



## QUEL EN SONT LES MECANISMES !

### Introduction

Le terme de «bâtiments anciens » mérite d'être précisé.

En matière de logements, dans le langage administratif français, les bâtiments anciens sont ceux qui ont été construits avant septembre 1948 ; mais bien évidemment, l'humidité ne fait pas cette distinction et s'attaque aussi bien à ces bâtiments qu'à ceux construits après cette date.

Néanmoins, les constructions à murs porteurs érigées avant que n'aient été codifiées les «règles de l'art » (DTU) sont souvent des proies plus faciles pour l'humidité, au moins pour, l'humidité ascensionnelle. C'est l'ensemble de ces constructions qu'il convient d'englober sous le terme de «bâtiments anciens ».

Notons aussi que les bâtiments modernes, à ossature en béton, ne sont pas immunisés contre l'humidité.

Ce document est destiné à expliquer au lecteur (professionnel ou pas) comment agit l'humidité et quels peuvent être ses effets. Ces développements risquaient de paraître trop abstraits. C'est pourquoi nous nous sommes efforcés de donner le plus souvent possible des exemples regroupés dans des paragraphes spécifiques.

On comprend aisément que cette opération revêt une importance capitale, car :

- **On ne saurait prescrire un remède sans avoir au préalable établi un bon diagnostic.**

En effet, un traitement contre l'humidité doit, pour être efficace, être adapté à la cause qui occasionne les désordres observés.

Sur le terrain, l'opération se déroule généralement en deux temps :

- Tout d'abord au stade de l'examen général du bâtiment, il est nécessaire de dresser l'inventaire des manifestations d'humidité que présentent les ouvrages, puis de les interpréter.
- En cas de doute sur l'origine des manifestations d'humidité, il est nécessaire de pousser plus loin l'analyse en ayant recours à des mesures instrumentales qui permettront de confirmer ou d'infirmer les hypothèses formulées lors de l'examen général du bâtiment.

### Les mécanismes de pénétration de l'eau dans les matériaux de construction

Quatre phénomènes physiques peuvent, agissant isolément ou simultanément, permettre à l'eau de pénétrer puis de se répandre dans les matériaux d'une construction.

1. La capillarité.
2. L'énergie cinétique des gouttes de pluie.
3. La pression, du vent.
4. La gravité.

### La capillarité

Alors que le phénomène physique de la capillarité devrait nous surprendre, puisqu'il semble contredire, la loi de la pesanteur, il nous est au contraire familier... Sans doute depuis l'usage dans notre café de

morceaux de sucre que l'on arrive à imbiber totalement, même en ne les trempant que partiellement.

On désigne sous ce terme de capillarité, le phénomène par lequel dans un tube fin plongé dans un «liquide mouillant », le niveau du liquide s'élève plus haut qu'à la surface libre extérieure.

On démontre en physique que plus le tube est fin, plus le liquide s'élève. Or, les matériaux les plus couramment utilisés en construction sont poreux et les petits «canaux » internes qu'ils comportent jouent, lorsque la construction est mise en contact avec l'eau, le rôle de tubes capillaires qui permettent à cette eau de remonter dans les maçonneries.

Ce phénomène se constate effectivement pour tous les matériaux qui présentent des pores très fins (d'un diamètre inférieur à 0.5 mm)

### La gravité

Depuis Newton, tout le monde sait que les corps subissent l'attraction de la terre. Cette attraction terrestre s'exerce, bien évidemment, sur les gouttes d'eau déposées à la surface d'un élément de construction et c'est elle qui va leur permettre de pénétrer à l'intérieur de la

construction, pour peu toutefois qu'elles rencontrent à cet effet quelque passage.

Mais cette pénétration ne pourra s'effectuer qu'à condition que ces passages présentent une dimension suffisante que l'on peut évaluer à 0,5 mm. En Deçà, sous l'effet des tensions s'exerçant à la surface des gouttes, celles-ci « n'éclateront » pas et ne se répandront pas à l'intérieur des matériaux.

### L'énergie cinétique des gouttes

Transportées par le vent, les gouttes de pluie peuvent dans leur trajet avoir emmagasiné une énergie suffisante pour pénétrer à l'intérieur du mur contre lequel elles sont projetées.

Notons toutefois que cela ne se produira que si ces gouttes rencontrent une ouverture de largeur suffisante, que l'on peut estimer de l'ordre de 4 à 5 mm.

En Deçà de cette largeur, les gouttes ruisselleront à la surface du mur contre lequel elles se seront écrasées mais sans y pénétrer.

### La pression du vent

Lorsque la pluie atteint en abondance un mur constituée d'un matériau peu perméable, par exemple un enduit à base de liant hydraulique, elle finit par ruisseler à la surface de ce mur.

En l'absence de vent, le film d'eau de ruissellement franchit les fissures éventuelles du parement sans pénétrer dans le mur.

A l'inverse, lorsque le vent s'exerce sur ce film de ruissellement, l'eau parvient à pénétrer dans les fissures éventuelles du parement et cela se produit même si ces fissures sont très fines : à partir de 0,10 mm d'ouverture suffisante, elle pénètre dans le mur contre lequel elle a été projetée.

## Classification des matériaux

Les Romains, qui ne disposaient pourtant pas des moyens d'analyse de nos laboratoires modernes, avaient déjà constaté que certains matériaux étaient plus sensibles à l'humidité que d'autres, et c'est pour s'opposer aux remontées capillaires qu'ils construisaient leurs murs en briques **sur des fondations en béton de silex**.

Sans expérience particulière, il n'est d'ailleurs pas difficile de classer en deux catégories les matériaux de construction en fonction de leur comportement au contact de l'eau :

- D'une part, les matériaux que nous qualifierons «d'hydrophiles » tels que le calcaire tendre, le grès léger et certains mortiers (mortiers de plâtre). Ces matériaux ayant en commun d'être poreux, donc légers, et de présenter une bonne résistance thermique

- Et d'autre part, les matériaux «réfractaires à l'eau » tels que le granit, le marbre, le basalte et les calcaires lourds, ces matériaux étant à l'inverse compacts, donc lourds, et assez bons conducteurs de la chaleur et du froid.

Mais dans cette classification sommaire, on aurait du mal à placer certains matériaux comme le travertin, la pierre ponce naturelle ou les bétons cellulaires. Car, si ces matériaux sont « poreux », du moins au sens commun de ce terme, leur pouvoir d'absorption de l'eau est quasiment nul. Il est donc indispensable de procéder à une analyse plus fine pour distinguer, parmi les caractéristiques physiques des matériaux, celles ayant une influence sur leur comportement au contact de l'eau.

