



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem
كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie



Département de Génie Civil & Architecture

N° d'ordre : M /GCA/2019

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE DE MASTER ACADEMIQUE

Filière : Génie Civil

Spécialité : Construction en béton armé

Thème

SYNTHÈSE

BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES

DÉGRADATIONS

DES BATIMENTS CAUSÉES PAR L'HUMIDITÉ

Présenté par :

1. BELGHOUL SABRINE
2. CHEBIL YAMNA

Soutenu le 11 / 07 / 2019 devant le jury composé de :

Présidente : Mme ELMASCRI Setti

Examineur : Mr. BOUHALOUFA Ahmed

Encadreur : Mr. BOUHADJEB Kadda

Année Universitaire : 2018 / 2019

REMERCIEMENTS

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'intervention, consciente, d'un grand nombre de personnes.

Nous tenons à saisir cette occasion et adresser nos profonds remerciements et nos profondes reconnaissances à notre encadreur de mémoire de fin d'étude Maitre KADDA BOUHADJEB, pour ses précieux conseils et son orientation ficelée tout au long de notre recherche.

A nos familles et nos amis qui par leurs prières et leurs encouragements, on a pu surmonter tous les obstacles.

Nous tenons à remercier toute personne qui a participé de près ou de loin à l'exécution de ce modeste travail.

SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre 1 : l'humidité dans les bâtiments	
1.1 Introduction.....	3
1.2 Définition.....	3
1.3 Les différents types de l'humidité et leurs caractéristiques.....	5
1.3.1 Types d'humidité.....	5
1.3.2. Symptômes et sources d'humidité.....	8
1.3.3 Répartition de l'humidité dans les ouvrages.....	13
1.3.4 Caractéristiques de l'humidité.....	15
1.4 Le phénomène de la capillarité dans les matériaux de construction.....	19
1.4.1. Expérience de Talenti.....	21
Chapitre 2 : impact et nuisance de l'humidité sur les bâtiments et la santé des occupants	
2.1. Influence de l'humidité sur les bâtiments.....	24
2.2. Impact de l'humidité sur la santé de l'homme.....	25
2.3. Conséquences de l'humidité sur les matériaux de constructions.....	27
2.4. Les efflorescences.....	29
2.5 Effet de la capillarité.....	31
2.6. Insalubrité des locaux et conditions d'habitabilité.....	32
2.6.1. L'humidité et le comportement des matériaux de construction.....	32
2.6.2. Classification des matériaux.....	32
2.7. Conclusion.....	35
Chapitre 3 : Les principales dégradations liées à l'humidité	
3.1. Introduction.....	36
3.2. Pathologies et désordres dus à l'humidité sur les structures.....	37
3.3. Pathologies humides.....	41
3.3.1 Le ruissèlement.....	41
3.3.2. La condensation.....	41
3.3.3. Les remontées capillaires.....	41
3.4. Dégradation des matériaux.....	41
3.4.1. Dégradation de la surface des murs.....	41
3.4.2. Pathologies affectant les enduits.....	42
3.5. Dégradation des éléments de revêtements et de finitions.....	43

3.5. 1.L'action des sels.....	43
3.5.2.Les facteurs physico-chimiques.....	44
3.6. Pathologies affectant les éléments structurels en bois.....	44
3.7. Pathologies affectant les éléments structurels en maçonnerie de pierre.....	45
3.7.1. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité.....	46
3.7.2. Action des algues et lichens.....	47
3.8. Dégradation affectant le toit.....	48
3.9. Les différentes sources d'humidité.....	48
3.9.1. Humidité provenant du sol.....	48
3.9.2. les solutions.....	49
3.10. Conséquences de l'humidité.....	50
3.10.1. Remontées capillaires.....	50
3.10.2. Comment résoudre les problèmes de remontées capillaires.....	51
3.11. Infiltration / ruissellement.....	52
3.12. Ruissellement agricole.....	52
3.13. Ruissellement urbain.....	53
3.14. Infiltration lente/rapide.....	53
3.15. Pression hydrostatique.....	54
3.15.1. Traitement de l'humidité due à la pression hydrostatique.....	54
3.16.Migration de vapeur d'eau et condensations.....	55
3.17. Condensation.....	57
3.17.1.Contre la condensation.....	57
3.18. Eau du sol des fondations.....	57
3.18.1.Les cause des infiltrations d'eau au sous-sol.....	58
3.19. Conclusion.....	59
Chapitre 4 : diagnostic et traitement de l'humidité	
4.1. Diagnostic des causes d'humidité.....	60
4.1.1 Constat visuel.....	60
4.1.2 Appareil de mesure de l'humidité.....	61
4.2. Principales techniques de traitement de l'humidité.....	64
4.2.1 Traitement de remontées de l'eau du sol.....	64
4.2.2 Traitement des infiltrations.....	65
4.2.3 Traitement des condensations.....	67
Conclusion et analyse.....	68

RESUME

De nombreuses dégradations dans les bâtiments sont causées par la présence d'humidité. Certaines sont uniquement d'ordre esthétique (tâches sur les parements...), mais d'autres peuvent impacter la santé des occupants (développement de moisissures...) ou la pérennité du bâti (pourrissement de structures bois...).

La présence d'humidité dans les bâtiments peut provenir de quatre sources différentes : des infiltrations d'eau ; de l'eau apportée en phase chantier ; des remontées capillaires ; de l'occupation du bâtiment.

Cette thématique est transversale : tous les acteurs d'un projet de construction ou de rénovation, de l'auditeur aux exploitants, sont concernés. La gestion de la transmission des informations entre les différentes étapes du projet, et celle des interfaces entre lots sont deux points particulièrement sensibles. Une bonne gestion de l'humidité est nécessaire pour tous les types de bâtiments, mais tout particulièrement pour les bâtiments performants :

- leur étanchéité à l'air importante renforce leur dépendance à une ventilation efficiente .
- l'augmentation du nombre de couches des parois rend plus difficile, et donc souvent plus tardive, la détection d'humidité au sein de la paroi.
- le comportement à l'humidité, variable au sein des différentes couches, peut augmenter les risques de condensation au sein des parois, et limite leur capacité de séchage

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre 01 :

Tableau. 1.1: les différents types d'humidités et leurs symptômes.

Tableau.1.2 : Caractéristiques de l'humidité dans les constructions anciennes.

Chapitre 02 :

Tableau.2.1 : Classification des maçonneries selon leur degré de salubrité calculé d'après le taux pondéral d'humidité

Tableau.2.2 : Classification des maçonneries selon leur degré de salubrité, calculé d'après leur résistance thermique

Chapitre 03 :

Tableau 3.1 : Production de vapeur d'eau due aux usagers

LISTE DES FIGURES

Chapitre 01 :

Fig. 1.1: Diagramme de Molliere

Fig. 1.2 : Les différents types d'humidité

Fig. 1.3 : Remontée capillaire par les fondations.

Fig.1.4 : Les différentes causes d'humidité.

Fig.1.5 : Infiltration directe par le toit.

Fig.1.6: La condensation superficielle

Fig.1.7 : Effet de la vapeur de cuisine

Fig.1.8 : La condensation interne

Fig.1.9 : débordement d'évier

Fig.1.10 : Toiture très dégradée.

Fig.1.11 : Érosion.

Fig. 1.12 : Moisissures sur les murs.

Fig.1.13 : Éclatement du mortier après gonflement

Fig.1.14 : Mouillures.

Fig.1.15 : Remontée capillaire.

Fig.1.16 : Mouillures variables isolée.

Fig.1.17 : détérioration de l'enduit à la limite supérieure de la zone d'imbibition.

Fig. 1.18 : Passage couvert : érosion due à la condensation intermittente d'origine atmosphérique.

Fig.1.19 : Écaillage de la peinture.

Fig.1.20 : Efflorescences.

Fig.1.21 : Zone horizontale humide

Fig. 1.22 : Moisissures sur différentes matières organiques.

Fig.1.23 : Diagramme, établis d'après les types d'humidité, de la distribution de l'eau dans la section horizontale, de la face intérieure à la face extérieure d'un mur dont la capillarité est excellente.

Fig.1.24 : schéma, représentant le sens et la direction de la provenance de l'humidité

Fig.1.25 : phénomène de la capillarité.

Fig.1. 26 : Cheminement de l'humidité le plus cours est « A »

Fig. 1.27 : Rapport entre la hauteur d'affinité et la le plus hauteur du moellon

Fig. 1.28 : Expérience de Talenti, 1971.

Chapitre 02 :

Figure. 2. 1:immeuble dégradé, quartier suika constantine

Figure. 2. 2 : place, quartier basse constantine
Figure. 2.3 : Détérioration des revêtements intérieurs
Figure. 2.4 : Champignons
Figure. 2.5 : Acariens
Figure.2.6 : Moisissures
Figure.2.7 : Mur en pierre et en brique
Figure. 2. 8 : Mur en pierre calcaire
Figure.2.9 : Moisissure du bois Fonction de son taux d'humidité.
Figure.2.10 : Diffusion d'eau en milieu poreux.
Figure.2.11 : expérience, principe de la capillarité
Figure.2.12 : Porométrie d'un béton

Chapitre 03 :

Figure. 3.1 : Développement de moisissure
Figure 3.2 : Efflorescence // desquamation // creusement d'alvéoles
Figure 3.3 : Éclatement de béton
Photo 3.4 : Dégradation et désolidarisation de l'enduit par le gel et l'évaporation
Figure 3.5 : Cloquage de l'enduit / accumulation d'humidité
Figure 3.6 : Détérioration de l'enduit par vieillissement
Figure. 3.7 : Gonflement, décollement en plaques d'enduit
Figure 3.8 : Vieillissement et décollement d'enduit,
Figure 3.9 Détérioration de la colonne en tuf petite tache de coloration blanchâtre
3.10 : Revêtement au sol en marbre abimé
Figure 3.11 : Augmentation de niveau d'ascension capillaire d'après Arnould46
Figure 3.12 : Prolifération de salissures vertes due a une humidité permanente
Figure 3.13 : Présence de mousses / à une présence au moins temporaire d'eau
Figure 3.14 : les remontées d'humidité
Figure 3.15: illustrant un déshumidificateur
Figure 3.16 : la remonté capillaire dans les murs
Figure 3.17 : le phénomène de ruissellement observé dans le Pays de Caux résulte d'une intensité de pluie dépassant la capacité d'infiltration des sols.
Figure 3.18 : des ruissellements agricoles
Figure 3.19 : des ruissellements urbains
Figure 3.20 : des infiltrations
Figure 3.21 : la pression hydrostatique dans une maison
Figure 3.22 : vapeur d'eau

Figure 3.23 : étude qui montre quand est ce qu'il y a un risque de condensation

Figure 3.24 : cas d'une infiltration d'eau au sous-sol

Chapitre 04 :

Figure4.1 : inspection d'un bâtiment

Figure 4.2: un hygromètre

Figure 4.3: un humidimètre

Figure 4.4: un fissuromètre

Figure 4.5 : un psychromètre

Figure 4.6 : remontée d'humidité du sol

Figure 4.7 : traitement d'infiltration par hydrofugation du mur

Figure 4.8 : traitement d'infiltration avec de la peinture anti-humidité

Figure 4.9 : traitement d'infiltration avec un revêtement de façade imperméable

Figure 4.10 : cas de condensation de l'air dans une maison

INTRODUCTION GENERALE

Un logement ou une construction destinée au public est d'abord un abri devant protéger ses occupants des intempéries et, du mieux possible, des atteintes à leur confort dues au climat. Pourtant, les problèmes en lien avec un excès d'humidité sont très fréquents : il importe donc de bien comprendre leurs causes et de, à chaque étape d'un projet de réhabilitation, à ce que les interventions pertinentes soient réalisées.

L'humidité a un impact sur les équilibres hygrothermiques d'un bâtiment. La prise en compte de cette dimension, en parallèle des préoccupations purement thermiques, garantira la durabilité et l'efficacité des investissements consentis. A l'inverse, négliger cet aspect risque de générer des problèmes plus ou moins graves.

De nombreuses dégradations dans les bâtiments sont causées par la présence d'humidité. Certaines sont uniquement d'ordre esthétique (tâches sur les parements...), mais d'autres peuvent impacter la santé des occupants (développement de moisissures...) ou la pérennité du bâti (pourrissement de structures bois...).

Cette thématique est transversale : tous les acteurs d'un projet de construction ou de rénovation, de l'auditeur aux exploitants, sont concernés. La gestion de la transmission des informations entre les différentes étapes du projet, et celle des interfaces entre lots sont deux points particulièrement sensibles.

La présence d'humidité dans les parois d'un bâtiment peut avoir de nombreuses origines : la pluie, les remontées capillaires, les fuites d'air et les ponts thermiques, la vapeur d'eau émise dans les pièces humides (cuisine, douche,) ou par les occupants (respiration), l'eau contenue dans les matériaux, les dégâts des eaux etc. Si ces différentes sources d'humidité ne sont pas correctement appréhendées par le concepteur, elles peuvent avoir des conséquences multiples sur le bâtiment mais aussi sur les occupants (qualité de l'air, moisissures etc.).

La ventilation naturelle notamment la «ventilation transversale» revêt une importance capitale dans l'amélioration du confort intérieur par le renouvellement d'air neuf, afin d'assurer une bonne qualité de l'air, en évacuant l'excès d'humidité, les odeurs et également éviter les risques de condensations. La

ventilation "sanitaire" ou "hygiénique" doit être permanente : exigée en hiver comme en été et doit être assurée sous toutes les conditions climatiques. Dans le cas où il est difficile de l'obtenir au moyen d'une ventilation transversale. Ceci peut être concrétisé à l'aide de procédés passifs, comme celui adopté dans le cas de cette étude : Il s'agit d'une cheminée à tirage naturelle ou thermique.

La déshumidification des espaces intérieurs est d'une importance capitale, elle influe directement sur la qualité de l'air en le purifiant et participe d'une part, à l'augmentation des résistances thermiques des parois, d'où diminution des consommations d'énergie et d'autres parts elle permet une bonne conservation des matériaux qui favorisent une plus longue longévité des constructions.

Par ailleurs, les textes législatifs des pays développés comme ceux de l'union européenne par exemple exigent un certain seuil du taux d'humidité à ne pas dépasser dans les locaux d'habitation. Ainsi, l'humidité est considérée non seulement comme un indice de confort mais aussi, comme un critère de jugement sur l'habitabilité des logements du point de vue hygiénique.

Dans un bâtiment, l'humidité peut causer 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. 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.

Une bonne gestion de l'humidité est nécessaire pour tous les types de bâtiments, mais tout particulièrement pour les bâtiments performants :

- leur étanchéité à l'air importante renforce leur dépendance à une ventilation efficace ;
- l'augmentation du nombre de couches des parois rend plus difficile, et donc souvent plus tardive, la détection d'humidité au sein de la paroi ;
- le comportement à l'humidité, variable au sein des différentes couches, peut augmenter les risques de condensation au sein des parois, et limite leur capacité de séchage ;

Le mobile de la lutte contre l'humidité existante ou contre l'humidification des bâtiments, est essentiellement dicté par le fait de l'eau migratoire, soit qu'elle pénètre dans les matériaux poreux déjà chargés de sels (solutions entrainées des sols), soit qu'elle dissolve divers sels contenus dans les matériaux traversés, en les transportant vers la surface et en les recristallisant sur la surface et dans les

pores, au voisinage de ces surfaces. En même temps, un pourcentage d'humidité plus grand que 3,5 %réduit considérablement les propriétés thermo-isolantes des différents matériaux, rend inhabitable les pièces atteintes, ou stimule le développement de certains organismes végétaux (mérulius lacrymans, etc.).

Dans ce domaine, beaucoup de points restent à développer, et un travail de longue haleine attend les spécialistes pour adopter des solutions convenables aux différentes typologies de constructions existantes.

CHAPITRE 1 : L'HUMIDITE DANS LES BATIMENTS

1.1 Introduction

L'eau sous ses différentes formes dans les bâtiments constitue à la fois un danger potentiel pour la santé et le confort et une source de dommages réels : esthétiques et matériels.

On ne peut sous-estimer les effets nuisibles de l'eau sur les matériaux de construction. Si ces effets n'existaient pas, la construction de bâtiments durables serait grandement simplifiée ainsi que la tâche des architectes.

J.K.Latta [1], déclare : « on a dit que, les recherches en construction, ne seraient pas nécessaires s'il n'y avait pas l'effet de l'eau sur les matériaux de construction. »

L'humidité dans une maison est déterminée par :

- ✓ les paramètres extérieurs : températures, humidité, ventilation et l'ensoleillement.
- ✓ les caractéristiques du bâtiment : présence de fuites, de ponts thermiques, capillarité des matériaux,... etc.
- ✓ le comportement de l'habitant : fréquence de l'aération, températures intérieures, production de vapeur d'eau

Le présent chapitre traite des conditions et des mécanismes à l'origine de l'humidité, de la classification des différents types et de leurs caractéristiques, de l'insalubrité des locaux et des exigences d'habitabilité, de ses nuisances et ses effets aussi bien, sur la santé de l'homme que sur le bâtiment et le confort des habitants en général.

1.2 Définition

Humidité : Présence d'eau ou de vapeur d'eau dans l'air ou dans une substance (linge, pain, produit chimique, etc.)

En construction : l'humidité correspond à une présence anormale d'eau dans un bâtiment. Celle-ci peut être sous forme de liquide, de vapeur d'eau ou de circulation capillaire.

D'après Larousse, l'humidité est l'état de ce qui est humide c'est-à-dire chargé d'eau ou de vapeur d'eau.

D'après Encarta (2005), l'humidité est définie par : eau, vapeur d'eau ou liquide (renfermés par une matière ou un objet).

Il est important de noter que ce qu'on appelle généralement l'humidité est en réalité l'humidité relative. C'est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air exprimée en pourcentage de la quantité maximum de vapeur d'eau que l'air peut renfermer à la même température. Lorsque la température change, l'humidité relative change aussi, étant donné que la capacité de l'air à retenir la vapeur d'eau augmente avec la température. Des courbes psychrométriques sont établies pour représenter ces relations. La figure (1-1) montre le contenu (masse en g/kg d'air sec) de vapeur d'eau de l'air au point de saturation pour diverses températures.

Lorsqu'un mélange d'air et de vapeur est chauffé ou refroidi, le processus qui en résulte peut être représenté par une ligne horizontale sur la courbe. Le développement ABC représente l'air d'une pièce à 21°C et 50% d'humidité relative qui est refroidi au contact d'une paroi froide. Quand il est refroidi à 10,3°C, le mélange devient saturé. S'il est refroidi davantage, de l'humidité sera formée au moyen d'une condensation sur la paroi froide.

