés depuis 40 ans, il ressort que le temps à passer et le soin à apporter pour la préparation de la surface du béton sont les phases les plus importantes.

Le béton ou le mortier doit être propre, sain, exempt de toute laitance, poussière, fragments ou souillure quelconque. Il est indispensable d'enlever le béton dégradé (toutes les particules sans cohésion) jusqu'à mise à nu du béton sain. Plusieurs procédés sont utilisables : le sablage, le jet d'eau sous forte pression ou le grenailage à sec, le rabotage, le repiquage au marteau manuel ou pneumatique et le découpage thermique au chalumeau, (mais cette technique, très intéressante pour son rendement, doit être réalisée avec précaution pour éviter l'éclatement et la fissuration des granulats).

Le bouchardage est à déconseiller sur des éléments en béton armé ou précontraint du fait d'une trop forte énergie des chocs risquant de microfissurer le béton.

II.5.3 Adhérence du produit rapporté au béton

Lorsqu'il s'agit d'un béton à base de liant polymère, le problème de l'adhérence au béton hydraulique est lié à l'affinité du polymère vis-à-vis du ciment et à la compatibilité du produit avec l'état d'humidité du support. Ainsi les thermoplastiques utilisés en faible épaisseur nécessitent, pour adhérer, une humidification préalable du support. Dans la famille des thermodurcissables, les polyuréthanes sont incompatibles avec toute trace d'eau. Aussi, dans ce cas, faut-il une couche d'accrochage. Si le support peut être parfaitement sec, elle peut être en polyuréthane pur, mais si le séchage n'est pas assuré il est recommandé d'appliquer une couche d'accrochage en liant époxyde judicieusement formulé.

Les liants époxydes adhèrent, selon leur formulation, sur des bétons secs ou humides. Il est conseillé d'enduire au préalable la surface de contact d'une couche de système époxyde non chargée, en particulier si le support est très poreux.

D'une façon générale, pour éviter toute pénétration du polymère dans les capillaires du béton hydraulique, il est toujours conseillé d'enduire d'une couche de primaire pour améliorer l'accrochage du mortier ou du béton rapporté. On évite ainsi le désenrobage des granulats.

Dans le cas d'une réparation à base de liants hydrauliques, l'adhérence est faible et pratiquement nulle sur support sec. Si les ragréages sont d'une épaisseur inférieure à 2 cm et faiblement sollicités, on peut se contenter, après un brossage énergétique de l'ancien support, d'une humidification et de l'application d'un gobetis d'accrochage (très riche en ciment).

Cela peut être suffisant pour les ragréages à base de ciment associé aux polymères thermoplastiques, mais il est conseillé d'appliquer d'abord sur l'ancien béton une couche d'accrochage en liant époxyde formulée pour être compatible avec l'eau.

Une seule exception à cette règle, la couche primaire en liant époxyde est déconseillée pour le béton projeté sous pression car elle risque d'entraîner un glissement du béton projeté. On se contente généralement d'humidifier soigneusement la surface avant toute projection. Mais si, après la purge du béton dégradé, le support reste sans cohésion ou friable, une couche de primaire en liant époxyde est utile pour consolider par imprégnation le béton ancien.

La température de mise en œuvre conditionne la vitesse de durcissement du produit. Il est nécessaire, avant toute mise en œuvre, d'évaluer les durées nécessaires pour la préparation du mélange et son application sur la surface à traiter.

De plus, selon la température du chantier et de l'élément à traiter, il faut, au-delà de 25°C, prendre en compte la durée pratique d'utilisation (DPU). Par temps froid, il peut être nécessaire de chauffer le support à traiter ou d'ajouter, le cas échéant, un accélérateur, mais avec précaution. On a aussi intérêt à maintenir le produit à des températures voisines de 20 à 25°C. Il faut garder à l'esprit qu'un produit appliqué en couche mince sur un support prend très rapidement la température du support qui a une plus forte inertie thermique. Le durcissement et la polymérisation du mélange s'effectuent quand même à la température ambiante.

II.6. NETTOYAGE DU BÉTON

Un certain nombre de précautions sont indispensables avant de définir la technique de nettoyage. Il faut procéder à un examen minutieux de reconnaissance du support et s'informer sur :

- la nature du béton à traiter : 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.

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 en béton, 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 (certaines, non applicables sur les pierres, peuvent être conseillées sur le béton ayant plus de cohésion que les pierres tendres).

II.6.1 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 plastiques épais (RPE). 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. La pression est en général de 8 MPa. Le lavage à la vapeur réduit la consommation d'eau. Ce type de nettoyage ne permet pas d'éliminer les salissures incrustées.

II.6.2 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. Le nettoyage régulier du parement n'est pas facile à obtenir, et des nuisances importantes pour l'environnement sont à craindre (poussières, bruit...).

II.6.3 Sablage hydropneumatique

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 béton 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.

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.

II.6.4 Projection basse pression de micro fines de verrerie

Cette technique a été mise au point spécialement pour le béton. Elle est très efficace et plus douce que le sablage.

Il s'agit d'un procédé qui a été breveté par Thomann-Hanry, presque exclusivement exploité par ses inventeurs. La technique consiste à projeter à sec, sous pression, une poudre très fine réalisée souvent à partir de grain de verrerie. Suivant son degré de finesse le grain porte le nom de fine, microfine ou superfine. Le choix de la dimension du grain est fonction de la dureté, de la cohésion du parement, et de la nature et de l'adhérence des salissures. À l'origine de l'application de cette technique, les opérateurs revêtus de scaphandres travaillaient dans une nacelle équipée d'aspirateur. Cette nacelle était appliquée contre la façade, à l'aide d'une grue, montée sur un camion. Cet équipement présente de nombreux avantages : l'accès est possible jusqu'à une trentaine de mètres sans échafaudage, la rapidité d'intervention permet en 2 ou 3 jours de traiter la façade d'un immeuble courant.

Cependant l'intérêt global de cette méthode n'est pas toujours vérifié, en particulier si d'autres interventions sont nécessaires pour compléter le ravalement : réfection de certaines parties, travaux de peinture (qui nécessitent souvent un échafaudage de pieds).

II.6.5 Procédés chimiques

L'utilisation des produits chimiques est moins dangereuse pour les façades en béton que pour les façades en pierre calcaire ; toutefois il convient de respecter certaines limites.

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. 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 :

- 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 ne doit pas être modifiée ;
- le vieillissement de la couche superficielle du béton 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, de préférence en faible concentration. 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.

II.6.6 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.

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.

II.6.7 Taches sur le béton

Les taches dues à l'oxyde de fer disparaissent après l'application d'une solution d'acide oxalique (à 100 g/L d'eau), suivie d'un brossage et d'un rinçage. On peut aussi appliquer une pâte composée d'un mélange de blanc d'Espagne, de citrate de sodium, d'eau (6 parties en volume) et de glycérine (6 parties), puis brosser après séchage et terminer par un rinçage.

Les taches ayant le cuivre comme origine peuvent disparaître après application d'un mélange composé (en masse) de 2 parties de chlorure d'ammonium, 8 parties de talc, 3 parties d'ammoniaque.

Les taches provenant de l'aluminium peuvent être traitées avec une solution d'acide chlorhydrique à 10 %.

Les taches provenant d'huiles animales ou végétales (par exemple huile de lin) peuvent disparaître après application d'une pâte composée d'une partie de phosphate de sodium, 1 partie de perborate de sodium, 3 parties de poudre absorbante (talc, chaux ou blanc d'Espagne) mélangées dans une solution savonneuse. Il est déconseillé d'utiliser des solvants seuls, qui favoriseraient l'étalement et la pénétration de la tache.

Pour les huiles minérales, il est conseillé d'utiliser une pâte composée de benzène mélangée à une poudre absorbante.

Les taches provenant des huiles de vidange des véhicules sont parmi les plus difficiles à enlever car elles contiennent des impuretés métalliques très finement divisées ainsi que des imbrûlés.

Les taches de graisse peuvent être nettoyées avec une solution détergente ou une solution de phosphate trisodique.

Les taches de bitume peuvent être traitées avec un mélange de benzène et de poudre absorbante, mais sont généralement difficiles à enlever.

Les taches de peinture disparaissent après l'application d'un solvant (trichloréthylène) ou de lessives alcalines.

Les taches dues au développement de la végétation, mousse, algues, disparaissent après brossage énergique à l'eau de Javel.

Les taches brunes provenant en général de matières humiques contenues dans les granulats s'enlèvent à l'aide de soude ou de lessives alcalines.

II.7. TRAITEMENT DE LA SURFACE DU BÉTON

À la différence des matériaux compacts et non poreux comme la céramique, le granit et le verre, les parements en béton perdent à chaque lavage un peu de leur laitance superficielle, ce qui les rend plus sensibles et plus fragiles en surface.

Il est donc nécessaire de les protéger contre les risques de dégradations provoquées par l'abrasion induite par le transit des poussières dures dans les microfissures, contre les actions cycliques du gel et du dégel et aussi contre l'accroissement de la perméabilité du béton (qui favoriserait la migration de l'humidité, facteur aggravant les risques de corrosion des armatures).

Actuellement les meilleures solutions de protection consistent à réaliser les deux traitements suivants : durcissement et imperméabilisation.

II.7.1 Traitements durcisseurs

Ils provoquent la transformation des carbonates de calcium tendres en fluorures de calcium plus durs et indécomposables. L'opération s'effectue en pulvérisant à refus une solution de fluosilicate de magnésium sur la surface nettoyée. Pour éviter les dépôts blancs, il faut protéger ou rincer pendant la projection.

Ce traitement de durcissement est définitif.

Le fluosilicate de zinc a aussi été employé comme durcisseur.

Les cristaux de chaux sont transformés en fluorure de calcium insoluble.

D'une façon générale, les procédés les plus anciens sont la silicatation et la fluatation.

La silicatation consiste à traiter la surface sèche du béton par une solution chaude de silicate de sodium 3 SiO_2 , $\text{Na}_2 \text{O}$ ou de potassium 3 SiO_2 , $\text{K}_2 \text{O}$. Le carbonate de sodium $\text{Ca}(\text{OH})_2$ provenant de l'hydratation du ciment est transformé en silicate de calcium plus dur et insoluble. Les pores du béton sont bouchés en partie, ce qui améliore l'imperméabilité. Cette couche formée n'est pas visible. Il est recommandé d'utiliser des solutions dont le rapport silice/soude est au moins égal à 3. L'application doit s'effectuer en 2 ou 3 couches à un jour d'intervalle.

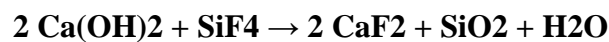
La fluatation a été proposée en 1882 par un chimiste français Kessler, initialement pour durcir les pierres calcaires, puis utilisée avec succès depuis 1905 pour le béton.

Elle consiste à imprégner la surface à l'aide d'un sel fluosilicique H_2SiF_6 (fluosilicate de magnésium, de zinc, d'aluminium). La chaux en présence de silicate est transformée en fluorures de calcium et de magnésium (ou de zinc ou d'aluminium) et il se forme de la silice colloïdale. Par exemple, avec le fluosilicate de magnésium on a la réaction suivante :



D'autres traitements ont été développés à l'étranger (Allemagne, Hollande), notamment l'ocration. Elle est basée sur l'utilisation d'un gaz, le tétrafluorure de silicium (SiF_4).

La réaction obtenue est la suivante :



La fluatation est plus profonde que celle obtenue par imprégnation.

II.7.2 Hydrofuges de surface

Les pores du béton sont imprégnés avec une résine hydrophobe qui empêche l'eau et les salissures de s'y incruster et d'y pénétrer, cela en laissant passer l'air et la vapeur d'eau. Le traitement d'imperméabilisation se fait lorsque le traitement de durcissement est sec.

On peut appliquer des silicones qui rendent la surface hydrophobe. Souvent des savons métalliques du type stéarate de zinc sont combinés avec des résines silicones, car ils améliorent leur résistance à l'hydrolyse alcaline.

Les hydrofuges à base de résines acryliques en solvant pétrolier s'appliquent en deux couches (300 à 400 g au m^2) qui forment un revêtement microporeux laissant respirer le matériau, tout en étant étanche à l'eau, On commercialise, par exemple, un mélange de résine du type méthylacrylamine avec un accélérateur (persulfate d'ammonium) et un durcisseur.

Les hydrofuges les plus utilisés sont à base de silicones dans des solutions qui permettent une pénétration de 2 à 5 mm suivant la compacité du support et le mode d'application.

Il existe deux familles de produits :

- les siliconates en solution aqueuse (composés, par exemple, de 5 à 8 g de méthylsilicate de potassium et 95 à 92 g d'eau) ; ces solutions peuvent s'appliquer sur un rapport légèrement humide, mais l'utilisation par temps sec est conseillée ;
- les silicones (par exemple, un méthylpolysiloxane) en solution dans un solvant organique (toluène, white-spirit).

II.8. TRAITEMENT ANTI-GRAFFITIS

La lutte contre ce type d'agression des parements se situe à deux niveaux suivant que l'on désire protéger préventivement ou effacer les marques d'une agression.

Les principes à respecter dans le choix de ces protections ou de ces décapants font appel aux mêmes critères de respect de la nature et de la fonction des supports, en particulier veiller à la respiration de l'épiderme des matériaux.

Dans l'évaluation d'un traitement, il convient de tenir compte de la répétitivité du phénomène qui nécessite des actions de nettoyage fréquentes et qui, à la longue, peuvent dégrader non seulement la surface du parement mais aussi le cœur du matériau.

Cela est fréquent pour les décapants très énergiques, plus agressifs, capables de faire disparaître sur pratiquement tous les types de surface les inscriptions d'origines diverses : peinture, feutre, crayons.

Les produits de protection les plus performants ne permettent pas aux inscriptions de s'accrocher ; celles-ci peuvent s'enlever au jet ou à l'éponge sans que la protection anti-graffitis soit entamée.

Ces produits sont en général des vernis réticulés, sortes de peintures qui stoppent la migration pigmentaire de la peinture utilisée par les graffiteurs.

Il existe également des produits liquides pour décoller les affiches.

II.9. PROTECTION DES SURFACES EN BÉTON (PEINTURE, REVÊTEMENT)

II.9.1 Préparation des supports

Avant d'appliquer une couche de protection sur une surface en béton, des précautions sont à prendre.

Le taux d'humidité doit être inférieur (en masse) à 5 %. Cette humidité libère l'alcalinité du ciment et des risques de saponification sont encourus lors de l'application de produits gras (peintures alkydes, glycérophthaliques) et à un degré moindre pour les peintures à l'acétate de polyvinyle.

Les travaux de mise en peinture doivent respecter les règles de l'art : DTU 59-1 pour les peintures et films minces, et DTU 59-2 pour les revêtements plastiques épais (RPE).

Cela implique que le support soit préparé pour être sain et cohérent. Les opérations suivantes sont nécessaires : décapage, brossage, sablage, époussetage, ponçage, etc.

L'application d'une couche d'impression permet de fixer les fonds et améliore l'adhérence des couches de finition.

Le décapage par voie chimique impose un rinçage efficace et la protection des éléments de construction voisins (ouvertures, portes, volets).

L'action de l'eau froide ou chaude sous pression n'est pas conseillée sur les supports de faible cohésion et poreux.

Par ailleurs, comme l'eau pénètre par capillarité, sa présence risque de ralentir la progression des travaux, le séchage devant être suffisant pour que le support contienne moins de 5 % d'eau. Le soin et la qualité des travaux préparatoires jouent un rôle essentiel (aussi important que le choix des produits) sur la tenue des futurs revêtements.

Dans certains cas d'exposition, des traitements spécifiques sont à envisager, l'application de produits anticryptogamiques détruisant (au moins pendant un certain temps) l'ensemencement biologique (mousses, algues, champignons...).

Les solutions fongicides et algicides appliquées par pulvérisations ou au rouleau donnent une protection efficace.

II.9.2 Produits de protection des parements en béton

II.9.2.1 Peintures à films minces

Les compositions recommandées sont :

- les acryliques en solution dans un solvant organique (type Piolite) ;
- les émulsions de copolymères vinyliques ou acryliques.