### Trois caractéristiques essentiellement :

- a) La porosité.
- b) La pométrie.
- c) La capillarité.

### a) La porosité

Presque tous les matériaux de construction comportent dans leur masse des petits vides (pores et canaux) et l'on constate que pour la plupart d'entre eux mais pas pour tous, nous verrons pourquoi leur faculté de s'imbiber d'eau est directement liée à l'existence et au nombre de ces vides, c'est-à-dire à ce que l'on appelle leur *porosité*.

Définissons avec plus de rigueur la porosité d'un matériau :

Elle est égale au volume total des vides qu'il comporte (pores et canaux) rapporté (en pourcentage) à son volume total apparent.

Le mode opératoire de la mesure de la porosité des pierres calcaires est déterminé par la **norme NF B10-503 d'août 1973**.

Le volume des vides s'effectue par pesée hydrostatique (matériau immergé)

### Il existe deux formes de porosité :

- La porosité **fermée**
- La porosité **ouverte**.

Dans le cas de la porosité fermée, les pores du matériau ne communiquent pas entre eux et ne permettent donc pas la circulation de l'eau. Les matériaux à porosité fermée sont donc imperméables.

Dans le cas de la porosité ouverte, les pores communiquent entre eux par des capillaires qui favorisent au contraire la circulation de l'eau.

C'est cette distinction qui explique que la faculté d'absorption d'eau des matériaux n'est pas toujours liée à leur porosité.

La porosité varie largement d'un matériau à l'autre. Elle est voisine de 0 % pour les granits et les marbres mais atteint quelque **45 % pour les calcaires tendres**.

## b) La pométrie

Nous venons de voir que plus la porosité ouverte d'un matériau était élevée, plus sa capacité d'absorption d'eau était grande.

Considérons maintenant l'expérience suivante :

Choisissons deux échantillons de pierre calcaire tendre, l'un provenant des carrières de Tervoux (département de la Vienne) et l'autre des carrières de Savonnières (département de la Meuse) et maintenons ces deux échantillons au contact de l'eau dans les mêmes conditions.

Nous constatons que l'eau remonte plus vite dans la pierre de Tervoux que dans la pierre de Savonnières, de porosité pourtant supérieure.

**A l'évidence la porosité n'est donc pas la seule caractéristique physique d'un matériau à prendre en considération pour juger de son comportement à l'eau.**

C'est qu'en effet entrent en jeu, non seulement le volume total des pores de l'échantillon, mais également la dimension de ses pores.

On désigne sous le vocable de « pométrie » la répartition des pores ouverts d'un matériau en fonction de leurs dimensions.

Les pores de la pierre de Tervoux sont plus fins que ceux de la pierre de Savonnières (1  $\mu\text{m}$  en moyenne pour la première contre 10  $\mu\text{m}$  en moyenne pour la seconde) et de ce fait expliquent pourquoi l'eau remonte plus vite dans la pierre la moins poreuse.

## La capillarité

Les matériaux de construction possèdent donc des pouvoirs de succion et d'absorption d'eau très différents et nous venons de voir que ces pouvoirs dépendent à la fois de leur porosité et de leur pométrie.

Mais aussi bien la porosité que la pométrie ne sont pas faciles à mesurer.

Aussi, pour comparer les matériaux entre eux, a-t-on tout naturellement été conduit à définir une entité numérique représentative de ce pouvoir d'absorption d'eau que l'on a désigné sous le terme de **coefficient de capillarité**.

Par ailleurs, la méthode de mesure de ce coefficient a été codifiée.

L'essai est défini pour les pierres calcaires par la **norme NF B 10-502 de mai 1980**.

Il consiste à maintenir au contact de l'eau au moins cinq échantillons du matériau, préalablement séchés, et à mesurer successivement en fonction du temps la quantité d'eau absorbée par ces échantillons.

Par convention, le coefficient de capillarité C est défini par l'expression

$$C = 100 \frac{M}{S V_t} \quad \text{dans laquelle :}$$

**M** : représente la masse d'eau, exprimée en grammes, absorbée pendant la durée t de l'immersion

**S** : la section de la face inférieure, exprimée en cm<sup>2</sup>

**T** : est la durée de l'expérience exprimée en minutes.

A titre d'exemple nous donnons dans le tableau ci-dessous les coefficients de capillarité de quelques matériaux de construction.

Notons que soumis au même essai, un matériau peut donner des résultats différents selon la face de l'échantillon maintenue au contact de l'eau.

C'est pour cela que **la norme NF B 10-502** préconise de mesurer le coefficient de capillarité perpendiculaire au lit de carrière puis parallèlement au lit de carrière.

Matériau	Coefficient de Capillarité C
Béton vibré	1
Brique	5
Grès	10
Mortier	15
Calcaire demi-ferme	20
Calcaire tendre	30
Plâtre	50
Calcaire très tendre	80

(Source C.E.B.T.P.)

## Modalités Pratiques

De ce qui précède, nous tirerons deux applications :

- **La première** concerne les murs revêtus d'un enduit.

Nous venons de voir que la rapidité d'absorption d'eau d'un matériau variait en fonction de sa porométrie.

Or, dans le cas d'un mur revêtu d'un enduit, le mortier d'enduit peut présenter une porométrie très différente de celle du matériau de base du mur.

Selon le cas, l'enduit pourra donc être totalement imprégné d'eau alors même que le mur aura été traité.

Aussi, il faudra toujours dégrader les enduits après  
**Traitement** pour laisser le mur s'assécher.

Les sondages, lorsqu'ils sont effectués, doivent être faits en profondeur et après élimination au moins partielle de l'enduit endommagé.

- **La seconde** application concerne la relation entre l'épaisseur d'un mur et le coefficient de capillarité du matériau dont elle est constituée. Nous venons de voir en effet que plus un matériau avait un coefficient de capillarité élevé, plus son pouvoir de succion et d'absorption d'eau était grand.

Un mur construit avec un matériau très capillaire doit donc être assez épais pour éviter que l'eau de pluie ne le traverse de part en part. Mais son épaisseur favorisera sa capillarité. C'est pour cette raison que les règles de l'art applicable aux constructions neuves imposent de déterminer l'épaisseur des murs en fonction de la capillarité des matériaux qui les constituent.