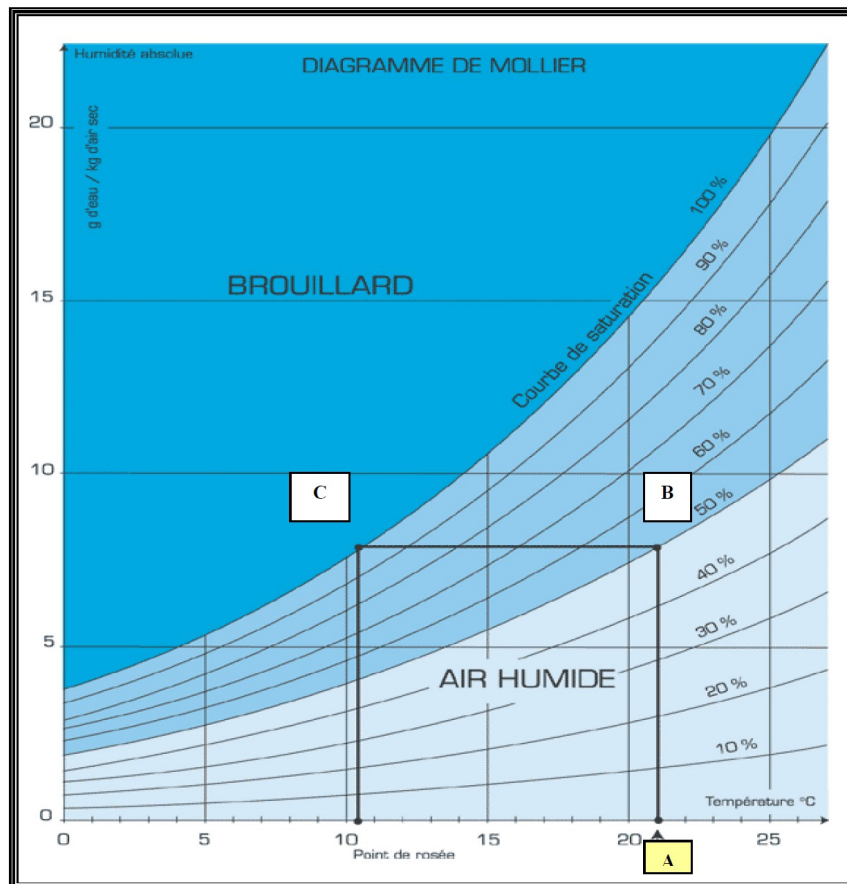


Fig. 1.1: Diagramme de Molliere.

L'humidité de l'air peut s'exprimer de plusieurs manières [2] : teneur en eau (en volume ou en poids), pression de vapeur, humidité relative et point de rosée.

La teneur en eau peut s'exprimer de plusieurs façons :

- ✓ Le rapport de mélange, x , est le rapport de la masse de la vapeur d'eau à la masse d'air sec contenu dans un volume d'air ;
- ✓ La concentration en eau, g , est le rapport de la masse de vapeur d'eau à la masse totale d'un volume d'air, en kg/m^3 ;
- ✓ L'humidité absolue, φ , représente la masse d'eau par unité de volume d'air, en kg/m^3 ;
- ✓ La pression partielle de vapeur d'eau, p , s'obtient en supposant que la vapeur d'eau occupe à elle seule le volume à disposition. Cette pression s'exprime en pascals [pa]. la pression atmosphérique est égale à la somme des pressions partielles de tous les composants de l'air (azote, oxygène, vapeur d'eau, gaz carbonique, argon, etc.)

À chaque température correspond une pression partielle de vapeur d'eau maximum, appelée pression de vapeur saturante. La part d'eau en excès se condense sous forme de liquide ou de glace, suivant la température. La pression de vapeur saturante est donnée dans les diagrammes psychrométriques.

1.3 Les différents types de l'humidité et leurs caractéristiques.

1.3.1 Types d'humidité

Les différents types d'humidité que l'on retrouve dans les constructions anciennes, si l'on écarte le cas banal de l'humidité accidentelle, provenant d'une défaillance d'entretien, peuvent se ramener à quatre (fig.1.2) :

- L'humidité ascensionnelle ou de remontée capillaire des eaux souterraines ;
- L'humidité de condensation superficielle ;
- L'humidité de condensation dans la masse ;
- L'humidité par infiltration latérale de pluie battante.

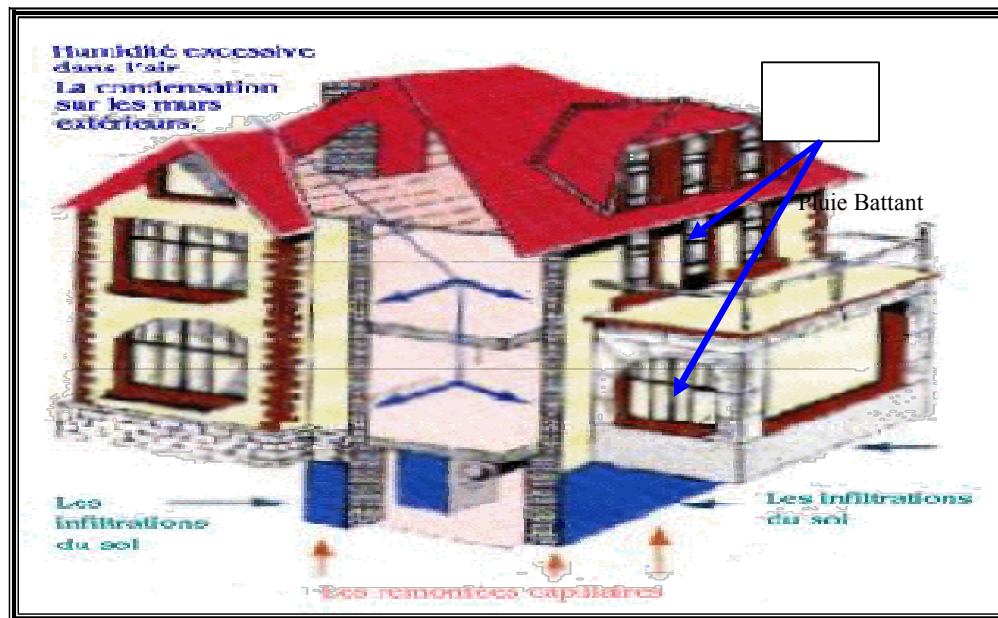


Fig. 1.2 : Les différents types d'humidité.

a) L'humidité ascensionnelle (eau provenant du sol)

La remonté capillaire (fig.1.3), provient de :

- Des eaux souterraines (nappe phréatique)
- Des fuites de canalisations
- Des eaux superficielles (ruissellement des eaux de pluie)

a) Les infiltrations

Causés par des précipitations : pluie, neige... (fig. 1.4): l'eau pénètre dans la maçonnerie par :

- Infiltration directe de la pluie à travers les fissures, microfissures, menuiseries (fig.1.5).
- Infiltration suite à un rejaillissement des pluies (fig. 1.4).

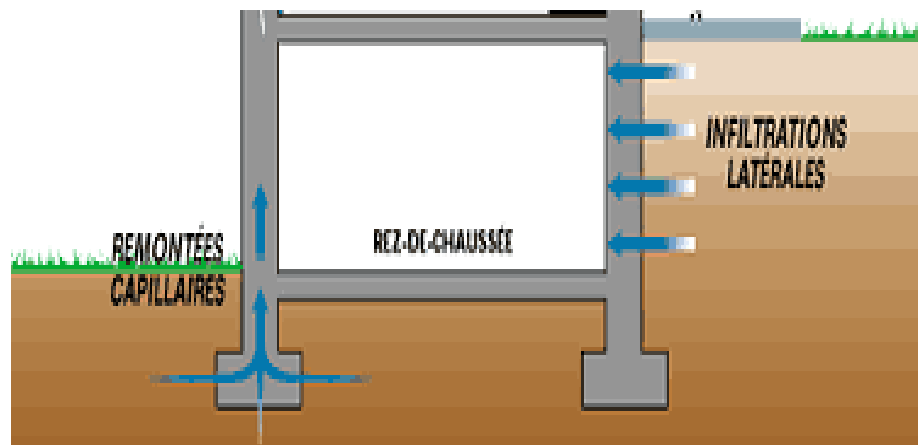


Fig. 1.3 : Remontée capillaire par les fondations.

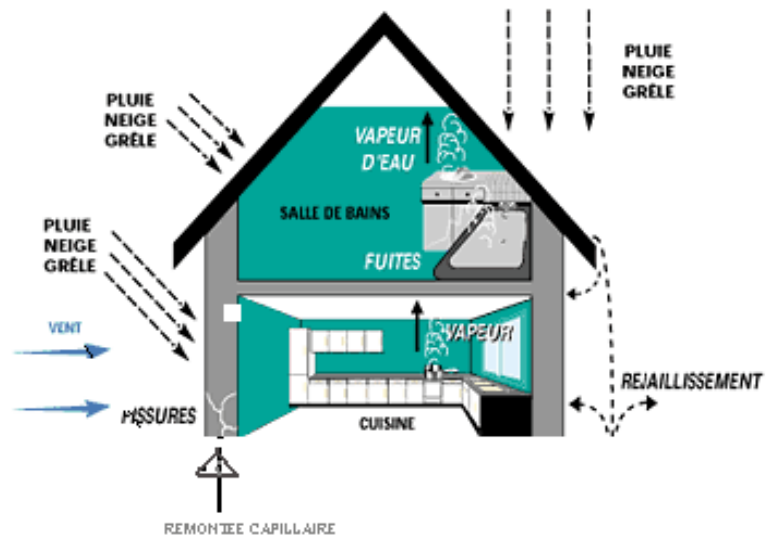


Fig.1.4 : Les différentes causes d'humidité.



Fig.1.5 : Infiltration directe par le toit.

c) Les eaux de condensation

Elles proviennent de [3] :

- La respiration des occupants
- La production de vapeur en cuisine, salle de bains (fig. 1.7).
- La restitution de l'eau des murs sous forme de vapeur (par exemple en sous-sol)

Ce phénomène se manifeste en particulier lorsqu'il y a une mauvaise ventilation des locaux :

- ✓ On peut constater les condensations superficielles sur les vitrages et sur toutes les parois froides dans la construction (fig.1.6).
- ✓ Les condensations internes, par contre sont cachées : en effet, le phénomène constaté sur une vitre dans une salle de bains peut, par temps froid, se produire dans le mur en profondeur (fig.1.8).

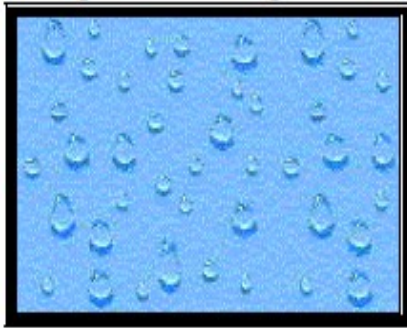


Fig.1.6: La condensation superficielle



Fig.1.7 : Effet de la vapeur de cuisine

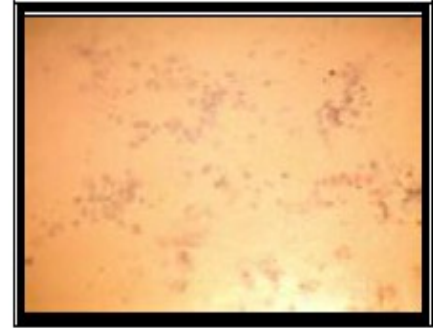


Fig.1.8 : La condensation interne

d) L'humidité d'origine accidentelle

Elle se produit à cause de :

- ✓ De débordements de baignoires, éviers (fig.1.9), lave-linge.
- ✓ De fuites dues à un mauvais entretien : toiture (tuiles ou ardoises brisées) (fig.1.10), canalisations d'eau pluviale, eau sanitaire, égouts.



Fig.1.9 : débordement d'évier



Fig.1.10 : Toiture très dégradée.

1.3.2. Symptômes et sources d'humidité

Les symptômes apparents de l'humidité ne constituent pas les vrais critères pour juger la

gravité de l'invasion de l'humidité dans une construction. Cependant ils peuvent nous renseigner sur les origines de cette invasion (tab.1.1).

De ce fait, il serait utile d'en tenir compte, d'examiner avec précision sa localisation et d'étudier les déplacements d'air afin de savoir si la ventilation est faible ou forte, si toutes les zones sont balayées ou non. En effet l'apparition d'humidité et la ventilation du local sont deux phénomènes intimement liés : c'est à cause des conditions de stagnation ou de renouvellement d'air que dépendent soit l'existence, la multiplication ou, soit la disparition des signes extérieurs de l'humidité, tels que les moisissures, les mouillures, les efflorescences et les érosions[4] (fig.1. 11-12-13-14).

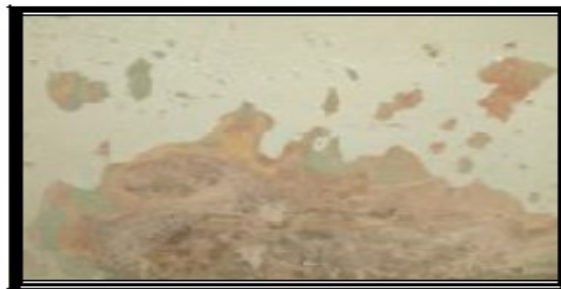


Fig.1.11 : Érosion.



Fig. 1.12 : Moisissures sur les murs.



Fig.1.13 : Éclatement du mortier après gonflement



Fig.1.14 : Mouillures.

La présence de taches visibles, foncées et persistantes d'une tonalité stable, sur le plancher et sur les murs est la preuve d'une humidité des remontées capillaires des sous-sols. Celle-ci peut être décelée facilement parce qu'elle obscurcit les murs à partir de la base jusqu'à une certaine hauteur déterminée, qui ne dépassera pas en générale trois (03) mètres[5], (fig.1.15).

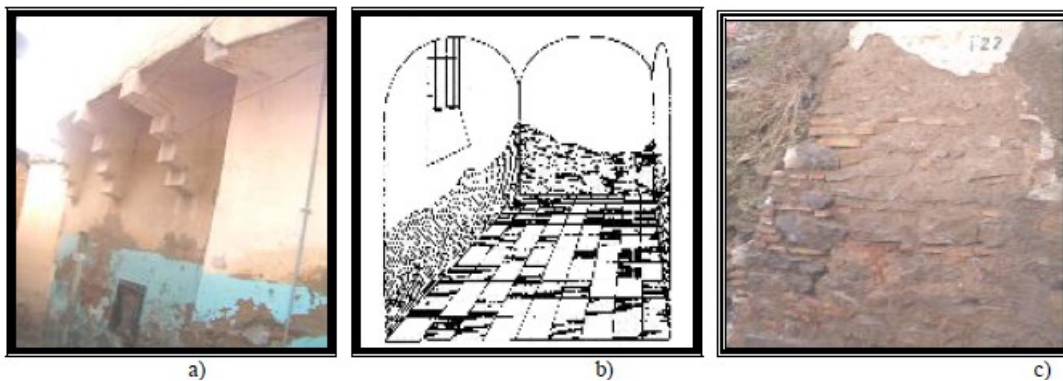
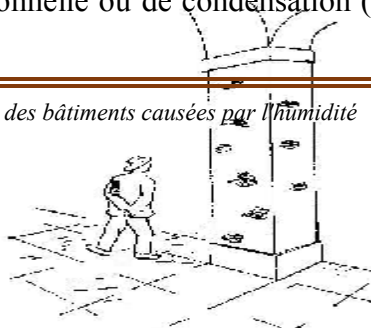


Fig.1.15 : Remontée capillaire.

Par contre, si on constate que les murs et les planchers sont recouvert d'un film uniforme et très léger qui, parfois enlève leurs éclats aux : marbre, revêtements céramique, plinthes vernissées. On peut dire, qu'il s'agit certainement d'une humidité de condensation superficielle [5].

Des mouillures isolées [6] sur le mur, qu'on rencontre à différentes hauteurs, de tons variables, au point de s'estomper entièrement par temps sec et de réapparaître brusquement pendant les journées de sirocco ou de pluie, trahissent une humidité intermittente de matériaux isolés, parfois liée à une légère humidité ascensionnelle ou de condensation (fig.1.16-a ; b ; c).



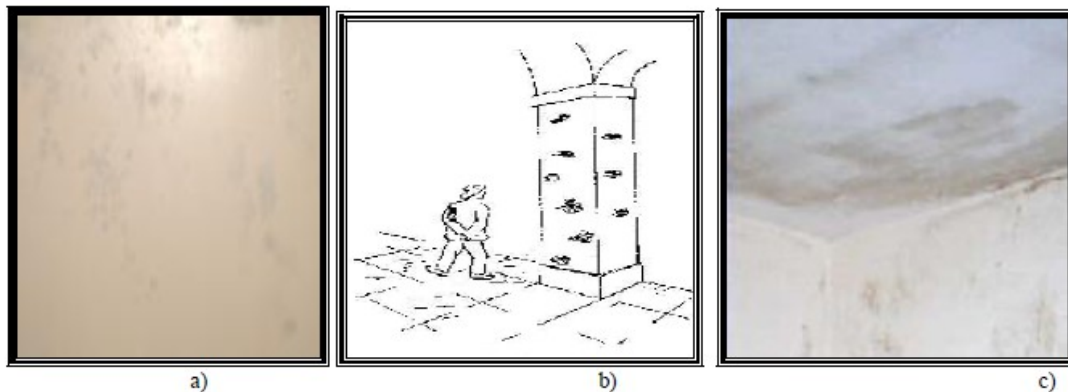


Fig.1.16 : Mouillures variables isolée.

L'action combinée de l'humidité ascensionnelle, les grandes variations de la température et d'une ventilation énergique provoque une nette détérioration de l'enduit à la limite supérieure de la zone d'imbibition, il se trouve que celui-ci soit : fortement érodé et criblé de trous sur une bande de sa partie supérieure. Cela indique que l'enduit est soumis à des alternances de déshydratation et d'imbibition (fig.1.17-a ; b ; c). De telles érosions se produisent surtout dans les halls, sous pilotis et sur des murs extérieurs [7].

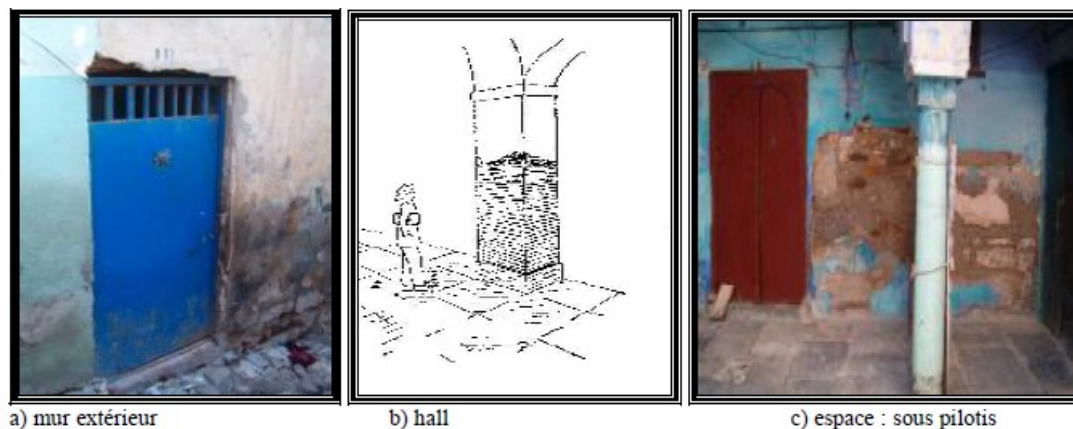


Fig.1.17 : détérioration de l'enduit à la limite supérieure de la zone d'imbibition.