II.9.2.2 Revêtements plastiques épais

La différence avec le film mince réside dans les charges de granulométrie variable qu'ils contiennent (normes NF T 30-700) ; par leur nature ils sont plus garnissants. Leur application doit être effectuée selon les prescriptions du DTU 59-2. Leur fonction est d'assurer la décoration en cachant les défauts de la maçonnerie ou du béton (faïençage).

II.9.2.3 Revêtements semi-épais

Leur rôle est surtout esthétique : cacher les irrégularités du support (faïençage), les différences de teinte, etc.

D'autres ont un objectif supplémentaire qui consiste à assurer l'étanchéité à l'eau d'un support poreux, microfissuré ou fissuré. Ces systèmes souples et adhérents peuvent comporter une armature fibreuse incorporée ou rapportée (textile tissé ou non). Le but de cette armature est d'améliorer la résistance à la traction du revêtement, qui peut être soumis à des tensions sous l'effet des variations de longueur au droit des fissures.

Sur le marché sont récemment apparus des systèmes composés de liants réticulables (sous l'effet du rayonnement solaire) qui sont plus performants que les produits antérieurs à base de résines thermoplastiques très sensibles aux variations de température (durcissant à basse température et ramolissant aux températures élevées) ;

Dans un bâtiment, l'humidité peut être d'origine naturelle, accidentelle ou liée à un défaut d'entretien. Elle cause différents dommages : diminution importante de l'efficacité de l'isolant, dégradation des enduits et peintures, développement des moisissures et des efflorescences, pourrissement des structures en bois, éclatement des pierres ou des briques sous l'effet du gel de l'eau, corrosion des aciers du béton armé. Evaluer l'humidité peut permettre d'éviter ces dégradations. Des testeurs d'humidité (ou humidimètres) permettent de la mesurer. Si elle s'avère trop élevée, des remèdes sont possibles. Selon l'origine du problème, il sera nécessaire de colmater des fuites, poser un drain le long du mur, injecter une barrière étanche contre les remontées capillaires, faire tomber des enduits imperméables ou installer un système d'électro-osmose.

III.1. Les origines de l'humidité

III.1.1. Condensation :

Elle apparaît au niveau des zones dites “froides” (avec des défauts d'isolation), en particulier dans les locaux soumis à une production de vapeur (cuisines, salles d'eau, pièce où sèche le linge) et peu ou non ventilés. Il suffit de quelques degrés de différence entre la température de la paroi et celle de l'air pour que la vapeur d'eau se transforme en eau. Ce phénomène a souvent lieu sur une surface froide (vitre, mur ou plancher mal isolé...) mais peut également survenir à l'intérieur d'un mur puisque la vapeur d'eau traverse la plupart des matériaux de construction. L'isolation et la ventilation permettent une réduction importante de la condensation à la surface des parois. En revanche, les ponts thermiques demeurent un point faible : linteaux, tableaux de fenêtres, coffre de volet roulant...sont autant de zones privilégiées pour la fuite des calories. On peut alors y déceler des traces de condensation.

III.1.2. Remontées capillaires (ou humidité ascensionnelle) :

Ce phénomène se produit dans des matériaux de construction poreux, c'est-à-dire dont la structure présente de nombreuses cavités de faible dimension. Ces cavités sont souvent reliées entre elles et forment de très longs canaux appelés capillaires. La migration de l'eau qui se produit du bas vers le haut, peut atteindre plusieurs mètres. Elle est particulièrement active dans les murs enterrés qui sont en contact avec le sol humide. Les matériaux très peu poreux comme le granit ou qui présentent des cavités importantes comme la pierre meulière ne sont pas sujets à ce phénomène.

III.1.3. Infiltrations directes (L'infiltration d'eau) :

Une infiltration d'eau est le résultat d'une augmentation et d'imbibition d'eau lente à travers les toitures et les murs des bâtiments. Comme une transpiration murale, ces infiltrations laissent des tâches brunes sous forme d'auréoles. L'humidité provenant de l'infiltration d'eau se manifeste le plus souvent au niveau des fissures ou des jonctions des matériaux dont le niveau de porosité est fort.

Un tuyau d'évacuation craquelé, une tuile manquante, une cheminée défectueuse ou une corniche fissurée sont autant de possibilités pour l'eau pluviale de pénétrer jusqu'à l'intérieur de votre habitation. Avec des conséquences parfois désastreuses.

A. Les signes d'infiltration sur le bâtiment :

Plusieurs signes peuvent émettre un signal d'alarme quant à la présence possible d'infiltration d'eau ou d'humidité excessive pouvant mener à des contaminations fongiques (moisissures).

Signes sur le bâtiment :

- ❖ Fissures : dans la fondation, sur les murs extérieurs,
- ❖ Traces d'eau séchée : sous les fenêtres, au plafond ou au plancher,
- ❖ Condensation : aux fenêtres, sur les murs,
- ❖ Oxydation : présence de rouille (vis, clous, luminaires, pentures, etc.),
- ❖ Taches : de différentes couleurs sur les matériaux,
- ❖ Efflorescence : traces blanches ou cristaux blancs sur le béton,
- ❖ Matériaux endommagés : bois noirci voire pourri, toiture à refaire, etc.,
- ❖ Odeurs : d'humidité, de renfermé,
- ❖ Déformation : gondolement, craque, gonflement des matériaux et de la peinture,
- ❖ Humidité : une humidité relative élevée constante risque de favoriser la croissance de moisissures.

B. Types d'infiltration d'eau dans un bâtiment :

Les infiltrations d'eau dans un bâtiment peuvent avoir différentes causes. L'important est de pouvoir les identifier rapidement pour entamer les travaux de réparation avant qu'elles ne causent des dégâts plus ou moins importants.

Il existe aujourd'hui différentes techniques permettant d'identifier l'origine de l'infiltration. Pour gagner du temps et souvent de l'argent, la phase diagnostic pourra être réalisée seul, en éliminant tour à tour les différentes causes possibles.

a. Infiltrations liées à des événements météorologiques :

Les infiltrations liées aux événements météorologiques sont les plus répandues. Il s'agit d'infiltrations d'eau concernant le plus souvent la toiture ou la façade.

Ces infiltrations peuvent être rapidement identifiées :

- Pour les infiltrations de la toiture :
 - les infiltrations se repèrent généralement au plafond ou sur les points hauts des façades ;
 - elles sont le plus souvent dues à un défaut dans la couverture causé par les intempéries, mais pouvant aussi trouver son origine dans un mauvais entretien du toit ou à des défauts d'installation.
- Pour les infiltrations en façade : l'origine est plus compliquée à déceler.
 - Il faut réaliser une inspection visuelle de la façade afin de constater la présence ou non de fissures ou de fuites plus ou moins importantes.
 - Là aussi, les conditions météorologiques sont à blâmer, mais un mauvais entretien de la façade ne fera qu'accélérer le processus.

b. Infiltrations liées aux réseaux

Les infiltrations liées aux réseaux sont plus rares. Il peut s'agir :

- d'un raccord de tuyau devenu défectueux avec le temps ;
- d'un écrasement de tuyau provoquant une contrainte mécanique non admissible, c'est-à-dire un pincement important de la conduite qui pourrait être provoqué par un tassement de terre ;
- d'un incident de travaux (coup de pic malheureux sur une conduite d'eau par exemple). Ce type d'incident est généralement visible immédiatement mais, si les travaux se déroulent sous la pluie dans un terrain très argileux, un petit percement n'est pas toujours identifiable.

Lorsqu'un mur présente des signes persistants d'humidité (dégradation du Plâtre, salpêtre...), il faut proscrire la pose d'un isolant avant d'avoir identifié les causes des désordres et procédé aux travaux nécessaires. Posée sans précautions, une isolation sur un mur humide est peu efficace et sa durée de vie limitée. L'isolation ne doit jamais être utilisée pour maquiller un mur à problèmes.

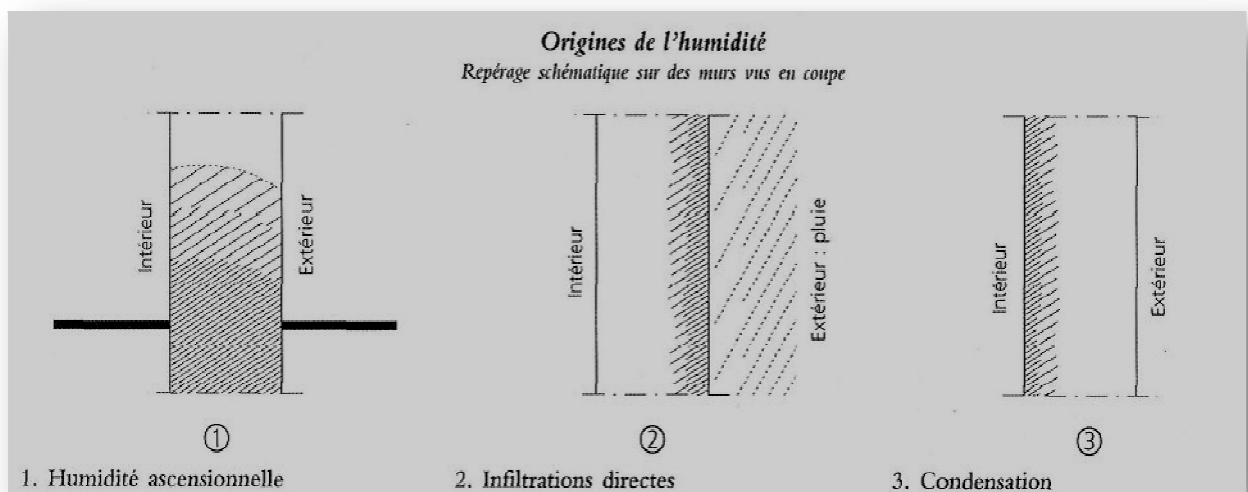


Figure 1 - origines de l'humidité (Repérage schématique sur des murs vus en coupe)

III.2. Les solutions pour réparer et améliorer :

La réussite des solutions qui suivent est variable. Si possible, il est toujours préférable d'intervenir à la source des désordres, sur les causes simples.

III.2.1. Contre la condensation :

- **→ Réduire la production de vapeur :**

En particulier si les douches sont très chaudes et en cas de recours intensif à la cuisson à la vapeur. Si possible, faire sécher le linge à l'extérieur.

- **→ Supprimer les zones froides :**

L'isolation thermique par l'extérieur est la plus efficace pour traiter les ponts thermiques (zones froides de déperditions de chaleur, qui peuvent entraîner la formation de condensation). Le remplacement des simples vitrages par des doubles aura pour effet de relever la température de la face vitrée en contact avec la pièce et de changer les conditions de condensation.

- **→ La ventilation et le chauffage du logement :**

Une ventilation générale et permanente permet d'évacuer une grande partie de la vapeur d'eau. L'air extérieur est généralement moins humide que l'air intérieur, il se charge de vapeur et l'évacue en continu. Le réchauffement de l'air extérieur pénétrant à l'intérieur augmente sa capacité à contenir de la vapeur d'eau sans que celle-ci ne condense. En hiver, il est donc nécessaire de chauffer de manière régulière.

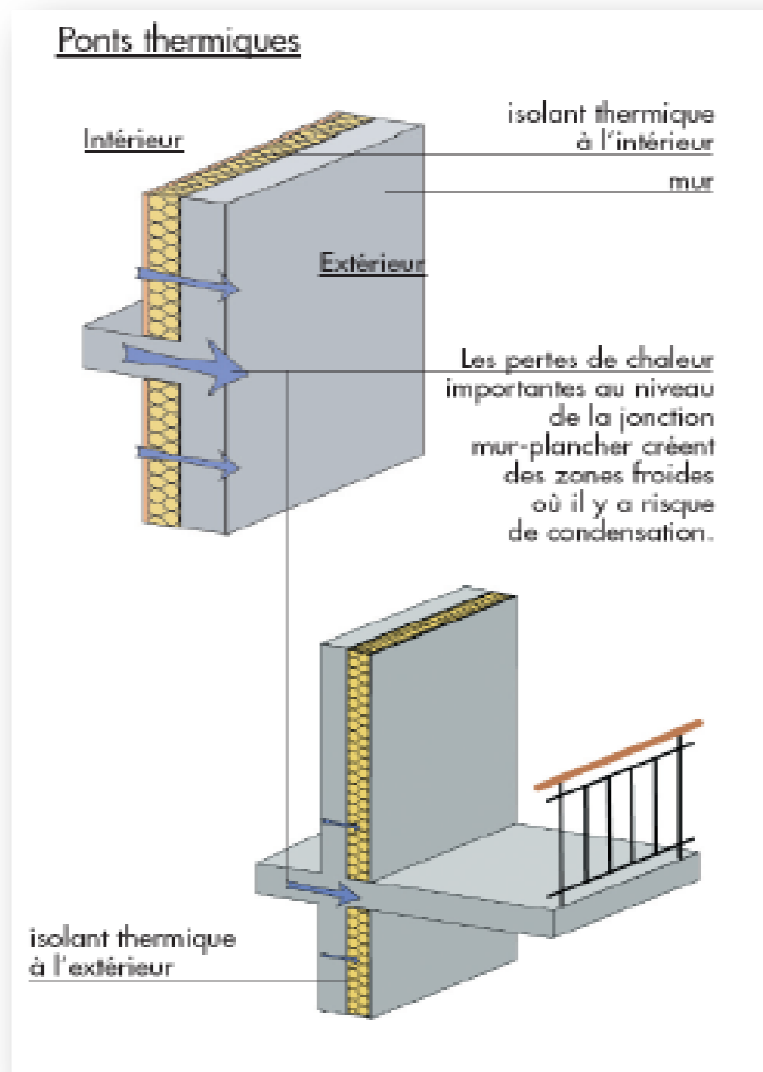


Figure 2 - Ponts thermiques

III.2.2. Contre les remontées capillaires :

- **→Le drainage :**

Destiné à lutter contre les remontées capillaires, il consiste créer un chemin préférentiel pour l'écoulement des eaux d'infiltrations qui imprègnent les terrains en contact avec les parties enterrées des bâtiments (fondations, caves). Les drains évacuent une partie de l'eau et limitent leur contact avec les ouvrages enterrés.

Cette solution est à envisager dans un terrain peu perméable :

L'eau suivra la pente de la fouille et rejoindra le drain. Les drains sont reliés à un réseau conçu pour évacuer les eaux collectées vers un point bas assurant ainsi leur écoulement.

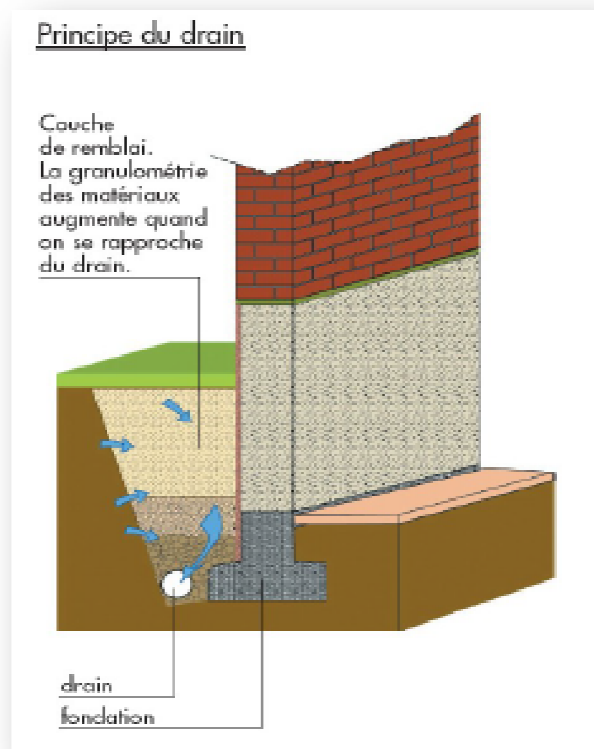


Figure 3 - Principe du drain

- → **Dégagement de la base des murs :**

Les murs des constructions anciennes comportaient à leur base un assemblage de pierres très peu poreuses (granit, silex) destinées à empêcher les remontées capillaires. Les murs étaient ensuite élevés avec des pierres plus poreuses (calcaire par exemple) sans risque de remontée d'humidité.