Il ne nous reste donc plus maintenant qu'à découvrir le processus **d'évasion de cette eau**, c'est-à-dire de son **évaporation**.

L'observation de l'assèchement d'un matériau humide saturé a permis de constater que ce processus se déroule en deux phases.

Pendant la **première phase**, généralement d'assez courte durée, la vitesse d'évaporation se maintient quasi-constante et à un niveau élevé.

Conséquence immédiate de cette évaporation importante, le taux d'humidité moyen du matériau décroît rapidement.

### L'explication physique du phénomène est simple :

Pendant toute cette phase, la surface saturée du matériau se comporte en quelque sorte comme un plan d'eau.

L'évaporation ne dépend que de la **capacité d'absorption de l'air ambiant**.

Le taux moyen d'humidité du matériau décroissant rapidement, comme nous venons de le dire, finit par atteindre un seuil variable selon les matériaux, à partir duquel le processus se renverse brusquement.

C'est alors que démarre la **2<sup>ème</sup> phase** de l'assèchement.

Pendant cette **2<sup>ème</sup> phase**, la vitesse d'évaporation jusque là quasi-constante, décroît fortement et conséquence immédiate, le taux d'humidité moyen du matériau, au préalable fortement décroissant, au contraire ne diminue plus que très lentement.

### Que s'est-il passé pour que se produise ce changement

C'est tout simplement qu'à partir de l'instant où la surface du matériau n'est plus saturée (le taux moyen d'humidité ayant beaucoup diminué), cette surface n'est plus alimentée que par l'eau provenant de l'intérieur du matériau qui doit pour cela se frayer un chemin au travers d'une partie de son épaisseur.

On conçoit, dans ces conditions, que la nature du matériau et notamment sa perméabilité ont une influence prépondérante sur le déroulement de cette deuxième phase, en particulier sur sa durée qui peut être fort longue et s'étaler quelquefois :

**Sur plusieurs mois ou même années.**



D'autres expériences ont été réalisées pour mesurer le pouvoir moyen d'évaporation de divers matériaux maintenus en état de saturation et pour déterminer l'influence de l'atmosphère ambiante sur le processus d'évaporation.

Les résultats de ces expériences présentent un grand intérêt.

• Parmi ceux-ci nous avons notamment retenu :

- 1) Que lorsqu'on mesurait, à conditions atmosphériques identiques, le pouvoir d'évaporation des matériaux de construction les plus courants (maintenus en état de saturation), on n'observait pas entre eux de différences très significatives.
- 2) Mais qu'en revanche, des différences notables existaient pour les mortiers.
- 3) Le pouvoir d'évaporation moyen d'un mortier de chaux naturelle est par **exemple trois fois supérieur** à celui d'un mortier de ciment
- 4) Que l'évaporation augmentait sous l'action du soleil, mais moins sans doute qu'on l'aurait imaginé, puisque
- 5) Le pouvoir moyen d'évaporation d'un matériau exposé au soleil n'est **que deux à trois fois** celui du même matériau placé à l'ombre.
- 6) Que l'évaporation augmentait fortement sous l'action du vent, même faible.

A titre d'exemple, un vent de 7 km/h seulement permet de multiplier **par 3**, et même **5**, le pouvoir moyen d'évaporation des matériaux mesurés en atmosphère confinée.

## Modalités pratiques

C'est essentiellement au niveau des remèdes contre l'humidité que nous tirerons les profits de notre connaissance du processus d'évaporation des matériaux humides.

Nous veillerons d'abord à ne jamais empêcher cette évaporation, puisqu'elle constitue le seul moyen d'évasion, après traitement, pour l'eau emprisonnée dans les matériaux.

Nous veillerons au contraire, pour favoriser cette évaporation, à ventiler convenablement les locaux à assécher.

Mais, on ne parviendra évidemment pas, à éliminer par la ventilation, aussi puissante soit-elle, les manifestations d'une humidité d'origine permanente (par exemple des remontées capillaires).

Nous savons, que l'assèchement d'un matériau saturé peut s'avérer fort long plusieurs mois.

Aussi, après avoir traité un mur humide, nous attendrons avant d'appliquer les éléments de décoration (peinture et papiers peints) que son assèchement soit complet (et non pas seulement que la phase de l'évaporation soit terminée)



## Les différents types d'humidité leurs causes & leurs manifestations

Toute intervention destinée à assainir un bâtiment ancien passe d'abord par l'identification du type d'humidité à combattre.

Nous avons, dans ce qui précède, déjà évoqué deux formes d'humidité :

A - Les remontées capillaires.

B - Les infiltrations d'eau de pluie.

Auquel il convient d'y ajouter :

C - L'humidité de condensation.

Pour chacun d'entre eux, nous distinguerons ses causes (les origines de l'eau) et ses effets spécifiques (ses manifestations).

## L'humidité ascensionnelle

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 (1), 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.

(1) Document technique unifié (D.T.U.) n° 20-11 d'octobre 1978, chapitre VI.

## Les origines de l'humidité ascensionnelle

Lorsqu'un bâtiment présente des manifestations d'humidité ascensionnelle, c'est que ses fondations, ou à défaut de fondation la base de ses murs, se trouvent au contact de l'eau :

• Soit que ces murs aient été fondés dans la nappe phréatique.

• Soit que ceux-ci aient été fondés au-dessus de la nappe, mais dans un terrain capillaire lui-même siège d'humidité ascensionnelle en provenance de la nappe phréatique.

• Soit encore que ces murs aient été fondés dans un terrain peu perméable ralentissant la vitesse d'infiltration dans le sol des eaux de pluie et favorisant, de surcroît, leur ruissellement en surface.

Quelquefois, c'est à la suite de travaux dans l'environnement du bâtiment concerné que le niveau de la nappe phréatique a été modifié.

L'exhaussement du niveau de la nappe a entraîné des remontées capillaires dans les murs anciens parfaitement secs à l'origine.

## Les manifestations de l'humidité ascensionnelle

Les bâtiments anciens, peuvent eux aussi subir l'agression de l'humidité ascensionnelle. La présence de taches d'humidité foncées et persistantes sur le plancher bas d'un bâtiment est un signe caractéristique du phénomène de remontées capillaires.

La compréhension du phénomène physique explique à lui tout seul, les manifestations de ce type d'humidité.

Il permet notamment de justifier pourquoi les dommages liés à l'humidité ascensionnelle ne concernent exclusivement que les niveaux inférieurs des immeubles (caves, sous-sols et rez-de-chaussée) mais affectent généralement toute leur périmétrie.