Par contre si l'érosion de l'enduit est légère, située dans le bas des murs à quelques centimètres du plancher ou juste au-dessus des plaintes, cela signifie qu'elle dépend plutôt de l'action alternée, en hiver, de vents humides et chauds qui provoquent une stillation d'eau de condensation, et de vents froids et asséchants (fig.1.18), de telles cas se produisent dans les

passages couverts et les corridors ouverts à l'air extérieur[8].



Fig. 1.18 : Passage couvert : érosion due à la condensation intermittente d'origine atmosphérique.

La décoloration, aussi, et l'écaillement des vernis sur les murs sont des signes soit de l'humidité ascensionnelle si les dégâts sont importants et situés dans la partie supérieure, soit la condensation s'ils ne sont que légers et situés dans la partie inférieure (fig.1.19). Les mêmes phénomènes apparaissent dans les constructions récentes, lorsque l'on pose des vernis sur les parois fraîches [9].



Fig.1.19 : Écaillement de la peinture.

L'apparition d'efflorescences est toujours liée à la présence de sels migrants amenés par capillarité par l'eau venant du sous-sol (fig.1-20), ou déjà présent dans le matériau de construction avant sa mise en œuvre, comme dans les briques isolées couvertes d'efflorescences. Quand ces derniers apparaissent sous forme de traînées, à une certaine hauteur, à la limite de la zone humide, elles relèvent d'une phase d'assèchement de l'humidité. Elles sont, en effet, plus visibles en été qu'en hiver.



Fig.1.20 : Efflorescences.

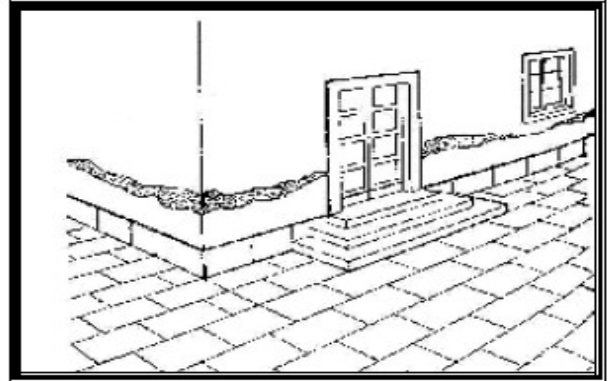


Fig.1.21 : Zone horizontale humide

Il arrive, d'autre part, qu'une bande horizontale d'enduit soit humide entre deux zones sèches. Ce phénomène est dû à un dépôt de sels, laissé dans un temps passé par un envahissement d'humidité souterraine [5]. Ces sels absorbent la vapeur d'eau de l'air et conservent humide la mince bande d'enduit qui les contient (fig.1.21).

Enfin, l'apparition de moisissures (fig. 1.22) est, en particulier, l'indice d'une carence absolue de ventilation : certains de ces champignons ont besoin de beaucoup d'humidité, d'autres de très peu, mais tous exigent une parfaite stagnation de l'air. On les constate si facilement sur les matières organiques et surtout sur le cuir (sur les reliures des livres, les chaussures, les bagages) [10].



SYMPTÔMES	TYPE D' HUMIDITÉ	OBSERVATIONS
Taches permanentes sur le plancher	Humidité ascensionnelle	Probable
Mouillures permanentes sur la paroi, à partir du plancher	Humidité ascensionnelle	
Forte érosion de l'enduit, dans la partie centrale ou supérieure de la paroi	Humidité ascensionnelle Accompagnée d'une bonne ventilation	
Film léger recouvrant uniformément l'ensemble des parois et du plancher	Humidité de condensation	
Taches isolées de ton variable d'un jour à l'autre	Humidité alternante de matériaux isolés, Humidité de condensation	
Érosion légère de l'enduit, dans le bas, juste au-dessus du plancher ou de la plinthe	Humidité de condensation ; plus rarement : Humidité ascensionnelle	
Efflorescences de « salpêtre », apparaissant	Humidité ascensionnelle Dans certains cas : humidité d'infiltration latérale de pluie	
Mêmes efflorescences sur des briques	-----	Symptômes insuffisants pour déterminer ce type d'humidité
Moisissures	Tous types d'humidité, même très Légère	À condition qu'il y ait stagnation de l'air, carence d'insolation et support de matière organique
Champignons domestiques	Tout types d'humidité	À condition qu'il y ait absence de ventilation et

Tableau. 1.1: les différents types d'humidités et leurs symptômes.

1.3.3 Répartition de l'humidité dans les ouvrages

A cause de la capillarité des maçonneries, l'humidité ascensionnelle provoque les taux d'humidités les plus élevés, par contre l'humidité de condensation dans la masse enregistre les plus basses. Donc, Les valeurs d'humidité de la maçonnerie varient selon les types d'humidité (fig. 1-23).

L'humidité de remontée capillaire diminue au fur et à mesure que l'on s'élève au-dessus du sol. Dans la maçonnerie des rez-de-chaussée, lorsque la situation est grave, on constate des taux pondéraux excessifs [7] de 9 à 15% dans les plaintes et un taux normal et tolérable de 3%, à une hauteur d'environ 3m. Lorsque la situation est courante et moins grave, le taux dans les plinthes est de 5 à 9%.

L'humidité ascensionnelle est uniformément répartie, le taux d'humidité reste constant et identique dans la même section horizontale du mur (fig.1.23). Mais il se pourrait qu'il y est une légère différence, lorsque le locale est habité, et ce du côté intérieur du mur à cause d'une éventuelle condensation, de l'ordre de 2 à 4 %.

Cependant, l'humidité de condensation, présente un taux relativement constant sur toute la hauteur de la paroi intérieure, mais un taux décroissant de la face interne vers la face externe, dans la section horizontale du mur.

Quant à l'humidité provenant d'une infiltration latérale de pluie battante, ses manifestations sont des plus contradictoires : dans certains cas, seule la paroi extérieure du mur est humide ; dans d'autres, contre toute attente, les deux parois extérieure et intérieure sont humides, mais la masse intermédiaire reste sèche (fig.1.23).

Le diagramme représentant les variations saisonnières des taux d'humidité dans la maçonnerie (fig.1.23.) n'enregistre aucun fléchissement dans le cas de l'humidité de remontée capillaire. Par contre, il n'en va pas de même dans le cas de l'humidité de condensation, qui est un phénomène transitoire. En effet, on remarque la disparition de l'humidité après la fin de l'hiver.

L'humidité par infiltration latérale de pluie battante et l'humidité à mouillure intermittente sont plus transitoires encore et peuvent se manifester et disparaître d'un jour à l'autre.

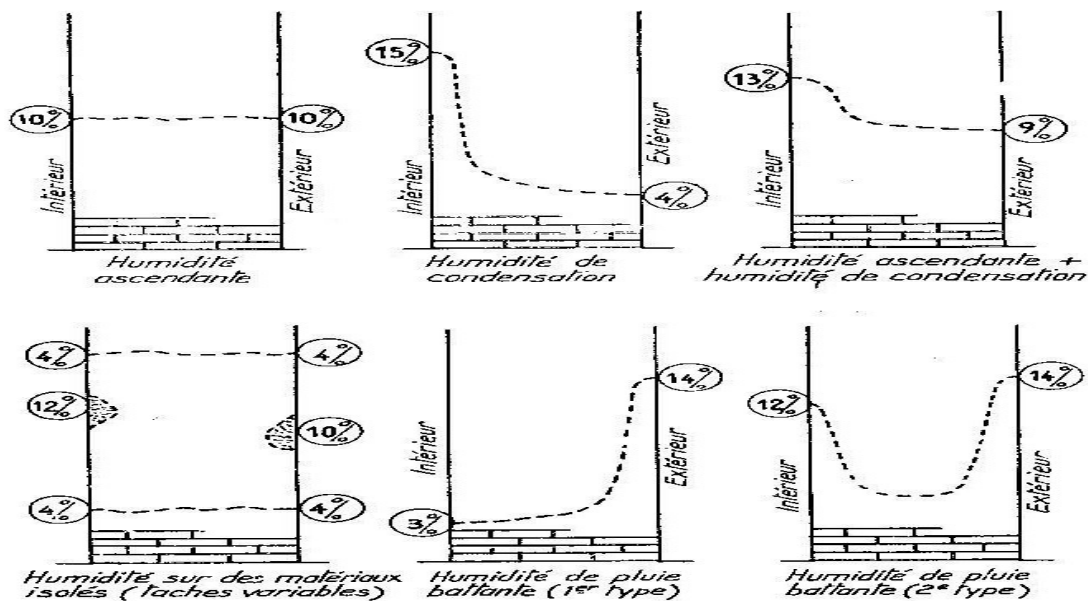


Fig.1.23 : Diagramme, établis d'après les types d'humidité, de la distribution de l'eau dans la section horizontale, de la face intérieure à la face extérieure d'un mur dont la capillarité est excellente.

1.3.4 Caractéristiques de l'humidité.

Si l'on compare l'humidité ascensionnelle à l'humidité de condensation, on trouve que la première apparaît surtout dans les constructions anciennes et seulement aux deux niveaux inférieurs (cave et RDC ou sous-sol et entresol), en revanche l'humidité de condensation, qui se manifeste le plus souvent aux étages supérieurs des constructions en béton armé, à cause de la minceur excessive des murs.

En général, l'humidité de remontée capillaire touche toute l'aire de l'immeuble et tous les édifices d'une même zone quand ils datent de la même époque et qu'ils sont construits avec les mêmes matériaux [11]. Elle imprègne le plus fortement les murs de briques. Surtout les murs rejointoyés par du mortier de pouzzolane que ceux rejointoyés par du mortier de sable ; mais elle ne réussit pas à envahir les murs en pierre naturelle dures et lourde, telles que le granit, le gneiss, le basalte, le calcaire compact, le marbre...etc. Surtout si ces pierres sont mises en œuvre sous forme de moellons équarris (tab.1.2).

Humidité de remonte	Humidité par condensation de l'air	Humidité intermittente de matériaux isolés	Humidité due à la pluie battante
I. PREFERENCES Constructions anciennes Exclusivement aux étages inférieurs et dans les sous-sols. Murs très	En été dans les sous-sols. Aux étages supérieurs en hiver. Murs périphériques	A tout étage, mais le plus souvent aux étages inférieurs Murs construits avec des matériaux de démolition ou	A tout étage Une ou deux façades exclusivement
Brique légère ou tuf	peu épais. Pierres Lourdes	Des matériaux de poids spécifiques très différents	Murs en briques d'une épaisseur inférieure à 3 têtes de briques ou de moises de 60cm, en pierre non équarries.
II- ASPECT Manifestations Constantes Quelque fois, taches Persistantes et obscures s'étendant du plancher vers le haut Érosion éventuelle de l'enduit, dans le haut, en	Manifestations intermittentes. Pellicule uniforme et légère sur toute la paroi intérieure Érosion légère de l'enduit, dans le bas, près de la plinthe.	Manifestations intermittentes Taches isolées d'intensité variable selon les jours, localisées toujours aux mêmes endroits.	Manifestations accentuées après la pluie Tache accentuées, mais irrégulières ; dans certains cas, légère pellicule recouvrant toute la paroi intérieure.
III- TAUX D'HUMIDITÉ Décroissant à mesure que l'on s'élève au-dessus du plancher Constante dans une section horizontale dans toute l'épaisseur du mur	Constant sur toute la hauteur de la paroi. Décroissant dans l'épaisseur, de la paroi intérieure vers l'extérieur du mur.	Très différent d'un point à l'autre. Élevé dans les zones tachées, faisant ailleurs, en général	Très différent d'un point à l'autre quelquefois élevé sur les deux parois intérieures et extérieures, l'ossature du mur restant sèche.

Tableau.1.2 : Caractéristiques de l'humidité dans les constructions anciennes.

Il a été constaté aussi, que l'invasion (humidité ascensionnelle) est d'autant plus rapide et profonde lorsque le mur est bien construit. Cet envahissement dépend toujours de la présence simultanée de deux facteurs :

-
-
- ✓ Quantité de la réserve d'eau dans le terrain ;
 - ✓ Capillarité du matériau de construction uni au mortier

Il en résulte que seule la capillarité du mortier ne suffit pas, pour que l'humidité puisse monter dans la masse de la bâtisse. Il faut que le matériau de construction soit poreux et pourvu d'un coefficient d'affinité élevé, comme le sont les tufs, les calcaires, les grès tendre et les briques ordinaires.

L'humidité ascensionnelle peut être alimentée par :

- ✓ La nappe phréatique;
- ✓ Des nappes superficielles d'eau perdue.

La première source d'alimentation est la plus difficile à maîtriser car il s'agit d'une marée souterraine que l'on ne peut ni assécher, ni contenir mais facilement identifiable puisque c'est un phénomène uniforme et général. Quant au second cas, il est aisé de l'intercepter par des moyens adéquats et l'assainir, elle est généralement accidentelle, cependant elle est difficilement identifiable parce que c'est un phénomène local et limité, échappant à l'observation.

En effet, les méthodes d'intervention sont différentes pour les deux cas

Les nappes superficielles d'eau perdue s'alimentent généralement, d'eaux de pluie mal recueillie, des fuites des conduites d'eau potable ou d'égouts, des puits, des réservoirs d'eau ou encore d'eau de condensation. Il en résulte toujours, et quel que soit leur origine, une imprégnation de certaines parties des fondations lorsqu'elle est profonde, si non les parties de l'ossature juste au-dessous du sol si cette eau perdue est superficielle.

Il se trouve que fréquemment, les cas d'humidité issue de la mauvaise collecte des eaux pluviales des toits et terrasses déversent le long des murs au lieu d'être canalisés jusqu'aux regards. Pour cela et afin de déterminer avec précision l'origine de l'eau d'alimentation, il faut procéder à l'expertise suivante :

- Creuser des tranchées le long des murs humides, jusqu'à une zone sèche ;
- Contrôler l'étanchéité des puits, des citernes, des égouts intérieurs ou extérieurs ;
- Inspecter minutieusement l'état des canalisations de la voie publique et celui des gouttières ;
- Mettre à nu les conduites d'eau sous pression et, toutes vannes fermées, rechercher, au manomètre ou par tout autre moyen, les fuites éventuelles.

L'assèchement des nappes d'eau perdue dépend donc des résultats de l'expertise, Il s'agit de travaux manuels utilisant un matériel élémentaire. Ces travaux exigent aussi une certaine patience en raison non seulement de leur caractère fragmentaire mais aussi de la configuration et de la densité urbaine du site.

Il arrive que le diagramme des sections humides révèle, à lui seul, de quelle direction vient l'eau (fig.1-24).

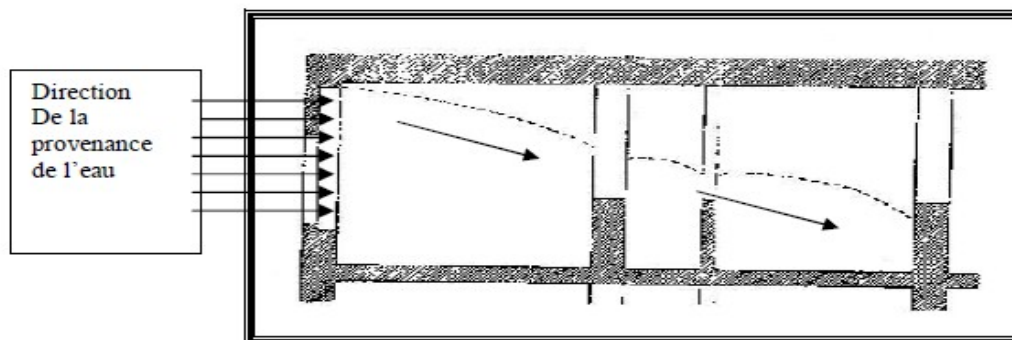


Fig.1.24 : schéma, représentant le sens et la direction de la provenance de l'humidité

Il se pourrait qu'il y ait une double alimentation : eau provenant à la fois de nappes superficielles et de la nappe phréatique. En effet, si l'alimentation se fait à partir d'une nappe d'eau profonde, phréatique, le taux d'humidité de la maçonnerie sera assez uniforme dans l'édifice entier ; mais si l'eau d'alimentation provient de nappes superficielles d'eau perdue, certaines parties malsaines de l'édifice concentreront l'humidité, tandis que d'autres seront sèches [5]. L'examen de ces manifestations est particulièrement utile quand il est impossible d'inspecter directement l'état

a) Propriétés de l'humidité provenant d'eau perdue :

- Elle n'apparaît que d'un seul côté du bâtiment
- Elle n'envahit, en général qu'une bâtisse ou petit ensemble de constructions contiguës
- Ses manifestations sont variables au cours de l'année

b) Propriétés de l'humidité provenant de la nappe phréatique :

- Elle imbibe très uniformément toute la base de l'édifice, sauf si l'infrastructure est construite avec des matériaux hétérogènes ;
- Elle atteint une hauteur maximum sur les faces orientées nord et nord-est « non ensoleillées », et minimum au sud, sud-est et sud-ouest « parties très ensoleillées »;
- Elle envahit tous les immeubles d'un même îlot, datant de la même époque et construits avec les mêmes matériaux ;
- Ne présente pas de variations, la hauteur qu'elle atteint dans les murs est constante pendant toute l'année.

1.4 Le phénomène de la capillarité dans les matériaux de construction

L'étude des propriétés des matériaux, nous permet de comprendre leurs comportements vis à vis de l'humidité. Certaines expériences de laboratoire ont été effectuées sur des échantillons de même taille ont révélé que la hauteur d'affinité varie d'un matériau à l'autre.

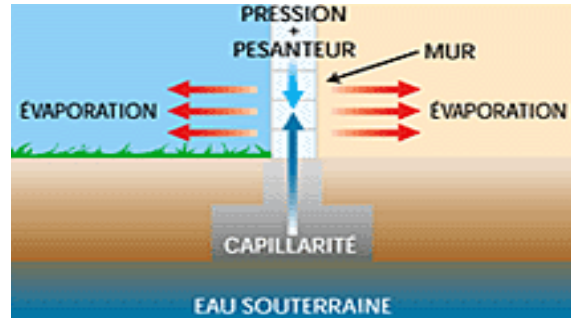


Fig.1.25 : phénomène de la capillarité.

Le pouvoir d'absorption d'un mur se rapproche de celui du matériau de base : plus le rejointoiment en mortier sera mince, plus le comportement général du mur se rapprochera du comportement spécifique du matériau de base.

On peut dire que pendant l'invasion de l'humidité, le comportement du matériau de base (brique ou pierraille) peut être, par rapport au mortier, soit actif, soit passif : actif si le matériau véhicule directement l'humidité avec autant ou plus de rapidité que le mortier ; passif s'il retient l'humidité aux dépens du mortier. Ainsi, le comportement des matériaux qui constituent un mur influence ce dernier pour autant que le mortier qui le rejointoie fasse des différents éléments de construction un ensemble homogène (fig.1-25).

Si l'on prend le cas de la brique ordinaire qui a un pouvoir d'affinité de trois à cinq fois supérieur à celui du mortier [12] : un mur construit avec ce matériau permet à l'humidité de monter d'autant plus rapidement que ce mur sera plus soigneusement construit, que les briques seront de meilleure qualité et qu'elles seront mieux rejointoyés avec du mortier réparti en couches minces et bien étirées.

