

ETUDES CONCERNANT LE SECHAGE PAR DES TUBES DESHYDRATANTS PLACES DANS DES FONDEMENTS

Introduction.

Dans certains vieux bâtiments, sans, ou avec une isolation horizontale insuffisante contre l'humidité dans les fondements, on a observé souvent des dégâts aux piliers. Les dégâts étaient causés par l'humidité montant du sol. L'humidité croissante provoque des dégâts qui sont visibles à l'extérieur, par des changements de couleur et la formation de taches à la surface des piliers. Des éruptions de sel se produisent également assez souvent et peuvent occasionner après un certain temps des dégâts au plâtre et à la peinture. L'accroissement de la teneur en humidité des murs produit en outre une augmentation de l'humidité de l'air dans les pièces voisines et une diminution de l'isolation thermique des murs. Ces deux facteurs peuvent occasionner en hiver une humidité supplémentaire de ces murs, à la suite d'une condensation plus intense sur les murs intérieurs.

Ces dernières années, plusieurs firmes ont présenté des moyens pour supprimer ces défauts par l'incorporation de "tubes déshydratants et séchoirs". Ces tubes, soit en terre glaise, soit en matière synthétique, soit en métal, sont incorporés obliquement de bas en haut dans les murs humides et sont couverts à la surface extérieure de chaperons perforés. En fait, le résultat de cette méthode est fort discuté, c.à.d. que, très souvent, il ne correspond pas aux recommandations des firmes exécutives.

On connaît aussi une autre méthode pour faire sécher des piliers humides. Elle consiste dans la diminution de la force capillaire de la maçonnerie, par un traitement avec des produits chimiques. Ceux-ci sont introduits en forme de solution aqueuse dans des trous forrés obliquement du haut en bas dans les murs humides.

Pour contrôler l'efficacité de ces deux méthodes, des recherches ont été effectuées par l'Institut Technique de Physique, avec l'aide du Ministère fédéral pour l'habitation et l'urbanisation. Ces recherches se rapportaient en premier lieu à l'effet des "tubes déshydratants", tandis que les recherches concernant la "méthode chimique" étaient moins approfondies.

Dans les pages suivantes les principes fondamentaux concernant le problème sont exposés. Après la description des résultats à des échantillons de murs, nous donnons le compte-rendu des possibilités de sècher pratiquement des piliers humides à l'aide de "tubes déshydratants".

2. Etudes fondamentales, concernant les possibilités de sècher des murs.

La plupart des matériaux employés dans les travaux de maçonnerie possèdent une capillarité qui a comme effet que, après immersion des matériaux dans l'eau, l'humidité sous forme de liquide est aspirée. La hauteur maxima que peut atteindre l'eau dans ces matériaux, dépend principalement de la section du vaisseau capillaire et du pouvoir de s'humecter des parois des vaisseaux capillaires. La vitesse d'absorption est déterminée par la perte de charge dans les vaisseaux capillaires et par la "force capillaire", qui elle-même dépend de la différence entre la hauteur maxima et la hauteur atteinte à chaque moment.

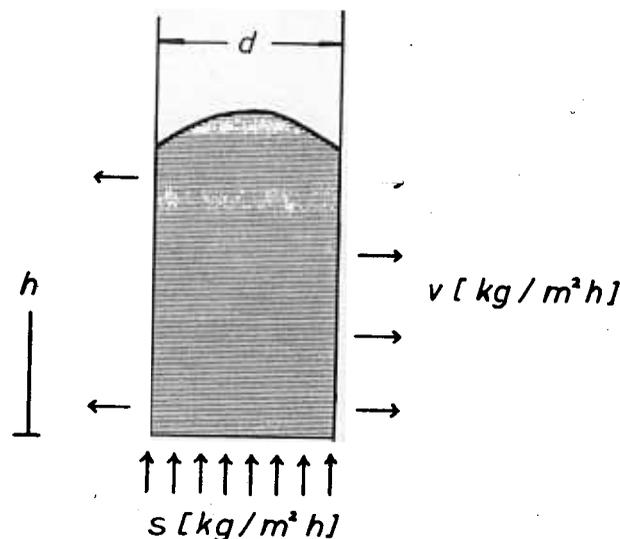
Pour des matériaux homogènes, la détermination mathématique du procès capillaire est possible. Dans des travaux de maçonnerie au contraire, les circonstances sont très compliquées, à cause des couches successives de briques et de mortier; étant donné que les paramètres de la conductibilité de l'humidité à travers les différentes couches sont imprécis, une détermination mathématique est impossible. Dans ce cas, une détermination n'est possible que par des examens expérimentaux de façon empirique.

Des observations ont démontré que la limite d'humidité provoquée par l'humidité souterraine montante et visible à la surface des murs extérieurs ne subit que des déplacements faibles et très lents. Par conséquence on peut conclure qu'il existe à tout moment un équilibre entre la quantité d'eau aspirée du sol et celle qui est dégagée aux surfaces intérieures et extérieures des murs humides. Ce raisonnement simplifié, qui ne tient pas compte de l'influence des couches d'humidité en fonction de la hauteur, donne comme résultat l'équation suivante :

$$v \cdot h = s \cdot d$$

$$h = \frac{s \cdot d}{v}$$

en se référant à la figure ci-dessous



h = valeur d'aspiration moyenne visible (m)
 s = quantité d'eau aspirée du sol (kg/m²h)
 v = dégagement d'eau aux surfaces intérieures et extérieures (kg/m²h)

La hauteur visible h est d'autant plus grande que l'aspiration d'eau du sol est plus forte (dépendant de l'humidité du sol et du pouvoir capillaire et la maçonnerie) et que les murs sont plus épais. D'autre part elle

est inversement proportionnelle au dégagement d'humidité aux surfaces des murs. Cette équation montre que les variations de la hauteur d'aspiration peuvent être le résultat des variations de l'aspiration de l'eau du sol et du dégagement de l'eau aux murs, durant les différentes saisons de l'année.

Une remède pour réduire ou supprimer l'humidité augmentée des murs est en principe possible de deux manières :

1. réduire ou rendre impossible l'aspiration d'humidité du sol (s petit ou zero).
2. augmenter le dégagement d'eau aux surfaces (v grand).

La remède logique et efficace est de rendre impossible l'aspiration de l'eau dans les fondements en installant ensuite des couches horizontales d'isolation. Etant donné que cette mesure est généralement très coûteuse les deux autres méthodes sont plus souvent appliquées en pratique c. à. d. une réduction de l'aspiration d'eau (méthode chimique) ou une augmentation du dégagement d'eau (méthode des tuyaux).

Dans plusieurs cas pratique une augmentation du dégagement d'eau aux surfaces humides serait possible si le plâtre était remplacé par une couche poreuse. Dans les bâtiments anciens, la surface extérieure du plâtre est souvent peu poreuse puisque dans au cours des années la peinture est souvent renouvelée et par conséquent on obtient plusieurs couches superposées. La souillure peut également diminuer la porosité du plâtre.

Souvent on constate que les murs humides sont revêtus de plaques en pierre bleue ou pierre naturelle pour cacher les vilaines

tâches de l'humidité; cette méthode est fautive. Ainsi on ne peut espérer avoir remédié à ce problème : ce revêtement empêche presque complètement le dégagement d'eaux de ses parois vers l'extérieur. De cette façon l'humidité dans les murs monte à un point tel qu'un nouvel équilibre est obtenu entre l'aspiration et le dégagement d'humidité; c. à. d. que l'humidité deviendra visible sur les surfaces sèches auparavant.

Concernant les données physiques des tubes déshydratants quelques principes fondamentaux sont à poser : l'air se trouvant à l'intérieur d'un tube installé dans un mur humide est considéré comme saturé d'eau. Si l'intérieur de ce tube est en contact avec l'air ambiant, et l'humidité de l'air à l'intérieur de ce tube est plus élevée que celle de l'air ambiant, un échange d'humidité par diffusion ou circulation d'air est possible.

Dans ce cas les matériaux à proximité de ces tubes déshydratants peuvent sécher. Si de cette façon l'humidité ne diminue que localement, pour qu'elle ait également un effet sur l'ensemble de la maçonnerie, cela dépend d'une part, de la conductibilité d'un tube déshydratant et de la quantité d'humidité transmise aux matériaux à sécher et d'autre part, de la quantité de tubes déshydratants par mètre courant.