Avec le temps, par apports progressifs de terre autour du bâtiment (jardinage, cultures...), le niveau du sol a pu être remonté jusqu'à venir recouvrir les premiers rangs de pierres calcaires. Par infiltration, cette partie du mur s'est trouvée en contact avec l'eau et l'humidité ascensionnelle a pu se développer. Le remède à la situation consiste dans ce cas à simplement dégager la terre pour retrouver le niveau initial et redonner son efficacité à la coupure de capillarité.

- **→ Coupure de capillarité :**

Dans les murs non conçus à l'origine avec une coupure de capillarité il est possible de créer un tel dispositif par différents moyens. Leur efficacité repose sur la continuité de la barrière réalisée. Un des moyens consiste à réaliser une barrière étanche à l'eau ascensionnelle par l'injection de mortier bouche-pores ou hydrofuge dans des trous percés à la base du mur. Cette technique est envisageable pour des murs relativement homogènes ne présentant pas de cavités importantes mais est inefficace pour des murs maçonnés avec des éléments creux comme des briques ou des blocs en béton.



- **→ L'électro-osmose inverse :**

L'humidité ascensionnelle s'accompagne d'une différence de potentiel électrique entre le mur et le sol. En plaçant une électrode positive dans le mur et des électrodes négatives dans le sol, le champ électrique est inversé et l'humidité dirigée vers le sol. Cette opposition est créée soit en utilisant des métaux choisis pour engendrer une pile électrique entre le mur et le sol, soit en ajoutant une batterie électrique. Cette technique au résultat aléatoire est peu employée.

- **→ Siphons atmosphériques :**

Ce procédé favorise l'évaporation de l'eau contenue dans un mur humide. Pour que cette méthode fonctionne correctement, l'air doit être contraint de circuler dans ces dispositifs afin d'évacuer la vapeur d'eau qui arrive à la surface interne des tubes.

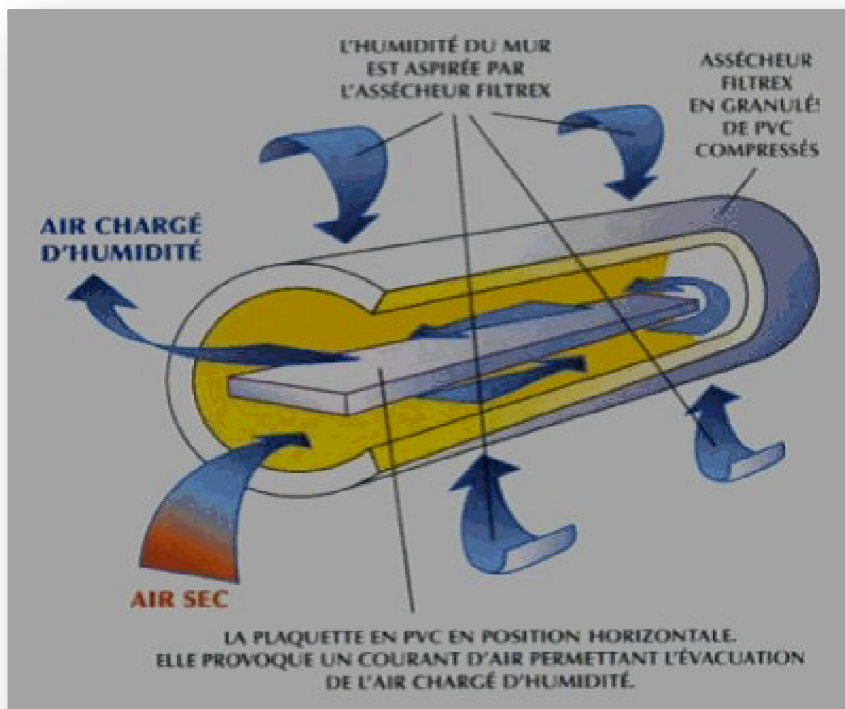


Figure 4 - La plaquette en PVC en position horizontale elle provoque un courant d'air permettant l'évacuation de l'air chargé d'humidité

III.2.3. Contre les infiltrations directes :

- → Dispositifs de protection :

Un bâtiment doit être doté de dispositifs de protection destinés à empêcher les agressions prévisibles de l'eau. L'eau de pluie tombant sur la couverture doit être canalisée vers les chéneaux reliés aux descentes d'eaux pluviales. La couverture doit déborder de la façade de manière à limiter l'impact direct de la pluie sur le mur.

Solutions existantes :

- . Un traitement à l'aide d'un produit hydrofuge professionnel est nécessaire.
- . Si le mur est très encrassé, le nettoyage préalable est conseillé.
- . Le traitement consiste en l'application d'un hydrofuge de surface sur l'ensemble du mur concerné.
- . Projeté à l'aide d'une motopompe, le liquide se dépose sur les matériaux et les pénètre.
- . L'hydrofuge sèche rapidement et ne laisse aucun dépôt.
- . Vérifier l'efficacité du traitement est très simple.
- . Il suffit de jeter de l'eau sur la zone ayant reçue l'hydrofuge pour voir l'eau perler sur la surface sans pénétrer dans les matériaux.

III.2.4. Les fausse solutions :

Les autres solutions tels les revêtements étanches pour recouvrir la zone humide d'un mur, les sels absorbants, les doublages (lambris sur un mur où se sont développées des moisissures, papiers peints...) mêmes aérés sont à éviter car elles ne sont pas efficaces, elles risquent même d'aggraver la situation.

III.3. Cas particulier : toitures terrasses (pathologie de l'étanchéité)

Il est de fait que les toitures terrasses semblent avoir posé problème dès les premières réalisations. La fuite de terrasse est une pathologie récurrente dans le monde du bâtiment et, singulièrement, dans celui de l'étanchéité.

Pourtant ce type de toiture est en vogue depuis plus d'un siècle. Son succès est dû notamment au développement du béton armé et au renouvellement du style architectural au début et au milieu du 20e siècle.

Il faut reconnaître que la toiture terrasse est particulièrement attractive en raison de son coût d'investissement peu élevé. En effet, il suffit d'habiller le plancher à dernier étage d'une étanchéité et d'une protection. Il n'est pas besoin de charpente, ni de tuiles, ni d'autres matériaux de couvertures. De plus, et sans frais excessifs, il est possible de surélever éventuellement le bâtiment d'un ou deux niveaux sous réserve de vérification des structures.

Enfin, la réfection de l'étanchéité est relativement facile à réaliser, et donc moins onéreuse que le remplacement de la couverture traditionnelle.

Malgré les nombreuses pathologies bien connues, et les déboires des occupants et des gestionnaires, ces avantages économiques ont largement favorisé le développement de la toiture terrasse sous toutes les latitudes. À ce sujet, les compagnies d'assurances constatent et font savoir que de nombreux sinistres du bâtiment concernent des fuites de terrasses, et que celles-ci sont surtout situées au niveau des relevés d'étanchéité.

III.3.1. INTÉRÊT DE CONSERVER L'ANCIENNE ÉTANCHÉITÉ

Au plan économique, il est certain que la dépose de l'ancienne étanchéité est une opération onéreuse qui peut être assez souvent évitée. Cette dépose comprend les travaux d'arrachage des parties courantes et des relevés, l'isolant thermique et les protections, le nettoyage et l'enlèvement des gravois à la décharge publique. Naturellement, il convient d'ajouter à ce bilan la fourniture et la pose d'un nouveau pare-vapeur.

Notre expérience permet de signaler que la fatalité fait parfois qu'une bonne averse occasionne un sérieux sinistre dégât des eaux à dernier étage, ce juste après la dépose de l'étanchéité et du pare-vapeur !

En conclusion : la conservation de l'étanchéité (si, et seulement si, elle est possible) semble la solution la plus économique, car ainsi on :

- économise les frais de dépose de l'étanchéité (Lapalissade !) ;
- diminue la durée du chantier (gain de temps) ;
- économise la pose d'un pare-vapeur, (puisque l'ancienne étanchéité va jouer ce rôle) ;
- supprime les risques liés aux intempéries (sinistres).

Lors de la réfection d'une étanchéité, il existe 2 solutions :

- suppression du complexe et de l'isolant, et on revient au cas des travaux neufs. Dans ce cas, il est conseillé de se reporter au DTU 43 - 1 à 4, et aux dossiers des TI et de la ;

- conservation de l'ancienne étanchéité pour servir de pare-vapeur à la nouvelle. C'est cette solution qui a été préconisée plus haut.

III.3.2. DÉSORDRES SPÉCIFIQUES DES TOITURES TERRASSES

III.3.2.1 Mouvements des supports en béton

La pathologie des étanchéités sur dalles et murs d'acrotères en béton s'explique notamment par la variation dimensionnelle du support. Les causes de ces désordres sont d'origine mécanique telles : déformation excessive de la dalle de plancher et de l'acrotère par suite d'un tassement différentiel de l'ouvrage, d'un retrait lors du séchage du béton ou encore du fluage de ce dernier.

III.3.2.2 Chocs thermiques

Ceux-ci occasionnent également des désordres au droit des planchers par cisaillement, des « coups de sabre » en acrotère, des « poussées au vide », et aussi, parfois, la rotation d'appui avec apparition de fissures sous chaînages.

C'est l'ensemble de ces mouvements dans la structure qui occasionne des fissures dans l'étanchéité, et surtout l'arrachage des relevés. Les sinistres s'expliquent en grande partie par ce phénomène d'origine mécanique lié aux chocs thermiques. L'isolation thermique des toitures terrasses va résoudre partiellement ce difficile problème d'étanchéité en limitant le phénomène de dilatation.

III.3.2.3 Produits d'étanchéité

Ces produits étaient constitués de bitumes oxydés ayant la particularité de se dégrader assez rapidement sous l'action des rayons UV et, par suite, de se fissurer. Actuellement, les membranes les plus connues contiennent des bitumes modifiés de type élastomère : SBS (styrène-butadiène séquencé) avec une armature. En raison de leur élasticité, ces membranes sont plus résistantes aux efforts mécaniques et aux agressions climatiques (dont les UV).

Il est recommandé d'utiliser des chapes de forte épaisseur, riches en bitume élastomère, permettant de bonnes soudures et une adhérence durable. De plus, en raison de leur élasticité, les gorges des reliefs résistent mieux aux mouvements de cisaillement du support. Des armatures en voiles de verre ou en polyesters non tissés confèrent une bonne résistance à la chape.

III.3.2.4 Étude des contraintes liées à la conservation de l'ancienne étanchéité

La réponse à cette recherche est donnée par le **D.T.U. n° 43 – 5. Travaux de Bâtiments**.

Intitulé : **Réfection des ouvrages d'étanchéité des toitures terrasses.**

Le document comprend 2 parties :

- cahier des clauses techniques ;
- cahier des clauses spéciales.

C'est une norme française, son indice de classement porte les numéros :

NF : P 84.208 – 1 et P 84.208 – 2

La norme a pris effet le 5 novembre 2002, sur décision du Directeur général d'AFNOR. À la date de publication de la norme, il n'existait pas de travaux européens ou internationaux traitant de ce sujet.

Il est vraisemblable que ce document fera jurisprudence ou inspirera la réglementation d'autres pays. Nous allons suivre et commenter cet important document en matière de pathologie des toitures terrasses.

III.3.3. REVÊTEMENTS D'ÉTANCHÉITÉ EXISTANTS

III.3.3.1 Étude pour la conservation de l'ancienne étanchéité

La conservation de l'étanchéité ne peut avoir lieu que dans le cadre de la réglementation en vigueur, c'est-à-dire seulement si le diagnostic imposé est positif. Au préalable, il convient de définir la nouvelle fonction attribuée à l'étanchéité conservée.

Celle-ci peut être :

- support d'un nouvel isolant thermique dont l'épaisseur est à calculer. Elle peut servir de pare-vapeur, sauf s'il s'agit de membrane synthétique de type PVC, d'enduit pâteux, ou de ciment volcanique. Noter que le DTU 43 – 5 décrit quelques exceptions à cette règle :
- support d'un nouvel isolant thermique sur un support métallique en tôles d'aciers nervurées (TAN), conservation possible, même si un pare-vapeur n'est pas nécessaire dans le cas présent ;
- support d'un nouveau pare-vapeur, ou d'une nouvelle étanchéité seule.

Il est également possible de conserver l'ancien revêtement si l'association avec la nouvelle étanchéité respecte les conditions ou limitations données ci-après :

- **cas n° 1 – avec apport d'un isolant thermique sur l'ancienne étanchéité :**
 - cas général : tous les types de revêtements bitumineux, ainsi que l'asphalte, les enduits pâteux, les ciments volcaniques, et les membranes synthétiques (de type PVC), peuvent être conservés sous réserve de travaux préparatoires (sur fissures, cloques, etc.). Ces travaux seront développés plus loin,
 - cas particuliers : sur les toitures métalliques (type TAN) le pare-vapeur n'est pas nécessaire. En conséquence, les enduits pâteux, les ciments volcaniques et les membranes synthétiques doivent être enlevés et évacués, les autres étanchéités peuvent être conservées ;

- **cas n° 2 – sans apport d'un isolant thermique sur l'ancienne étanchéité.** Seuls l'asphalte et les revêtements bitumineux indépendants ou semi indépendants peuvent être conservés. Les revêtements bitumineux collés ou fixés mécaniquement, les enduits pâteux, les ciments volcaniques (voir encadré 1) et les membranes synthétiques seront donc déposés et évacués.

Encadré 1 – Définition du ciment volcanique

Le ciment volcanique a été inventé vers 1830 par un ingénieur allemand qui préconisa l'emploi d'un multicouche composé en alternance de feuilles de papier épais et d'un liant étanche constitué de brais, de goudrons, et de soufre. De ce mélange appliqué à chaud émanaient des odeurs et des fumeroles semblables à celles émises par des volcans, d'où son nom.

Le procédé fut utilisé en France vers 1890. Les feuilles de papier furent remplacées par des feutres imprégnés de goudrons de 7 à 13 mm de la .

III.3.3.2 Étude de la dépose de l'ancienne étanchéité

Règle générale : Les revêtements doivent être déposés s'ils ne présentent pas les caractéristiques exigées par la norme.

C'est le cas d'une étanchéité :

- décomposée, gorgée d'eau, fortement fissurée et / ou cloquée ;
- où les membranes synthétiques sont fortement plissées. Exemples : type Sarnafil (Suisse), type Alkorplan de Solvay (Belgique), ou Flagon (Italie) ;
- chimiquement incompatible avec les nouveaux produits. Toutefois, une exception pour les enduits pâteux et les ciments volcaniques, lorsque ceux-ci peuvent être conservés dans les conditions énoncées par la norme.

D'une manière générale, il faut déposer un revêtement qui nécessiterait une intervention importante pour remplir sa nouvelle fonction.

Dans le cas où l'ancien revêtement d'étanchéité repose sur un isolant collé ou fixé mécaniquement, ce dernier doit être déposé et remplacé par un pare-vapeur (sauf naturellement pour le cas des TAN). Par contre, si les panneaux isolants, à un ou plusieurs lits, sont posés librement, ceux-ci peuvent être conservés si :

- le pare-vapeur est encore en bon état, (un sondage est nécessaire) ;
- la nature du pare-vapeur est conforme aux normes en vigueur.

III.3.3.3 Revêtements conservés sur les parties courantes

Pour le traitement des fissures localisées du revêtement conservé, le DTU 43 – 5 donne à ce sujet toutes précisions utiles au § :

Travaux préparatoires sur l'ancien revêtement conservé : il est nécessaire d'aplanir l'ancien revêtement conservé en faisant disparaître les irrégularités de surface. Les fissures localisées sont traitées à l'aide d'une feuille de bitume armé, face alu côté fissure et soudée en rive après délardage latéral.

Parfois, des cloques apparaissent sur le revêtement endommagé suite à des infiltrations, et de l'eau se trouve en rétention sous la membrane. Lors des chaleurs, l'eau vaporise en exerçant une forte pression qui pousse et déforme le revêtement d'étanchéité, et une cloque apparaît. Celle-ci est ouverte par scarification, mise à plat, et traitée comme une fissure.

Il est possible aussi d'appliquer une couche d'enduit d'application à chaud (EAC) sur les revêtements dégradés pour leur assurer une surface propre et unie.