Une ossature élevée en matériaux anticapillaire, comme par exemple le gré ou le silex, ne favorise pas le passage de l'humidité, l'eau passe très lentement à travers le mortier. Par contre dans un mur de brique, c'est la brique même qui permet le passage de l'humidité d'une couche « Horizontale » de mortier à l'autre et sert de raccourci par rapport au joint vertical du mortier (fig.1.26).

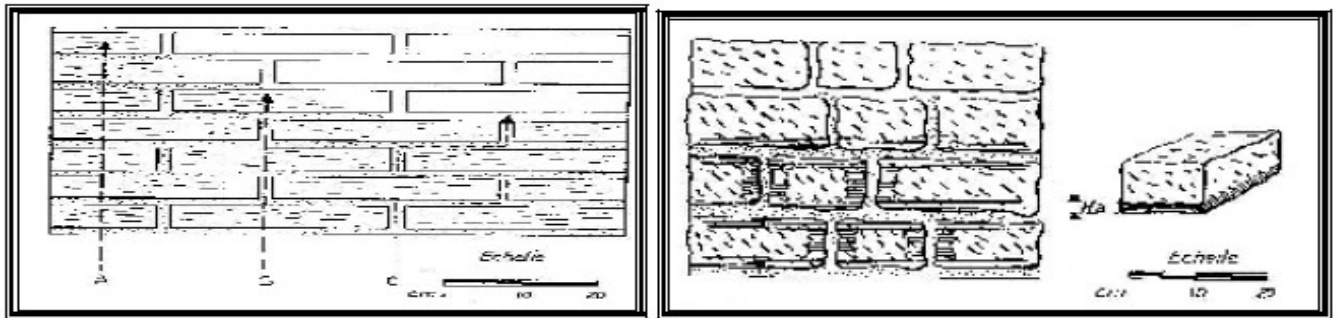


Fig.1. 26 : Cheminement de l'humidité le plus courts est « A » Fig. 1.27 : Rapport entre la hauteur d'affinité et la plus hauteur du moellon

L'imbibition (fig.1.26) s'effectue donc avec plus de rapidité par les trajets A ou B, qui traversent les lits de briques. Ainsi s'expliquent ces hauteurs considérables que l'humidité réussit à atteindre dans les murs de briques, en un temps relativement bref.

Par ailleurs, la participation active d'un matériau à la progression de l'humidité dépend aussi des grandeurs des blocs employés. Si la hauteur du bloc dépasse de beaucoup la hauteur H_a d'affinité (fig.1.27), ce bloc ne contribue en rien à la monté de l'humidité, parce qu'il tend à retenir l'eau qu'il a prise au mortier, tout en restant sec ou presque sec, à l'intérieur de sa masse.

Si une disproportion existe entre l'épaisseur du bloc et son potentiel d'affinité, la progression de l'humidité dans le mur est extrêmement lente et la hauteur maximum qu'elle peut atteindre est relativement peu importante. En effet si l'on dispose de deux murs construits avec un même matériau identique mais taillé moellons gros (hauteur $> H_a$) dans l'un et petits (hauteur $< H_a$) dans l'autre, se comportent différemment, le premier se montrant réfractaire et le second favorable au passage de l'humidité. Par conséquent, les matériaux réfractaires à toute imbibition comme le silex, grés et basaltes peuvent être utilisés en petites dimensions sans craindre l'humidité par contre, les matériaux ayant un grand pouvoir d'affinité doivent être employés sous formes de moellons de la plus grande dimension possible.

En conclusion, pour que l'humidité de remontée capillaire puisse progresser facilement à l'intérieur des matériaux, il faut la présence de deux conditions sine qua non :

- 1) Alimentation continue de l'ossature par une nappe d'eau ou mouillure du terrain,
- 2) Une grande capacité d'absorption du matériau de construction lié au mortier.

Remarque :

Il est à signaler que si, l'alimentation est discontinue, l'humidité s'étend plutôt vers le bas ou à la rigueur horizontalement, au lieu de monter en haut même si le matériau est capillaire.

1.4.1. Expérience de Talenti

Talenti [13] a injecté plusieurs hectolitres d'eau colorée à l'éosine dans un gros pilastre sec en brique jaunes, à haut potentiel d'affinité. L'injection d'eau, effectuée par un trou d'une profondeur de 60 cm, incliné vers l'intérieur du pilastre (fig.1.28), se poursuivit pendant 20 jours consécutifs, à raison de 17 à 18 litres par jour. Après cinq jours, les premières tâches rouges de l'éosine apparurent sur l'enduit extérieur ; ensuite elles s'agrandirent et s'accumulèrent jusqu'à former une large bande autour du pilastre. Cependant, contrairement à ce qu'il avait supposé, l'humidité ne progressa pas vers le haut, mais demeura tout entière en dessous de l'orifice d'injection. Il apparaissait donc que l'humidité se propageait rapidement, sans doute à cause du haut pouvoir d'absorption du matériau, mais seulement vers le bas.

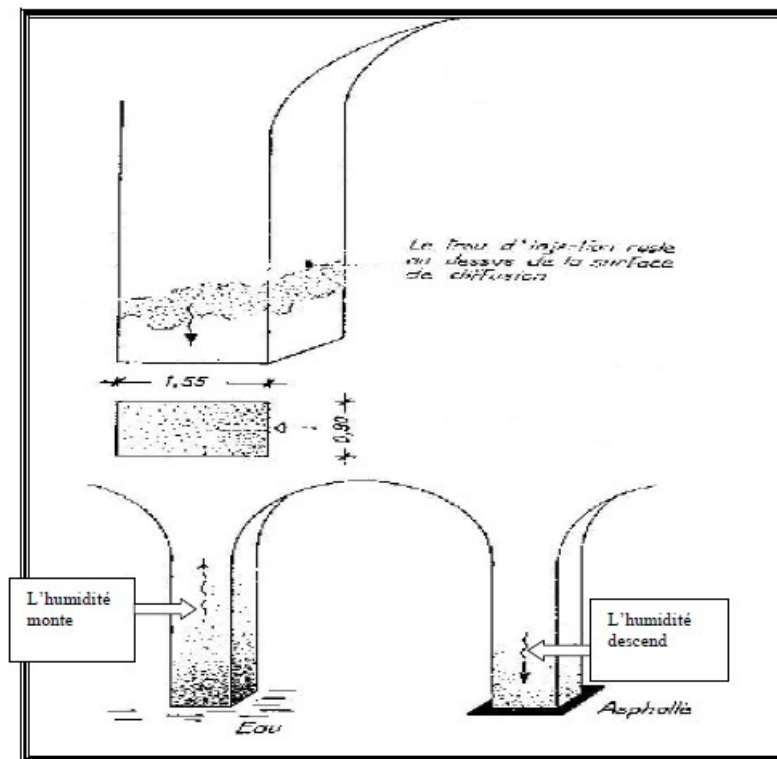


Fig. 1.28 : Expérience de Talenti, 1971.

Ce retour d'expérience assez élémentaire a permis de tirer une conclusion très intéressante pour déterminer l'origine de l'humidité ascensionnelle et comprendre le comportement des matériaux : l'humidité tend à monter, et prend donc la forme caractéristique d'humidité ascensionnelle, uniquement si elle est véhiculée dans une série de vaisseau capillaire s'alimentant à des nappes souterraines.

Dans tous les autres cas, l'humidité subit la loi de la pesanteur et se propage donc vers le bas ; ce n'est que lorsque le mur est saturé de façon continue, dans sa partie inférieure, que l'humidité devient ascensionnelle, se propageant dans la seule direction restée libre, vers le haut. Quant à la vitesse

moyenne d'ascension, Salmoiraghi cite le cas des pylônes en briques de la citerne géante de Livourne, construite en 1828, où l'humidité atteignait une hauteur de 2 à 2,40 m au-dessus du niveau de l'eau en 1887 : elle aurait donc progressé là d'environ 4 cm par an.

Au départ, la progression de l'humidité ascensionnelle à travers un mur nouvellement construit et assez rapide sur les premiers décimètres, mais devient ensuite de plus en plus lente à cause de l'évaporation superficielle qui l'entrave.

A cet effet, nous pouvons conclure ainsi : Quand les deux conditions de l'humidité de remonté capillaire citées précédemment existent sur site à savoir l'alimentation continue et le pouvoir d'affinité du matériau, la hauteur que peut atteindre l'humidité dans le mur dépend :

- Des conditions climatiques : ventilation et ensoleillement ;
- De l'insolation effective ou, mieux, du manque d'insolation du mur humide ;
- De l'âge du bâtiment.

Il serait peut-être utile de citer quelques exemples sur les hauteurs de progression de l'humidité dans quelques pays et ce à titre de comparaison :

En Italie, elle peut atteindre le premier étage, c'est-à-dire 4 à 5 m au-dessus du niveau du sol. elle est de 1 à 2 m en Allemagne et en France.

A Athènes, cependant, elle est pratiquement insignifiante, en raison soit de la sécheresse du climat, soit de la nature du terrain.

Chapitre 2 :

IMPACT ET NUISANCE DE L'HUMIDITE SUR LES BATIMENTS ET LA SANTE DES OCCUPANTS

2.1. Influence de l'humidité sur les bâtiments

L'humidité est l'une des principales causes des désordres qui affectent les constructions. Elle peut menacer la bonne conservation des structures et des matériaux constitutifs du bâtiment. Elle se manifeste par un grand nombre de désordres : salissures, décollement de revêtements, effritement des enduits, gonflement et gauchissement des bois, etc. (fig. :2.1-2-3-4).

Elle peut en cas de gel avoir des conséquences encore plus graves telles les fissurations et les éclatements de matériaux.



Figure. 2. 1:immeuble dégradé, quartier Suika constantine

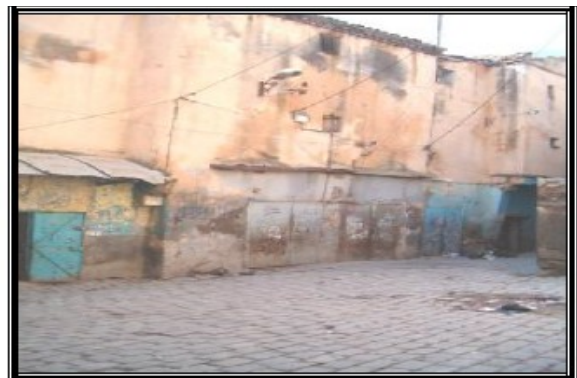
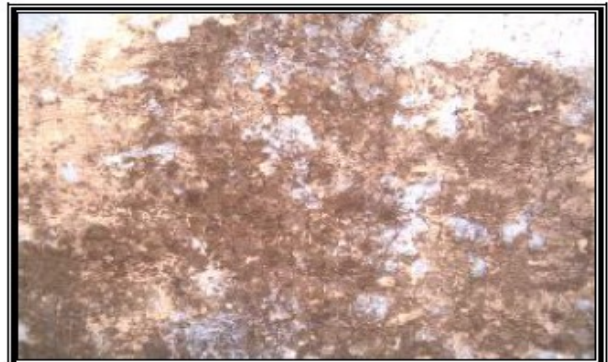


Figure. 2. 2 : place, quartier basse Constantine

Par ailleurs, elle porte atteinte au confort :

- Par le développement de moisissures et de champignons à l'intérieur des logements.
- Par la diminution de l'isolation thermique lorsque les murs ne sont pas suffisamment secs.



2.2. Impact de l'humidité sur la santé de l'homme :

Odeur, insalubrité, esthétique, santé. L'humidité dans l'habitat est une cause importante de problème de santé (rhumatisme, allergies, troubles respiratoires...)

Un milieu de vie sain passe nécessairement par une bonne qualité de l'air au foyer. Un surcroît d'humidité dans l'air peut favoriser la croissance de moisissures, un phénomène qu'on associe toujours à des problèmes respiratoires pour les occupants. L'humidité est donc, l'un des plus graves facteurs de dégradation de la qualité de l'air intérieur des logements. Un air humide altère l'atmosphère d'une maison de plusieurs façons. Dans les cas graves, il peut même affecter la santé.

De récentes études [14] ont sensibilisé le monde du bâtiment ; avec l'amélioration de l'étanchéité de l'enveloppe des bâtiments (alors que les constructions traditionnelles étaient très perméables à l'air), le taux d'humidité à l'intérieur des logements a augmenté. Cette préoccupation se révèle particulièrement sensible dans les régions où les températures extérieures, basses en hiver, engendrent une condensation sur toutes les surfaces où la température est inférieure au point de rosée (niveau de saturation) de l'air ambiant.

L'humidité d'infiltration a pour conséquence le développement de moisissures et de bactéries au sein des matériaux, accompagné de l'émission de substances odorantes et irritantes (fig : 2.6).

Lorsque les conditions propices à la prolifération fongique sont réunies dans un logement, les moisissures peuvent proliférer et coloniser le plafond, et même l'air ambiant ! Les spores sont, en effet, facilement aérosolisables. Elles provoquent ainsi sur les habitants, qui les respirent, des maladies, généralement de type allergique (asthme, rhinite, sinusite, etc.). Les populations à risque sont les enfants et les personnes âgées, plus sensibles à l'inhalation des spores.

L'humidité de condensation augmente le risque d'infestation par les acariens et favorise sur les surfaces qu'elle humidifie la prolifération fongique (moisissures) et bactérienne (fig : 2.5).

Les moisissures sont à l'origine d'un large éventail de pathologies [7] pour les personnes qui y sont exposées de façon prolongée, ce qui est le cas quand il s'agit de l'habitation : les plus fréquentes sont les allergies, avec en tête l'asthme, les enfants étant les plus exposés avec une respiration plus rapide et un développement respiratoire inachevé.

En effet, les allergies sont dues principalement aux spores que les moisissures diffusent dans l'air pour se reproduire. Mais elles produisent aussi de puissants agents inflammatoires qui sont à l'origine d'irritations des yeux, du nez, de la gorge, associés à de la fatigue et à des maux de tête. Enfin, plus exceptionnellement, elles produisent des mycotoxines qui peuvent avoir des conséquences dermatologiques, immunotoxiques et cancérigènes. Leur inhalation peut provoquer des maladies très graves. Les trichothécènes produites par *Stachybotrys atra* ont été incriminées, chez de très jeunes enfants, dans des hémorragies pulmonaires mortelles. Cette moisissure se développe particulièrement dans les bâtiments après des dégâts des eaux. Les spores mortes sont encore allergisantes et toxiques. L'espèce *Aspergillus versicolor*, la seconde espèce la plus fréquente, selon une étude réalisée sur plusieurs laboratoires belges (76,1%), produit une toxine cancérigène appelée la sterigmatocystine...

En outre, l'humidité et en particulier celle de condensation produit des émissions toxiques par la dégradation chimique de certains matériaux de construction [3] comme les revêtements de sol en PVC, le béton, les chapes de ragréage, etc.



Figure. 2.5 : Acariens



Figure.2.6 : Moisissures

2.3. Conséquences de l'humidité sur les matériaux de constructions

Lorsque le taux d'humidité augmente, sa conductivité thermique augmente. Ceci se traduit par le fait qu'un matériau gorgé d'eau perd toutes ses qualités d'isolation. La majorité des matériaux de construction sont poreux : lorsqu'ils sont secs, leurs pores emprisonnent de l'air qui a une très faible conductivité thermique ; lorsqu'ils sont humides, l'air contenu dans les pores est remplacé par de l'eau dont la conductivité thermique est très élevée (vingt cinq fois plus).

a) Pierres naturelles

Sous l'effet de l'humidité capillaire, certains matériaux subissent des dégradations énormes dont l'intensité dépend surtout de leurs positions et leurs orientations dans la structure (2.7). La plus part des grès, par exemple, s'ils se conservent bien en superstructure, se détériorent en infrastructure c'est-à-dire, là où règne l'humidité.

En général, il faut savoir que, parmi les substances qui entrent dans la composition des matériaux naturels, il existe ceux qui sont favorable à la lutte contre l'humidité et d'autres qui l'entravent. Comme la silice par exemple qui en résiste bien, alors que les substances carbonées ou bitumineuses ne le sont pas.

Certaines roches soumises à des actions chimiques comme la « kaolinisation [15] » se désagrègent très facilement par l'humidité, tel que le granit et le porphyre, considérés souvent comme des matériaux éternels (fig : 2.7 ; 2.8).

Comment s'explique alors, la réputation d'éternité de certains matériaux. La réponse est simple. D'après Massari [7], « l'éternité du granit est réelle à condition qu'on l'emploie de façon classique, dans les obélisques ou d'autres monuments extérieurs soumis à des climats très secs, tels que celui de l'Égypte. Mais si l'on employait ce même granit à Venise, dans des fondations soumises à une humidité intermittente, sa détérioration serait aussi inéluctable que son éternité dans un obélisque ».



Figure. 2. 7 : Mur en pierre et en brique **Figure. 2. 8 :** Mur en pierre calcaire

L'érosion des enduits ciments et des pierres calcaires causées par la salinité des bâtiments est aussi un autre type de dégradation chimique, provoqué par l'humidité de condensation provenant de l'air marin. Après réaction, il se forme un sel dangereux appelé : chlorure de calcium qui est déliquescent. Il attaque et détruit les pierres calcaires et les mortiers très rapidement.

b) le bois :

Attaquée par l'humidité, le bois perd ses propriétés physiques tel que : la résistance à la pression en revanche, sa résistance à la traction reste la même. Le diagramme de Geiger, (fig.2.9), montre bien comment la charge maximum supporté par le pin, qui dans les conditions normales d'humidité (12%) est d'environ 470 kg/cm², tombe à 220-200 kg/cm² lorsque le bois approche de la saturation (2 - 40 %).

On peut conclure que le bois, et à cause de l'humidité, serait moins résistant en hiver et en automne qu'en été. Cette observation est d'une grande utilité vis-à-vis des surcharges saisonnières.

L'autre ennemi du bois est le champignon qui apparaît avec l'humidité, au moment où le taux de celle-ci dépasse 18% ou plus, d'autres conditions aussi qui favorisent l'apparition et la multiplication sont :

- L'absence de l'aération ;
- Un minimum constant de chaleur qui favorise le développement du mycélium.

Le champignon le plus répandu est le « *Merulius lacrimans* », appelé communément

« pourriture rouge ». Il est le type le plus dangereux car il n'a besoin que de très peu d'humidité pour se développer, bien que dans la pénombre des greniers il apparaisse recouvert de gouttes d'eau.

Outre, l'odeur prenante qu'il dégage, ce champignon détériore le bois en détruisant soit la lignine, soit la cellulose, mais jamais les deux à la fois sauf que l'action successive de différentes espèces ne les ronge l'une après l'autre [16]. On peut combattre ce champignon par le biais de la ventilation et une température élevée, car, il semble qu'il ne puisse vivre qu'à une température inférieure à 27° C (fig. 2.10).

c) matières organiques :

En toutes périodes (été ou hiver), les matières organiques telles que : cuire, papier ...etc. sont endommagé par l'humidité et la chaleur qui favorisent le développement des bactéries, insectes, champignons et surtout les moisissures. L'humidité peut agir seule ou avec le concours d'agents biologiques suscités.