Seules peuvent éventuellement en être préservées certaines parties construites après coup, avec des matériaux différents, ou fondées à un autre niveau que celui de l'ouvrage initial.

La hauteur des manifestations d'humidité ascensionnelle dépend évidemment du débit de l'approvisionnement en eau, mais aussi des caractéristiques des matériaux constitutifs des murs et des facilités d'évaporation offertes par les murs.

Une différence pouvant néanmoins être constatée entre les façades ensoleillées (orientées sud et sud-ouest) et les façades l'ombre (orientées nord et Nord-Est) ou entré, les murs minces et les murs épais (nécessitant une surface d'évaporation plus importante pour évacuer un débit d'eau évidemment plus abondant, puisque approximativement proportionnel à l'épaisseur du mur).

Notons que seuls les murs construits avec des matériaux capillaires (en gros les matériaux de masse volumique inférieure à 1 900 kg par m<sup>3</sup>) peuvent être soumis au phénomène de remontées capillaires, la capillarité du mortier de liaison n'étant en général pas capable de causer à elle seule l'invasion de l'humidité.

A l'intérieur d'un mur soumis à des remontées capillaires, le taux d'humidité est à peu près constant sur toute son épaisseur. Il présente sa valeur maximale à la base du mur et décroît fortement au fur et à mesure qu'on s'élève, donc qu'on s'éloigne de cette base. Mais les murs ne sont pas le siège unique des remontées capillaires, les planchers

## Infiltrations d'eau de pluie

Si les règles de l'art imposent aux murs de nos constructions neuves d'être étanches à la pluie et que ceux-ci, sauf accident, remplissent bien cette fonction, il arrive par contre que la pluie (ou la neige) parvienne à s'infiltrer dans certains éléments des bâtiments anciens.

Ce défaut peut résulter soit d'une déficience d'origine (mauvaise conception ou mise en œuvre défectueuse), soit d'une modification de l'environnement du bâtiment ayant aggravé son exposition aux intempéries, soit encore d'un mauvais entretien (non-remplacement d'un enduit délabré par exemple).

(3) Document technique unifié (D.T.U.)  
N° 18-11 d'octobre 1978, § 1,3.

## Causes d'infiltration directe de la pluie

Nous avons vu au chapitre premier qu'un mur en maçonnerie devait présenter une épaisseur minimale pour pouvoir résister à la pénétration de la pluie. Le non-respect de cette épaisseur minimale constitue un risque évident d'infiltration, mais il est assez rare que les murs porteurs des bâtiments anciens présentent ce défaut. Ils comportent par contre souvent d'autres déficiences favorisant la pénétration de la pluie.

## Humidité de condensation

Les manifestations les plus connues du phénomène de condensation sont, dans la nature, la rosée et le brouillard et, dans nos logements (et nos voitures), la buée sur les vitres.

Ces fines gouttelettes d'eau qui constituent ces brouillards et ces buées proviennent du passage à l'état liquide de la vapeur d'eau contenue dans l'air et c'est cette transformation de vapeur d'eau en liquide que l'on nomme condensation.

Ce phénomène constitue l'une des sources d'humidification les plus courantes des bâtiments et tout particulièrement des bâtiments à usage d'habitation. Aussi, nous a-t-il paru utile d'analyser son processus.

## Condensations superficielles & internes

L'air qui nous entoure contient toujours une certaine quantité de vapeur d'eau, mais il ne peut en contenir qu'une quantité limitée (que l'on appelle limite de saturation). Cette quantité varie en fonction de sa température.

Par exemple à 20°C, un kilogramme d'air sec peut contenir 14.7 g de vapeur d'eau. Mais à 5°C, il ne peut plus en contenir que 5.4 g.

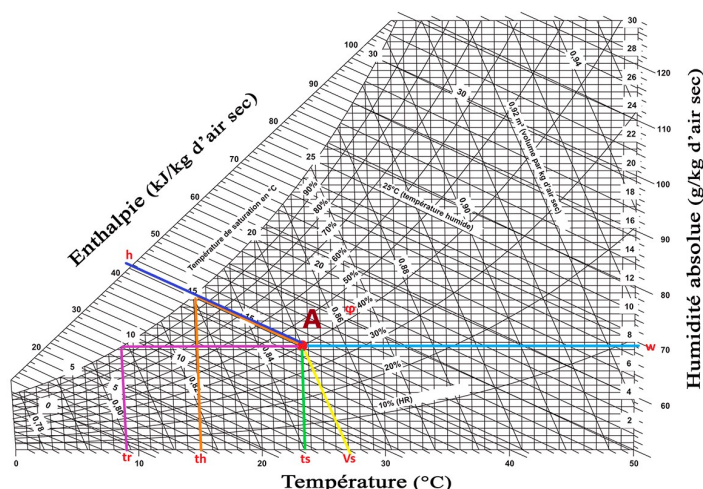
NB : La masse volumique moyenne de l'air est de 1.293 kg par m<sup>3</sup>

Le surplus, s'il existe un surplus, se transforme en gouttelettes qui se déposent sur le sol ou les murs.

Quand l'air contient la quantité maximale de vapeur d'eau qu'il peut contenir, on dit que son humidité relative (ou son degré hygrométrique est de 100 %). Quand il ne contient qu'une fraction de cette quantité maximale, c'est cette fraction qui indique son degré hygrométrique.

Le diagramme ci-joint dû à Mollier, indique la quantité de vapeur d'eau contenue par kg d'air sec en fonction de sa température et de son degré hygrométrique. Le diagramme permet de calculer le « surplus » de vapeur qui va se transformer en eau.

## Diagramme psychrométrique



## Condensation superficielle

Dans un bâtiment, il est possible que l'air ambiant se refroidisse et atteigne son point de rosée au contact d'un mur donnant sur l'extérieur (généralement les vitrages ou le Nord).

Plus le degré hygrométrique de l'air est élevé, plus on se rapproche de la saturation. Il n'en est pas moins intéressant d'avoir à l'esprit quelques données numériques.

En ce qui concerne la production de vapeur d'eau, rappelons quelques ordres de grandeur : -

Une personne adulte produit environ 50 g de vapeur d'eau par heure. Par leur seule respiration, deux personnes au repos dans une pièce de 30 m<sup>3</sup> à 15 °C satureront donc l'atmosphère en moins de 5 h environ.