Outre les propriétés capillaires de la maçonnerie, la tension de vapeur différentielle entre l'air dans ces tubes et l'air ambiant a une influence très importante sur l'efficacité du fonctionnement de ces tubes déshydratants. Etant donné que la tension de vapeur dans un tube ne dépend pas uniquement de la teneur en humidité de la maçonnerie mais également de la température de celle-ci, il est nécessaire dans certains cas de tenir compte des variations de la température de cette maçonnerie. Si cette maçonnerie confine à un local habité dans lequel la température est environ 20°C aussi bien en été qu'en hiver, on peut considérer que la tension de vapeur dans la maçonnerie humide est toujours plus élevée que dans l'air ambiant et qu'on obtient ainsi un dégagement vers l'extérieur de l'humidité dans les tubes. La possibilité de séchage est influencée favorablement par un réchauffage supplémentaire obtenu par une exposition temporaire à des rayons.

Si la maçonnerie ne confine pas à un local chauffé (p. ex. la cave) la différence de température entre les murs et l'air ambiant est faible; dans ce cas on ne peut espérer au séchage faible ou même négligeable en installant les tubes déshydratants, au contraire, il est possible que l'humidité des murs augmente. On doit tenir compte de cette dernière possibilité si des tubes sont installés dans des murs non-réchauffés et à la proximité du sol pendant une très grande période de l'année. La température de cette partie du mur sera plus basse que la température moyenne de l'air ambiant à cause de l'influence de la proximité du sol et surtout si ce mur n'est pas exposé à des rayons du soleil. Dans ce cas, en été, la température des tubes est souvent plus basse que le point de rosée de l'air ambiant; ceci a comme résultat la condensation de l'humidité

de l'air qui entre dans ce tube. La figure 1 montre comment on peut estimer essentiellement les possibilités de séchage pour différents écarts de température. Une appréciation de l'efficacité réelle des tubes déshydratants n'est possible que si on compare la quantité d'humidité qui d'une part est aspirée du sol et d'autre part dégagée par les tubes déshydratants. En vue d'obtenir des données de référence, les recherches mentionnées ci-dessous sont effectuées.

3. Programme et résultats des recherches.

3.1. Pour déterminer l'aspiration d'eau dans différentes maçonneries, des mesures sont faites sur des échantillons de mur en briques et en béton de bims, maçonnés au ciment ou à la chaux. De ces matériaux, qui possèdent des caractéristiques capillaires très différentes, on construit des colonnes d'une hauteur de 150 cm et d'une base de 24 cm x 24 cm (pour chaque type on construit trois échantillons). Des données plus précises des matériaux utilisés sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Matériaux	densité	absorption capillaire	contenu d'eau
	kg/m ³	d'eau après 1 heure d'essai (kg/m ²)	après 5 jours d'essai (Vol %)
Briques	1740	18,5	26
Béton de bims	620	8,5	30
Mortier au ciment 2 : 1 : 9	4900		45
Mortier à chaux 1 : 3	1850		49

Après un stockage de trois mois dans un local, les emballages des échantillons sont immergés dans 1 à 2 cm d'eau. De temps en temps ces échantillons sont pesés. Dans ce but chaque colonne est montée dans un châssis pour pouvoir la mettre sur une balance. Ces échantillons sont emballés temporairement dans des feuilles en polyéthylène pour éviter une vaporisation par la surface extérieure, celle-ci étant plus grande que la surface d'aspiration. Le local, où les échantillons sont stockés, n'était normalement pas réchauffé, à l'exception d'une période courte; en hiver, le local était réchauffé pour éviter que l'eau ne gèle. Après une période d'environ trois ans, pendant laquelle ces échantillons sont restés dans l'eau, une colonne de chaque échantillon est démontée et la teneur en humidité des briques et du mortier est déterminée par la méthode de gravimétrie. Les figures 3 à 5 montrent le résultat de ces recherches. La figure 3 montre la variation de l'eau aspirée dans les échantillons pendant une période de 3 ans. La diminution temporaire de l'humidité pendant la période de chauffage montre que la vaporisation n'était pas complètement évitée en emballant les échantillons

dans des feuilles en polyéthylène. Si l'humidité du local était plus grande, cette influence serait négligeable. Une aspiration très forte au début est suivie d'une aspiration beaucoup plus faible. Notons l'influence importante de la nature du mortier sur l'aspiration d'eau dans ces échantillons. De l'augmentation linéaire de l'humidité en fonction du temps entre le 400ème et 925ème jour, on obtient les valeurs moyennes suivantes :

Type de maçonnerie	Absorption d'eau s. (Kg/m ² h)
Briques avec du mortier à la chaux	4.10^{-3}
Béton de bims avec du mortier à la chaux	4.10^{-3}
Briques avec du mortier au ciment	2.10^{-3}
Béton de bims avec du mortier au ciment	$0,6.10^{-3}$

La distribution de l'humidité dans les échantillons de maçonnerie est donnée dans les figures 4 et 5. On remarque que pour les échantillons maçonnés avec du mortier au ciment, seul les couches inférieures sont saturées d'eau. Pour ceux maçonnés avec du mortier à la chaux on constate une saturation à une hauteur de 60 cm (7 couches) pour la maçonnerie en briques et à une hauteur de 30 cm (3 couches) pour une maçonnerie en béton de bims. Au-dessus de la hauteur saturée, l'humidité des briques et du mortier diminue très vite et on obtient une valeur qui dépend, pour des conditions stabilisées, d'une part de la teneur en humidité des matériaux pour un air ambiant saturé et d'autre part de la diffusion d'eau dans la maçonnerie.

Remarquons que, pour les parties inférieures des échantillons de maçonnerie les valeurs de saturation d'eau sont plus élevées après une exposition partielle des matériaux à l'eau pendant 3 ans, qu'après 5 jours d'immersion dans l'eau. Le tableau ci-dessous montre les valeurs obtenues :

Matériaux	Teneur en humidité après 5 jours d'immersion dans l'eau (vol %)	Teneur en humidité max. après 3 ans d'essai d'absorption
Briques 1740 kg/m ²	26	37
Béton de bims 620 kg/m ³	30	55
Mortier au ciment 2:1:9 (1900 kg/m ³)	15	21
Mortier à la chaux 1:3 (1850 kg/m ³)	19	23

3.2. Dégagement de l'humidité par des tubes dans la maçonnerie.

Pour estimer quelle quantité d'humidité pourrait être enlevée dans des conditions pratiques d'une part, sans installation des tubes et d'autre part, en installant des tubes de différents types, les essais suivants sont effectués; on prépare des échantillons cubiques de 37 cm de côté dans des caissons en bois, protégés contre l'humidité. Après un durcissement satisfaisant du mortier ces échantillons sont largement arrosés d'eau. Ensuite toutes les surfaces encore ouvertes sont enfermées pour éviter toute perte d'humidité. Puis, dans chaque échantillon un canal est foré obliquement de bas en haut (inclinaison 13°, profondeur 30 à 33 cm) et un tube à essayer est installé. Les échantillons d'essai suivants sont réalisés: (1)

1. Une forage simple d'un diamètre de 4 cm sans installation de tube ni de protection extérieure.
2. Tube en terre glaise d'un diamètre intérieur de 2,5 cm qui, enduit d'une couche de mortier à la chaux, est installé dans un forage de 7 cm de diamètre. Ensuite, une grille en métal est fixée à l'extérieur avec du mortier.
3. Tube en plastique (diamètre intérieur 3,4 cm) avec un chaperon fabriqué séparément et installé dans un forage de 6 cm de diamètre.
4. Tube métallique d'une section carrée (2,2 cm x 2,2 cm) avec un chaperon à l'extérieur et installé dans un forage de 4 cm de diamètre.

Les échantillons utilisés pour ces quatre types de tubes sont maçonnés en briques. Pour déterminer l'influence des caractéristiques de la maçonnerie sur les possibilités de séchage, on a réalisé des échantillons en béton de bims suivant la configuration 1 (forage simple). Deux échantillons de chaque type ont été réalisés, l'un était exposé vers l'ouest, l'autre vers l'est (figure 7). Ceux orientés vers l'ouest étaient exposés aux conditions atmosphériques, tandis que ceux orientés vers l'est étaient protégés des rayons du soleil et de la pluie par un toit en saillie de 4 m. En hiver la paroi intérieure des caissons d'essai est chauffée à 20°C pendant 3 mois environ. La variation de l'humidité des échantillons qui par l'étanchéité des surfaces n'était possible que par le canal foré ou les tubes installés, est déterminée par une pesée.