III.3.3.4 Anciens relevés d'étanchéité conservés

Pour être conservés les anciens relevés doivent être :

- compatibles chimiquement avec les nouveaux, or ce n'est pas le cas avec les membranes synthétiques ;
- en bon état, c'est-à-dire sans défaut. Par contre, les relevés seront déposés et évacués en cas de mauvaise adhérence au support, cloquage, fissures importantes, ou décomposition et humidité des armatures putrescibles.

Dans les zones où ces conditions ne sont pas remplies, il faut :

- soit déposer et évacuer l'ancien relevé avec l'isolant thermique ;
- soit mettre en œuvre un nouveau support de relevés devant l'ancien, tels panneaux isolants, ou costière métallique.

III.3.3.5 Isolant thermique et pare-vapeur sur existant

Il s'agit de l'isolant thermique directement situé sous l'étanchéité d'origine :

- cas n° 1 : il est prévu de déposer l'ancien revêtement, et, dans ce cas, l'isolant doit être déposé sans réemploi (sauf rares exceptions décrites par la norme, § :) ;
- cas n° 2 : il est prévu de conserver l'ancien revêtement. Dans ce cas, l'isolant d'origine peut lui aussi être conservé, si, et seulement si, celui-ci est compatible avec le nouveau revêtement. Dans le cas où l'isolant serait incompatible, l'ensemble revêtement d'étanchéité et isolant thermique serait déposé et évacué. Nous revenons donc au cas n° 1.

III.3.4. INTERVENTIONS COMPLÉMENTAIRES

Il convient de distinguer encore deux cas :

- **conservation de l'ancien revêtement**, sachant que celui-ci peut être : ardoisé, habillé de granulats colorés, ou encore recouvert par une protection meuble (gravillons) ou lourde (par exemple : dallettes). Si l'élément porteur a été vérifié (béton, acier, bois), conformément à l'étude préalable de stabilité, il n'y a pas de vérification complémentaire à effectuer (sauf : cas de dalles flottantes, ou de forme de pente réalisée sur panneaux isolants) ;
- **dépose de l'ancien revêtement** : si l'élément porteur est conforme à son DTU de référence ou à son Avis technique en vigueur, ce dernier est conservé en l'état, le complexe d'étanchéité et l'isolant sont déposés, et l'on se trouve dans le cas des travaux neufs. Si l'élément porteur n'est pas conforme à sa norme, il doit subir les travaux de réfection indispensables.

III.3.4.1 Ouvrages annexes existants

Il s'agit ici d'étudier les points singuliers de la toiture terrasse et de dire la nature des travaux à réaliser sur chacun d'eux. Ainsi :

- les couronnements d'acrotère sont conservés, s'ils sont jugés en bon état ;
- **les bandes d'égout doivent être déposées dans tous les cas, ainsi que les bandes de rives, les entrées d'eau pluviales et les trop-pleins ;**
- les joints de dilatation seront conservés s'ils sont conformes à leur norme ;
- les lanterneaux doivent être vérifiés en ce qui concerne l'état et la hauteur des costières ;
- les équipements techniques raccordés à l'étanchéité (VMC – mats de TV, etc.) seront vérifiés et traités en cas de non-conformité ;
- les équipements reposant sur l'étanchéité : socles, massifs support d'équipement, chemins de nacelles, jardinières, etc. – seront déposés, déplacés ou démolis, éventuellement stockés pour réemploi, (à condition de répartir les charges sur la terrasse) ;
- au cas où ces équipements gênent la réalisation des travaux d'étanchéité, ils seront déplacés et reposés ultérieurement.

III.3.4.2 Jardins sur terrasses

Terre végétale, végétaux, murets de retenue des terres : il convient surtout de vérifier la résistance mécanique des zones affectées au stockage des matériaux des paysagistes.

III.3.4.3 Hauteur des reliefs servant de garde-corps

Les travaux de réfection, notamment par ajout d'isolation thermique et de revêtement de protection (dallettes par exemple) sur les parties courantes, modifient le niveau de la circulation, et peuvent rendre la hauteur des anciens garde-corps inférieure à la hauteur réglementaire.

Ce point de sécurité est particulièrement important et oblige à la mise en conformité du garde-corps. Le rehaussement de celui-ci doit être réalisé par une entreprise spécialisée en concomitance avec les travaux d'étanchéité.

III.3.4.4 Travaux préparatoires avant réfection de l'étanchéité

Avant de réaliser des travaux d'étanchéité, il est indispensable d'effectuer des travaux préliminaires tels que :

- déplacement des socles, massifs en béton, supports de conduits, VMC, chemins de nacelles ;
- jardinières, terres végétales, murets, en prenant soin de ne pas apporter de surcharges localisées préjudiciables ;
- déplacement et stockage éventuel, si réemploi des protections meubles (gravillons) avant tamisage ;
- démolition et évacuation des protections lourdes (béton et mortier) ;
- dalles sur plots. Elles pourront être réutilisées si elles sont jugées en bon état et conformes aux normes en vigueur ;
- autoprotecteurs. Elles seront conservées si les relevés sont adhérents ;
- la protection minérale est brossée et incrustée par chauffage au chalumeau, et travaillée à la spatule ;
- la protection métallique (alu, cuivre) : la feuille est enlevée et évacuée, on pourra ainsi assurer une bonne adhérence au nouveau relevé ;
- si les relevés sont insuffisamment adhérents, ils seront arrachés, seules les parties adhérentes peuvent être conservées ;
- membranes synthétiques : les relevés sont arrachés et évacués ;
- autres protections : les bardages, pierres agrafées, etc. sont déposés par une entreprise spécialisée.

III.3.5. ISOLANTS THERMIQUES DES TERRASSES

III.3.5.1 Isolants

Sur les terrasses, l'isolation thermique est assurée par quelques produits dont :

- polystyrène expansé – (PSE) – $\lambda = 0,037$ à $0,046$;
- polystyrène extrudé – (PSX) – $\lambda = 0,031$ à $0,036$;
- polychlorure de vinyle – (PVC) – $\lambda = 0,031$ à $0,034$;
- polyuréthane – (PUR) – $\lambda = 0,020$ à $0,031$;
- verre cellulaire – $\lambda = 0,050$;
- vermiculite, perlite – $\lambda = 0,060$.

On rappelle qu'une bonne isolation thermique a un coefficient λ très faible ; ainsi la mousse de polyuréthane (PUR) avec : $\lambda = 0,020$ à $0,031$ est actuellement l'un des meilleurs isolants. D'autres produits plus performants sont actuellement à l'étude dans des laboratoires.

III.3.5.2 Toiture inversée

Elle est appelée ainsi, car l'isolant thermique est posé en indépendance sur l'étanchéité. Pour que l'isolant ne risque pas d'être détérioré par la circulation, ni d'être emporté par le vent, il convient de rapporter une protection meuble (gravillons) ou une protection lourde de même épaisseur.

En matière de réhabilitation, l'isolant ne doit pas être réemployé dans ce cas.

Si l'isolant n'est pas réemployé, il est obligatoire de le remplacer par un produit ayant une résistance thermique au moins égale à l'ancienne.

Pour les locaux à forte hygrométrie, et pour les locaux présentant des condensations en sous face, il est indispensable de vérifier par le calcul la position du point de rosée par la méthode du diagramme de Glazer (, , , ,).

III.3.6. MISE EN CONFORMITÉ DES RELIEFS

III.3.6.1 Point faible de l'étanchéité : les relevés

Le soin apporté à la mise en œuvre de nouveaux reliefs est de la plus haute importance. En effet, selon des études statistiques des compagnies d'assurances, les relevés d'étanchéité sont le plus souvent à l'origine des sinistres des toitures terrasses.

Afin de protéger les relevés des rayons UV, il est impératif d'utiliser des membranes bitumineuses habillées de gravillons, teintés ou non, de paillettes ardoisées, ou de feuilles métalliques de 8/100^{ème} d'épaisseur en aluminium ou en cuivre.

récisions : un nouveau relief doit être créé, soit en remplacement de l'existant, soit en doublement du relief conservé. Après réfection, le relief doit impérativement comporter un dispositif conforme aux normes en vigueur protégeant la tête contre l'introduction d'eau.

Par ailleurs, il peut être nécessaire de mettre en place un nouveau dispositif, ou d'habiller la totalité du relief par obturation de celui-ci avec un isolant, et de compléter l'étanchéité jusqu'au recouvrement de la face supérieure d'un acrotère de faible hauteur.

III.3.6.2 Rehausse de l'acrotère

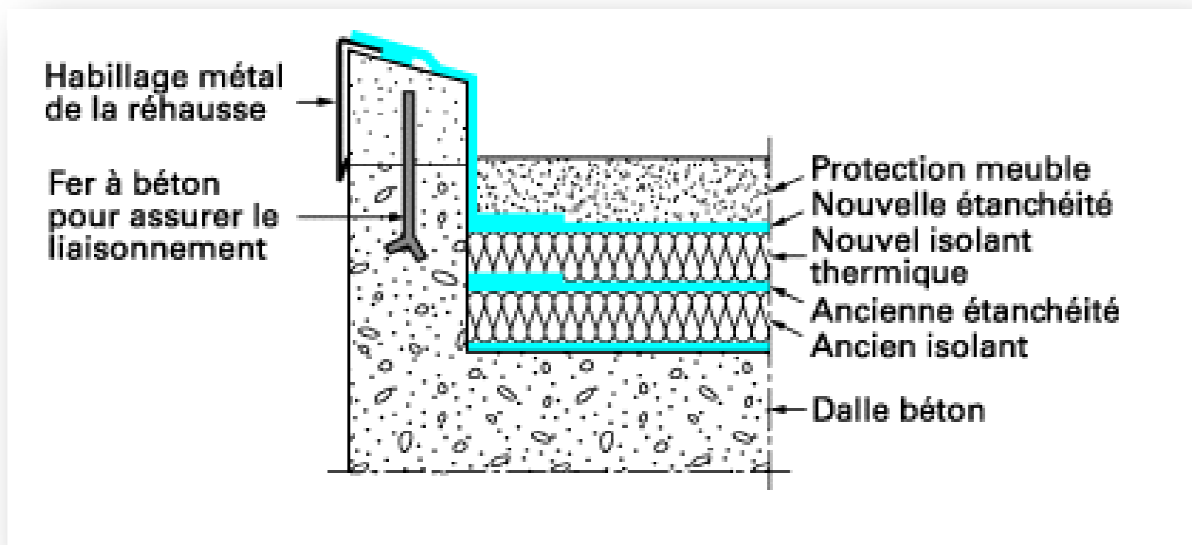
Si, par suite de la pose de la nouvelle étanchéité avec son isolant, le mur d'acrotère est de hauteur insuffisante, celui-ci sera rehaussé afin de respecter la garde d'eau minimale.

À noter que, sur les terrasses accessibles et sur les terrasses jardins, la rehausse sera nécessairement exécutée en béton armé.

De plus, et toujours dans le cas de la réhausse du niveau initial de la toiture terrasse, il peut s'avérer indispensable de surélever le mur d'acrotère afin que la hauteur réglementaire actuelle de un mètre au-dessus du niveau du sol fini soit respectée. La solution consistant à poser sur le mur d'acrotère un tube formant lisse haute est souvent retenue pour des raisons d'ordre économique.

Il est possible aussi de fixer sur le mur d'acrotère des « couvertines » en tôles inox laquées qui, grâce à leurs reliefs, vont protéger la tête et le relevé d'étanchéité.

Les figures 1, , , et donnent des exemples de solutions pratiques aux problèmes particulièrement importants et récurrents de la fissuration et de l'arrachage des relevés d'étanchéité. Nous avons ici des préconisations qui devraient régler au mieux le problème fondamental des sinistres par suite de fuites de terrasses au droit des relevés d'étanchéité.



**Figure 5 - Réhausse en béton d'un acrotère de hauteur insuffisante, suite
au renforcement de l'isolation thermique**

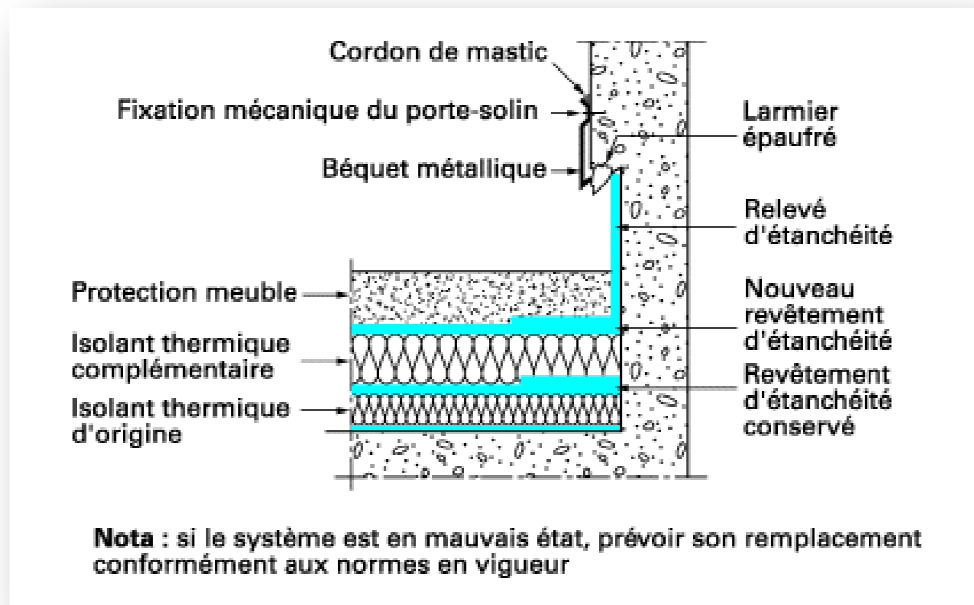


Figure 6 - Pose d'un système de protection de l'ancien larmier, suite à épaufrement