- La combustion d'un m<sup>3</sup> de gaz produit approximativement 800 g de vapeur d'eau alors que 300 g environ suffisent pour saturer l'air ambiant d'une cuisine de 20 m<sup>3</sup> (or la consommation de gaz peut s'évaluer, en moyenne, à 4 m<sup>3</sup> par jour et par famille)
- Une casserole d'eau bouillante parvient à saturer l'air d'une cuisine en quelques minutes seulement.

## Dégradation & Diminution de la résistance mécanique des matériaux humides

A toute augmentation du taux d'humidité d'un matériau correspond une diminution de sa résistance mécanique.

L'explication actuelle du phénomène est la suivante : lorsqu'on exerce une compression sur un matériau humide, l'eau qui y est incluse tend à s'en échapper, développant ainsi une pression qui s'ajoute à la contrainte exercée sur le matériau.

Ce serait donc par une diminution de leur contrainte de compression admissible que la résistance mécanique des matériaux humides diminuerait, hypothèse confirmée par l'examen des charpentes qui se sont accidentellement écroulées par suite de leur saturation d'eau : leurs entrants (soumis à la traction) étaient restés intacts alors que leurs arbalétriers (soumis à la compression) s'étaient par contre écrasés.

## Choisissons quelques exemples pour illustrer cette affirmation.

Le soubassement d'un mur humide qu'on a cru guérir par application d'un enduit étanche à base de ciment. L'eau ne pouvant plus s'évaporer

s'est alors accumulée derrière la peau imperméable constituée par l'enduit, provoquant son gonflement et des boursouffures.

Ces boursouffures ont fini par crever sous l'effet de la pression dans les pores du matériau derrière la couche de finition imperméable (sans doute sur dosée en liant).

Autre exemple de désagrégation quasi totale d'un enduit peu perméable appliqué sur un mur humide.

Lorsqu'on procède au rejointoiment d'une maçonnerie de pierres apparentes avec un mortier trop riche en liant hydraulique. L'eau pénètre dans le mur ; faute de pouvoir s'évaporer, elle s'accumule dans les joints de la maçonnerie jusqu'à entraîner par pression le détachement du mortier de rejointoiment.

Il n'est pas rare que lors de ce détachement les pierres elles-mêmes s'ébrèchent, élargissant ainsi les joints et ouvrant le chemin à une pénétration massive de la pluie et à une dégradation rapide de la maçonnerie.

## Les effets de l'eau

La plupart des bâtiments en terre crue finissent par périr sous l'action de l'eau qui s'y infiltre, les érode et les affouilles...

D'autres matériaux, tels que les grès, subissent également sous l'action de l'humidité un véritable processus de destruction. Si la plupart des grès se conservent relativement bien en élévation, ceux que l'on rencontre dans les fondations anciennes sont souvent très détériorés, notamment les grès calcaires.

Mais le processus de modification morphologique le plus surprenant est bien celui que subit le granit et, d'une manière générale, toutes les pierres feldspathiques.

Sous l'effet de l'eau et avec le concours du temps, le granit (symbole de l'éternité !) se transforme en une pâte informe mêlée de grains de quartz. Le phénomène est assez surprenant pour qu'on s'y arrête. Certains auteurs le désignent sous le terme de « kaolinisation ». Mais cela est inexact : la « kaolinisation » est facultative et seconde. Elle ne se produit que dans des conditions particulières.

L'explication est autre : à l'origine des temps, le granit s'est formé par métamorphisme prograde de l'argile dont l'eau a été libérée et expulsée dans les fissures et autres zones déprimées de la croûte terrestre, où elle a déposé ce qu'elle contenait en solution, sous forme de filons.

Sous l'effet de cette action, l'argile a ainsi donné naissance au **mica**, au **feldspath**, à l'**amphibole**, au **pyroxène**... Soumis à l'action de l'eau, le granit, composé de **quartz** et des autres minéraux précités, a tendance à retourner à sa forme initiale d'argile.

Son altération consiste donc en un rétro morphisme dont toutes les réactions seraient condensées en une seule étape.

## Modalités pratiques

Nous venons de voir que si la plupart des matériaux de construction «gonflaient » sous l'effet de l'humidité, leurs variations dimensionnelles étaient très variables d'un matériau à l'autre. Aussi n'est-il pas rare que des variations dimensionnelles différentielles aient provoqué au cours des temps, des fissures dans les constructions anciennes. C'est par exemple souvent le cas entre les ossatures en bois et les maçonneries de remplissage.

C'est également souvent le cas pour ce qui concerne les enduits, notamment lorsqu'un enduit rigide a été appliqué sur un support en briques qui a ensuite subi une agression d'humidité.

Ces fissures peuvent devenir graves si à leur tour elles deviennent, par infiltration, des sources d'humidité donnant ainsi naissance à un processus en chaîne.

De notre connaissance du phénomène de diminution de la résistance mécanique des matériaux en fonction de leur humidité, nous tirerons des leçons de prudence quant à l'utilisation des ouvrages saturés d'eau, que cette saturation ait été provoquée par un accident ou sous l'effet de l'air humide ambiant.

**Les vieux paysans proches des choses de la nature, ne savaient-ils pas déjà qu'on ne devait jamais monter sur un toit après la pluie, et pas seulement parce que les tuiles étaient alors plus glissantes mais par ce qu'elles étaient plus fragiles.**

Il n'y a pas pire remède contre l'humidité que de s'opposer à ses seuls effets apparents, c'est-à-dire à son évaporation.

## Altérations des matériaux et des ouvrages dont l'humidité constitue le véhicule

Sous ce titre, nous grouperons un certain nombre de dégradations qui, à l'inverse de celles analysées jusqu'ici, ne sont pas dues à la seule action de l'eau mais nécessitent pour se produire que l'eau joue un rôle d'intermédiaire.

Nous considérerons ainsi, successivement :

Un phénomène d'origine physique :

le gel

Trois phénomènes d'origine chimique :

Les efflorescences  
Les crypto-efflorescences  
Les taches de bistre.

## Le gel

Nous savons tous que certaines pierres et certaines briques sont gélives, c'est-à-dire qu'elles subissent des altérations lorsque la température descend au-dessous de 0 °C. Des essais en laboratoire ont montré que cette sensibilité au gel était liée à la porométrie du matériau (dont nous savons qu'elle est une des caractéristiques dont dépend son pouvoir d'absorption d'eau). Ces essais ont mis en évidence que l'effet du gel ne se produit que lorsque la teneur en eau du matériau atteint

Les matériaux à pores fins (< 10 µm) atteignent facilement cette teneur en eau critique.