Pour la comparaison du fonctionnement de chaque tube déshydratant et de l'influence des matériaux on ne peut utiliser que les résultats obtenus des échantillons, orientés vers l'est et pro-

(1) Les variantes 2, 3 et 4 concernent des réalisations pratiques: les tubes sont installés par les fabricants existants à ce moment.

tégé de la pluie (figure 8); même si les extrémités des tubes sont pourvues des chaperons, les résultats des échantillons exposés vers l'ouest sont plus ou moins influencés par la pénétration d'eau dans les tubes lors des averses souvent rencontrées. Pour les échantillons prévus dans des tubes en plastique on n'a pas constaté une pénétration d'eau lors des averses, ceci est probablement dû à une meilleure finition des chaperons (figure 6). Par conséquent, pour l'étude de l'influence de l'orientation on ne peut utiliser que les résultats avec les tubes en plastique (figure 1). Des résultats donnés dans les figures 8 et 9, on peut constater les points suivants: Pour les différents échantillons orientés vers l'est le dégagement de l'humidité pour l'échantillon équipé d'un tube en plastique est comparable à celui-ci pour l'échantillon prévu d'un forage simple, c.à.d. environ 1 kg au courant de l'année (fig.8 au-dessus). D'autre part, le dégagement de l'humidité des échantillons équipés de tubes en métal ou en terre glaise est essentiellement faible. Ce résultat peut être expliqué comme suit : dans ces deux cas le chemin que l'humidité doit parcourir - c.à.d. de la maçonnerie jusqu'à l'air à l'intérieur du tube et puis jusqu'à l'air ambiant -, est très difficile ; également pour les tubes métalliques la perforation est proportionnellement faible (comparée aux tubes en plastique, voir fig.6) et pour les tubes en terre glaise ou a une séparation entre la maçonnerie et l'air par un couche de mortier et de terre glaise.

L'influence du genre de maçonnerie sur les possibilités de séchage est comme prévue (fig.8 en-dessous); le dégagement de l'humidité évolue plus vite pour les matériaux qui ont un pouvoir capillaire plus faible (béton de Bims). Il résulte de la comparaison entre l'évolution de séchage des échantillons, équipés de tubes en plastique (figure 9), que le dégagement de l'humidité est très influencé par une exposition temporaire d'un mur humide à des rayons de soleil.

Pour les échantillons orientés vers l'ouest, le dégagement de l'humidité est assez important pendant les mois les plus ensoleillés (de juin jusqu'en septembre). Egalement pendant la période de chauffage ainsi que les mois transitoires (avril, mai, octobre, novembre) on remarque une augmentation du dégagement de l'humidité. Pour les échantillons orientés vers l'est et non-ensoleillés on remarque uniquement une augmentation du dégagement de l'humidité pendant les mois d'hiver (c.à.d. pendant le période de chauffage). Ainsi on peut conclure que l'évolution de séchage par des tubes dés-hydratants est dû à une diffusion de vapeur d'eau (la tension de vapeur dans la maçonnerie humide est plus grande si la température moyenne du mur est plus élevée ou si les locaux limitrophes sont réchauffés).

Que l'évolution de séchage soit favorablement influencée par un circulation d'air dans des tubes peut être expliqué en se

basant sur le fait suivant : les résultats (fig.9) du dégagement de l'humidité montrent que le séchage de l'échantillon orienté vers l'ouest est supérieur à celui de l'échantillon orienté vers l'est pendant la période d'hiver (moins ensoleillée). Il faut encore faire observer que l'échantillon "ouest" est plus directement exposé au courant d'air ambiant que l'échantillon "est"; ce dernier étant protégé par un toit en saillie.

Pour les tubes en plastique pourvus d'un chaperon il faut accepter qu'on obtient toujours une composante de la direction du vent, qui "entre" dans le trou foré et ceci aussi bien pour une direction du vent perpendiculaire que latérale au mur; ainsi l'échange d'air entre le canal et l'air ambiant est amélioré. Que des mesures, qui améliore l'échange entre l'air dans le canal et l'air ambiant, aient un effet favorable sur le séchage de la maçonnerie, est confirmé par les résultats obtenus dans l'essai suivant : dans deux blocs en béton léger (30 cm x 30 cm x 49 cm) saturés d'humidité et enfermés pour éviter toute perte d'humidité on fore deux trous superposés; dans le premier bloc, les canaux se rejoignent dans le fond et dans le deuxième bloc, les canaux restent parallèles (voir fig. 10 au-dessus). En stockant les échantillons dans un local climatisé à une température et une humidité constantes, on constate un séchage plus rapide du bloc en béton léger pourvus de canaux, qui se rejoignent. Cette différence était peu remarquable pendant le stockage à l'extérieur (fig.10 en dessous). Ce résultat peut s'expliquer par le fait qu'on obtient un circulation d'air à travers les canaux en communication plus particulièrement sous l'influence des variations de la température ambiante. La figure 11 montre les résultats des deux échantillons pourvus de canaux superposés mais en communication et exposés vers l'est et l'ouest. Si on compare ces résultats avec ceux de la figure 9 on doit tenir compte qu'en forant deux canaux dans un échantillon, on améliore l'échange d'humidité en augmentant les surfaces de ces canaux. Dans des conditions favorables (c.à.d. maçonnerie en briques, tubes en plastique pourvus de chaperons spéciaux, des forages superposés et en communication), on obtient comme résultat du dégagement d'humidité par trou foré les valeurs suivantes :

maçonnerie orientée vers l'ouest (ensoleillée) :	$0,3 \cdot 10^{-3}$ kg/h
maçonnerie orientée vers l'est (non-ensoleillée):	$0,15 \cdot 10^{-3}$ kg/h

3.3. Développement du traitement chimique de la maçonnerie.

Les différentes méthodes chimiques pour le traitement des fondements humides consistent généralement en une introduction d'une solution contenant de l'acide silicique et en ajoutant une combinaison de calcium dans la maçonnerie humide. La réaction entre le produit à base d'acide silicique et la chaux présente dans la maçonnerie (et également la combinaison de calcium ajoutée), forme dans les pores de la maçonnerie un silicate de calcium insoluble dans l'eau. Ainsi les pores se remplissent et réduisent le transport

capillaire d'humidité dans la maçonnerie.

Pour vérifier l'efficacité de cette méthode, trois produits commerciaux sont appliqués sur des échantillons en briques (surface 24 cm x 52 cm, hauteur 80 cm). Le traitement est effectué suivant les prescriptions de chaque fabricant (humectation préalable des échantillons, introduction de la solution dans des forages en oblique vers le bas; ces trous sont forés dans le tiers inférieur de l'échantillon à une distance horizontale de 10 cm). Les côtés des échantillons sont pourvus de feuilles en plastique et l'embase est immergée dans 1 à 2 cm d'eau. En appliquant la méthode prévue - pesée des échantillons de temps en temps - l'essai ne montrait pas le résultat du traitement; étant donné que ces échantillons étaient maçonnés avec du mortier à la chaux et que ce mortier - comme par la suite constaté et ci-dessus exposé - fonctionne comme une barricade, l'humidité n'atteignait pas la zone traitée même après une période d'essai de trois ans.

Par conséquent ces échantillons étaient démolis et des mesures du pouvoir d'absorption capillaire d'eau et de la saturation d'eau après une stockage de 5 jours dans l'eau sont faites sur des briques qui se trouvaient très près des forages remplis du produit chimique. Le résultat des deux mesures, effectuées sur 3 à 4 échantillons, ne diffère presque pas des résultats obtenus sur des briques non-traitées. Cette faible différence constatée était la même qu'on constate en moyenne si on examine des briques de production. Ainsi le traitement par un de ces trois produits chimiques ne résultait pas en une diminution du pouvoir d'absorption des briques utilisés.