Figure.2.9 : Moisissure du bois Fonction de son taux d'humidité.

Lorsqu'elle agit seule, au cas où la température est basse, elle provoque le ramollissement progressif jusqu'à la véritable désagrégation du tissu, manuscrits et papier, sachant que ce dernier supporte bien une humidité relative de l'air variant entre 40 et 65 %. Mais lorsque le taux d'humidité se stabilise entre 80 et 90 %, il se détériore rapidement.

L'action des agents biologiques provoque toujours, une odeur de moisi qui révèle le développement des spores.

A Londres, le seuil du taux d'humidité relative a été fixé à 72 %, en dessous duquel, les spores ne se développent plus. En Italie, une disposition imposée aux bibliothèques publiques gouvernementales, sur le conseil de M. Alfonso Gallo, l'auteur éminent de la pathologia del libro a fixé le taux maximum d'humidité relative à 65 % et le minimum à 40%, à condition que la température moyenne ne dépasse pas 18 ou 20°. Pour qu'un papier puisse être considéré comme sec, son taux d'humidité ne doit pas dépasser 12%. [7]

La lumière du jour ou, à défaut, les rayons ultraviolets arrête la propagation des moisissures ; on obtient le même effet par une aération énergique des locaux.

2.4. Les efflorescences

C'est la transformation en poudre par déshydratation des cristaux ou des minéraux. On trouve les sels solubles dans les mortiers, les pierrailles et les briques ou proviennent des nappes souterraines avec l'humidité ascensionnelle.

La cristallisation de certains sels dans les vaisseaux capillaires des matériaux, sous l'effet de l'alternance de l'humidification et de l'assèchement entraîne dans le cas des enduits des

effritements. La partie endommagée de ce dernier se situe dans la zone sèche, juste au-dessus de la zone humide. Quant à la zone de démarcation entre les deux, elle est recouverte d'efflorescence en large bande continue [5].

En revanche, sur les revêtements en brique, ces efflorescences sont et n'apparaissent que sur certains briques isolés, laissant les autres intactes. Ce phénomène est dû à l'humidité, qui favorise la migration des sels solubles.

Les efflorescences continues, caractérisés par une couleur blanche, sont le résultat d'une concentration de sels migrants qui se produit presque toujours à l'endroit où l'humidité s'arrête.

Ces sels peuvent être : le sulfate de magnésium, sulfates de calcium et de sodium. Par contre les chlorures sont rares, sauf, là où souffle l'air marin.

Quant au salpêtre ou efflorescence de nitrate, il est presque inexistant, sauf dans le cas où un dépôt de déchets organiques (égouts, écuries...) se trouve très proche du mur. Il est à noter qu'autrefois, on utilisait le nitrate de potassium (insoluble dans l'eau) dans la fabrication de la poudre à canon.

On peut conclure que la cause des : efflorescences, effritements, et les gondolements est la migration des sels solubles selon deux possibilités [17]

La capillarité : mouvement du liquide des parties humides vers les parties sèches ;

La diffusion : déplacement moléculaire des sels au sein du liquide, allant de la zone de solution la plus concentrée à la zone de solution la plus diluée c'est le phénomène de l'osmose (fig.2.11).

Il est à noter qu'il n'est pas aisé de distinguer l'effet de ces deux causes de migration des sels.

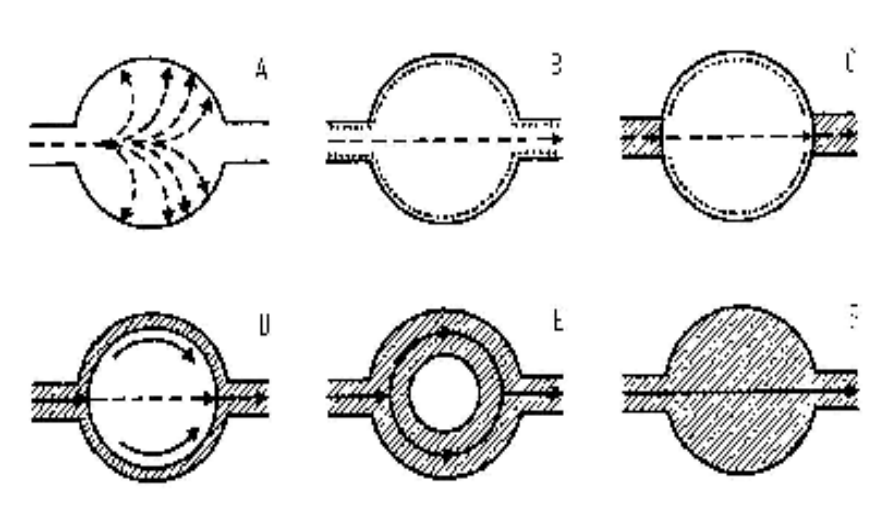


Figure.2.10 : Diffusion d'eau en milieu poreux.

2.5 Effet de la capillarité

C'est un phénomène physique naturel, qui semble s'opposer à la loi de la pesanteur, d'après cette dernière, le liquide se trouvant dans deux vases communiquant doit être au même niveau. Le principe de la capillarité s'observe, lorsque l'un des vases soit réduit de manière à devenir un conduit capillaire, alors, le niveau du liquide monte d'autant plus que le conduit se réduit plus (fig.2.12)

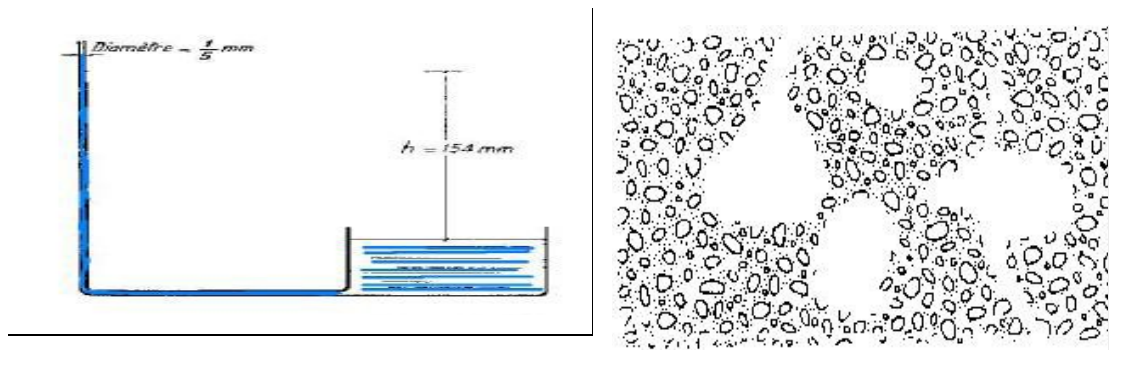


Figure.2.11 : expérience, principe de la capillarité. Figure.2.12 : Porométrie d'un béton

L'expérience montre que dans un tube de 1mm de diamètre, l'eau monte de 31mm ; si l'on réduit ce diamètre à un cinquième, elle monte de 154 mm, et ainsi de suite.

Il a été constaté que dans les vieux murs humides en brique, souvent le taux de 30 % de volume

d'eau est dépassé c'est-à-dire pour un mètre cube de brique correspond 300 kg d'eau, véhiculé par la remontée capillaire.

Dans certains édifices anciens, il a été démontré que leurs murs contenaient, plus de 300 tonnes d'eau au-dessus du niveau (0,00) du sol comme celui du palais Corsini, à Rome [7].

Les dommages provoqués par le phénomène de la capillarité sont les suivants :

Les décollements et les effritements de certaines pierres naturelles et des briques, dus à la pression exercée par les sels en cours de cristallisation ;

L'éclatement des matériaux au moment du gel ;

La formation d'efflorescences qui provoquent l'érosion des enduits et mortiers ;

Insalubrité des locaux causés par migration de vapeur d'eau.

On signale aussi que même les matériaux imperméables, anticapillaires et compacts finissent par être désagrégés par l'humidité (fig.2.13). Si on applique par exemple un enduit de ciment sur un mur en maçonnerie humide. Le résultat sera catastrophique, du moment qu'en bloquant la respiration ou l'évaporation l'enduit sera soumis, à cause des variations de températures, à des sollicitations vers l'extérieur qui provoqueront des boursouflures, des fissures qui permettent les infiltrations et ensuite le décollement. Ce décollement sera favorisé par de multitude de petits dépôts de sels solubles, expulsés de la maçonnerie, qui restent emprisonnés sous le nouvel enduit [11].

2.6. Insalubrité des locaux et conditions d'habitabilité

2.6.1. L'humidité et le comportement des matériaux de construction

Les normes techniques de constructions et d'hygiènes traitent le rapport entre les matériaux et l'eau sur trois critères différents [18] :

- la quantité d'eau absorbée;
- la vitesse ou la puissance d'absorption d'eau ;
- la vitesse d'évaporation ;

Ces trois critères ont fait l'objet d'expériences par plusieurs chercheurs dans le monde, et elles portent toutes sur des échantillons totalement immergés. En réalité ces expériences ne sont pas très utiles, du moment qu'un matériau posé dans une bâtisse n'est jamais entièrement immergé, accepté quelques cas particuliers, quand le niveau des fondations est inférieur à celui de la nappe phréatique ou les constructions sont implantées au bord d'une rivière ou au bord d'un étang.

Il est plutôt important, d'étudier le pouvoir d'absorption d'un matériau de construction usuel, partiellement immergé, autrement dit : la quantité d'eau absorbée par la partie du matériau qui émerge dans le liquide. De cette manière, les résultats obtenus seront similaires aux conditions réelles d'absorptions d'une construction au-dessus du sol, dans lequel l'humidité s'infiltré par les fondations.

Quant aux roches alvéolaires comme le travertin par exemple, elles présentent un coefficient

d'affinité nul.

En ce qui concerne le pouvoir d'évaporation et la vitesse de séchage, on ne trouve pas assez d'informations chez les hygiénistes.

2.6.2. Classification des matériaux.,

a) selon leurs taux d'humidité

Lorsque le local est atteint par l'humidité partielle, on ne doit pas prendre en considération seulement le taux maximum d'humidité dans les murs mais aussi leurs taux moyen.

Souvent, dans les constructions anciennes, on constate que, le taux le plus élevé, se situe très proche des planchers, puis diminuent progressivement vers le haut ; doit-on déclarer le local inhabitable à cause d'un taux élevé d'humidité partiel et non généralisé, même s'il est bien orienté (ensoleillé) ? Si l'on ne constate, aucune trace d'humidité, la réponse est non !

Dans ce cas, les experts admettent un taux moyen qui doit être inférieure ou égale à la limite maximale tolérée par les hygiénistes.

Comme nous allons le voir, chaque type de matériau possède une humidité résiduelle prouvée, scientifiquement et expérimentalement, qu'elle est inoffensive.

À cet effet, les hygiénistes ont mis une règle générale pour déterminer le taux hygiéniquement tolérable, dans n'importe qu'elle matériau en construction mis en œuvre, en ajoutant 2% à l'humidité spécifique du matériau en question, de dimension d'une brique, asséché à l'air libre mais à l'abri des intempéries. Le tableau suivant (tab.2.7), montre les taux d'humidité maximal pouvant être normalement contenues dans les murs de locaux habitables et les taux au-delà desquels les locaux deviennent véritablement insalubres et donc inhabitables

Type de maçonnerie	Parfa ite ment sèche (hum. origin elle)	Sèche du point de vue hygiéniqu e	Humidité hygiéniquemen t tolérable dans certains cas	Humid e	Trè s hu mid e
En brique ordinaires.	1%	jusqu'a 3%	jusqu'à 4%	De 3 à 9%	Plus de 9%

En pierres légères et absorbante	jusqu'à 4%	jusqu'à 6%	jusqu'à 7%	De 6 à 15%	Plus de 15%
En tout autre matériau naturel	L'humidité originelle se calcule d'après le séchage à	L'humidité originelle majorée d'une valeur pouvant atteindre	L'humidité originelle majorée d'une valeur pouvant atteindre		

Tableau.2.1 : Classification des maçonneries selon leur degré de salubrité calculé d'après le taux pondéral d'humidité

b) Selon leurs résistances thermiques

Rappelons que, l'insuffisance de la résistance thermique peut provoquer l'apparition de l'humidité de condensation à cause du refroidissement de l'air, sans pour autant que le taux de l'eau contenu dans les murs extérieurs ne dépassent les limites requises.

Le tableau suivant (tab.2.8) montre une classification des murs, selon protection thermique qu'elle assure dans deux climats méditerranéens, où la température soit, elle est inférieure à quatre soit elle est supérieure à quatre. Les valeurs se rapportent aux trois surfaces susceptibles de provoquer une perte de chaleur : le mur, le plancher et la couverture.

Remarque : on ne doit pas être toujours être transigeant, lors de notre jugement sur la protection, « suffisante » ou « insuffisante » surtout lorsque le local ne présente aucune trace d'humidité, en aucune saison, on doit considérer le local comme habitable, même si, d'après, le tableau, quelques partie de maçonnerie présente une protection thermique dite insuffisante. En revanche, si les signes d'humidité sont évidents, les indications du tableau deviennent décisives.

Type de maçonnerie	Epaisseur en m	Résistance thermique total $R=1/K$	Protection thermique	
			Température moyenne de janvier $T < 4^{\circ}$	$T > 4^{\circ}$
Mur en brique pleines ordinaires ($\lambda=0,67$).....	0,55	1	Suffisante toléré.	Excellente
	0,50	0,90	Dans certain	Excellente
	0,42		Insuffisante	Suffisante

2. Mur en matériaux lourds (p.s.de 2,5 à 3) : gneiss, basalte, marbre, calcaire				
3. Mur en grès calcaire tendre, taille (p.s. de 1,8 à 2,2)...	0,75	0,82	insuffisante	Suffisante
	0,60	0,70	Insuffisante	Insuffisante
4. Mur en tuf léger (p.s. 1,4 ou 1,6).	0,65	1,28	Suffisante	Excellente
	0,60	1,18	Suffisante	Excellente

Tableau. 2.2 : Classification des maçonneries selon leur degré de salubrité, calculé d'après leur résistance thermique

L'inconvénient du béton armé malgré les progrès grandioses accomplis par sa technique, n'ont pas été suivis de progrès analogues dans le domaine de l'hygiène[22]. En effet, les ouvrages de maçonnerie destinés à parachever l'armature sont loin d'assurer le minimum requis de protection thermique. Les éléments les plus exposés à la condensation dans les constructions en B.A sont :

- les colonnes de béton, surtout les colonnes d'angles ;
- les parois minces (excessivement) des cours intérieures et des structures en saillie ;
- les couvertures ;
- les parois en béton armé adossées au terrain ;
- les caissons de stores ;
- les appuis des fenêtres ;
- les semelles de béton hautes et minces ;
- les parois d'escaliers, coulées en béton par mesure de sécurité contre les incendies ;
- le premier plancher des structures en saillie ;

2.7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons essayé de montrer comment l'humidité peut avoir des effets négatifs sur le confort de l'individu à l'intérieur de sa maison, et à quel point elle peut affecter sa santé, et puis les dommages qu'elle peut causer à la construction.

Ce faisant, nous avons dû nous rendre compte que l'humidité, quel que soit son origine a des effets sur :

-
-
- la résistance thermique des murs engendrant ainsi le refroidissement de toute la pièce.
 - les variations dimensionnelle des matériaux qui se manifestent par : retrait, gonflement et dilatation causant ainsi des fissures.
 - la résistance mécanique des matériaux, tel : le fluage, éclatement des revêtements, action du gel, etc.
 - les interactions physico-chimiques des matériaux poreux comme la corrosion (acier), sels minéraux (terre cuite), hydrolyse
 - le développement biologique, tels que : moisissures, champignons, micro-organismes.
 - l'insalubrité des locaux, l'esthétique des parois et même les défauts de fonctionnement des équipements surtout les installations utilisant l'énergie électrique.
 - les maladies : allergies, rhumatisme, cancers.

Ces effets auront donc un impact sur l'économie : d'une part, des dépenses d'énergie supplémentaires en chauffage pour compenser les déperditions thermiques à travers les parois et les isolants affectés par l'humidité, d'autre parts, les dommages et la pathologie qui engendrent des coûts pour la réparation des ouvrages et les charges des missions d'expertises.

Par conséquent, La pathologie et les désordres liés à l'humidité sont importants en nombre d'intervention et en coût, elle justifie ainsi l'intérêt qu'il y a lieu d'accorder aux recherches dans ce domaine.

La lutte contre l'humidité est l'un des principaux soucis des architectes, nous envisageons donc, de traiter certains cas, dans le chapitre suivant : réhabilitation où nous présenterons quelques remèdes efficaces contre toutes les formes de l'humidité

CHAPITRE 3 : LES PRINCIPALES DEGRADATIONS LIEES A L'HUMIDITE ET CES SOURCES

3.1. Introduction

L'étude et la connaissance des pathologies liées à l'humidité est une étape primordiale pour l'élaboration du projet de réhabilitation ou autre.

[Berger, 2012] regroupe les pathologies du bâtiment liées à un excès d'humidité en 4 catégories :

- Les altérations dues à l'action propre de l'humidité :
 - Modification des propriétés mécaniques ;
 - Modification des propriétés thermiques ;
 - Variations dimensionnelles ;
- Les altérations dont l'humidité est le vecteur :
 - Le gel des matériaux ;
 - La cristallisation des sels ;
- Les altérations se développant en milieu humide :
 - Les dégradations biologiques ;
 - La corrosion des métaux ;
- La dégradation des ambiances intérieures :
 - La dégradation du confort hygrothermique ;
 - La dégradation de la qualité de l'air.
 - Les sources d'humidité dans les bâtiments se répartissent en trois grandes familles : Les sources extérieures au bâtiment : elles sont principalement constituées de la pluie (pénétration par la façade ou par la toiture) et des remontées capillaires (par les fondations ou les murs enterrés).
 - Les sources provenant du bâtiment lui-même : que ce soit en neuf ou en rénovation, les matériaux possèdent une certaine humidité qu'ils vont dans certains cas devoir évacuer. C'est le cas du séchage du béton ou des enduits par exemple.
 - Les sources liées aux usagers : une personne émet de la vapeur d'eau par respiration et par sudation. La cuisine et la toilette sont aussi des sources d'humidité liées à l'utilisation du bâtiment.

Source d'humidité	production
Personne au repos	40 g/h
Personne en activité modérée	60 g/h
Cuisson	2 kg/jour
Séchage du linge	1,5 kg/jour

Tableau 3.1 : Production de vapeur d'eau due aux usagers

3.2. Pathologies et désordres dus à l'humidité sur les structures

a) Modification des caractéristiques physiques

Pour les matériaux de construction, une augmentation du taux d'humidité se traduit par les modifications suivantes : variations dimensionnelles, diminution de la résistance mécanique, augmentation de la conductivité thermique.

b) Les mousses et les lichens

Les parties de maçonneries humides s'exposent à la prolifération des mousses et des lichens. Ce sont des végétaux qui ne se développent qu'en terrain humide. Jugés parfois comme étant esthétiques (aspect rustique), il présente l'inconvénient de retenir l'humidité et de détériorer les matériaux.

c) Les moisissures

La présence de végétaux maintient sur les ouvrages concernés une humidité qui peut être néfaste. Si les conditions d'humidité et de température sont favorables à leur apparition, des moisissures se développent dans le logement (fig.3.1), notamment sur les murs, planchers et plafonds surtout dans des zones mal ventilées, derrière un meuble par exemple.