Les matériaux à gros pores (>10 µm) l'atteignent beaucoup plus difficilement, c'est pour cette raison que leur sensibilité au gel est moindre.

L'explication actuelle du phénomène de dégradation des pierres et des briques sous l'effet du gel est le suivant : au-dessous de 0 °C, l'eau contenue dans les pores et alvéoles les plus gros se transforme assez rapidement en glace. Cette transformation de nature expansive entraîne dans les autres pores (les plus fins), remplis d'eau et d'air, **une pression capillaire** importante pouvant aller jusqu'à rompre les murs du matériau qui la subissent.

Ces dégradations peuvent prendre des formes différentes selon les caractéristiques physiques du matériau et son emplacement dans l'ouvrage concerné.

## Il peut s'agir :

- D'éclatement franc dans la masse :

Cette forme d'altération se rencontre en particulier pour certaines pierres dures à pores très fins.

- D'ébrèchement des angles :

Ce type de dégradation se manifeste aussi bien pour les maçonneries de pierre que pour les maçonneries de brique. Il s'explique par le fait que les angles des pierres et des briques sont les parties les plus exposées d'une maçonnerie puisqu'ils reçoivent l'eau sur deux faces

- De destruction par plaque :

Ce type de rupture se produit lorsque le matériau présentait dès l'origine un plan de plus faible résistance.

- De destruction en « pustules ».

Cette forme d'altération en écailles s'observe notamment sur les pierres tendres.

## Les efflorescences & crypto-efflorescences

Lorsqu'elles se forment à l'intérieur même de la maçonnerie les crypto-efflorescences peuvent entraîner des destructions assez graves sous forme de détachement de plaques parallèlement au parement extérieur.

• Les sels les plus solubles, donc qui sont le plus souvent à l'origine de ces phénomènes sont :

- Les sulfates de sodium et de magnésium qui se trouvent dans les constituants eux-mêmes des maçonneries
- Les nitrates de sodium, de potassium ou de calcium qui se trouvent dans le sol (notamment lorsque à proximité de la construction est situé un dépôt de déchets organiques), ou dans l'eau des nappes phréatiques polluées.

On désigne beaucoup d'efflorescences sous le nom de salpêtre ; en fait, le vrai salpêtre, qui a longtemps constitué l'élément de base de la poudre à canon, est le nitrate de potassium.

Efflorescences et crypto-efflorescences composées de sulfates peuvent apparaître en n'importe quelle zone de la maçonnerie, à la seule condition que celle-ci soit le siège d'une évaporation d'humidité du a une capillarité.

Efflorescences et crypto-efflorescences composées de nitrates viennent soit d'une infiltration latérale d'eau et crypto-efflorescences du sol, soit de remontées capillaires.

## Les mousses, champignons et autres

Les moisissures les plus courantes sont les aspergillus, de couleur vert noirâtre, car elles nécessitent pour se développer le taux d'humidité le plus faible. Les aspergillus peuvent être la cause de troubles respiratoires chez les nourrissons et les personnes âgées (aspergillose).

Lorsque la teneur en humidité est encore plus élevée d'autres espèces peuvent apparaître :

- le pénicillium, de couleur verte
- le cladosporium, noir verdâtre
- le phoma, noir

Les conditions du développement des moisissures sont d'abord l'existence d'un substrat nourricier (terre, chaux, plâtre, matériaux organiques : papier, bois, colle, cuir... ou vapeurs grasses), ensuite une humidité prolongée, sinon permanente (même légère), un air confiné et l'absence de soleil.

## Les champignons du bois

• Les champignons lignicoles sont responsables du phénomène de « bleuissement » des bois.

Ils ne s'attaquent qu'aux substances de réserves des résineux provoquant une coloration allant du bleu clair au bleu noirâtre mais n'altèrent pas les caractéristiques mécaniques des bois attaqués.

Les champignons lignivores parviennent au contraire à détruire tout ou partie des constituants du bois, altérant gravement ses caractéristiques physiques et mécaniques.

Suivant les espèces de champignons lignivores, on peut trouver dans les bois de construction deux types principaux d'altération :

- **La pourriture cubique**, caractérisée par la consistance cassante et la fissuration du bois suivant des plans orthogonaux.
- **La pourriture fibreuse**, caractérisée par la couleur pâle du bois qui garde sa consistance fibreuse tout en se ramollissant.

Parmi les champignons susceptibles de détruire les bois de construction, le plus fréquent et le plus redoutable est :

## Le « mэрule » Ou « champignon des maisons ».

L'attaque du bois par le mэрule se traduit dans un premier temps par l'apparition de filaments très fins (de l'ordre de 10  $\mu\text{m}$  de diamètre) blanc grisâtre qui parcourent toute la surface du **bois attaqué, perforant éventuellement les murs**.

Ces filaments, dénommés hyphes, s'agglomèrent ou s'enchevêtrent souvent entre eux pour former une sorte de toile d'araignée.

Dans un second temps, le champignon forme des fructifications qui apparaissent comme de larges lames de consistance feutrée appliquées sur le bois. La bordure en est blanche, le centre coloré en brun rouille par les milliards de spores qu'il comporte.

Si les conditions de température (entre 20 °C et 26 °C) et d'humidité (minimum : 22 % ; optimum : 35 %) sont réunies et si, de surcroît l'atmosphère est confinée et les lieux obscurs, **en quelques mois** ce champignon détruira les pièces de bois qu'il a envahies (pourriture cubique).

A partir d'une pièce de bois attaquée, il pourra gagner les pièces voisines, **même sèches**, car il transporte par l'intermédiaire de ses filaments l'humidité qui lui est nécessaire. Il est même susceptible de traverser les maçonneries !

Le mэрule attaque de préférence les bois résineux mais fréquemment aussi les bois feuillus, le chêne notamment. L'agression d'un bâtiment par ce champignon peut être foudroyante s'il y règne obscurité et atmosphère confinée.

Il est donc absolument nécessaire, à titre préventif, d'assurer une bonne aération de tous les bois des constructions.

La détection d'une attaque du mэрule exige des mesures **immédiates et radicales**.

## Les remèdes

Mesures curatives contre le mэрule et autres champignons des bois. Nous avons indiqué précédemment, combien l'agression d'un bâtiment par le mэрule pouvait être foudroyante et que sa détection imposait de ce fait des mesures immédiates et radicales.