D'autres recherches sur d'autres matériaux sont nécessaires pour obtenir un jugement général sur ces produits chimiques. Il serait possible que la faible porosité des briques empêche la pénétration de la solution (qui a des molécules plus grandes comparées à l'eau), dans les ouvertures capillaires; pour des matériaux ayant des pores plus grands, un effet positif serait possible.

4. Examen des résultats et conclusion pour l'application.

Sur base des considérations fondamentales exposées ci-dessus et des résultats des recherches effectuées, la conclusion générale de l'efficacité du séchage de la maçonnerie par les tubes déshydratants est la suivante :

Les recherches sur l'absorption d'eau des échantillons de maçonnerie montrent que la "hauteur saturée" obtenue dépend essentiellement du pouvoir absorbant du mortier. Dans le cas le plus défavorable (maçonnerie en briques avec du mortier à la chaux) on constatait après 3 ans une humidité jusqu'à une hauteur de 60 cm. Si en pratique on constate de l'humidité à une hauteur plus grande, ceci porte à croire que le pouvoir absorbant du mortier utilisé est plus grand que celui utilisé pour les essais ou que pour des périodes plus longues on obtient des hauteurs d'humidité plus élevées.

D'autre part, il faut tenir compte que pendant les essais des conditions extrêmes pour l'absorption d'eau existent (les échantillons étaient déposés avec l'embase "dans" l'eau) tandis qu'en pratique les fondations des constructions ne sont qu'en contact avec le sol humide. Si on examine d'un oeil critique ces différentes données, on peut accepter que la valeur de $4 \cdot 10^{-3}$ kg/m²h obtenue expérimentalement pour de la maçonnerie en bims ou en briques avec du mortier à la chaux, peut être admise comme ordre de grandeur pour une évaluation de la quantité d'eau absorbée par les fondations humides.

La valeur constatée expérimentalement du dégagement moyen d'humidité par un tube déshydratant ($0,15$ à $0,3 \cdot 10^{-3}$ kg/h) doit être considérée comme une valeur optimale étant donné que les échantillons étaient saturés d'eau, que l'humidité pendant la période d'essai n'a pas varié par le faible dégagement d'eau et que cette valeur est obtenue également avec des tubes déshydratants très efficaces.

Sur base de la formule $v \cdot h = s \cdot d$, mentionnée dans le chapitre 2, on peut estimer la quantité d'eau v (kg/m² h) dégagée aux surfaces extérieures et intérieures pour une épaisseur de maçonnerie d , une hauteur mouillée h , ainsi que pour une valeur moyenne d'absorption d'eau du sol $s = 4 \cdot 10^{-3}$ kg/m². Pour une épaisseur de maçonnerie $d = 0,4$ m et une hauteur mouillée de 1 m on obtient une valeur $v = 1,6 \cdot 10^{-5}$ kg/m²h. Pour déterminer si dans ce cas l'installation des tubes déshydratants aurait un effet positif, il faut comparer la quantité d'humidité dégagée par des tubes dans des conditions favorables avec la valeur moyenne de vaporisation d'eau aux surfaces c.à.d. $1,6 \cdot 10^{-3}$ kg/m²h. Si on accepte que par mètre carré on installe 4 tubes - ceci est très courant -, on peut, en se basant sur les valeurs de vaporisation mentionnées ci-dessus, compter sur un dégagement supplémentaire d'humidité de $0,6$ à $1,2 \cdot 10^{-3}$ kg/m² par tube.

Ceci correspond à un dégagement d'humidité supplémentaire de 37 à 75% de la quantité d'humidité dégagée par vaporisation. La valeur la plus basse est valable pour un mur extérieur non-enseulé mais pour lequel le local adjacent est réchauffé en hiver; la valeur la plus élevée est pour un mur enseulé. Pour une augmentation du dégagement d'humidité correspondante aux valeurs procentuelles réalisées, on peut accepter que la hauteur humectée diminue, et que la "surface de séchage" se déplace de la surface extérieure vers l'intérieure des murs; ainsi l'humidité n'apparaît plus sur les murs sous forme de tâches ou de décoloration. Par conséquent il est possible que, dans des conditions favorables, l'installation des tubes déshydratants corresponde à une réduction de l'humidité dans la maçonnerie et également à une diminution des tâches de l'humidité.

D'autre part, en pratique, dans des conditions peu favora-

bles, il faut tenir compte d'une efficacité faible - si non négative -. Des conditions peu favorables sont à considérer pour des maçonnerie comme : des murs extérieurs, adjacents à des locaux non réchauffés (caves) ou non-enseleillés et des murs pour lesquels un dégagement de l'humidité par capillarité, et vaporisation n'est possible qu'à un faible degré. Concernant l'installation des tubes, disponible en différentes versions, celle des chaperons, remarquons le point suivant : il faut tendre à ce que le passage de l'humidité de la maçonnerie vers l'air dans les tubes et ensuite vers l'air ambiant soit le plus facile possible.

De ce point de vue il apparaît qu'un forage simple sans tube ni chaperon extérieurs serait le plus efficace. Les fabricants justifient l'installation supplémentaire des tubes peu forés en plastique, en métal ou en terre glaise sur le fait qu'un forage sans tube s'obture dans le courant des années par des morceaux de mortier ou de pierre sous l'influence des vibrations du bâtiment. Ainsi l'installation des tubes est apparemment justifiable. Si le tube est construit dans un matériau non-poreux - comme le plastique ou le métal - ce tube sera efficace si on réalise la plus grande perforation possible en respectant largement la fonction de protection contre la pénétration des morceaux de la maçonnerie. Des tubes en terre glaise seront réalisés dans des matériaux très poreux (1) Une fonction supplémentaire et efficace des tubes en terre glaise est l'absorption de l'humidité à travers les briques; ce point n'est pas traité.

Les grilles ou chaperons qui sont installés à l'extérieur des forages pour l'aspect ou comme protection contre les vermines seront dans un état tel qu'ils n'empêchent presque pas le dégagement de l'humidité des murs par diffusion ou échange l'air. Des fentes très étroites ou des ouvertures petites dans les chaperons - comme on le constate souvent chez plusieurs fabricants - sont inefficaces. Les constructions complémentaires et souvent compliquées à l'intérieur des chaperons - p. ex. des aubes et autres - sont également à considérer comme inefficace et n'influencent que défavorablement la perte de charge de l'écoulement de l'air et le dégagement de l'humidité par diffusion. Les accessoires qui améliorent l'échange de l'air dans les tubes avec l'air ambiant sont p. ex. deux forages superposés qui se rejoignent à l'intérieur du mur ou des chaperons avec un couverche en profil aérodynamique. Les chaperons doivent être également fabriqués de telle sorte que pour les murs exposés aux averses, la pluie ne pénètre pas dans les forages.

Le tableau ci-dessous donne un jugement qualitatif de l'influence, qui est déterminante pour l'efficacité des tubes déshydratants

(1) Les tubes en terre glaise, utilisés pendant les essais étaient fabriqués en matière ordinaire et pas spécialement poreuse; ceci expliquerait les déshydratage faibles constatés.

	favorable	défavorable
genre de maçonnerie	maçonnerie avec un grand pouvoir d'absorption capillaire (p. ex. briques)	maçonnerie avec un faible pouvoir d'absorption capillaire (p. ex. pierre naturelle)
température du local adjacent au mur humide	rechauffé (p. ex. living)	non-réchauffé (p. ex. cave)
exposition à des rayons	temporairement ensoleillé	non-enseleillé (p. ex. côté nord ou mur dans l'ombre d'un autre bâtiment)
type de tubes installés	pas de tubes ou des tubes en matériaux poreux ou des tubes largement perforés	des tubes en matériaux non-poreux ou à peine perforés
type de chaperon	grande ouverture dans le chaperon ou un profil aérodynamique, qui améliore l'échange d'air dans le tube avec l'air ambiant en cas de vent.	petites ouvertures dans le chaperon et des accessoires qui freinent l'écoulement d'air et la diffusion.

En regardant ces différents facteurs d'influence, il est difficile, dans des cas isolés, d'estimer si l'installation d'un type de tube déshydratant aboutirait à un résultat positif.