Outre son identification visuelle, ce phénomène est souvent accompagné d'une odeur caractéristique de mois. Ces moisissures sont néfastes à la santé des occupants et peuvent notamment provoquer des problèmes respiratoires.



Figure. 3.1. Développement de moisissure

Une atmosphère trop humide favorise la prolifération des moisissures et des champignons. Les locaux humides et non aérés depuis longtemps dégagent une odeur de ‘moisi’ caractéristique. Les moisissures se développent surtout en présence d’humidité prolongée dans un local non aéré et privé de lumière. En effet, les spores des moisissures ne résistent pas aux rayons ultraviolets.

d) Les efflorescences et salpêtres

Le milieu humide du sous-sol chargé d’acidité ou même l’eau contenue dans les matériaux humides est le plus souvent chargée des sels provenant très fréquemment du matériau lui-même. Ces sels, lorsque l’eau s’évapore, se déposent sur la face extérieure de la maçonnerie, créant des traces, des taches ou efflorescences. Ces efflorescences peuvent provoquer des détachements de plaques entières. Les efflorescences sont communément appelées « Salpêtre ».

Au cours de sa migration à travers les matériaux du mur, l’eau liquide se charge en sels solubles qui peuvent apparaître à sa surface après évaporation. Ce phénomène appelé efflorescence, se traduit en général par des traces blanchâtres dont les conséquences se limitent au seul impact visuel et peuvent être facilement supprimées par simple brossage dès lors que la cause de l’humidité a été efficacement traitée.

e) La desquamation de la pierre

La desquamation de la pierre se manifeste par des décollements de plaques de plus ou moins importantes sur des épaisseurs variant de 2 à 20 mm La desquamation se localise dans les zones humides des constructions (parties basses des murs, sous faces des parties en saillies non pourvues de larmiers, etc...). Mais la desquamation appelée « maladie de la pierre » à également pour cause la pollution atmosphérique. L’anhydride sulfureux contenu dans l’air se transforme en acide sulfurique sous l’effet de la pluie (fig.3.2).

Lorsque le taux d'humidité d'un matériau augmente, sa résistance mécanique diminue. Ce phénomène s'explique par une diminution de la contrainte de compression admissible due au fait que, lorsqu'on exerce une compression sur un matériau humide, l'eau emprisonnée à l'intérieur tend à s'échapper. Cela peut conduire à l'éclatement des parties de matériau.



Figure 3.2. Efflorescence // desquamation // creusement d'alvéoles

f) Pourrissement des structures en bois

Un élément en bois, maintenu humide (du fait d'une fuite de canalisation ou de toiture par exemple) peut être attaqué par des champignons qui le détruisent.

Le mэрule est l'un des plus connus. Elle se caractérise par ses effets spectaculaires et la rapidité de son développement notamment en l'absence de lumière. Elle se présente sous la forme d'une sorte de « chevelure » qui « mange » la pièce de bois en réduisant ses qualités mécaniques, ce qui peut conduire à l'effondrement des ouvrages. Ce champignon s'attaque également aux parties saines de la structure en bois en étendant sa chevelure. Le danger de cette attaque réside dans sa discrétion.

Le bois peut également être attaqué en surface par d'autres champignons qui ne présentent pas les mêmes dangers pour la structure.

g) Éclatement des matériaux

Les matériaux minéraux, qu'ils soient naturels comme les pierres ou artificiels comme les briques peuvent présenter des cavités dans laquelle l'eau peut se loger. Sous l'effet du gel, cette eau transformée en glace peut les faire éclater.

On constate également l'éclatement de matériaux minéraux par formation de sels expansifs en leur sein.

h) La corrosion

L'humidité a également pour effet de provoquer la corrosion des métaux. L'acier rouille au contact de l'air humide dès qu'il y a condensation de la vapeur et donc contact entre l'eau liquide et l'acier. Il s'ensuit une dégradation de l'acier qui peut aller jusqu'à mettre en péril la résistance des ouvrages concernés. Cela concerne notamment les planchers de certains bâtiments d'habitation en particulier ceux dont les éléments porteurs sont fréquemment des poutrelles en acier.

Ce qui peut aussi entraîne des ruptures de canalisation dans le cas le plus grave ou des salissures dues à des coulures de rouille. Les métaux situés en milieu humide sont plus sensibles à la corrosion que ceux lavés par la pluie ou carrément immergés.

Cette attaque chimique lente s'accompagne d'une forte augmentation de volume qui peut faire éclater les matériaux enrobant l'acier fig. (3.3). C'est notamment le cas des ouvrages en béton armé dont les armatures ne sont pas suffisamment protégées ou des scellements de garde-corps ou de gonds.

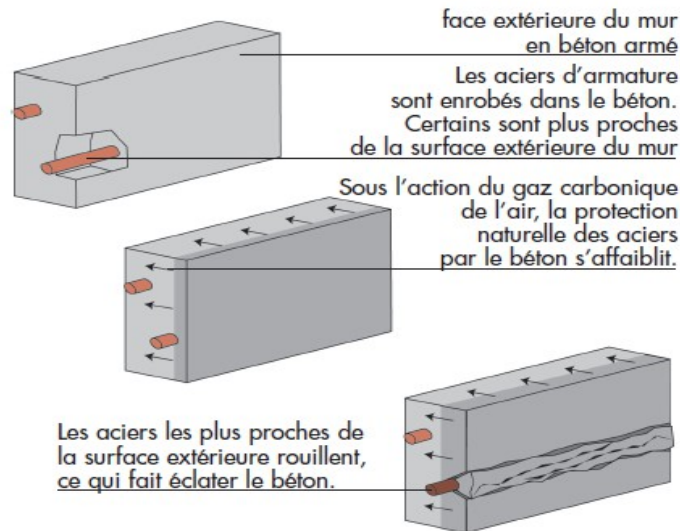


Figure 3.3. Éclatement de béton

i) Dégradation des enduits et peintures

Pour pouvoir être évacuée des matériaux d'un mur ou d'un plancher, la vapeur d'eau doit atteindre la surface de ces ouvrages. Tout procédé, toute mesure qui freine, voire arrête, cette migration vers la surface peut avoir des conséquences dommageables.

En effet, la transformation de l'eau en vapeur a essentiellement lieu derrière ces barrières étanches qui ne résistent pas indéfiniment à la pression. De plus la stagnation prolongée d'eau à l'interface du mur et du matériau empêche l'évaporation et finit par dégrader la solidarisation des deux matériaux. Ce phénomène s'observe en particulier pour les peintures, les enduits pour certains revêtements de sol collés fig. (3.4).



Photo 3.4. Dégradation et désolidarisation de l'enduit par le gel et l'évaporation

3.3. Pathologies humides

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

3.3.1 Le ruissèlement :

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



Figure 3.5 : Cloquage de l'enduit / accumulation d'humidité

3.3.2. La condensation :

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

3.3.3. Les remontées capillaires :

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

3.4. Dégradation des matériaux :

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

3.4.1. Dégradation de la surface des murs :

Ces dégradations peuvent être aussi bien intérieur qu'extérieur, elles se manifestent généralement par de fines fissures filiformes dans l'enduit ; fissures grossières de gonflement ; éclatement de surface de mortier; décollement et ouvertures de joints mortier.

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

Les constructions dans les médinas subissent l'impact d'un environnement pollué, apparaissent alors, certains dommages par les altérations dans la qualité des enduits (figure 3.6), souvent attribuées aux vapeurs acides de l'atmosphère. Certaines constructions proches de la mer, subissent les inconvénients liés au climat marin.



Figure 3.6 : Détérioration de l'enduit par vieillissement

3.4.2. Pathologies affectant les enduits

Ces pathologies sont souvent dues à une mauvaise mise en œuvre, à un manque d'entretien, au vieillissement des enduits, au phénomène naturel inhérent au temps [29], et/ou à une réfection locale

inadaptée, pouvant amener les pierres et les briques de terres cuites à se détacher et même à tomber (fig. 3.11).



Figure. 3.8 : Gonflement, décollement en plaques d'enduit

Elles ont pour causes :

- Physique résultant des actions de dilatations et de tractions sous l'influence du climat et des variations thermiques entraînant avec le temps des décollements ou des fissures (Fig. 3.11) ;
- Chimique résultant des actions de dissolution du liant (fig. 3.12) (la chaux), action des bactéries cryptophages et des moisissures dû à la présence d'humidité.



Figure 3.9 : Vieillesse et décollement d'enduit,

3.5. Dégradation des éléments de revêtements et de finitions

3.5. 1.L'action des sels

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

- L'apparition de sels soluble rependus sur les surfaces en pierre, soumises à l'action de la pluie et de l'humidité tel: les colonnes en tuf des galeries; cette pénétration saline mise en évidence par la coloration blanchâtre à la surface (fig. 3.13); enlève à l'élément les caractéristiques chromatiques qui lui sont propre;
- L'ensemble des parties décoratives sont envahies par des abrasions et rendant la lecture de la décoration difficile, les revêtements au sol sont détériorés (fig. 3.14);



Figure 3.10 Détérioration de la colonne en tuf petite tache de coloration blanchâtre



Figure 3.11 : Revêtement au sol en marbre abimé

3.5. 2.Les facteurs physico-chimiques

- **L'eau de pluie** par son action mécanique, altère le marbre dépourvu de son épiderme.

Dans ce cas l'eau est très agressive car en contact avec la surface de marbre peut libérer ces grains et provoquer le phénomène de la désagrégation. Cette eau de pluie fait des réactions chimiques et agit comme un solvant, surtout en présence de l'anhydride sulfureux et le gaz carbonique [35].

a) L'action de condensation

La porosité du marbre blanc augmente avec son âge: ceci en rapport avec les phénomènes internes de fissurations causées par les cycles thermiques [37] La condensation se manifeste à la surface

du matériau sous forme d'un film d'eau très mince, provoquant plus de dégâts que l'action directe de l'eau de pluie ou celle provenant du sol, elle peut générer la détérioration du marbre en deux phases:

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

b) L'action de la pollution atmosphérique

La dégradation induite par la pollution atmosphérique se traduit par une croûte noire qui apparaît dans les zones non exposées à la pluie, la dégradation peut se poursuivre sous cette croûte discontinue et perméable à l'eau qui recouvre souvent un matériau peu cohérent et désagrégé [38].

3.6. Pathologies affectant les éléments structurels en bois

Le bois est un matériau que l'on retrouve sous diverses formes, rondins en bois de thuya [39], solives, voliges pour planchéage, planches et pièce de bois, planchettes...etc. Le séisme de mai 2003 a révélé dans ces constructions l'originalité dans la mise en œuvre des éléments structurels en bois. Ce matériau est employé d'une manière différente d'un domaine à l'autre, on le voit utilisé, au cours des travaux de maçonnerie, sous forme d'un chaînage horizontal. En charpenterie ou en menuiserie, ce matériau forme l'ossature de plancher, ainsi que la plupart des éléments ouvrés (portes, fenêtres, balustrades et autres).

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

- Les agents abiotiques : la radiation solaire, le froid (variations de température);
 - La pluie (variation d'humidité);
 - Les agents biotiques (les insectes et les champignons);
 - Ainsi que des problèmes structurels causés par des dégâts induits par une dégradation de la matière, ayant pour cause :
 - Des insectes affectant sa résistance ;
 - Des champignons ainsi que d'autres processus biologiques dégradant, qui se traduisent par l'altération de ses structures au niveau des parties affectées par l'eau.
- due aussi à la différence de taux humidité entre l'intérieur et l'extérieur, par les tensions qui donnent naissance à des déformations, voire à l'apparition de gerces, provenant de la contraction du bois lorsqu'il sèche et de la perte non uniforme d'humidité[40].

Ces désordres pouvant être accentués par des déformations liées à un sous dimensionnement de ses structures ajoutés au phénomène d'humidité, résumé dans le principal cycle générateur de désordre suivant [41]:

Sous-dimensionnement et /ou surcharge et /ou humidité

= déformation = entrée d'eau = pourrissement.

3.7. Pathologies affectant les éléments structurels en maçonnerie de pierre

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

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

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

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

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

3.7.1. Dégradation de la pierre due à la présence d'eau et d'humidité

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

a) L'humidité provenant de sources de vapeur

Les sous-sols attirent vers eux la vapeur d'eau du terrain, qui l'entoure en plus de l'eau condensée et des points de pénétration d'eau liquide (pluie). Ces espaces au paravent étaient ventilés, l'eau liquide était drainée et conduite jusqu'au point de réserve (puits), mais le changement d'usage et l'introduction de fenêtres trop étanches ont été la cause d'apparition de pathologies dues à la condensation manifestées

par la croissance de colonies biologiques (bactéries et champignons), sur les parements aux points les plus froids du mur et/ou les moins ventilés (coins, angle etc.)

b) L'humidité par filtration d'eau de pluie

Elle pénètre dans le parement par l'intermédiaire de deux mécanismes :

- Par mécanisme d'absorption et de succion au travers des pores du matériau ;
- Par filtration à travers des joints et des pathologies commencent à apparaître lorsque les mortiers de fixation ou de joint se détériorent (variation de température, effet du temps);
- ou par remontée capillaire L'augmentation du volume par l'absorption d'eau, entraîne l'apparition de force mécanique dans sa composition qui désorganise la pierre[41], (Fig.3.21).

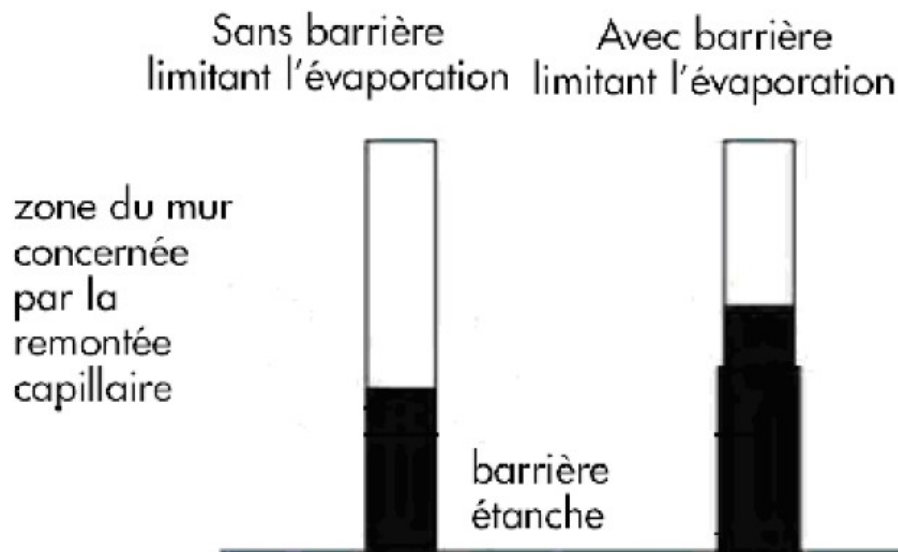


Figure 3.12. Augmentation de niveau d'ascension capillaire d'après Arnould46

3.7.2.Action des algues et lichens

Les murs sont souvent recouverts en présence d'humidité, peu ou pas éclairés, par des algues et divers micro-organismes provoquant la formation de dépôts noirs, visqueux, le plus souvent à l'intérieur de la maison en présence d'humidité et à l'abri du soleil direct par de nombreuses salissures vertes. Cette végétation prolifère généralement dans les soubassements de façade (fig. 3.23), ou les endroits en contact avec le sol, du fait qu'ils restent humides par remontée des eaux par capillarité[52]. Les champignons et/ou la présence d'algues sur un parement nous aide à localiser rapidement une zone d'humidité sur les éléments le composant.



Figure 3.13: Prolifération de salissures vertes due a une humidité permanente

Cette présence est, aussi associée à la présence de mousses observées en particulier sur les joints de mortier de pieds de murs humides qui font écran de son évaporation [53] (fig. 3.24).

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

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

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



Figure 3.14 : Présence de mousses / à une présence au moins temporaire d'eau

3.8. Dégradation affectant le toit

Les toitures terrasses et à versants nécessitent un entretien permanent, car les infiltrations d'eau occasionnent des désordres sur les éléments constitutifs de ces couvertures. L'entretien et la révision régulière de l'état des tuiles, des conduits d'aération ainsi que de toutes les zones de raccordement est une nécessité pour une meilleure pérennité des constructions.

3.9. Les différentes sources d'humidité

3.9.1. Humidité provenant du sol

Le sol fait partie des éléments les plus touchés par l'humidité. Un sol humide est le signe d'un désordre que seul un professionnel de l'humidité peut diagnostiquer afin de vous proposer le ou les traitements adaptés



Figure 3.16 : les remontées d'humidité

Les remontées d'humidité, ce que l'on appelle aussi l'humidité ascensionnelle ou remontées d'humidité tellurique, désignent une migration d'humidité entre le sol et les murs d'une pièce. La première chose à faire en cas de remontées capillaires est de constater l'humidité et d'en chercher la cause. Elle peut être d'origines diverses :

- L'humidité remontant des nappes phréatiques jusqu'aux fondations de l'habitation, lorsque plusieurs saisons pluvieuses se succèdent
- Les terrains humides et marécageux à proximité où de l'eau stagne en permanence
- Le ruissellement souterrain si les fondations de la maison ne sont pas étanches
- Une canalisation d'eau enterrée rompue, par exemple à cause du gel
- Un sous-sol ou une cave mal isolée
-

3.9.2. LES SOLUTIONS

- **Assécher la pièce avec des déshumidificateurs**

Une fois la cause trouvée, il faut agir et assainir. Il est important, tout d'abord, d'assécher la pièce concernée par l'infiltration d'eau à l'aide d'un déshumidificateur d'air, si vous en possédez un.

L'appareil peut être chimique, c'est-à-dire un simple absorbeur d'humidité, plutôt indiqué pour les petites surfaces comme les placards. Il peut être également électrique, pour des plus grandes surfaces.



Figure 3.17: illustrant un déshumidificateur

- **Aérer les pièces afin de réduire l'humidité**

Le deuxième geste à avoir est évidemment de bien aérer la pièce concernée, et ce quotidiennement, pour un assèchement optimal. Cette simple action permet d'atteindre un taux d'humidité idéal à l'intérieur. Assurez-vous que les grilles d'aération sont dégagées et que la VMC fonctionne, si vous en avez une. Si vous le pouvez, n'hésitez pas non plus à bien chauffer la pièce où vous constatez des remontées d'humidité dans les murs.

- **faire appel à un professionnel pour les travaux contre l'humidité du sol**

Si ces actions ne suffisent pas à régler le souci de remontées capillaires, il vous faudra contacter un professionnel. Cela vous garantira une prise en charge efficace pour venir à bout de ces problèmes d'humidité.

3.10. Conséquences de l'humidité

3.10.1. Remontées capillaires

Ce phénomène est dû à l'absence d'isolation (étanchéité) du bâti liée à la porosité des matériaux. Les remontées d'eau provenant du sol sont appelées humidité grimpante ou ascensionnelle.

Ceci est lié à l'absence d'isolation de la structure. La maçonnerie est en contact direct avec la terre sans isolation et le phénomène de succion opère.