## En quoi consistent ces mesures ?

Ces conseils sont extraits des dépliants techniques que le Centre technique du bois (C.T.B.) a établis sur ce sujet.

- 1) D'abord, à déposer et **brûler** toutes les pièces de bois hors de service et à traiter toutes les pièces atteintes (même légèrement) par un fongicide à base de composés organiques.
- 2) Bien sûr, dans le même temps, à supprimer toutes les **causes d'humidité** et à assurer une bonne aération des pièces de bois, notamment entre parquet et plafond et entre murs et lambris.
- 3) Gratter et **brosser** soigneusement les maçonneries afin de détacher tout crêpi ou mortier Insuffisamment adhérent.
- 4) Vérifier soigneusement les joints que les **rhizomorphes** du mûrele (ses cordonnets composés d'hyphes agglomérés et enchevêtrés) sont susceptibles de disjoindre pour aller attaquer des pièces de bois sain en traversant les murs.
  - 1) Traiter la maçonnerie et les bois laissés en place par pulvérisation ou badigeonnage avec un : **Anticryptogamique puissant.**
- 6) Ne **remplacer** les pièces de bois éliminées que par des bois secs et sains préalablement traités de préférence, par trempage ou pulvérisation, au moyen d'une solution antiseptique.
- 7) Enduire les abouts encastrés des solives dans un **fongicide** très durable.
- 8) Eviter enfin tout remplissage dans les parquets. Le mâchefer notamment est à proscrire rigoureusement outre l'obstacle qu'il oppose à l'aération, il favorise par son alcalinité le développement du mûrele.

## Les maladies de la pierre

La pierre, symbole de la pérennité et élément de base de notre patrimoine bâti avait Pendant longtemps résisté aux assauts du temps sans subir d'altérations importantes.

Mais voilà que, depuis quelques années on constate que les pierres de nos constructions anciennes se détériorent, tout particulièrement les calcaires, et, de surcroît, que le processus de leur dégradation va en s'accéléralant.

## La desquamation

Elle se manifeste, comme son nom l'indique, par un décollement de croûtes et de plaques d'épaisseur variable de quelques millimètres à quelques centimètres. Sous la plaque détachée, la roche part en poudre. Ce décollement est précédé d'un léger boursoufflement du

parement puis de son fendillement. Il se localise toujours dans les zones humides des bâtiments

L'analyse chimique d'une pierre atteinte de desquamation montre sur une profondeur de 1 à 3 cm de parement une augmentation élevée de la teneur en gypse (sulfate hydraté de calcium).

Si les pierres exposées en atmosphères urbaines et industrielles sont plus gravement et plus fréquemment atteintes que les pierres exposées en atmosphère rurale, ces dernières ne sont pourtant pas immunisées contre le mal, notamment les tuffeaux et les molasses.

Le rôle de l'anhydride sulfureux contenu dans l'air et qui se transforme en acide sulfurique sous l'effet de la pluie est incontestable dans le processus.

Cependant, d'autres facteurs doivent intervenir, aggravant le phénomène en atmosphère polluée et peut être le provoquant en atmosphère pure.

Une analyse micro biologique de pierres atteintes par ce type de lésions a démontré la présence de nombreuses bactéries autophores, c'est-à-dire n'ayant pas besoin de substances organiques pour subvenir à leurs besoins énergétiques.

Ce sont ces bactéries qui seraient à l'origine d'un processus de transformation du soufre en acide sulfurique.

Cette hypothèse conforte le rôle attribué à l'acide sulfurique qui, aussi bien dans nos villes que dans nos campagnes, réagirait avec le carbonate de calcium des pierres pour donner du sulfate hydraté de calcium (gypse).

La desquamation des pierres se rencontre dans toutes les **zones humides** d'une construction et tout particulièrement dans les zones soumises à une évaporation intense.

## La désagrégation sableuse & l'alvéolisation

Ces deux formes d'altération se localisent également de préférence dans les zones humides des bâtiments.

Elles se manifestent par le détachement d'une partie de la roche sous forme pulvérulente soit d'une manière quasi homogène sur toute une zone dans le cas de la désagrégation sableuse, soit en créant sur les pierres des sillons ou des alvéoles cernés d'arêtes dures dans le cas de l'alvéolisation.

Un des facteurs de ces phénomènes serait l'érosion éolienne, mais-il est à peu près certain qu'un facteur biologique intervient également dans la formation de ces deux types de lésion.

Cette hypothèse est confortée par le fait que **l'humidité** paraît indispensable à leur apparition et par l'analyse micro biologique des pierres atteintes de ce mal.

Le nombre de bactéries qu'on y constate est beaucoup plus élevé que celui qu'on peut observer sur une pierre saine. (Mais sans pour autant atteindre le nombre très élevé de bactéries d'une pierre desquamée).

Les pierres les plus fréquemment et gravement atteintes par les maladies que nous venons de décrire sont les calcaires, mais d'autres pierres peuvent être contaminées, notamment les grès de nature

calcaire (de 1 à 15 % de calcaire) qui présentent souvent les mêmes altérations.

Les briques, elles aussi, subissent des dégradations à peu près identiques. Pour elles, comme pour les pierres, l'origine du mal est à rechercher dans une action chimico-biologique. Comme pour les pierres, **l'humidité joue le rôle de catalyseur** dans le développement du processus.

## L'ESSENTIEL Les dommages dus à l'action directe de l'eau

Les variations dimensionnelles des matériaux humides risquent d'entraîner des défauts de liaison entre matériaux différents, par exemple entre structures en bois et maçonnerie de remplissage ou entre enduit au mortier de ciment et maçonnerie en briques.

En possession des connaissances que nous venons d'acquérir, nous pouvons maintenant aborder les problèmes dans l'ordre où l'on est amené à le faire sur le terrain. Cet ordre, quel est-il ?

L'efficacité d'un traitement contre l'humidité étant subordonnée à son adéquation aux causes du mal (nous avons déjà eu l'occasion d'évoquer ce sujet), tout commence par l'identification de ces causes, c'est-à-dire par ce que l'on appelle communément le diagnostic.

## LE DIAGNOSTIC

Un diagnostic de l'humidité peut être engagé à deux occasions :

- Soit avant une opération de réhabilitation ou lors du diagnostic général du bâtiment ; en effet, lors de la visite méthodique de tous les niveaux du bâtiment, un examen attentif et détaillé de tous les éléments peut parfois révéler des désordres dus à l'humidité.
- Soit, lorsque l'on constate, sur un bâtiment normalement entretenu, des désordres dus à l'humidité.