Sur base de ces données il est très plausible qu'en pratique on ait rencontré plusieurs échecs en installant des tubes qui ne sont pas appropriés par leur construction ou en traitant des maçonneries humides pour lesquelles un séchage ne pouvait pas être espéré à cause des conditions données. Egalement dans des conditions favorables si on constate une amélioration visible des dégâts, il ne faut pas perdre de vue que l'installation des tubes déshydratants ne réalise pas un séchage complet de la maçonnerie humide, mais seulement une réduction de l'humidité.

Néanmoins, cette méthode peut contribuer à l'assainissement des constructions humides lors d'une application très réfléchie, celle-ci coordonnée avec d'autres mesures - p. ex. le renouvellement du plâtre, l'installation d'un panneau supplémentaire aux murs intérieurs).

Résumé

Des exposés fondamentaux sur l'évolution du séchage de la maçonnerie et des recherches expérimentales sur l'absorption d'eau par la maçonnerie et le dégagement d'humidité par des tubes de séchage ou de déshydratation résultent un jugement sur l'efficacité du séchage de la maçonnerie par l'utilisation des tubes. Concernant le fonctionnement du traitement chimique de la maçonnerie humide des recherches préliminaires ont été effectuées.

Le dégagement de l'humidité par des tubes déshydratants installés dans la maçonnerie est obtenu par diffusion de vapeur, accentuée par un renouvellement de l'air dans les tubes avec l'air ambiant. Un fonctionnement positif n'est réalisable que si la tension de vapeur dans la maçonnerie est en moyenne plus grande que celle de l'air ambiant. Ceci est généralement le cas pour des parois qui sont ensoleillées de temps en temps et pour des parois adjacentes à des locaux réchauffés. Pour des parois non-ensoleillées adjacentes à des locaux non-réchauffés un résultat positif n'est pas à espérer mais plutôt une augmentation de l'humidité. L'influence de plusieurs types de réalisation de tubes déshydratants était discutée.

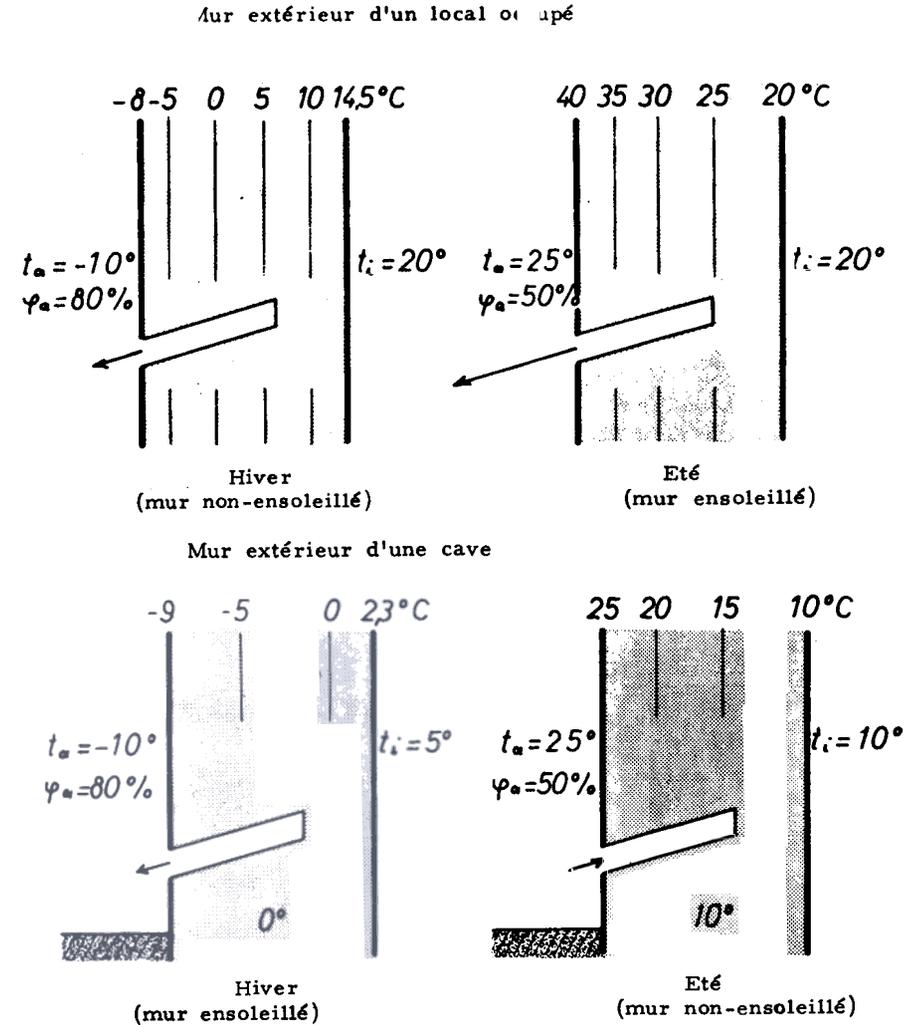


Fig. 1. Représentation schématique du degré de température dans les murs extérieurs pour des conditions différentes et du sens de la diffusion dans le canal foré (la longueur de la flèche représente la valeur moyenne de la tension de vapeur différentielle-2 mm = 1 mm).

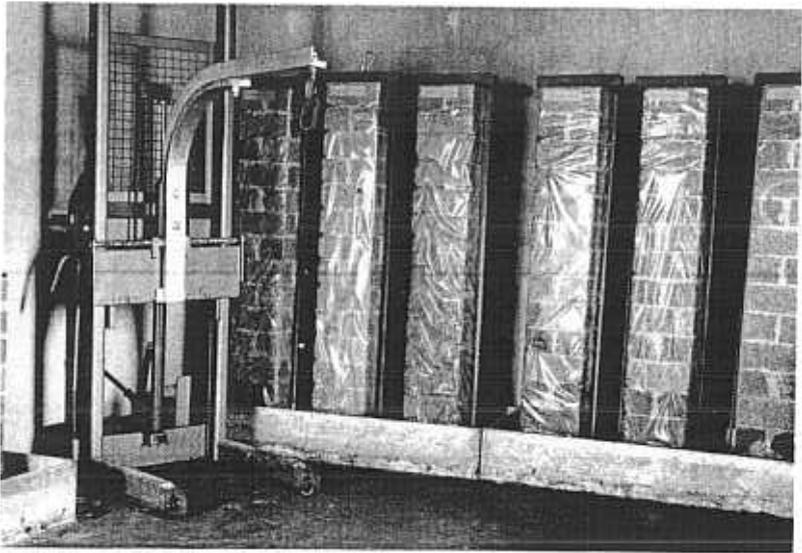


Fig. 2. Echantillons d'essai pour la détermination de l'absorption d'eau de la maçonnerie. Ces échantillons installés dans un bac à eau sont emballés dans des feuilles pour empêcher la vaporisation par les faces latérales. L'appareil de levage permet de transporter les échantillons vers une balance.