Figure 3.18 : la remonté capillaire dans les murs

A titre d'exemple en mettant la base d'un sucre dans un liquide, ce dernier va remonter par capillarité, c'est le même phénomène qui opère dans les murs.

L'eau contenue dans la terre contient des sels minéraux (nitrates, sulfates) lesquels vont migrer dans la maçonnerie et ressortir en surface pour former le salpêtre. Cela provoque des enduits boursoufflés qui cloquent.

Si les règles de l'art imposent désormais à nos constructions une « coupure de capillarité » à 0,15 m au-dessus du niveau le plus haut du sol définitif, coupure destinée à éviter les remontées d'humidité du terrain de fondation, ces règles n'avaient pas cours au moment où furent construits les bâtiments dont nous avons hérité du passé. Aussi, nombre d'entre eux présentent-ils des désordres dus à l'humidité ascensionnelle.

3.10-2. Comment résoudre les problèmes de remontées capillaires

- **Sciage** : découpe du mur et mise en place de membranes étanches
- **Centrale d'assèchement** : inversion de la polarité des murs pour empêcher les molécules d'eau de remonter

-
-
- **Injection de résine** : perçage de la base des murs et injection sous pression d'une résine qui va polymériser dans l'épaisseur de la maçonnerie pour créer une barrière étanche. Ce procédé requiert un savoir-faire très pointu que seule une expertise approfondie permet de mettre en œuvre. Ce procédé bénéficie de la garantie trentenaire.

3.11. Infiltration / ruissellement

Selon le type de sol, le type d'occupation et la pente du sol, les précipitations arrivant au sol s'infiltrent plus ou moins. La fraction d'eau ne percolant pas dans le sol va alors s'écouler en surface suivant la ligne de plus grande pente : on parle alors d'un phénomène de ruissellement.



Figure 3.19 : le phénomène de ruissellement observé dans le Pays de Caux résulte d'une intensité de pluie dépassant la capacité d'infiltration des sols.

3.12. Ruissellement agricole



Figure 3.20 : des ruissellements agricoles

Les plateaux cultivés à l'amont du bassin versant sont particulièrement sensibles au phénomène de ruissellement. En effet, les sols limoneux ont tendance à s'imperméabiliser sous l'effet des gouttes de pluie. D'autre part, l'espèce cultivée, le stade de développement végétatif, les conditions de travail du sol, la pente du terrain, le type de pluie ainsi que les conditions de saturation du sol vont influencer sur le

taux de ruissellement. Par exemple, pour une pluie d'orage d'occurrence décennale, sur un sol constitué de limons très battants, le coefficient de ruissellement peut varier de 0,06 pour une prairie à 0,43 pour un sol nu compacté.

L'absence ou la faible densité de couvert végétal entraîne également des vitesses d'écoulement au sol plus importantes, par manque d'obstacles.

3.13. Ruissellement urbain



Figure 3.21 : des ruissellements urbains

Toute urbanisation d'un territoire s'accompagne indubitablement d'une imperméabilisation des sols. En effet, les toitures, les enrobés de voirie ou de parking, les terrasses sont autant de surfaces rendues étanches à la percolation de l'eau. De ce fait, toute pluie s'abattant sur ces surfaces ruisselle en quasi-totalité. Par exemple, pour une pluie d'orage d'occurrence décennale, le coefficient de ruissellement peut varier de 0,20 pour un espace vert entretenu 0,90 pour un enrobé.

L'imperméabilisation des zones urbaines a pour autre effet, une réduction de la rugosité du sol et de fait une accélération de la vitesse d'écoulement de la lame d'eau ruisselée.

3.14. Infiltration lente/rapide



Figure 3.22 : des infiltrations

Le fonctionnement karstique du sous-sol conduit par ailleurs à deux types d'infiltration de l'eau dans le sous-sol :

- une infiltration lente s'effectuant par les microfissures de la roche.
- une infiltration rapide qui s'opère grâce aux bétoires. C'est une caractéristique du paysage karstique du Pays de Caux. Une bétoire est un cône d'effondrement dans le sol, par lequel les ruissellements collectés s'engouffrent rapidement, parfois directement vers la nappe de la craie .

3.15. Pression hydrostatique

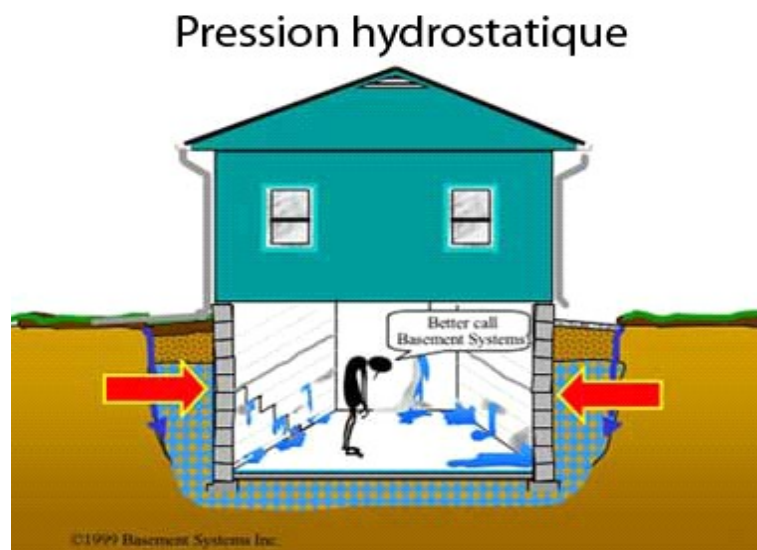


Figure 3.23 : la pression hydrostatique dans une maison

La pression hydrostatique est, avec les infiltrations, les remontées capillaires, une mauvaise ventilation et les causes accidentelles (dégât des eaux), l'une des sources principales d'humidité à l'intérieur des habitations.

La pression hydrostatique est la pression exercée par l'eau sur les fondations d'un bâtiment.

Elle peut être due à :

- Une mauvaise évacuation de l'eau de pluie qui stagne dans le terrain ;
- Un terrain en pente qui entraîne une accumulation de l'eau contre vos fondations ;
- Une nappe phréatique trop proche de vos fondations.

L'eau exerce alors une pression sur les murs enterrés et entraîne des infiltrations en sous-sol.

3.15.1. Traitement de l'humidité due à la pression hydrostatique

Plusieurs traitements peuvent être mis en œuvre pour lutter contre l'humidité engendrée par la pression hydrostatique.

Cependant, seul un professionnel de l'humidité peut déterminer celui ou ceux qui conviennent à votre maison. N'attendez pas et demandez un diagnostic par un pro au risque de mettre en œuvre un traitement inadapté qui ne fera que repousser ou masquer le problème !

Parmi les traitements susceptibles de vous être proposer pour lutter contre la conséquence de la pression hydrostatique, on distingue :

- L'injection de résine dans les murs qui vise à combler les capillarités, empêchant ainsi le passage de l'eau.
- La pose d'une membrane étanche autour de vos fondations afin de bloquer le passage de l'eau et garder vos fondations au sec.
- Le drainage de votre terrain afin d'améliorer l'évacuation de l'eau.

-
-
- Le cuvelage, c'est-à-dire la pose d'un caisson étanche protégeant votre sous-sol. cette solution est cependant controversée car elle risque de déplacer le problème d'humidité ailleurs dans la maison.
 - La pose d'un traitement de surface.

3.16.-Migration de vapeur d'eau et condensations

Lorsque nous chauffons un bâtiment dans lequel nous vivons, nous créons une différence de température et de taux d'humidité entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Ces différences engendrent des différences de pression de vapeur qui sont à l'origine de transferts de vapeur ou migrations.

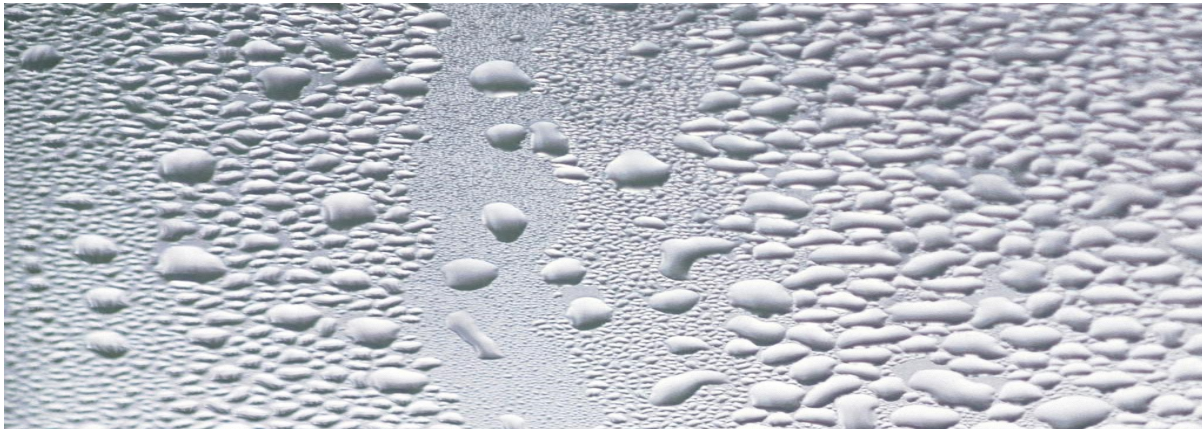


Figure 3.24 : vapeur d'eau

Plusieurs visions s'opposent aujourd'hui :

- Ne pas laisser passer la vapeur d'eau pour ne pas risquer d'augmenter l'hygrométrie dans le mur et ainsi ne pas risquer de condenser.
- Laisser migrer la vapeur d'eau (certains disent laisser respirer ou perspirer le mur) au travers du mur pour lui laisser la capacité de s'assécher en cas de condensation.
- Prendre un matériau plus ouvert à la diffusion de vapeur d'eau à l'extérieur qu'à l'intérieur et ne pas avoir plus de 20% d'isolant côté intérieur du frein ou pare vapeur.

La vérité est un peu plus complexe car elle revient à comparer deux phénomènes que sont l'évolution de la pression de vapeur lorsque l'on traverse le mur dans des conditions atmosphériques extrêmes et l'évolution de la pression de saturation (limite au-delà de laquelle, la vapeur se transforme en eau ou condensation). Même si c'est un peu compliqué, on comprendra qu'un mur optimisé est un mur qui risque le moins possible de se retrouver en situation de condensation tout en gardant sa capacité à s'assécher.

Pour une localisation donnée, nous pouvons donc valider votre mode constructif ou vous orienter sur des pare ou frein vapeur dont le S_d (perméabilité à la vapeur d'eau) soit plus adapté à votre mode constructif.

La méthode utilisée est la méthode Glaser qui permet de valider un mode constructif dans des conditions données.

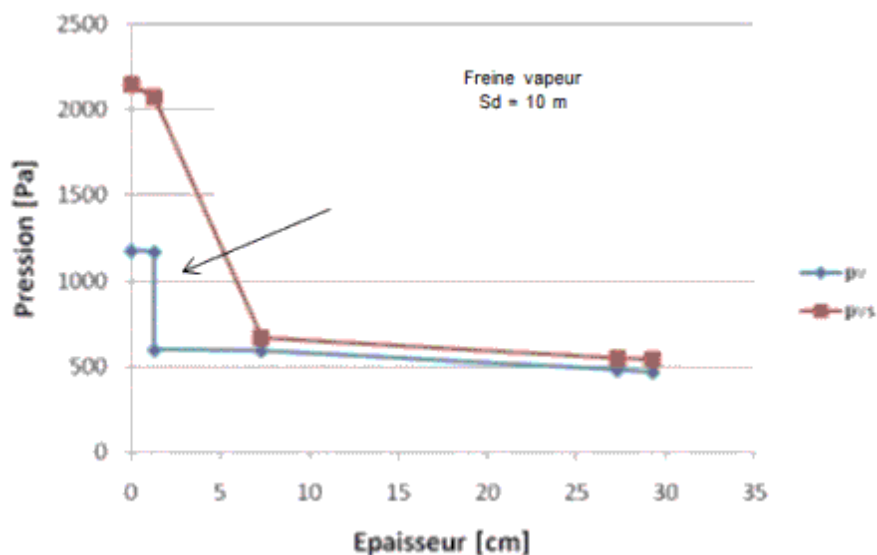


Figure 3.25 : étude qui montre quand est ce qu'il y a un risque de condensation

Dans cet exemple à Brest, la courbe rouge représente la pression de saturation quand le bleu représente l'évolution de la pression de vapeur. Les deux courbes ne se croisent pas (pas de risque de condensation) grâce au frein vapeur d'un S_d de 10m. La même étude avec un frein vapeur $S_d=3\text{m}$ aura montré deux courbes qui se croisent et donc un risque de condensation

3.17. Condensation

Les signes de condensation de vapeur d'eau sur les parois des pièces (murs, planchers, plafonds) sont lents à apparaître. Il faut en effet qu'il y ait imprégnation d'eau liquide en surface des matériaux de construction pour que ces signes apparaissent : décollement de papier peint, moisissures, cloques de peinture.

La condensation de vapeur d'eau au sein des murs est difficile à détecter car les manifestations n'apparaissent à la surface qu'après une persistance du phénomène sur une période de plusieurs semaines voire plusieurs mois.

3.17.1. Contre la condensation

- Réduire la production de vapeur.
- Supprimer les zones froides : L'isolation thermique par l'extérieur est la plus efficace pour traiter les ponts thermiques et Le remplacement des simples vitrages par des doubles
- La ventilation et le chauffage du logement : Une ventilation générale et permanente permet d'évacuer une grande partie de la vapeur d'eau et En hiver, il est nécessaire de chauffer de manière régulière.

3.18. Eau du sol des fondations

Une infiltration d'eau peut causer beaucoup de dégâts, que ce soit à vos fondations, vos murs, vos meubles, ou encore à vos effets personnels. Le présent article vous aidera à mieux comprendre ses origines et ses conséquences afin de mieux les prévenir

3.18.1. Les cause des infiltrations d'eau au sous-sol



Figure 3.26 : cas d'une infiltration d'eau au sous-sol

En fait, il y a une multitude de causes différentes en ce qui concerne les infiltrations d'eau. Celle qui pourrait vous coûter le plus cher est due à des fissures dans la fondation. Dans certains cas, il faut refaire la fondation, ce qui constitue un investissement financier majeur.

D'ailleurs le Guide Perrier mentionne que « la simple réparation des fissures ne règle pas toujours le problème, car l'eau peut réapparaître au joint des fondations et du plancher ou sous forme d'humidité excessive ».

Parmi les autres causes les plus communes, on retrouve :

- Une pente négative qui amène l'eau qui provient du dégel ou de la pluie vers la maison ;
- Une nappe phréatique au niveau élevé ;
- Un drain français défectueux ou une absence de drain français ;
- Un bris dans la tuyauterie ;
- Des fenêtres qui se trouvent sous le niveau du sol ;
- Un revêtement extérieur perméable ;
- Une fondation perméable (il s'agit d'un problème qui touche surtout les maisons qui ont plus de 40 ans) ;
- Des gouttières bouchées ou dans le sol ;
- etc.

3.19. Conclusion

La situation de nombreuses habitations sont dans un état de dégradation avancé, mais également insalubres et en situation de grand inconfort. Les causes principales de désaltération et de dégradation des matériaux qui constituent les structures de ces constructions, sont essentiellement dues à la présence d'humidité sous toutes ses formes tant à l'extérieur qu'à l'intérieur des habitations.

Ces dégradations sont d'ordres physique, chimique ou mécanique. L'ampleur de leur impact sur la construction est fonction des caractéristiques des matériaux utilisés, des facteurs environnementaux et de l'état des éléments qui la protège, les enduits, les toitures...etc.1

L'état de portance des sols, l'état des fondations, les conditions environnementales qui entourent la construction, le type de matériaux utilisés, la forme et la taille de la structure ainsi que les connexions entre éléments, contribuent énormément dans le comportement structurel dont dépendra le type d'intervention.

En agissant de manière efficace et rapide tenant compte des caractéristiques structurales et de la compatibilité physico-chimique entre les éléments constitutifs de ces constructions, on contribuera à réduire les interventions des habitants dans leurs appartements qui par méconnaissance contribuent à la destruction de la forme et des matériaux traditionnels.

Dans le cas d'une réhabilitation d'ensemble de la construction, un diagnostic technique total devra être établi avant l'intervention proprement dite, dans le cas d'un simple ravalement on procédera à un examen de ces différents désordres souvent apparents en effectuant un sondage sur tous les éléments de la construction afin d'en détecter d'éventuelles faiblesses. L'état des murs (lézardes et déformations), nécessitent des interventions lourdes.

CHAPITRE 4 : DIAGNOSTIC ET TRAITEMENT DE L'HUMIDITE

4.1. Diagnostic des causes d'humidité

4.1.1 Constat visuel

Traiter l'humidité qui envahit votre maison est primordial, tant pour sa structure que pour vous. Mais avant d'entreprendre des travaux, faites réaliser un diagnostic humidité par un professionnel.



Figure4.1 : inspection d'un bâtiment

- **Quand et pourquoi réaliser un diagnostic humidité ?**

Si vous détectez la [présence d'eau, de moisissures ou de traces d'humidité chez vous](#), il est fortement conseillé d'agir au plus vite pour y remédier. En effet, lorsque l'humidité est visible, cela signifie que l'eau est présente depuis bien plus longtemps au cœur de la structure de votre habitation

L'humidité provoque des dégâts parfois très profonds et difficiles à traiter, mais elle a également d'importantes conséquences sur votre santé, raisons pour lesquelles il convient d'intervenir convenablement. Ne vous lancez pas dans n'importe quels travaux sans trop savoir ce qu'il se passe, vous risqueriez de vous épuiser pour rien, voire d'aggraver la situation. Pour traiter efficacement l'humidité, il convient avant tout d'agir à la source, et pour cela, il est conseillé de faire un diagnostic humidité.

- **Mesurer le taux d'humidité**

Le professionnel se déplace à votre domicile afin de procéder à la mesure du taux d'humidité à l'aide d'un humidimètre. Cet appareil détecte en effet cette anomalie en s'appuyant sur la modification des propriétés physiques et chimiques de la matière.

Ces données sont utiles, car elles permettent de cibler la zone touchée, de quantifier le taux d'humidité, mais également de constituer une base d'analyse solide pour l'expert.

Si nécessaire, le professionnel peut approfondir les mesures relevées en prélevant un échantillon de la surface concernée

▪ **L'analyse des données**

Suite à ces prises de mesures et à son constat visuel, le professionnel vous fait état de ses conclusions. Il vous présente généralement les risques auxquels vous exposez votre famille, vos biens et votre habitation. Il vous explique ensuite ce qu'il a constaté, quelle est la source identifiée, comment y remédier et quels sont les travaux à entreprendre pour résoudre cette nuisance.

Le professionnel vous remettra un rapport précis détaillant les mesures relevées, le constat effectué et les préconisations qu'il conseille pour y remédier.

Sachez que vous n'avez aucune obligation de faire réaliser les travaux préconisés par la société qui a réalisé votre diagnostic. Il vous est cependant conseillé d'agir rapidement afin de ne pas aggraver le phénomène. N'hésitez pas à faire des devis auprès de différents professionnels. Réglez le problème à sa source et ne cherchez pas simplement à le masquer, sans quoi vous dépenserez des sommes inutiles et répétées en rénovation.