### On procède souvent à ce diagnostic en deux phases.

La première consiste à collecter le plus grand nombre possible de renseignements sur les ouvrages et les manifestations d'humidité qu'ils présentent, renseignements que l'on essaie ensuite d'interpréter.

Lors de l'examen général du bâtiment, on note et analyse notamment :

- L'emplacement et la constitution des ouvrages atteints
- La nature des dégâts
- Leur importance : Pour cela, on peut s'aider d'appareils électriques appelés « humidimètres » qui permettent de détecter les zones humides cachées ;
- La date de l'apparition des dégâts et de leur évolution dans le temps ;
- Le cas échéant, les traitements déjà effectués et leurs résultats.

Pour étudier comment on procède au diagnostic, nous allons passer en revue un bâtiment que nous supposons atteint d'humidité, nous allons

imaginer les diverses manifestations de son mal et pour chacune d'elles, nous nous efforcerons de déterminer sa cause.

Pour parvenir à ce résultat nous disposons de toutes les connaissances développées dans les chapitres précédents auxquels nous nous reporterons donc d'une manière quasi systématique.

## Mesures de l'humidité par prélèvements et par réaction chimique

Un échantillon du matériau dont on recherche la teneur en eau, après avoir été prélevé est réduit en poudre puis déposé dans une bouteille spéciale contenant un composé de carbure de calcium et munie d'un manomètre.

Le carbure de calcium est destiné à donner par réaction avec l'eau du matériau un gaz : **l'acétylène**.

Le manomètre est destiné, quant à lui, à mesurer la pression de ce gaz dans la bouteille, pression celui qui est immédiatement traduite en taux d'humidité calculé par rapport à la masse humide du matériau.

## Mesures de l'humidité et de la température de l'air

Rappelons qu'il existe toujours dans l'air une certaine quantité de vapeur d'eau, et qu'on désigne sous le terme d'humidité relative (ou de degré hygrométrique) le pourcentage que représente cette quantité par rapport à la quantité maximale que pourrait, à la température à laquelle il se trouve, contenir cet air.

Lorsque dans un local l'humidité relative de l'atmosphère est très élevée, on éprouve en y pénétrant un certain malaise.

Mesurer le degré hygrométrique de l'air ambiant d'un bâtiment constitue donc d'abord une méthode pour juger de sa salubrité.

Mais nous savons également que plus l'humidité relative de l'air ambiant d'un local est importante, plus le risque de condensation y est élevé.

Mesurer le degré hygrométrique de l'air s'avère donc une nécessité lorsqu'au stade du pré diagnostic, l'hypothèse d'humidification par condensation a été envisagée.

On procède alors non seulement à la mesure de l'humidité relative, mais également à celle de la température puisque, comme nous le savons, le phénomène de condensation est lié au couple « humidité relative température ».

### On désigne généralement par :

- « Air très sec » l'air dont l'humidité relative est inférieure à 40 %,
- « Air sec » l'air dont l'humidité relative est inférieure à 50 %
- « Air humide » l'air dont l'humidité relative dépasse 60%

## PRODUITS IMPERMÉABILISANTS

### Silicates

Il s'agit ici d'un groupe très étendu de produits ayant au moins en commun, comme résultat final, la formation d'un gel de silice obturant les pores.

On connaît par exemple les silicates de sodium ( $\text{Na SiO}$ ) et de potassium ( $\text{K SiO}$ ) ; ces produits ont une pénétration assez faible.

Les solutions de silicates alcalins durcissent sous l'action du  $\text{CO}_2$  de l'air, et la carbonatation de la solution silicatée, nous ne l'utilisons pas dans les murs trop épais, à moins de compenser le manque de  $\text{CO}_2$  par l'injection complémentaire de produits susceptibles de libérer du gaz carbonique.

### Gels d'acrylamides

Ce sont des mélanges de deux composants organiques ayant à peu près la même viscosité (fluidité) que 1 eau.

Cette viscosité reste presque constante dans le mur jusqu'au moment où la gélification désirée se produit.

En modifiant les quantités des catalyseurs (persulfate d'ammonium et diméthylaminopropionitrile), et en fonction de la température, on peut obtenir à volonté une durée de gélification après laquelle le produit final, non toxique, se forme.

Le gel ainsi formé continue à absorber ou à rejeter de l'eau lorsque les conditions varient.

On conseille cependant de faire l'injection de manière à éviter la dessiccation.

### Siliconâtes

Ce sont des combinaisons solubles dans l'eau qui forment un produit hydrophobe sous l'influence de l'acide carbonique de l'air.

Ainsi, le méthylsiliconate de sodium ou de potassium réagit avec l'acide carbonique et l'eau pour produire de l'acide polyméthylsilicique.

C'est une combinaison chimique ( $\text{pH} < 7$ ) instable qui peut être décomposée en milieu alcalin ( $\text{pH} > 7$ ).

### Silicones

Il en existe un grand nombre, offrant plus ou moins de résistance aux alcalis et présentant cependant deux caractéristiques communes : le fait d'avoir de grosses molécules et d'être en solution dans un solvant hydrophobe, ce qui rend l'imprégnation difficile. Peut engendrer des efflorescences et également des éclatements de la partie superficielle des matériaux.

### Stéarates d'aluminium

On les utilise en solution dans du white-spirit. Après évaporation du solvant, ces produits polymérisent en présence de l'eau.

## ORGANISMES CENTRAUX

### A.F.M.E.

(Agence française pour la maîtrise de l'énergie)  
27, rue Louis Vicat. 75015 Paris.

### A.N.H.A.

(Agence Nationale pour l'Amélioration de l'Habitat)  
17, rue de la Paix. 75002. Paris

### A.N.I.L.

(Association National pour l'Information sur le Logement)  
2, Bd Saint-Martin. 75010. Paris.

### CATEG

(Centre d'Assistance Technique et de Documentation)  
9, rue La Pérouse. 75784. Paris Cedex 16.

### DIRECTION DE LA CONSTRUCTION

(Ministère de l'Urbanisme et du Logement)  
Avenue du Parc de Passy. 75775 Paris Cedex 16.

### JOURNAL OFFICIEL

26, rue Desaix. 75732 Paris Cedex 16.

### O.P.Q.C.B.

(Organisme Professionnel de Qualification et de Classification de Bâtiment et des Activités Annexes) - 55, avenue Kléber. 75016 Paris