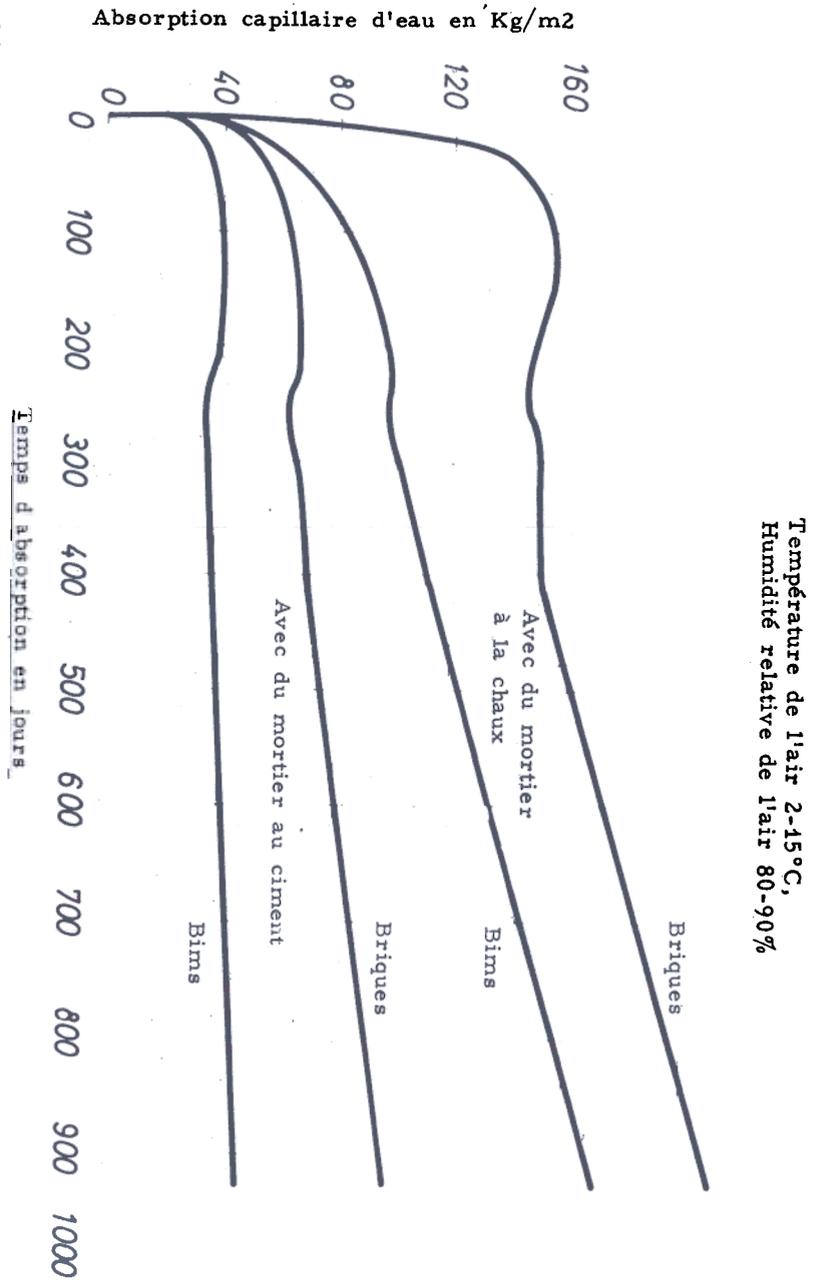


Fig. 3. Absorption capillaire d'eau des échantillons de maçonnerie en fonction du temps de l'immersion de l'embase dans l'eau (Echantillons en briques ou en béton de bims, maçonnés avec du mortier au ciment ou à la chaux). Valeur moyenne de trois écha ns.

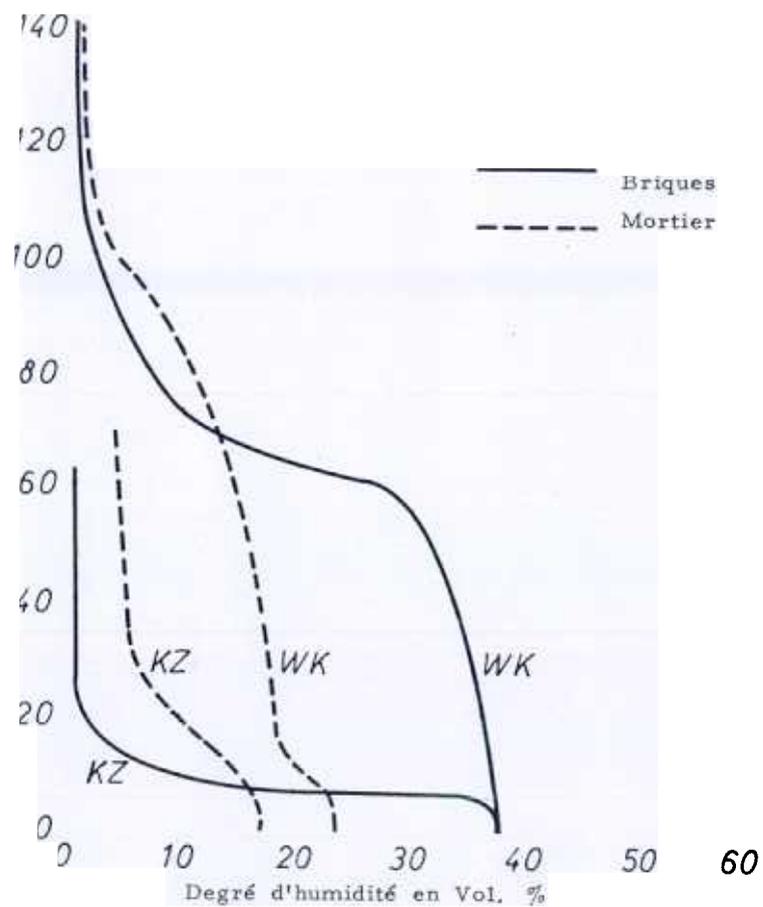


Fig. 4. - Distribution de l'humidité des matériaux d'un échantillon maçonné en briques avec du mortier à la chaux (WK) et du mortier en ciment (Kz) en fonction de la hauteur après une exposition de 3 ans.

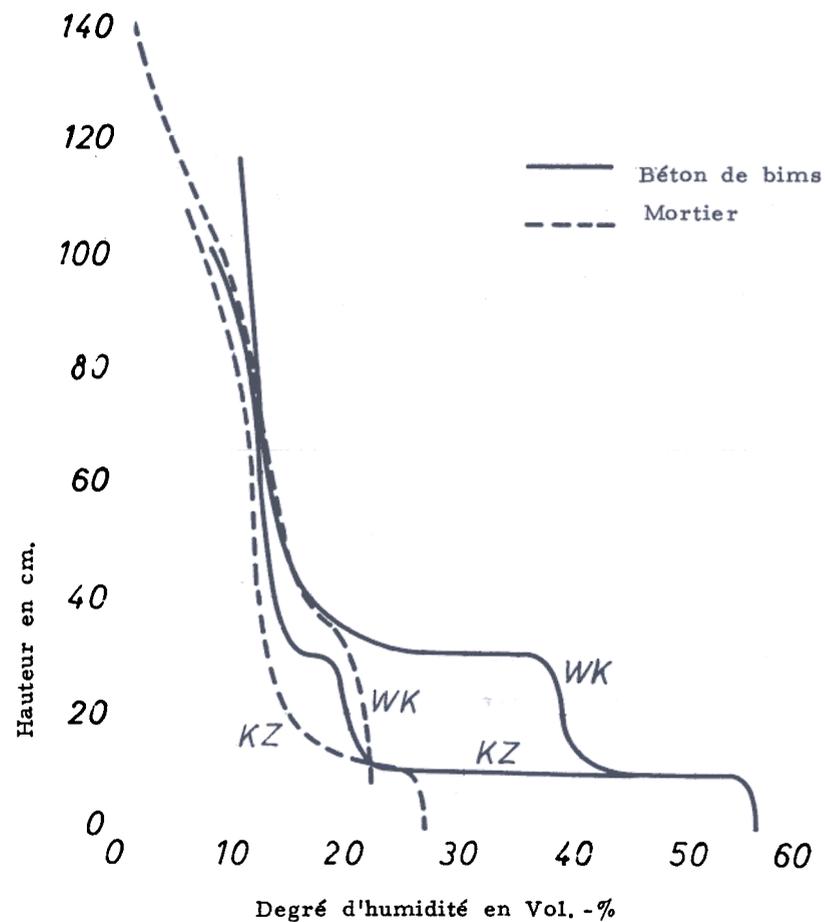


Fig. 5. - Distribution de l'humidité des matériaux d'un échantillon maçonné en béton de bims avec du mortier à la chaux (WK) et du mortier au ciment (Kz) en fonction de la hauteur après une exposition de 3 ans.