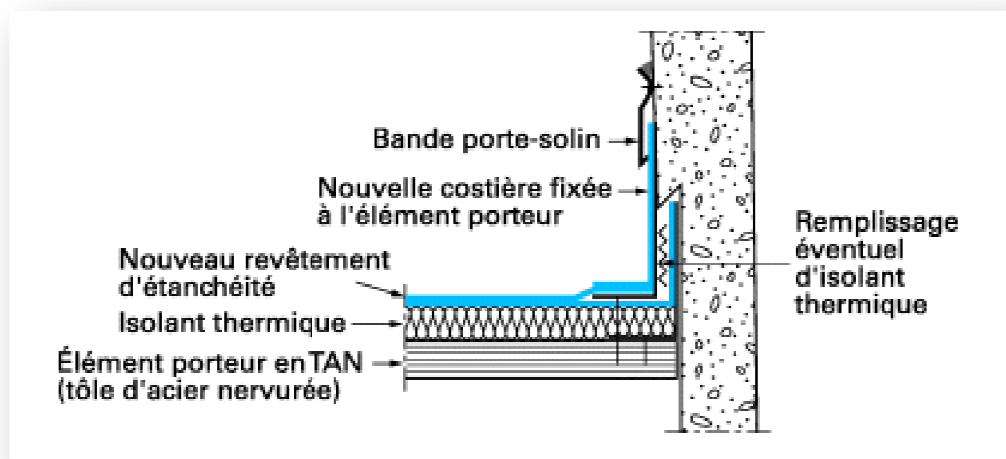


Figure 7 - Cas d'un élément porteur en acier TAN

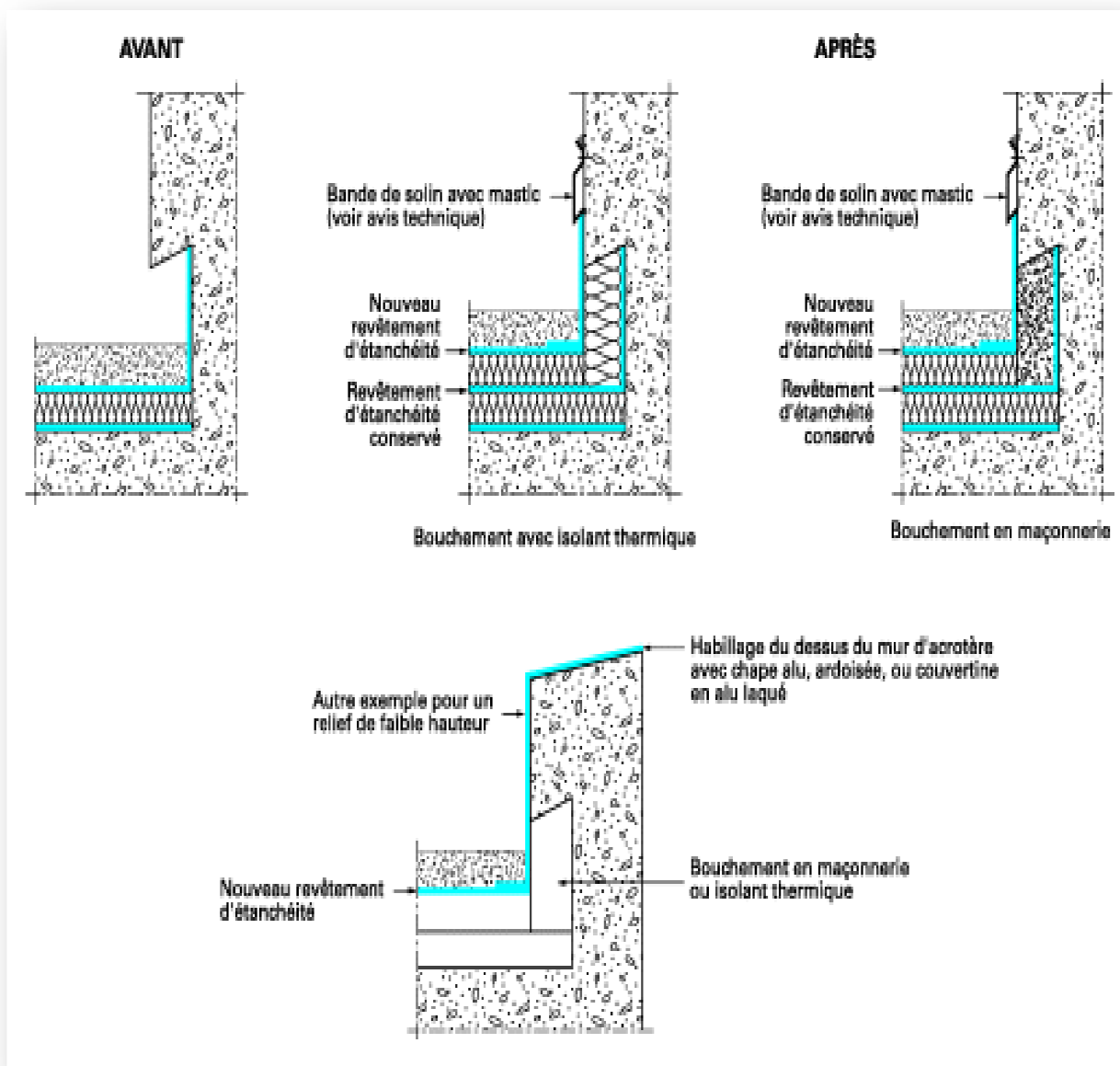


Figure 8 - Traitement des reliefs en maçonnerie sur existant (pour les acrotères comportant un dispositif destiné à écarter les eaux de ruissellement), suite au renforcement de l'isolation thermique

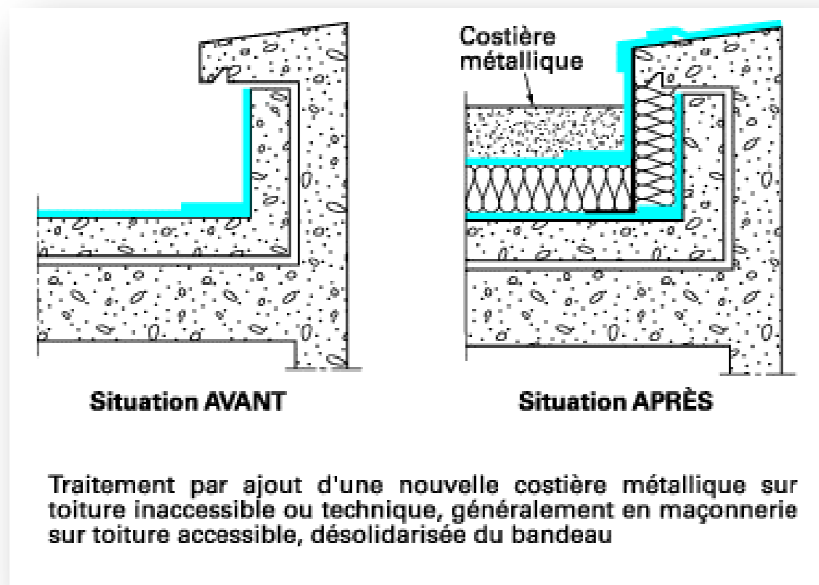


Figure 9 - Cas particulier des joints avec costière formant bandeau à larmier sur costière adjacente (joints de dilatation à niveaux décalés ou costières de dalles flottantes)

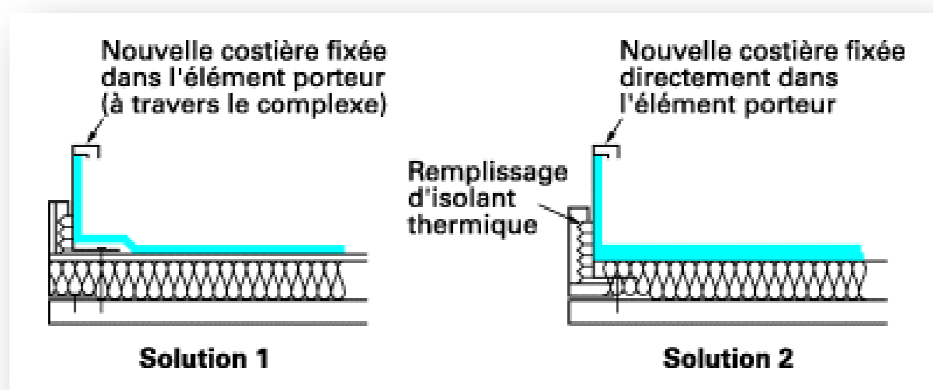


Figure 10 - Doublage d'une costière métallique conservée sans dépose

III.3.7. PRODUITS D'ÉTANCHÉITÉ INNOVANTS

Depuis quelques années, les fabricants proposent **une étanchéité « auto-adhésive »** (pose à froid).

Avantages : il n'est plus besoin d'EAC, ni de chalumeau. Une grande simplicité de pose, donc un gain de temps appréciable. C'est également un excellent produit pour les travaux de réparation de couvertures à effectuer en urgence.

Il existe une gamme de produits diffusés par SIPLAST : feuille mince « Adéply » en élastomère bitume extrudé pour les surfaces courantes, « Adéalu » à feuille d'aluminium, ou « Adécuivre » à feuille de cuivre, utilisés pour les relevés d'étanchéité.

Dans le domaine de l'étanchéité liquide, il est à noter que les travaux réalisés en laboratoire permettent à présent de bénéficier de nouvelles molécules plus performantes avec une durée de vie plus longue.

Toujours dans le domaine **de l'innovation**, nous pouvons signaler que des études sont actuellement menées pour intégrer **des panneaux souples de capteurs solaires** « photovoltaïques » sur des revêtements d'étanchéité. Cette solution énergétique et écologique, encore discrète à ce jour, peut se révéler intéressante.

Il s'agit d'une étanchéité bicouche comportant un tapis de cellules à surface autonettoyante. La pose peut être réalisée sur des supports ayant une pente minimale de 3°, et une pente optimale de 30° plein sud. En l'état actuel des études, il faut envisager 30 m² d'étanchéité pour obtenir une puissance d'environ 1 kW (crête).

III.3.8. ENTRETIEN DES TOITURES TERRASSES

Afin d'assurer la pérennité d'une étanchéité de toiture terrasse, il est indispensable de posséder **un contrat d'entretien, ou un service de maintenance bien formé et efficace**.

À partir du jour de la réception des travaux, l'entreprise d'étanchéité est tenue de donner une **Garantie décennale**.

Tout sinistre ayant pour origine une infiltration d'eau avérée de la toiture terrasse doit être réparée par l'entreprise ayant accordé la Garantie décennale, sauf s'il est établi que la fuite provient d'un manque d'entretien de l'étanchéité (avis de l'expert judiciaire).

L'entretien de celle-ci est donc important et doit être traité avec tout le sérieux nécessaire.

III.3.8.1 Durées de vie des étanchéités

Des études diverses s'accordent pour donner des durées de vie à de nombreux composants du bâtiment. Ainsi, l'étanchéité asphalte a une durée de vie moyenne de 30 ans, avec une fourchette de 25/35 ans.

L'étanchéité multicouche élastomère gravillon, ou à autoprotection minérale, a une durée de vie moyenne de 20 ans, avec une fourchette de 15/25 ans.

Il est bien évident que le manque d'entretien d'une étanchéité peut réduire sa durabilité de 30 ou 40 %. Ainsi, l'entretien joue un rôle crucial dans la vie de ces ouvrages. Il est également indispensable que l'usage des terrasses soit conforme à leur destination.

III.3.8.2 Entretien des étanchéités

Il convient de rappeler que l'entretien des bâtiments est à la charge du Maître d'ouvrage ou de ses ayants droits, après réception des ouvrages. Il comporte des visites périodiques de surveillance des ouvrages au moins une fois l'an. Les terrasses à pente nulle avec revêtement autoprotégé ou les toitures légères peuvent nécessiter deux visites par an. Si une seule visite annuelle est prévue, elle s'effectuera en automne pour nettoyer la terrasse et ramasser les feuilles pouvant obstruer les entrées d'eau.

Il est vivement conseillé au Maître d'ouvrage de passer **un Contrat d'entretien** avec une entreprise spécialisée, en définissant très précisément la nature des prestations. En l'absence d'un tel contrat, le Maître d'ouvrage peut être amené à justifier de l'entretien régulier des ouvrages qu'il aura diligentés.

Précisons que l'entretien devrait comporter au moins les opérations suivantes :

- l'examen détaillé de tous les ouvrages d'étanchéité visibles ;
- la vérification des relevés d'étanchéité ;
- l'inspection de tous les ouvrages complémentaires visibles sur la toiture tels : murs d'acrotère, souches, édicules, lanterneaux, ventilations, bandeaux, etc ;
- la vérification et le nettoyage des entrées d'eaux et des trop-pleins ;
- l'enlèvement des mousses, des herbes et de la végétation ;
- l'enlèvement des boues et limons sur revêtements autoprotégés ;
- l'enlèvement des débris et menus objets ;
- le ratissage des gravillons ;
- il serait utile aussi de faire vérifier l'état et le mode d'accrochage des enseignes publicitaires et des mats de TV ou de retransmission téléphonique.

Dans le cas des toitures protégées par dalles sur plots, l'entretien comporte aussi :

- un nettoyage complet au jet d'eau à pression normale ;
- le calage des dalles sur plots instables.

À noter aussi que l'emploi de produits dés herbants n'est pas souhaitable, car il est difficile de savoir si ces produits sont compatibles avec les revêtements d'étanchéité.

Il n'est malheureusement pas inutile de rappeler à l'entreprise d'entretien que, lors de ses visites, elle doit prendre toutes précautions pour ne pas endommager l'étanchéité. Dans le cas contraire, elle serait tenue pour responsable, obligée de réparer à ses frais, et pourrait voir son contrat résilié de plein droit.

Il est rappelé aussi que l'arrosage d'un revêtement d'étanchéité autoprotégé et surchauffé en été, dans le but de rafraîchir l'ambiance intérieure, est préjudiciable à son bon comportement. **Cette opération est interdite.**

III.3.8.3 Rapport d'entretien

Ce document, prévu au Contrat d'entretien, doit être remis par l'entrepreneur au Maître d'Ouvrage dans un délai très court (de 8 ou 15 jours) après la visite de contrôle, et devra notamment mentionner :

- les ouvrages particuliers examinés ;
- les interventions d'entretien courant réalisées.

Ce compte-rendu doit aussi comporter les constatations utiles au propriétaire pour lui permettre de prendre des décisions concernant l'entretien de la toiture, telles que :

- usage abusif de la terrasse par des tiers ;
- travaux effectués par d'autres corps d'état et posant problèmes ;
- état des entrées d'eaux pluviales nécessitant des travaux ;
- travaux d'étanchéité sortant du cadre de l'entretien courant.

De plus, l'entretien des terrasses-jardins doit être réalisé selon les recommandations données par les règles professionnelles pour l'aménagement des toitures terrasses.

Également, toutes dispositions doivent être prises, conformément à la législation en vigueur, pour assurer la sécurité des personnes intervenant sur la toiture dans le cadre des travaux d'entretien.

De l'étude précédente il est possible de tirer quelques enseignements.

Pour tous travaux de réhabilitation (et aussi pour les autres) il est primordial, lors de la réception des travaux, de s'assurer que les ouvrages ont été exécutés conformément aux prescriptions, et aux normes de la profession.

Il faut s'assurer en particulier que :

- les matériaux d'étanchéité mis en œuvre sont performants, et qu'ils répondent aux Cahiers des charges ;
- la mise en œuvre a été réalisée avec soin ;
- la goutte d'eau en tête des relevés correspond aux exigences de la norme ;
- les relevés ont une bonne adhérence au support, et leur hauteur est conforme aux règles ;
- les dispositifs de protection en tête sont efficaces.

Enfin, selon la fiche n° 19 de la « Pathologie du Bâtiment » (Qualité Construction – Excellence SMA), ces conclusions auxquelles nous ne pouvons qu'adhérer :

« La leçon qui se dégage rejoint celle d'autres types de sinistres. La qualité globale d'un ouvrage peut être totalement altérée par une négligence ponctuelle.

Rien ne sert de s'appliquer sur la partie courante d'un ouvrage si les points singuliers doivent être négligés ».

IV.1. Introduction :

Les instituts nationaux de l'enseignement supérieur de Guelma ont été créés en 1986, devenus centre universitaire par le décret 92-299 du 07/07/1992. Devenu ensuite université par le décret exécutif 01-273 du 30 septembre 2001. L'université assure actuellement l'enseignement en graduation et post-graduation en trente filière d'enseignement.

Université pluridisciplinaire et multi sites, L'université 8 Mai 45 de Guelma inscrit de plus en plus ses formations dans le schéma LMD (licence/ master/ doctorat). Elle est réparties sur 3 sites (Centrale, Souidani et Héliopolis)

IV.2. Identification de l'immeuble :

Nous allons prendre comme échantillon le bloc L 1.2. L'immeuble est de faible hauteur R+2 de forme plus ou moins régulière en plan et en élévation.

Ce bâtiment est réalisé en (1986) avec les techniques de construction de l'époque



IV.2.1. Présentation de la structure existante :

La structure de l'immeuble est constitué de :

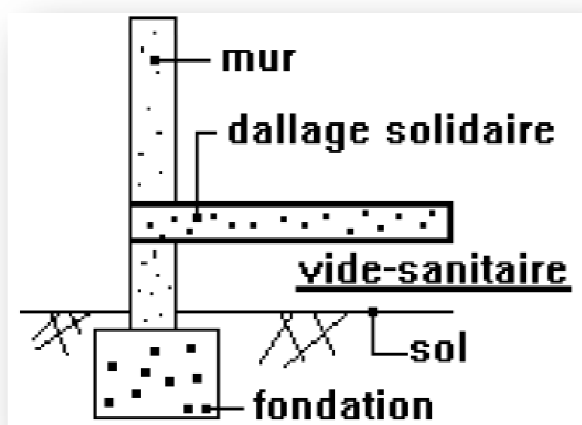
IV.2.1.1. Les portiques :

En structure de construction, un portique est un élément de gros-œuvre porteur en béton constitué de deux poteaux (35x40) et d'une poutre.(40x40) Les éléments verticaux sont reliés entre leur socle en pied par des longrines pour assurer la rigidité en plan.

IV.2.1.2. Les planchers

a) Les planchers sur vide-sanitaire :

Le plancher solidaire n'est pas du tout en contact avec le sol. Un vide d'au moins 60 cm de hauteur permet de faire passer des canalisations, d'isoler le plancher de l'humidité, ...Ils sont souvent réalisés avec des planchers à corps creux.