4.1.2 Appareil de mesure de l'humidité

Hygromètres



Figure 4.2: un hygromètre

C'est l'appareil qui sert à mesurer le pourcentage d'humidité dans l'air. Jadis mécanique (mesure de l'extension d'un crin de cheval en fonction de l'humidité), l'hygromètre est dorénavant bien plus souvent électronique. Il existe des hygromètres extérieurs et intérieurs, à poser ou à sonde déportée, voire communicants. Le plus souvent, ils sont associés à un thermomètre pour la mesure en permanence dans le jardin ou dans une cave à vins, ou la mesure ponctuelle dans une pièce à vivre. [17]

L'humidimètre (ou testeur d'humidité)



Figure 4.3: un humidimètre

C'est l'appareil qui permet de mesurer l'humidité d'un matériau. Il se décline sous deux formes :

- Le testeur d'humidité classique : Muni de deux pointes métalliques que l'on applique dans le support, l'humidimètre fait passer un faible courant électrique et mesure la résistivité du matériau dont le pourcentage d'humidité oscille généralement de 1 à 35 % pour les plâtres, tuiles, enduits, plâtres... et de 5 à 50 % environ pour le bois.
- Le testeur d'humidité thermique : Utilise les micro-ondes pour agiter les molécules d'eau dans un support y compris en profondeur (jusqu'à 30 cm). Bien plus précis et insensible aux moisissures et salpêtres qui peuvent troubler une mesure, il est utilisé par des professionnels. [19]

Fissuromètre



Figure 4.4: un fissuromètre

Le fissuromètre vous permet d'analyser les fissures et leurs évolutions. Ce sont donc des outils particulièrement importants sur les ouvrages de maçonnerie et dans le bâtiment en général. Sur Topographie Laser, nous vendons différents types de fissuromètres mais aussi les jauges à fissures qui les accompagnent : des jauges G1 pour les fissures à bords parallèles, ou encore des jauges G6 pour mesurer l'écartement en rotation d'une fissure. Les jauges G1 se déclinent elles-mêmes en plusieurs modèles pour des utilisations différentes.

La G1.2 servira par exemple à être placée sur des murs d'intérieur soignés ou des façades en pierre, et sera moins visible qu'une G1 standard. Nous vendons par exemple des jauges à fissures résistantes aux intempéries, ou d'autres particulièrement indiquées pour les pièces les plus sèches. La marque Sagnac est la référence pour la mesure des fissures. Réalisez vos mesures de fissures en un rien de temps grâce à notre matériel de qualité

Psychromètre



Figure 4.5 : un psychromètre

Le psychromètre permet de déterminer l'humidité relative de l'air environnant.

Cet appareil est composé de deux thermomètres identiques fixés à un support. Sur l'un des thermomètres, on place une mousseline (un tissu) qui trempe dans l'eau. C'est pourquoi on l'appelle thermomètre à boule mouillée, tandis que l'autre est le thermomètre à boule sèche.

Lorsque l'air arrive sur le thermomètre à boule mouillée, il fait évaporer l'eau de la mousseline, ce qui refroidit le thermomètre. Donc, sa température est plus basse que celle du thermomètre sec. On prend la différence entre ces deux températures et on la reporte sur une table psychrométrique qui nous donne la mesure de l'humidité relative. Lorsque l'air est saturé d'humidité, il n'y a pas de différence entre les températures indiquées par les deux thermomètres. [23]

4.2. Principales techniques de traitement de l'humidité

4.2.1 Traitement de remontées de l'eau du sol



Figure 4.6 : remontée d'humidité du sol

Il existe de nombreuses techniques de traitement plus ou moins viables. Il est déconseillé d'utiliser des produits « bouche-pores » ou peintures hydrophobes, qui empêchent les murs de « respirer » et ne font que conserver l'humidité à l'intérieur des matériaux.

Les techniques comme la mise en place de tuyaux d'aération, de siphons atmosphériques ou de cuvelage sont assez efficaces, mais difficile à mettre en application, et nécessitent souvent des travaux complémentaires.

- **La meilleure technique connue : l'injection de résine hydrophobe**

La majorité des spécialistes de l'humidité recommandent l'injection de résine pour le traitement des remontées capillaires. Cette opération permet de lutter efficacement et durablement contre ce phénomène en créant une barrière étanche à la base des murs concernés. De cette manière, les murs deviennent imperméables et non mouillables.

Toute migration d'eau est bloquée dès la base du mur.

- **Étapes d'une intervention pour l'injection de résine**

La première étape est l'identification des sources de l'humidité grâce à un diagnostic humidité, souvent effectué gratuitement par les professionnels de l'[assèchement des murs](#). Les mesures effectuées permettent de déterminer notamment les zones à traiter et la quantité de produit nécessaire.

Une fois le devis signé, le professionnel se chargera de préparer les murs et de protéger les meubles à proximité des murs en vue de l'injection de résine. Les murs sont percés, la résine injectée, puis les trous sont rebouchés. Une période de séchage doit être observée avant d'apporter les finitions, elles-mêmes réalisées par le professionnel contacté. [26]

4.2.2 Traitement des infiltrations

Vous pouvez traiter l'infiltration d'eau en protégeant le mur extérieur contre des conditions météorologiques défavorables. C'est que l'humidité entre dans la maison à travers ce mur. Il y a trois manières pour traiter le mur extérieur contre l'infiltration d'eau: l'hydrofugation de la façade, un traitement avec une peinture anti-humidité ou le renouvellement du bardage de façade.

➤ **L'hydrofugation des murs**

L'hydrofugation d'un mur extérieur implique l'application d'une sorte de couche protectrice. Ainsi, vous évitez ou vous pouvez combattre l'infiltration d'eau. En outre, le produit d'imprégnation rend plus difficile la fixation de saletés sur le mur; vous pouvez donc jouir d'un mur propre plus longtemps.

Avant l'hydrofugation, le mur doit être nettoyé. Cela permettra une meilleure fixation du produit d'imprégnation. Des dégâts éventuels doivent être réparés aussi avant de pouvoir commencer le traitement. Vous trouvez plus d'informations sur les avantages et la méthode de travail pour l'hydrofugation de façades



4.7 : traitement d'infiltration par hydrofugation du mur

➤ **peinture anti-humidité contre infiltration d'eau**

Il y a des types de peinture pour l'extérieur qui protègent la façade bien contre l'infiltration d'eau. Il peut s'agir d'une mesure préventive contre ce problème d'humidité, mais aussi d'un traitement une fois que le problème se produit effectivement. Quand vous peignez vos murs extérieurs, vous pouvez donner une apparence fraîche à votre habitation en choisissant une autre couleur.

Aussi pour cette méthode de lutte contre l'humidité, il est important que la surface soit propre. D'abord, les murs extérieurs doivent donc être nettoyés.



Figure 4.8 : traitement d'infiltration avec de la peinture anti-humidité

➤ **nouveau bardage de façade**



Figure 4.9 : traitement d'infiltration avec un revêtement de façade imperméable

Si votre façade n'est plus très jolie ou si vous êtes souvent confronté aux problèmes d'infiltration d'eau, un nouveau revêtement de façade imperméable est peut-être la solution.

Il va de soi qu'un nouveau bardage de façade est plus cher que l'hydrofugation ou que la peinture de la façade, mais le renouvellement de la façade offre des avantages intéressants. C'est par exemple une opportunité idéale pour isoler les murs extérieurs et votre habitation aura une nouvelle apparence. Cette solution pour l'infiltration d'eau est également recommandée si vous souhaitez agrandir ou réduire une fenêtre. [27]

4.2.3 Traitement des condensations

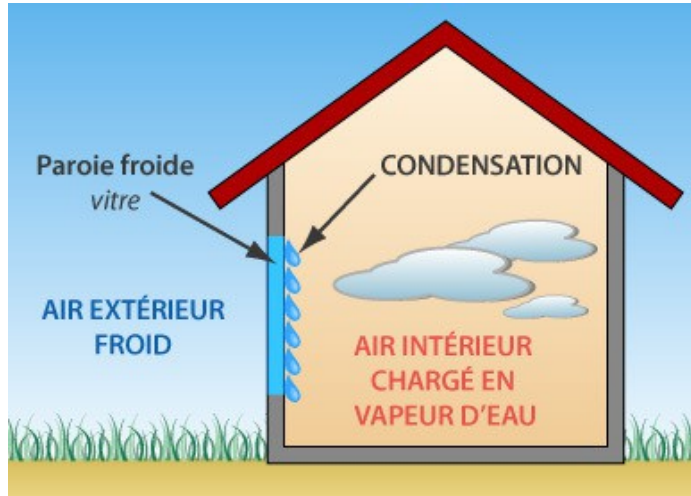


Figure 4.10 : cas de condensation de l'air dans une maison

La condensation liquide est un phénomène physique naturel, qui désigne le passage d'un élément de l'état gazeux à l'état liquide.

Lorsque la vapeur d'eau contenue dans l'air entre en contact avec une surface froide, elle se condense : la vapeur se transforme en eau sur la surface, qui devient alors humide.

➤ **Solutions contre les problèmes de condensation**

Il existe des solutions simples pour diminuer la condensation naturelle. Si ces gestes ne sont pas suffisants, il faut alors faire appel à un professionnel pour trouver une solution adaptée.

Ventiler :

Au moins 30 minutes d'ouverture des fenêtres par jour sont nécessaires pour renouveler l'air ;

Vérifier la présence et le fonctionnement des aérations dans toutes les pièces et aux fenêtres ;

Chauffer :

Garder une température constante (éviter de couper totalement le chauffage lors d'absences) ;

Idéalement, la température doit se trouver autour de 20°C ;

Isoler :

Faire quelques travaux d'isolation sur les murs les plus froids ;

Installer du double vitrage et des volets extérieurs.

Les pièces les plus « à risque » doivent faire l'objet d'une attention particulière, comme la chambre et les pièces d'eau (salle de bain et cuisine).

La solution idéale reste l'installation d'une [ventilation positive hygro-régulée](#). En effet, les absorbeurs d'humidité et déshumidificateurs ne sont pas toujours suffisants pour résoudre les problèmes de condensation dans la maison. La ventilation hygro-régulée va permettre, entre autres avantages, de réguler efficacement le taux d'hygrométrie de toutes les pièces à vivre. [29]

CONCLUSION ET ANALYSE

L'humidité dans les bâtiments est un sujet complexe à traiter du fait de la multiplicité des sources d'humidité, et de sa transversalité : tous les acteurs sont concernés, du diagnostic jusqu'à l'exploitation du bâtiment. Tous les lots ont un rôle à jouer dans la gestion de l'humidité, notamment à travers une bonne exécution des interfaces, ce qui nécessite une coordination efficace.

Les dégâts les plus importants surviennent généralement lors de la conjonction de plusieurs défauts (fuite de canalisation encastrée dans un mur ne permettant pas l'évacuation de l'humidité, par exemple).

Afin de traiter ce sujet complexe, il est nécessaire d'avoir conscience des conséquences, pour certaines très lourdes, liées à un excès d'humidité dans le bâtiment : la salubrité et la pérennité du bâtiment peuvent être impactées.

Il y a donc un enjeu de montée en compétences et de formation des professionnels sur la question de l'humidité (compréhension des phénomènes et adaptation des solutions de traitement).

Le diagnostic initial est primordial, particulièrement en rénovation, pour identifier les problèmes liés à l'humidité à considérer tout au long du projet : la composition et l'état des différents éléments doivent être connus pour programmer des travaux permettant au bâtiment d'avoir un comportement durable vis-à-vis de l'humidité.

Il est particulièrement important de rappeler aux exploitants et aux usagers quelques règles à respecter pour permettre une bonne gestion de l'humidité : conserver un bon fonctionnement de la VMC, ne pas percer la membrane d'étanchéité à l'air...

Même si la profession a beaucoup progressé ces dernières années sur les questions liées à l'humidité dans les bâtiments, des problématiques restent à lever. C'est notamment le cas pour le sujet dévolu aux solutions de traitement de l'humidité

Le choix du procédé en fonction de :

- La sécurité du bâtiment.
- La valeur de la construction.
- Les moyens disponibles.
- L'efficacité du procédé.
- Les caractéristiques et la nature des parois.
- Accès à l'œuvre.
- L'entretien de l'installation

Les causes moyennes de lutte contre l'humidité sont diverses. Chaque groupe de cas a ses solutions, et que jusqu'à présent, il n'existe pas une méthode de lutte « bonne à tout ».

En cas de problème de moisissures, pour parer au plus pressé, nettoyer les et puis laissez le mur sécher correctement.

L'humidité ascensionnelle fait partie des [pathologies](#) du bâtiment les plus destructrices.

D'origine souterraine, elle engendre des dégâts visibles et invisibles, qui se répercutent sur la santé des habitants. Il est essentiel d'identifier clairement les causes des remontées capillaires, pour appliquer la bonne [thérapie](#).

Un taux élevé d'humidité dans l'habitation (> 70%) est favorable au développement de moisissures sur les parois froides. Ces traces de moisissures donnent souvent une odeur de renfermé et sont malsaines. Elles produisent des allergènes. Essayez donc d'évacuer le plus rapidement l'humidité : ventilez convenablement et en permanence votre habitation. En cas de problème de moisissures, pour parer au plus pressé, nettoyer les et puis laissez le mur sécher correctement.

Restez attentifs à vos boiseries, des champignons les larves d'insectes provoquent énormément de dégâts et se développent si la température et l'humidité sont élevées.

La condensation superficielle et les moisissures peuvent faire leur apparition si les conditions suivantes sont remplies :

- une résistance thermique limitée de la construction, souvent en raison de ponts thermiques;
- des basses températures dans les locaux ;
- une forte production d'humidité dans l'habitation ;
- un manque de ventilation dans l'habitation.

Il est important de souligner que des problèmes de moisissures peuvent apparaître lorsque l'humidité relative est inférieure à 100 %. La formation de moisissures peut donc survenir plus rapidement que les problèmes de condensation.

La condensation superficielle et les moisissures peuvent être évitées par les quatre interventions suivantes :

- améliorer l'isolation thermique
- adapter la ventilation aux besoins
- augmenter la température dans les locaux
- limiter la production d'humidité

Pour les constructions neuves, il est évident qu'en isolant et en ventilant correctement, tous les problèmes de condensation et de moisissures doivent en principe être évités. Cela implique néanmoins que les occupants utilisent correctement les dispositifs de chauffage et de ventilation.

Dans les constructions existantes, on trouve souvent une combinaison de conditions défavorables (mauvaise isolation, ventilation insuffisante, etc.) qui engendrent quasi inévitablement des problèmes de condensation et de moisissures. Il faut dès lors agir au cas par cas pour connaître la meilleure approche possible. L'amélioration des dispositifs de ventilation est pratiquement toujours souhaitable et judicieuse.

L'amélioration de l'isolation thermique est également justifiée dans de nombreux cas, mais engendre souvent des travaux plus importants.

De manière très générale, il faut veiller à ne pas piéger l'humidité et lui permettre, si possible, de s'évacuer des deux côtés de la paroi. C'est pourquoi, en isolation extérieure ou en isolation continue, les problèmes dus à la migration de vapeur sont très rares. Au contraire, en isolation intérieure, de grosses pathologies sont à craindre et il est important de réguler les flux de vapeur. En général, un freine-vapeur sera suffisant pour garantir la pérennité de la paroi, mais dans le cas de climats particulièrement humides, il est conseillé d'assurer de la bonne conception des parois par l'utilisation des matériaux capillaires qui permettent une rediffusion de l'éventuelle condensation et donc un meilleur séchage.

La gestion des apports d'humidité (aération lors de la cuisine ou de la toilette par exemple), ainsi qu'une bonne maintenance des installations de ventilation à ceci, s'ajoute l'extrême attention à porter à l'étanchéité à l'air du bâtiment, en soignant chaque détail de la pose des panneaux ou de la membrane réalisant l'étanchéité. Cela commence par un bon dessin des architectes et bureaux d'études. Ensuite, aux entrepreneurs et ceux chargés du suivi de faire preuve de rigueur et précision dans la réalisation des chantiers.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. **Latta J.K et Beach R.K**, Diffusion de la vapeur et condensation, <http://www.irc.com>,2006.
- [2]. **Cohas M** : ventilation et qualité de l'air dans l'habitat, Édition parisiennes, paris 1996
- [3]. **Massari G** : bâtiments humides et insalubres, pratique de leurs assainissements, Editions Eyrolles-Paris,1997
- [4]. **DANIEL.B ; CHAMPETIER.J-P ; VIDAL.T**, Anatomie de l'enveloppe des bâtiments, le Moniteur, Paris,1997
- [5]. **Talenti.M.** « Microbiologia », in MASSARI, Bâtiments humides et insalubres, Paris,1970.
- [6]. **DEOUX Set p**, le guide de l'habitat sain, MEDICO, Andorre, 2002.pp181-197
- [7]. **Kaolinisation** : hydratation de silicates et d'alumine, ce dernier, se transforme par
- [8]. **KETTENACKER, L**, l'humidité de murs, GESUNDHEIT-Ingénieur ?1930 p721
- [9]. **CammererJ-S.** Capacité d'évaporation des différents enduit, l'humidité des murs dans les immeubles d'habitation, les étables et les entrepôts frigorifiques, Gesundheits-Ingenieur,1944.
- [10]. **CardièrguesR**, isolation et protection des bâtiments, Eyrolles, Paris,1954.

[11]. **Krischer O et GÖRLING P**, expérience de dessiccation des matériaux poreux et leur explication, explication, V.D.I, Zeitschrift,1939.

[12]. **Cammerer I-S**. Capacité d'évaporation des différents enduit, l'humidité des murs dans les immeubles d'habitation, les étables et les entrepôts frigorifiques, Gesundheits-Ingenieur, p.31,1944.

[13]. **Tizzano A**, Su alcune esigenze igieniche delle abitazioni, Documenti di architettura e industrie edilizia, n°6, Rome,1951

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

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

[16]. **Giorgio Torraca,op** , cité,p29

[17]. **Marc Mamillan**, pathologie et restauration des constructions en pierre, Rome,1977,p21

[18]. **J Coignet** « Arts de bâtir traditionnels : « connaissances et techniques de réhabilitations »

[19].Gestion des sites pollués. Version O partie III.BRGM Edition , juin 2000

[20]. **D.Garnier,G.Bajeux**. Diagnostic avant nettoyage ou ravalement d'une façade comportant de la pierre , in revue technique du bâtiment et des constructions industrielles N°201

[21]. **A. Boudin**, 1988, comment analyser la transformation de l'espace urbain. L'exemple de la réhabilitation de l'habitat social en France, par Jean-Marc Stébé, PUF, Paris, 1995, pp7-15,

[22] comité interministériel de l'évaluation des politiques publiques, commissariat général du plan , la réhabilitation de l'habitat social, la documentation française, paris, 1993.

[23]. J. et L. Coignet, La maison ancienne - Editions Eyrolles 2006

[24]. CHAROLA A. E., 2000 – « l'humidité et la ventilation dans le logement » un aperçu. Journal de l'institut canadien pour la conservation, 39, p.327-343