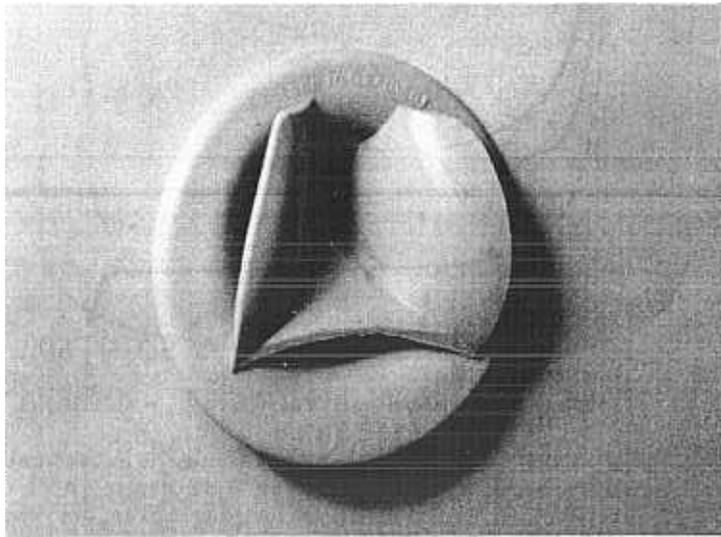
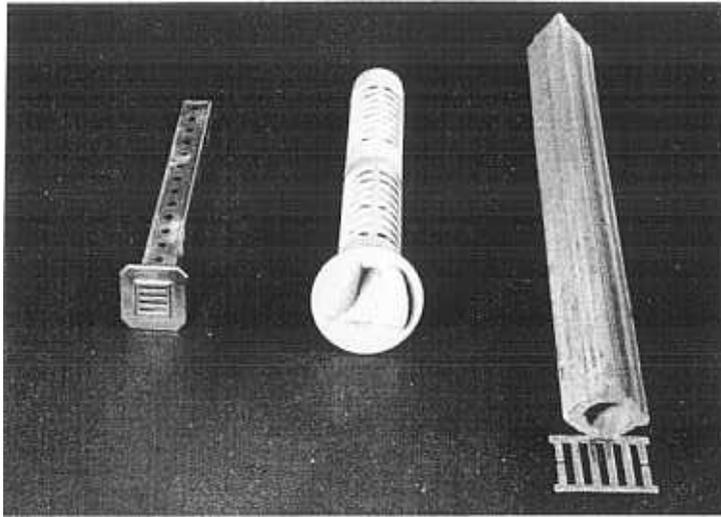


Fig. 6. - (au dessus) des tubes utilisés pendant les essais; à gauche un tube en métal, au milieu un tube en plastique et à droite un tube en terre glaise. Le tube en plastique avait un chaperon spécial (figure ci-dessous), les deux autres tubes avaient des chaperons simples.

Fig. 7. - Vue partielle de la face ouest de l'ensemble des échantillons à l'essai avec des échantillons dans lesquels des tubes déshydratants sont installés.

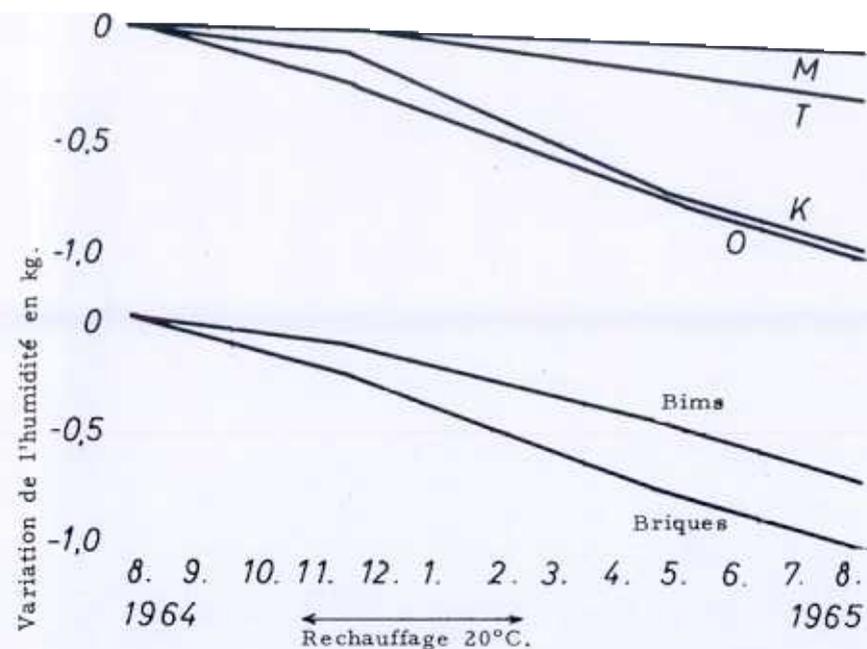


Fig. 8. - Dégagement de l'humidité en fonction du temps des échantillons orientés vers l'est et emballés dans des feuilles qui évitent la vaporisation.

Au-dessus : échantillon en briques, chacun pourvu d'un forage

O : forage simple sans tube ni chaperon

K : forage pourvu d'un tube en plastique et d'un chaperon spécial

T : forage pourvu d'un tube en terre glaise et d'une grille.

M : forage pourvu d'un tube en métal et d'une grille.

En-dessous : Echantillon en briques et en béton de bims, chacun pourvu d'un forage sans tube ni chaperon.

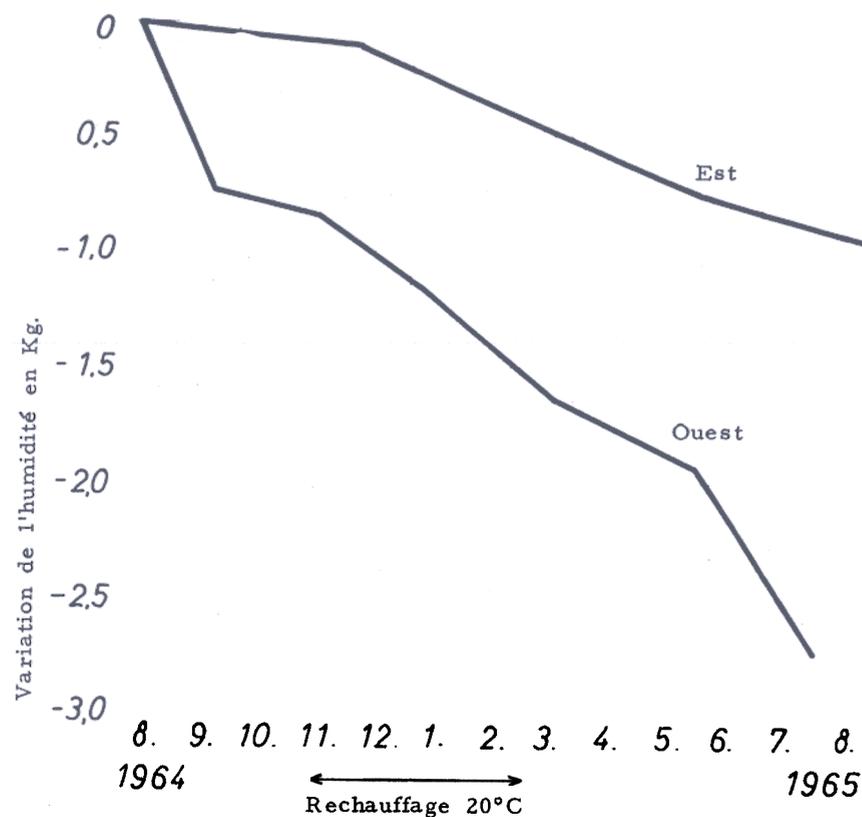


Fig. 9. - Dégagement d'humidité en fonction du temps des échantillons orientés vers l'ouest et l'est, emballés dans de feuilles qui évitent la vaporisation et chacun pourvu d'un forage sans tube ni chaperon.