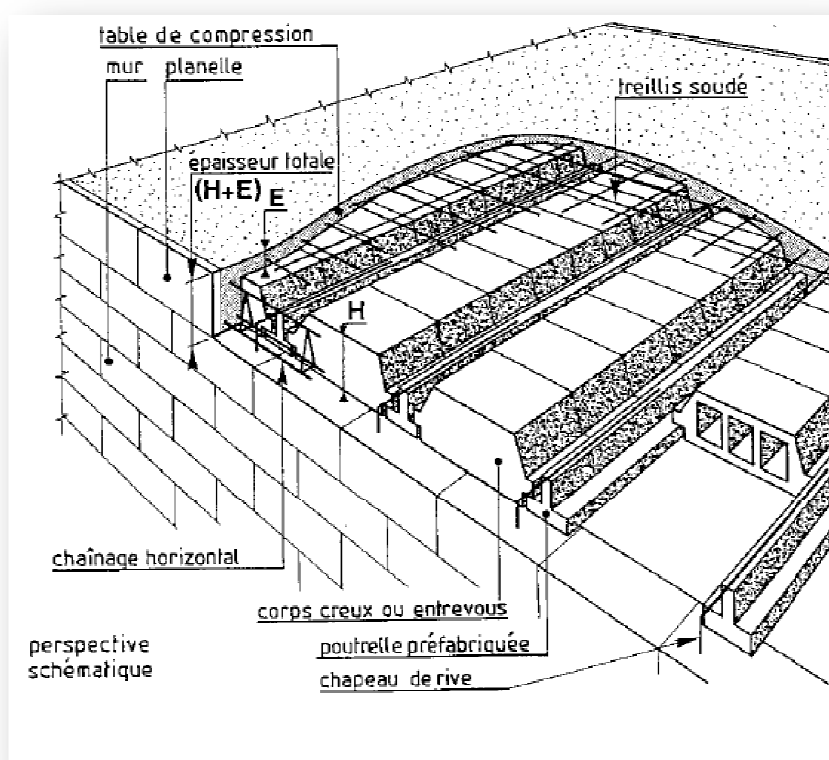


b) Les planchers à corps creux :

Sont composés de 3 éléments principaux :

- les corps creux ou "**entrevous**" qui servent de coffrage perdu (ressemblent à des parpaings),
- les **poutrelles** en béton armé ou précontraint qui assurent la tenue de l'ensemble et reprennent les efforts de traction grâce à leurs armatures,
- une dalle de compression armée ou « **hourdis** » coulée sur les entrevous qui reprend les efforts de compression.

Le plancher est entouré par un chaînage horizontal.



Les planchers sont réalisés en dalles en voûtains (poutrelles en profilés métalliques de type IPN et de la maçonnerie en voûte). Ils sont couverts par un revêtement en carrelage exécuté sur une couche de mortier.

c) Planchers terrasse

Le plancher terrasse est identique au plancher des autres étages surchargé d'avantage par des dallettes en béton armé et par des cloisons en brique creuses.

d) Les balcons

Les balcons sont réalisés en voûtains (brique sur poutrelle métallique) couverts par un revêtement en carrelage en terre cuite.

IV.2.1.3. Cage d'escaliers

La cage d'escaliers est constitué par des murs porteurs sur les trois cotés .Les volées sont en béton réalisé sur un coffrage en brique creuse avec jointage en mortier mixte ciment chaux

Ce sont des escaliers balancés appuyés d'étage en étage.

IV.2.1.4. Les fondations

Le système de fondation est de type traditionnel en pierre sous forme de semelle filante sous murs.

Les murs en pierres élargis à la base (d'épaisseurs variables) forment un système rigide et sont considérés comme fondation.

IV.2.2. Étude de diagnostic des cas pathologiques :

IV.2.2.1. Constatation des désordres

a) Murs et plafonds :

- Fissuration par endroit sur murs et plafonds



- Apparition de fissures par endroits du mortier de crépissage

- Décollement d'enduit sur certains endroits



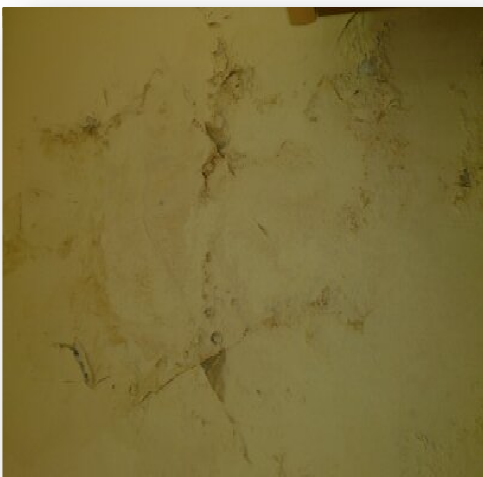
- Dégradation du revêtement de carrelage

b) cage d'escaliers :

- Eclatements de pierres et de briques.
- Endommagement de la rampe et des marches.

c) Façades :

- Les murs de pourtours constituant le pourtour extérieur du bâtiment sont généralement en bon état acceptables à l'exception de l'apparition de certaines fissures sur les murs et qui nécessitent un traitement.
- Décollement d'enduit sur certains endroits sur la façade.



- Ecaillage de la peinture et présence de taches humide.



d) Etanchéité :

L'étanchéité de la terrasse est défectueuse avec une dégradation avancée.



- Infiltration des eaux pluviales et des eaux de vannes.



- fissuration éparses facilitant l'infiltration des eaux de pluie.

IV.2.2.2. Origines des désordres

Les origines des désordres constatés se traduisent par différentes manifestations, à savoir :

a) Les fissures :

Ces fissures nettes et visibles entre plusieurs parties d'ouvrages de rigidités et de fonctionnement différents et surtout au niveau des jonctions.

Elles peuvent être dus soit aux effets de retrait et/ou de fluage soit au dysfonctionnement des ouvrages. Comme elles peuvent être passives (mortes), stabilisées (variation limitée dans le temps) ou actives (la variation évolue avec le temps).



b) les décollements :

La cause est due à des infiltrations d'eau et/ou la perte de rigidité ou au dysfonctionnement des ouvrages.



b) Les affaissements :

ils sont repérés par des discontinuités géométriques suivant les joints de pierres et qui sont provoqués par le tassement du sol.



Figure 1 : Les affaissements d'une route

d) les dislocations :

Les structures porteuses en maçonnerie subissent des désordres suite à une perte de cohésion ou de résistance mécanique.

e) les déversements :

Ils se traduisent par des renflements ou des défauts de verticalités des parements surtout les parois de soutènement ce qui porte préjudice à la pérennité de l'ouvrage.

f) les infiltrations d'eau :

Favorisant ainsi la circulation d'eau dans l'ensemble de l'ouvrage entraînant l'altération de parement ou de joint, des décollements et des déversements.

Les altérations des parements des pierres et des briques qui se traduisent par des taches noires ou brunes provenant des matières organiques contenues dans les ciments, la chaux ou les pierres ou les efflorescences blanches d'origine cristalline actives ou amorphes provenant des dépôts de sel qui se trouvent dans les briques et les sables et les liants de mortier ou les sols.



g) les altérations des joints :

Une dissolution chimique des liants est provoquée par des circulations d'eau ou l'action des agents atmosphériques ce qui peut aller jusqu'à la disparition des moellons par endroits.

h) les éclatements de pierres et /ou briques :

Ils sont dus soit à l'insuffisance ou au manque de résistance mécanique du matériau, soit à la gélivité de pierres et /ou briques (porosité, cavités d'origine, fissures...).



i) Les désordres consécutifs au vieillissement ou à l'évolution normal de l'ouvrage qui se manifeste par le vieillissement propre des matériaux (pierre, brique, métal...) ou de structures (évolution des charges d'exploitation, effets du vent, effets du séisme endommagement par fatigue.

L'insuffisance ou l'absence d'entretien est à l'origine de beaucoup de désordres ce qui a porté préjudice à la pérennité de l'ouvrage.

IV.2.3. Solutions de réhabilitation et travaux préconisés :

A cet effet il y' a lieu de procéder aux travaux de réhabilitation préconisés pour ce bâtiment sont :

- a. Renforcement de la volée inclinée de la cage d'escaliers avec introduction de profilés métallique afin de soulager la structure.
- b. Protection du bâtiment des infiltrations des eaux de pluie par un système d'étanchéité adéquat et reprise du réseau d'évacuation des eaux depuis la terrasse.
- c. Réalisation de l'étanchéité de la totalité de la surface de la terrasse.
- d. Reprise des coursives endommagées avec traitement des causes de dégradation.
- e. Reprendre les enduits dégradés en utilisant un mortier mixte ciment chaux.

- **Colmatage des fissures passives**

Les anciens immeubles sont revêtus en majorité d'enduit de chaux, lisse ou taloché. Il protège la surface du parement en terre ou en pierre, en couvrant les surfaces minérales d'un mélange composé de chaux et principalement de sable, mais aussi d'agrégats tels le gravier, le tuileau ou le sable de carrière.



Mode de ravalement de plâtre et chaux :

i. Préparation du support

Le diagnostic doit permettre d'évaluer l'état général du mur et de la maçonnerie, l'adhérence et la résistance et l'état de l'enduit existant. Différentes opérations peuvent alors être envisagées :

- Le « décroûtage », élimination des seules parties mortes et non adhérentes de l'ancien enduit jusqu'au support. Une reprise partielle de l'enduit restant la solution la plus économique.
- Le débouillage des joints, qui sont creusés, brossés, éventuellement comblés avec des débris de terre cuite ou du mortier.
- La pose d'un grillage galvanisé (ou toile nylon), dans le cas d'un support hétérogène, sur partie ou en totalité de la surface pour assurer l'accrochage de l'enduit.
- L'humidification du support. Pas de lavage, l'excès d'eau nuit à la prise de l'enduit.

ii. Choix du liant

La nature de l'enduit, plâtre et chaux ou chaux, doit à la fois demeurer conforme et compatible avec l'enduit existant et en rapport avec le site et l'environnement. La matière du liant, plâtre gros ou chaux aérienne, reste essentielle.

Il est habituel pour le corps d'enduit, d'être « bâtardé » de chaux hydraulique afin d'accélérer sa prise. L'emploi de la chaux aérienne est déconseillé en milieu très humide.

Elle est remplacée par de la chaux hydraulique naturelle pure conseillée pour les fondations en partie basse, sur une hauteur de 1 mètre à 1,20 mètre. Associée au tuileau, elle colore les soubassements d'une teinte rosée.

iii. Réalisation de l'enduit

La mise en œuvre de l'enduit s'exécute en plusieurs passes ou couches successives. Le dosage du liant et l'épaisseur de chaque couche varie d'une étape à l'autre :

- **Gobetis** : 1ère couche inférieure à 10 mm. Couche d'accrochage mince et fluide de bonne résistance mécanique.
- **Corps d'enduit** : 2e couche de 15 à 20 mm. Couche de dressage serrée par talochage, plus épaisse et plus ferme. Joue le rôle de régulateur des variations dimensionnelles, thermiques et hygrométriques. Le dosage liant + eau doit être soigneusement équilibré pour éviter une laitance trop abondante.
- Enduit de finition : inférieur à 10 mm, il donne à la façade son aspect final, sa texture et sa couleur. Légère en liant, cette couche fine assure la décoration et la protection des enduits. L'aspect final de final dépend de la texture de l'enduit : frotté, lissé, gratté, brossé, dressé, taloché... L'enduit de finition peut être coloré.

iv. enduits bâtard :

Les présentes prescriptions s'appliquent essentiellement aux mortiers bâtards (ciment et chaux).

Les surfaces de support seront propres. Elles devront être rugueuses pour permettre une parfaite adhérence de l'enduit (brossage, piquage, bouchardage) et elles sont arrosées de manière à être humides en profondeur.

Si les surfaces à enduire présentent des défauts localisés de plénitude tels que l'enduits ne peut pas être appliqué directement il sera procédé préalablement à un redressement en surcharge au mortier bâtard, renforcé au besoin d'une armature métallique, des surcharges d'épaisseur supérieure 3cm ne seront pas tolérées.

Les enduits extérieurs seront composés de :

- Une couche d'accrochage.
- Une couche intermédiaire formant le corps de l'enduit.
- Une couche de finition.

Le dosage en liant de chacune des couches sera dégressif, le plus fort dosage étant dosé à la couche d'accrochage. Les dosages indiqués ci-après sous forme de fourchette, ne seront en aucun cas dépassés.

- **Couche d'accrochage épaisseur 3 à 5 mm**

Sable lavé (0/4 ou 0/6 mm) de granulométrie continue, dosage en ciment à 340 Kg/m³ et de chaux hydraulique à 270 Kg/m³ de sable.

- **Couche de fond ou intermédiaire épaisseur 15 à 20 mm**

Sable sec (0/4 mm) de granulométrie continue, dosage en ciment 50 Kg/m³ et 300 Kg de chaux hydraulique.

- **Couche de fond ou intermédiaire épaisseur 15 à 20 mm pour socle**

Sable sec (0/4 mm) de granulométrie continue, dosage en ciment à 360 Kg/m³ et de chaux hydraulique à 50 Kg/m³ de sable.

- **Couche de finition épaisseur 10 à 15 mm**

Sable (0/3) riche en élément finis et ne contenant pas d'impuretés, dosage au ciment à 90 Kg/m³ et de chaux hydraulique à 240 Kg/m³ avec de la chaux aérienne à 40 kg/m³ de sable.

f. Traitement des fissures et ragréage des pierres :



➤ **coulis à base de résines ou mortier bâtard:**

Les fissures stables seront soit ouverte à la rainureuse et élargie au marteau et au burin puis nettoyées avant d'être comblées au mortier bâtard additionné d'un adjuvant de collage, soit traiter par injection de résines époxydes ou acryliques à l'aide d'aiguilles d'injection, ou également être réparées avec un joint de mastic au pistolet pour les petites fissures .

Une fois la fissure réparée ; un grillage à mailles hexagonales avec des pointes en aciers galvanisé sera exécuté au niveau la partie du mur réparé afin de permettre l'accrochage de l'enduit de façade réalisé en mortier bâtard sur trois couches.

Dans le cas de fissures importantes (lézardes) touchant toute la surface et l'épaisseur du mur de façade, ce dernier sera déposé soigneusement et reconstruit en moellons ou pierres de récupération à l'identique de tels façon que la l'assemblage doit se rapprocher le plus possible de la construction originelle au niveau des joints, des lignes d'assises, ...etc. avec un mortier riche en chaux aérienne.

➤ **coulis à base de chaux :**

- Nettoyer les joints et les regarnir avec un mortier de chaux à dosage d'un volume de chaux pour trois volumes de sable propre (2-3mm). La granulométrie peut varier en fonction de la largeur des joints. Le mortier sera plus dosé en liant pour les joints minces, qui sont moins sujets au retrait.

- après humidification, injecter la maçonnerie avec un coulis à grande fluidité, composé à base de chaux hydraulique naturelle à dosage : 1 volume de chaux pour 1 volume d'eau. Si l'approvisionnement en chaux hydraulique naturelle n'est pas possible, on peut « bâtarder » une chaux aérienne avec du ciment pour s'assurer d'une prise en partie hydraulique à l'intérieur des maçonneries. L'injection sera effectuée à refus, par étapes d'environ 1 m de hauteur de mur.
- le coulis devra remplir les vides à l'intérieur de la maçonnerie. Pour créer la pression nécessaire, un simple système utilisant la gravité avec un entonnoir au bout sera efficace. Une autre solution pourra être la construction d'un nid d'hirondelle en plâtre sur la surface du mur pour servir à verser le coulis dans le creux des joints. Au lieu de cet 'outil' on peut éventuellement utiliser une demie bouteille en plastique coupée verticalement et posée sur la surface du mur. Il faut faire attention pendant la manœuvre à éviter les fuites de coulis et d'autres salissures en façade.

Dans la première partie, nous nous intéresserons aux principales pathologies apparaissant dans le béton armé durci. Ces pathologies ont des causes et conséquences variables. Les principales causes de dégradation des bétons proviennent des attaques physiques et chimiques supportées dans le temps par les structures placées dans un environnement plus ou moins agressif, elle doit être prise au sérieux. De nombreux ouvrages nécessitent très souvent de nouvelles interventions contre cette pathologie alors qu'ils venaient d'en être traités. Les dégradations peuvent provenir de défauts initiaux dus soit à une conception mal adaptée, soit à une mauvaise mise en œuvre des bétons.