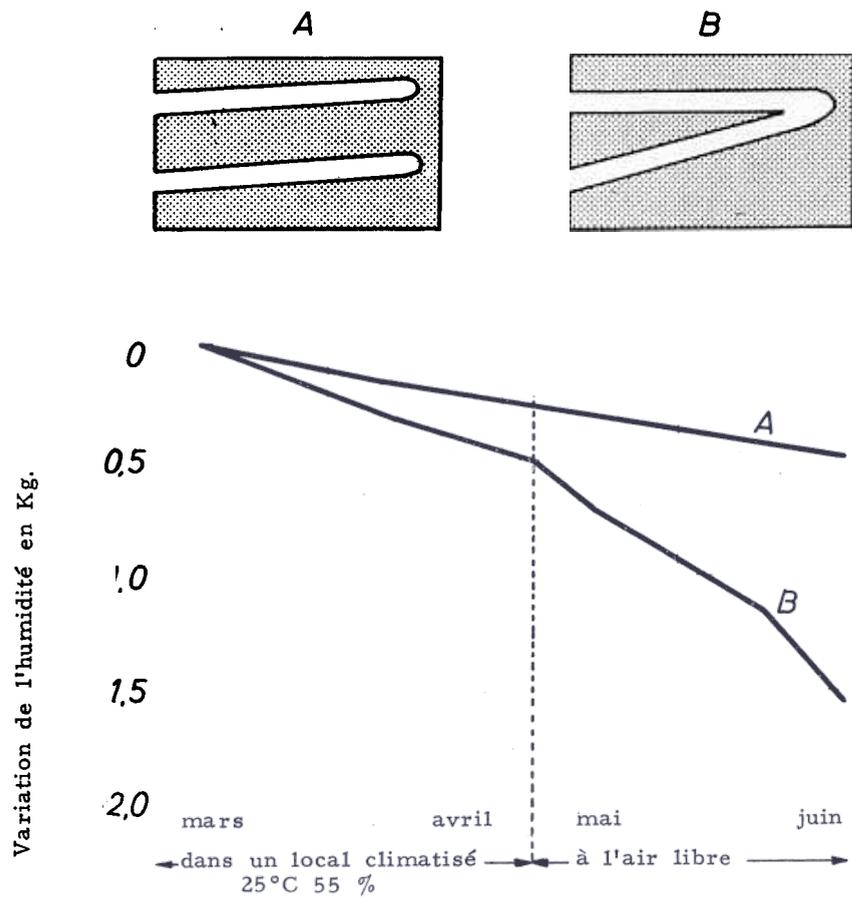


Fig. 10. -
 Au-dessus : coupe dans un échantillon d'essai en béton léger
 A : avec deux canneaux séparés
 B : avec deux canneaux en communication, diamètre des canneaux : 3 cm.
 En-dessous : variation de l'humidité des échantillons en béton léger en fonction du temps de stockage dans un local climatisé et à l'air libre.

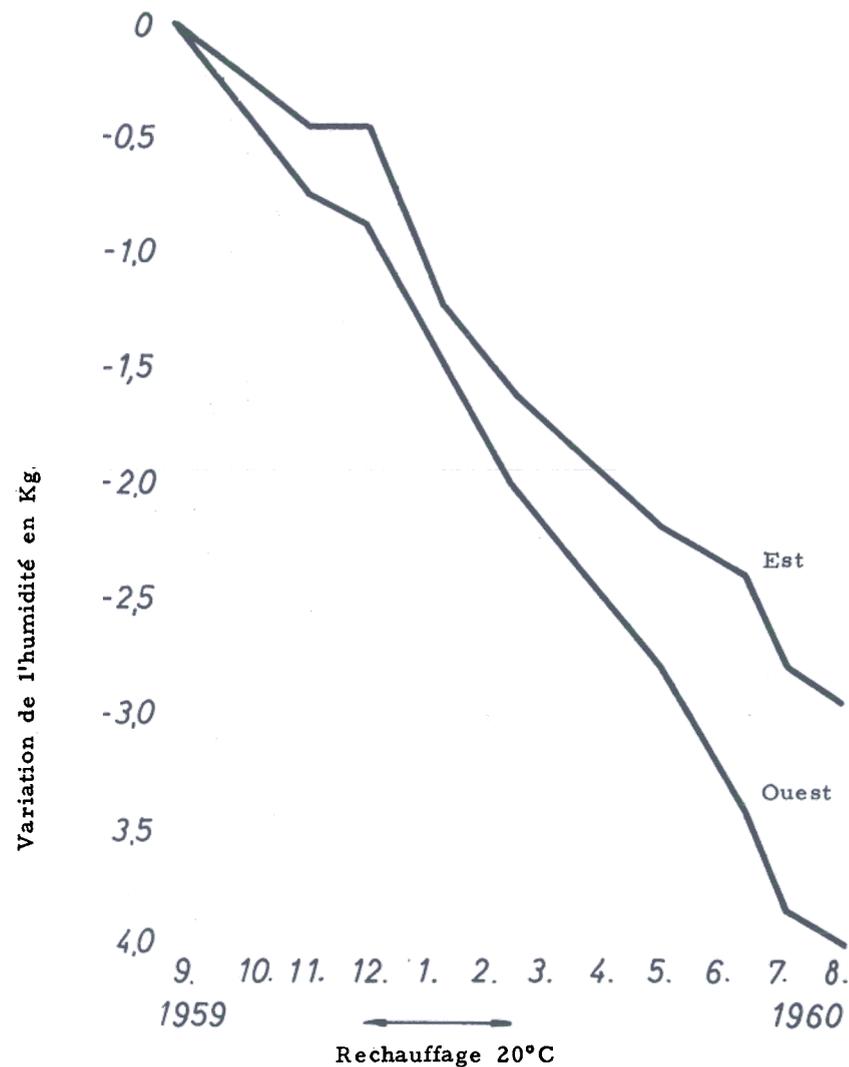


Fig. 11. - Dégagement d'humidité en fonction du temps des échantillons orientés vers l'ouest et l'est, emballés dans des feuilles qui évitent la vaporisation, en pourvus de deux forages superposés qui se rejoignent dans le fond et de deux chaperons perforés.

SUMMARY

The effect of Ventilating Siphons in Walls

The migration of moisture by means of ventilating siphons, fitted into the masonry, occurs by vapour diffusion supported by exchange of air. Therefore, a positive effect is basically obtainable only if the partial pressure of the vapour within the masonry has a higher average than that of the external air. In general, this occurs with walls temporarily exposed to sunshine and walls adjoining heated rooms. With walls never exposed to sunshine and not adjoining heated rooms, no positive effect may be experienced; rather a deterioration of the moisture conditions may be observed.

As to the construction of the siphons and caps offered on the market in a large variety of types, it should be pointed out that the purpose aimed at is the unhampered flow of moisture from the masonry into the air space of the drilled hole and from there into the external air. To this end a plain drilled hole without siphon or external cap seems to have an optimal effect. The producers of perforated siphons made of plastic, and of metal and ceramic siphons, base their application on the argument that in the course of time holes drilled in old and brittle masonry which are not fitted with a siphon may be filled with particles of mortar crumbling from the masonry and with tiny stones due to vibrations in the building. From this point of view, the use of a siphon seems to be justified. Where non-porous materials like plastic or metal are used, the siphon should be perforated with as small holes as possible, so that the protection against the entry of masonry particles is maintained. Ceramic siphons should be of highly porous material. An improved effect has not been noted in practice when ceramic siphons are used, though they are claimed to have the advantage of drawing off the moisture through the brick.

The girders or caps mounted on the outside of the drilled holes for optical reasons and for protection against insects should be such, that removal of moisture from the wall by diffusion or air exchange is hampered to a minimum. Very narrow apertures or too little perforation of the caps, as may be observed in the case of products, are not useful.

A favourable effect is experienced with arrangements that increase the exchange of air from the interior of the siphon to the

outside, e.g. two drillings one upon the other and connected inside the masonry, or caps suitably constructed externally to support an unhindered air flow. For walls exposed to driving rain, the caps have to be built in such a way that rainwater does not enter the siphons.

The influences determining the effect of the ventilating siphons are evaluated qualitatively in the attached table.

In view of these different factors exerting an influence, it is difficult to evaluate for individual cases, whether a positive effect may be achieved by inserting a special kind of ventilating siphon.

Considering the variety of conditions, it will be understandable, that often no success was achieved in practice. Even in favourable cases, when an externally visible amelioration of the damage could be recorded, it must be understood, that complete drying of the wet masonry cannot be obtained by the insertion of siphons, but only a reduction in the amount of moisture inside the wall.

TABLE.

	Favourable	Unfavourable
Type of masonry	Walls with high capillary suction properties (e.g. bricks)	Walls with low capillary suction properties (e.g. ashlar)
Thermal conditions of the space adjoining the wet wall	Heated (e.g. living space)	Not heated (e.g. cellar)
Conditions in respect of sunshine	Temporarily exposed to sunshine	Never exposed to sunshine (e.g. northern walls, walls being in the shadow of other buildings)
Form of ventilating siphons	No siphon or siphons of porous material or having a close perforation.	Siphons of dense material or having only little perforation.
Form of the cap.	Large apertures in the cap, having a favourable construction regarding the air flow, and supporting the air exchange from the channel to the outside.	Small apertures at the cap and arrangements that hamper diffusion and air flow.