Dans un bâtiment, l'humidité peut être d'origine naturelle, accidentelle ou liée à un défaut d'entretien. Elle cause différents dommages : diminution importante de l'efficacité de l'isolant, dégradation des enduits et peintures, développement des moisissures et des efflorescences, pourrissement des structures en bois, éclatement des pierres ou des briques sous l'effet du gel de l'eau, corrosion des aciers du béton armé. Évaluer l'humidité peut permettre d'éviter ces dégradations.

À la fin nous avons fait une étude de réhabilitation d'un vieux immeuble à l'université de Guelma. Ce dernier point traite l'étude des désordres constatés dans cet immeuble ainsi que leurs origines et propositions des solutions de réhabilitation.

L'objectif visé ici était de mettre à la portée des techniciens et ingénieurs un document pouvant leur permettre d'aborder avec compétence et savoir-faire, les problèmes des pathologies des bâtiments, d'adopter une démarche appropriée pour une réhabilitation durable et efficace des ouvrages dégradés.

Références Bibliographiques :

- Mémoire DEUA (pathologie des bâtiments d'habitation en béton armé vis-à-vis au séisme)-université 08 mai 1945 de Guelma, département de génie civil , spécialité (béton armé), présenté par Y.Hanafî ;K.Ardjani ;I.Trad Khoudja , sous la direction de Mr.Madi Rafik- Juin 2007.
- Mémoire Réhabilitation des ouvrages en béton arme dégradés par la corrosion des armatures par NDZANA AKONGO Grégoire & TCHOUMI Samuel, Université de Douala (Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique) ENSET - DIPET2 (Diplôme des Professeurs des lycées d'Enseignement Technique 2ème grade) Génie Civil, Option: Bâtiment et Travaux 2007
- Mémoire Réhabilitation des ouvrages en béton arme par Nabila BOUALLA, Université des Sciences et de la technologie d'Oran - License 2011
- « La maison ancienne » - J. et L. Coignet - Editions Eyrolles 2006
- Fiche technique Humidité – ANAH
- La conception bioclimatique - S. Courgey et J.P. Oliva - Terre vivante 2006
- Le pisé - J. Jeannet, B. Pignal, G. Pollet, p. Scarato - Editions Créer
- ETUDE DE REHABILITATION D'UN IMMEUBLE VIEUX BATI A ORAN par L. MAMMAR, et M. MOULI, SBEIDCO – 1st International Conférence on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009
- DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT DES PATHOLOGIES STRUCTURELLES DU BÂTIMENT José Luis González Moreno-Navarro

Sites web :

- <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-th3/1-enveloppe-du-batiment-42226210/restauration-des-batiments-en-beton-arme-c2350/corrosion-des-armatures-c2350niv10001.html>
- <http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/construction-th3/pathologie-generale-pathologie-du-beton-42240210/toitures-terrasses-pathologie-de-l-etancheite-c7125/>
- http://www.peintures-gauthier.com/public/spec/upload/desordres_facades.898.pdf

Supports, Désordres, Normes

Ravalement

Les travaux de ravalement de façade, en rénovation comme en construction neuve, doivent être menés en fonction du support, des désordres rencontrés et de l'état de finition recherché.

Avant Propos

Ce document décrit les principaux supports et désordres rencontrés dans le bâtiment. Il constitue un aide mémoire au traitement des désordres et un rappel des exigences normatives avant et lors de l'exécution de travaux de ravalement.

Dans le cadre de travaux spécifiques, nous vous invitons à faire appel à notre service de Recommandation de Mise en Œuvre. Nos techniciens, répartis sur tout le territoire, établiront un diagnostic de votre chantier et vous proposeront des solutions sur-mesure. N'hésitez pas à faire appel à leurs services.

I. Les Supports Bruts

I.1 - Les Bétons

➤ **Banchés :**

Bétons coulés sur chantier entre 2 banches généralement métalliques, ou en atelier sur une banche horizontale.

Ils présentent une face extérieure de qualité soignée, et intérieure de qualité élémentaire. La présence d'huile de décoffrage oblige à porter un soin attentif à la préparation de surface avant mise en peinture.

➤ **Architectoniques :**

Bétons préfabriqués moulés se présentant sous forme de modules à grands reliefs géométriques. Parfois réalisés en ciment blanc, ils composent souvent la totalité d'une façade.



1.2 - Les Enduits de façades

Mortier de ciment, de chaux hydraulique ou aérienne, mortier bâtard (mélange de ciment et de chaux) recouvrant les maçonneries en briques, parpaings, moellons, ou blocs de béton.

- **Les enduits traditionnels** : D'aspect taloché ou structuré (ex : enduit "tyrolien") ils sont appliqués à la main ou mécaniquement en 3 couches successives.
- **Les enduits monocouches** : D'aspect écrasé, gratté ou bruts de projection, ils sont prédosés et teintés dans la masse en usine.
- **Les enduits bi-couches** : Ils sont mis en œuvre mécaniquement. L'uniformité d'aspect de la finition n'étant pas garantie, ils peuvent être complétés par des produits peinture.



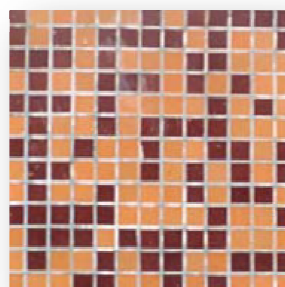
1.3 - Les Carreaux de céramique et Pâtes de verre

➤ Carreaux de Céramique

Petits éléments de terre cuite dont le plus courant est le grès cérame, se présentant en mosaïques de différentes dimensions 2x2 ou 5x5 cm, appliqués en fond de moule sur panneaux de béton.

➤ Pâtes de verre

Verre coloré moulé à froid avant cuisson se présentant en petits modules de 2x2 composés sur panneaux béton formant des éléments de façades.



1.4 - Les Mortiers de plâtre (MPC)

Plâtre gros de construction dans lequel sont ajoutés de la silice et de la chaux aérienne, cette dernière ayant pour effet d'améliorer la résistance à l'eau, la cohésion. Les MPC sont réalisés suivant la spécification du chapitre 12 du DTU 26.1.



1.5 - Les Bétons Cellulaire

Matériau léger alvéolaire composé d'un mortier de ciment de sable fin et de poudre d'aluminium, durci et expansé par moulage en autoclave.

Ce béton se présente sous forme de blocs ou de dalles. Seules ces dernières peuvent recevoir un système peinture en extérieur.



1.6 - Les Briques de Parement

Matériau préfabriqué à base d'argiles cuites à calibre déterminé, obtenu généralement par moulage. La pose s'effectue suivant un appareillage déterminé faisant apparaître des joints.



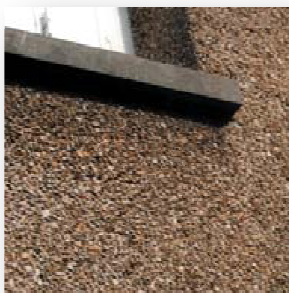
1.7 - Les Pierres apparentes

Éléments constitutifs d'une paroi ou rapportés sur maçonnerie se présentant généralement sous forme de blocs de taille et de constitution variables. Chacun de ces éléments possède ses propres caractéristiques physiques et aspect, suivant la provenance.



1.8 - Les Bétons de gravillons lavés et "mignonnette"

Béton lavé constitué de gravillons calibrés plus ou moins gros formant le parement de surface. Se présente le plus souvent sous forme de panneaux ou dalles préfabriqués.



1.9 - Les Bétons moulés

Béton moulé, préfabriqué, formant des éléments tels qu'escaliers, trumeaux, appuis... ou de formes particulières.



II. Les Supports Peints

La réussite d'un ravalement repose en particulier sur la préparation de surface. Il y a donc lieu de bien définir la qualité des peintures existantes, de vérifier leur comportement et tenue, et de ce fait, de savoir adapter les produits qui seront employés pour leur entretien.

II.1 - Les Bétons peints

Les bétons anciennement peints sont en général recouverts des peintures suivantes :

- Peinture film mince en phase solvant, comme la pliolite qui est réversible lors d'un chiffonnage à l'aide de son propre diluant.
- Peinture film mince en phase aqueuse qui présente souvent un aspect "usé" (type peinture vinylique).
- Revêtement Plastique Épais à grain fin ou grossier, grésé ou ribbé, dont il faut vérifier l'adhérence et l'insensibilité à l'eau.
- Polyuréthane, sur les bétons architectoniques, qui peut être farinant.



II.2 - Les Mortiers de Ciment peints

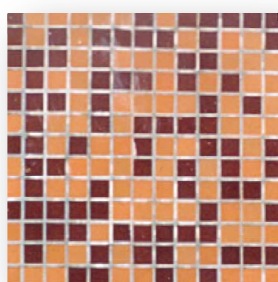
Les mortiers de ciment se présentent sous un aspect lisse (taloché fin) ou structuré (projeté). Ils sont généralement recouverts par une peinture lisse en phase aqueuse ou solvantée, ou légèrement structurée (Revêtement Semi Épais). Ils peuvent avoir été peints par une peinture silicatée qui se reconnaît par son insensibilité aux solvants et à la flamme.



II.3 - Les Carreaux de Céramique

Les façades réalisées en carreaux de céramiques présentent parfois des fissurations. Dans ce cas, elles sont souvent recouvertes d'un système d'imperméabilité incolore ou pigmenté avec armature rapportée.

Pour les travaux d'imperméabilité de façade sur supports peints, obligation est faite de décaper les anciennes peintures (cf. Norme NFP 84-404, réf DTU 42.1). Il est cependant possible de conserver ces peintures, si après réalisation d'une étude préalable celle-ci conclue à leur maintien. Pour les travaux de décoration, il est recommandé de s'assurer de l'adhérence et de l'insensibilité à l'eau des anciennes peintures ou revêtements.



L'étude préalable doit être réalisée dans les cas suivants :

Nouveau revêtement \ Ancien revêtement	Classe I1	Classe I2	Classe I3	Classe I4
Epaisseur < à 300 µ	Etude Préalable	Etude Préalable	Etude Préalable	Etude Préalable
Epaisseur > à 300 µ	Etude Préalable	Décapage	Décapage	Décapage

Tests à réaliser lors de l'étude préalable

Les tests sont réalisés suivant un ordre chronologique décrit dans l'annexe B de la norme NF P 84 404-1 (DTU 42.1). A chaque étape, si le résultat correspond aux caractéristiques définies par la norme et de ce fait jugé "Bon", le test suivant peut être exécuté. A chaque test, tout résultat "Mauvais" conduit au décapage des anciennes peintures ou revêtements. Si tous les résultats sont "Bons" la peinture peut être conservée

➤ L'Aspect

Vérifier l'aspect du revêtement. Il doit être en bon état et ne présenter ni écaillage, ni décollement.

➤ **L'Adhérence par quadrillage à sec**

Le revêtement est incisé jusqu'au support, sous la forme d'un quadrillage formé de 6 lignes horizontales et verticales. Celles-ci sont espacées de 2 mm sur les films minces (exemple pliolute) et de 5 mm pour les revêtements semi épais et épais.

Les résultats sont appréciés suivant le tableau B 1 de la norme. Ils sont "Bons" lorsque les décollements ne dépassent pas 15% de la zone quadrillée.



➤ **L'Adhérence par plots**

Des plots métalliques de 50 mm de diamètre sont collés sur le revêtement et sont arrachés à l'aide d'un dynamomètre. 5 mesures par zone (éléments de façade, pignon...) sont effectuées. Le résultat est "Bon" quand la valeur d'arrachement du revêtement est égale ou supérieure à 0,5 MPa en rupture cohésive et adhésive.



➤ **La Susceptibilité à l'eau**

Humidifier l'ancien revêtement avec une éponge imbibée d'eau pendant 30 minutes. Après de 10 minutes de séchage, le revêtement ne doit pas présenter d'altération visuelle, gonflement ou ramollissement pour être considéré comme "Bon".



➤ Le Quadrillage humide

Ce test est réalisé dans les mêmes conditions que le quadrillage à sec sur les zones humidifiées lors de l'essai de détrempe à l'eau. Il est admis jusqu'à 35% de décollement de la zone quadrillée.

III. Les Désordres et leurs Traitements

De la qualité du traitement des désordres rencontrés dépend largement la pérennité de vos travaux et de vos investissements. Les travaux préparatoires devront être menés conformément à la législation en vigueur. Les travaux de mise en peinture seront engagés après cette étape préparatoire.

Exemples des désordres les plus couramment rencontrés sur supports bruts ou peints.

III.1 - Bullage

Défaut de finition superficiel du béton caractérisé par l'apparition de bulles ou de pores (petites cavités).

➤ Traitement

Ragréage localisé ou généralisé suivant l'importance des zones



III.2 - Micro-organisme / Cryptogames

Altérations biologiques, mousses se développant en présence d'humidité, champignons, lichens, algues polluant les supports et pouvant provoquer des traces colorées (noires, rouges...).

➤ Traitement : Lavage haute pression, brossage + traitement anticryptogamique

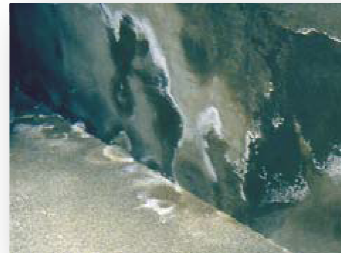


III.3 - Efflorescence

Formation de cristaux apparaissant à la surface d'un support, provenant du matériau et entraînés par migration de la vapeur d'eau.

➤ **Traitement**

Brossage, grattage



III.4 - Descellement

Désolidarisation accidentelle d'un élément par destruction ou rupture du scellement (ex : mortier qui le fixait à la maçonnerie).

➤ **Traitement**

Dégager le scellement, nettoyer les côtés et reboucher.

III.5 - Eclats (épaufiture, écornure)

Eclat d'une pièce maçonnée, d'un élément béton, généralement dans une arête ou un angle. Exemple : éclat d'un linteau de fenêtre.

➤ **Traitement**

Piquage, réalisation d'un coffrage, réfection à l'aide d'un mortier polymère ciment.



III.6 - Eclats de béton dus à l'oxydation des fers à béton

Corrosion des armatures métalliques du béton due à une diminution de son pH (carbonatation) et entraînant une augmentation de volume du fer et un éclatement du béton.

➤ **Traitement**

- Eliminer les parties non adhérentes.
- Dégager le fer, le passiver après élimination de la rouille.
- Reboucher à l'aide d'un mortier de liant mixte polymère-ciment ou mortier de résines époxydiques (cf. norme NFP 84.404-1 annexe C).



III.7 – Farinage

Apparition d'une poudre fine de très faible adhérence à la surface d'un feuil de peinture, provenant de la destruction d'un ou plusieurs de ses constituants.

➤ **Traitement**

Lavage haute pression. Impression adaptée à la nature de la peinture existante.



III.8 - Ecaillage / Décollement

Séparation par plages d'une ou plusieurs couches d'un feuil de peinture et/ou des couches sous jacentes du sujettile.

➤ **Traitement**

- Localisé : brossage, grattage
- Généralisés : décapage



III.9 - Effet fantôme

Tracé des éléments de maçonnerie, parpaings ou briques, visible à la surface des enduits. Cet effet est souvent plus accentué par temps de pluie.

➤ **Traitement**

Après préparation de surface application d'un revêtement semi-épais



IV. Les Désordres et leurs Traitements

IV.1 - Faiççage

Réseau d'ouvertures linéaires du fond de faible largeur, se présentant sous la forme d'un maillage d'environ 20cm de côté. Ce réseau intéresse la partie superficielle des enduits.

- **Traitement**

Application d'un revêtement de classe D3.



IV.2 - Micro-fissures

Ouvertures linéaires du support dont la largeur est inférieure à 0,2mm, elles peuvent constituer un réseau dans le cas de mortier à base de liants hydrauliques.

- **Traitement**

Laisser en l'état + système d'imperméabilité de classe **I1** (voir norme NFP 84.404-3).



IV.3 - Fissures

Ouvertures linéaires, de formes plus ou moins régulières, du support dont la largeur est comprise entre 0,2 mm et 2 mm. Les fissures peuvent être présentes en partie courante des façades ou localisées à des points particuliers tels que chaînages, acrotères, il s'agit dans ce cas de fissures dites de structure.

- **Traitement**

- **Fissures réparties dans la façade :**

Mise en œuvre d'un système d'imperméabilité de classe **I2, I3 ou I4** adapté aux caractéristiques et au nombre de fissures (cf. norme NFP 84.404-3).

- **Fissures de structure** (au niveau des acrotères par exemple)

3 cas sont possibles :

- La fissure est laissée en l'état puis recouverte d'un système de classe **I4**.

- La fissure est ouverte au minimum de 5 x 5mm, elle est calfeutrée et recouverte d'un système de classe **I4**.
- La fissure est transformée en joint et rebouchée à l'aide d'un mastic.

Pour plus de précision, voir norme NFP 84.404-1.

Lézarde - crevasse : à traiter selon technique gros oeuvre.



IV.4 - Lézardes

Ouvertures du support dont la largeur est supérieure à 2 mm. Ce phénomène est lié aux mouvements du support.

○ **Traitement**

Désordre ne pouvant être traité par système peinture. Réaliser une étude déterminant l'origine et l'évolution prévisible, réaliser un traitement approprié.



V. La Réglementation

Les travaux de peinture en façade, en construction neuve comme en rénovation, sont réalisés suivant des techniques dites "traditionnelles" ou "non traditionnelles".

Dans un cas comme dans l'autre, ils doivent être exécutés suivant des obligations entrant dans un cadre normatif ou relevant de documents officiels.

V.1 - Les Techniques Traditionnelles

Elles se caractérisent par des normes relatives aux produits ou systèmes utilisés et à l'exécution des travaux.

V.1.1 - Les Normes Produits ou Systèmes

Ces normes définissent les spécifications techniques et performances auxquelles doivent satisfaire les produits. Elles sont rédigées par une commission d'experts, présidée par un organisme professionnel ou certificateur, ou l'AFNOR. Elles sont diffusées sur demande.

➤ **Les Peintures**

— **Norme NF T 30-804**

Peintures pour le bâtiment. Spécifications des peintures microporeuses pour façades.

— **Norme FD T 30-808**

Fascicule de documentation : guide relatif aux produits et systèmes de peinture pour façade. Revêtements minéraux, revêtements organiques.

➤ **Les Revêtements Décoratifs**

— **Norme NF T 30-700**

Revêtements plastiques épais : spécifications.

— **Norme NF T 34-720**

Revêtements semi-épais à fonction de protection des supports faïencés. Spécifications.

➤ **L'imperméabilité**

— **Norme P 84-401**

Revêtements à base de polymères utilisés en réfection des façades en service : définition et vocabulaire.

— **Norme P 84-402**

Revêtements à base de polymères utilisés en réfection des façades en service : Méthode d'essais.

— **Norme P 84-403**

Revêtements à base de polymères utilisés en réfection des façades en service : Caractéristiques et performances.

V.1.2 - Les Normes d'Exécution

Elles fixent les règles pour l'exécution des travaux réalisés à l'aide de produits répondant aux exigences des normes "produits" (ancienne appellation DTU). Rédigés par une commission d'experts animée par le CSTB, ces documents sont édités et communiqués sur demande par l'AFNOR et le CSTB.

➤ **Les Peintures**

— **Norme NF P 74.201 - (DTU 59.1)**

Travaux de peinture des bâtiments.

➤ **Les Revêtements Décoratifs**

— **Norme NF P 74.202** - (DTU 59.2)

Revêtements plastiques épais sur béton et enduits à base de liants hydrauliques.

➤ **L'imperméabilité**

— **Norme NF P 84.404** - (DTU 42.1)

Norme d'exécution des travaux. Réfection des façades en service par revêtement d'imperméabilité, à base de polymères.

— **Norme FD P 84.405**

Travaux de bâtiment. Protection des façades en service par revêtement d'imperméabilité à base de polymères. Commentaires à la norme NF P 84.404.

V.2 - Les Techniques non Traditionnelles

Elles concernent des techniques ou produits nouveaux ou déjà utilisés, mais qui n'entrent pas encore dans un cadre normatif.

V.2.1 - Les Avis Techniques

Ils se prononcent sur l'aptitude à l'emploi de systèmes ou produits proposés par des fabricants dans des domaines non visés par des normes et entrant dans une procédure d'avis technique.

Ils sont rédigés par la commission des avis techniques sur étude d'un dossier technique présenté par des fabricants et de la réalisation d'essais de la part du CSTB.

V.2.2 - Les Règles Professionnelles

Elles définissent les modalités d'emploi et d'exécution de travaux, sur supports non visés dans les normes ou ne faisant pas encore l'objet d'une norme, celles-ci sont rédigées par le SNJF et l'UNPVF. Ex : réfection des façades en mortier de plâtre "type parisien" par revêtement d'imperméabilité à base de polymères.

V.2.3 - Les Cahiers des Clauses Techniques (ou prescription technique)

Ils sont rédigés par les fabricants et concernent le domaine d'emploi de produits nouveaux ou produits traditionnels mis en œuvre sur supports non visés par les normes et leur mise en œuvre.

Ils sont visés par un bureau de contrôle et complétés par des Enquêtes de Techniques Nouvelles (ETN) ou d'aptitude à l'emploi.

V.3 - Les Travaux de Décoration

Les produits peinture de décoration doivent satisfaire à certaines caractéristiques et performances comme vu précédemment.

➤ **Sont considérés comme travaux de décoration :**

Les films minces (Norme P 84-403), les Revêtements Plastiques Epais (Norme NF T 30-700), les Revêtements Semi-Epais (Norme NF T 34-720), les peintures microporeuses (Norme NF T 30-804).

Celles-ci distinguent trois classes de performances pour les travaux en construction neuve ou en rénovation : D1 - D2 - D3.

➤ **Leur mise en œuvre :**

Elle doit être conforme à la Norme NF P 74.201-1 et 2 (DTU 59.1).

— **D1 - Maintien de l'Aspect**

Le revêtement permet de maintenir l'aspect d'origine du parement de la façade ou de lui donner un aspect peu différent. Il s'agit en particulier de traitement hydrofuge de surface.



➤ **Revêtements Hydrofuges**

Produit Peintures Gauthier :

- Phase solvant : Silario Hydrophobe

— **D2 - Mise en couleur**

Revêtement ayant une fonction décorative. Il s'agit de peinture de décoration colorées assurant l'esthétique des façades en phase aqueuse ou sol vantée.



➤ **Films minces**

Produits Peintures Gauthier :

- Phase aqueuse: Omatex, Hydrotex, Swip, Textocryl, Textoperl, Silario.
- Phase solvant :Textolite, Textone.

— **D3 - Masquage du faïençage**

Revêtement apportant une protection superficielle de nature à masquer le faïençage du support. Il s'agit des revêtements semi-épais et plastique épais



➤ **Films minces**

Produit Peintures Gauthier :

- Phase aqueuse : Silario

➤ **Revêtements Plastiques-Epais**

Produits Peintures Gauthier :

- Phase aqueuse : Skinroc Gr, Skinroc L Skinroc R.

➤ **Revêtements Semi-Epais**

Produit Peintures Gauthier :

- Phase aqueuse : Textoflex

V.4 - Les Travaux d'Imperméabilité

Les produits peinture d'imperméabilité doivent satisfaire à des critères de résistance au passage de l'eau de pluie et à différentes propriétés (tenue au cloquage, perméance à la vapeur d'eau, adhérence, imperméabilité à l'eau). Celles ci sont spécifiées par la norme P 84-403, comme vu précédemment.

➤ **Leur mise en oeuvre :**

Elle doit être conforme à la Norme NF P 84.404 (DTU 42.1) et FD P84.405.

Celle-ci distingue quatre classes de performances pour les travaux de réfection sur façades en service : I1 - I2 - I3 - I4.

— **I1 - Micro fissures < 0,2mm**

Revêtement s'accommodant de la micro fissuration existante du support inférieure à 0,2mm.



➤ **Revêtements d'Imperméabilité**

Produits Peintures Gauthier :

- Lisse : Skinflex 42-1, Skinflex 42-1 mat*
- Structuré : Skinflex Relief (granité, grésé, taloché 440, taloché fin*)

— **I2 - Fissures < 0,5mm**

Revêtement s'accommodant de la fissuration existante du support ne dépassant pas 0,5 mm.



➤ **Revêtements d'Imperméabilité**

Produits Peintures Gauthier :

- Lisse : Skinflex 42-1, Skinflex 42-1 mat*
- Structuré : Skinflex Relief
(granité, grésé, taloché 440, taloché fin*)

— **I3 - Fissures < 1mm**

Revêtement s'accommodant des fissures du support existantes ou à venir ne dépassant pas 1 mm.



➤ **Revêtements d'Imperméabilité**

Produits Peintures Gauthier :

- Lisse : Skinflex 42-1, Skinflex 42-1 mat*
- Structuré : Skinflex Relief
(granité, grésé, taloché 440, taloché fin*)

— **I4 - Fissures < 2 mm**

Revêtement s'accommodant des fissures du support existantes ou à venir ne dépassant pas 2 mm.



➤ **Revêtements d'Imperméabilité**

Produits Peintures Gauthier :

- Lisse : Skinflex 42-1, Skinflex 42-1 mat*
- Structuré : Skinflex Relief
(Granité, grésé, taloché 440, taloché fin*)

-A-

Abraser : User par le frottement répété d'un abrasif.

Abrasif : Qualifie toute substance dont la dureté permet d'abréser, de poncer, de polir ou d'aiguiser par le frottement.

Adhérence : Liaison d'un matériau avec un autre.

Adhésif : Se dit d'un matériau qui peut adhérer spontanément et sans préparation particulière : ruban adhésif.

Alcalin : Relatif aux alcalis ; par extension, qualifie divers produits basiques.

Airless : (de l'anglais sans air) : Qualifie un pistolet de projection des peintures à deux composants.

Ancrage : Ouvrage de stabilisation, destiné à empêcher deux parties ou éléments de se désolidariser, de s'écarter l'un de l'autre.

-B-

Barbacane : Orifice aménagé dans un soutènement pour l'évaporation des eaux pluviales infiltrées.

Barrière : Peut désigner une étanchéité : une coupure de capillarité dans un mur, un masticage à la périphérie d'un vitrage isolant, etc.

Basicité : Ensemble des caractéristiques propres aux bases chimiques ; parmi elles, le caractère alcalin, mesuré par l'acido-alcalimétrie et exprimé en pH.

-C-

Capillarité : Ascension au mouvement de l'eau dans les pores du sol sous l'action des forces capillaires dues à la tension superficielle de l'eau.

Carbonatation : Réaction entre le dioxyde de carbone de l'air et certains constituants du béton. Elle se caractérise par la baisse du pH dans le béton.

Cathode : Electrode négative d'un accumulateur ou d'un dispositif d'électrolyse, par opposition à l'anode.

Cavitation : Usure d'une structure hydraulique caractérisée par une perte de masse en présence de bulbes de vapeur qui se forment lors d'un changement brusque de direction d'un écoulement rapide de l'eau.

Chocs : Le béton éclate sous l'effet de chocs produits par des engins de transport ou de levage, des outils.

Corrosion : Attaque des matériaux par les agents chimiques : sur les métaux, la corrosion est une oxydation, évitée par un traitement électrolytique, zingage, chromage...

-D-

Dégel : Fonte de la glace, de la neige par suite de l'élévation de température.

Dépassivation : Altération de la couche de passivation (couche naturelle de protection entourant les aciers) par l'introduction d'un excès d'agents agressifs.

Dégradation : Dégât fait à un édifice, à un ouvrage.

Dilatation : Augmentation des dimensions d'un corps sous l'effet de la chaleur, sans altération de la nature de ce corps.

Durabilité : Aptitude d'un ouvrage à remplir une fonction dans des conditions données d'utilisation et de maintenance jusqu'à ce qu'un état limite soit atteinte.

-E-

Electrochimie : Science et technique des applications de l'énergie électrique à la chimie (conversion de l'énergie chimique en énergie électrique dans les piles et les accumulateurs ; conversion inverse dans l'électrolyse)

Erosion : Perte de matière résultant du frottement d'un corps solide et d'un fluide contenant des particules solides en suspension et en mouvement.

Expansif : Qui tend à se dilater.

Expansion : Augmentation de volume ou de surface.

-F-

Le feu : Les très fortes élévations de température lors d'un incendie par exemple, entraînent un éclatement du béton.

-H-

Hydrofuge : Produit imperméabilisant, qui interdit ou ralentit le cheminement de l'eau ou sa pénétration dans les matériaux.

Hygrométrie : Etude et mesure des taux d'humidité de l'air.

-I-

Imbue : Première couche d'une peinture appliquée sur un fond absorbant (plâtre, bois) et absorbée par celui-ci.

Imperméabilisant : Produit destiné à améliorer l'imperméabilité superficielle des parois.

Imperméabilisation : Protection contre le passage d'eau à travers une paroi ou un revêtement. Par opposition à l'étanchéité, l'imperméabilisation n'empêche pas le passage de l'air ou de la vapeur d'eau.

Imperméable : Qui ne se laisse pas traverser par de l'eau, sans être cependant étanche aux migrations des gaz et de la vapeur d'eau.

Imprégnation : Pénétration d'un produit en profondeur ou dans l'épaisseur d'un matériau, d'une paroi, d'un panneau, etc.

Incubation : Période comprise entre la contamination et l'apparition des premiers symptômes de la maladie.

Ingélif : Se dit d'un matériau insensible au gel.

Inhibiteur : Produit qui ralentit une réaction chimique, telle que la corrosion des métaux.

Injection : Introduction d'un produit fluide sous pression dans un ouvrage ou un matériau à l'aide d'un dispositif spécial : seringue, tube injecteur.

Inoxydable : Qualifie un alliage protégé contre les risques de corrosion (oxydation), tel que l'acier inoxydable (au chrome et au nickel) dit inox

Intempéries : Ensemble de manifestations climatiques auxquelles sont soumises les constructions : pluies, brouillards, neige, gel, vent...)

Interface : Surface commune à deux matériaux de nature distincte, appliqués l'un contre l'autre : par exemple, surface de liaison entre deux couches de peintures.

-G-

Gel : Abaissement de la température atmosphérique entraînant la congélation de l'eau.

-P-

Passivation : Phénomène électrochimique rendant insensible à la corrosion un métal ou un alliage par formation d'une couche protectrice à la surface.

Perméabilité : Capacité d'un matériau à laisser passer des liquides ou de substances gazeuses.

Polarisation : Phénomène dû à une accumulation d'ions, à un dégagement d'hydrogène ou à la formation d'une pellicule résistante sur les électrodes d'une pile et qui se traduit par une augmentation de la résistance interne et une diminution du courant débité.

-R-

Réactions sulfatiques : Les sulfates proviennent essentiellement du milieu extérieur. Ces ions ne sont pas passifs vis-à-vis de la matrice cimentaire et conduisent à la formation de certains composés chimiques expansifs tels que : L'étringite, le gypse et la thaumasite. Ces composés provoquent le gonflement du béton créant en son sein des tensions qui engendrent des fissurations.

Réhabilitation : Travail de mise en état d'un ouvrage dégradé (bâtiments, ponts,...) dans le respect du caractère originel ou historique de la structure.

Rénovation : Travail consistant à remettre à neuf un ouvrage dégradé.

Restauration : Réhabilitation ou reconstitution avec les matériaux d'origine, d'un ouvrage dégradé présentant un intérêt artistique ou historique.

-S-

Surcharges : Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes qui ont entraîné des fissurations et des éclatements du béton.

Résumé

Les pathologies sont des problèmes des plus importants dans l'évaluation de la durabilité des structures.

L'objectif de notre travail est de générer l'information sur le matériau «béton armé » et les différentes pathologies, nous avons expliqué les principales pathologies et les dommages qu'elles peuvent causer aux ouvrages. Nous avons essayé de présenter les méthodes de diagnostic pour connaître la source du problème et expliquer les méthodes de réparation pour retarder ou de limiter de nouvelles pathologies similaires a la fin nous avons proposer une démarche à suivre pour réhabiliter efficacement ces ouvrages avec des mesures préventives pour empêcher ou retarder le plus longtemps possible la dégradation de ces ouvrages.