

Evaluation des risques liés à l'humidité dans le cas d'une isolation thermique par l'intérieur de murs anciens : étude de cas.

Antoine Dugué¹, Frédéric Betbeder¹, Jérôme Lopez¹, Philippe Lagièr²

¹ Nobatek – 67, rue de Mirambeau, 64100 Anglet
adugue(at)nobatek.com

² Laboratoire TREFLE, ENSAM, Esplanade des Arts et Métiers, 33405 Talence

RESUME. L'objet de l'étude est la réhabilitation énergétique de bâtiments anciens de Grenoble. Dans cette optique, différentes solutions d'isolation ont été étudiées, notamment sous l'angle du risque induit lié à l'humidité. Le logiciel WUFI a été choisi pour simuler sur plusieurs années les transferts couplés de masse et de chaleur dans les différentes solutions de parois. L'hétérogénéité de la paroi existante composée de moellons jointés par un mortier à la chaux a obligé à adopter une approche qualitative. Dans le cas de l'isolation par l'intérieur, l'analyse montre qu'un isolant hygroscopique est le plus adapté, alors qu'il faut éviter les matériaux qui bloquent les transferts de vapeur d'eau. La pose d'un pare-vapeur classique semble préjudiciable, alors que celle d'un pare-vapeur hygro-régulant serait la meilleure solution permettant d'évacuer l'eau et de limiter les apports.

MOTS-CLÉS : humidité, isolation, mur, WUFI

ABSTRACT. The present work intends to contribute to the efficient energy refurbishment of old historic buildings in Grenoble. Various solutions of wall insulation and the resulting risks due to moisture have been studied. The software WUFI was chosen to simulate the coupled heat and moisture transfers in a wall during numerous years. The heterogeneity of the existing rough-stone wall bound by lime mortar required the use of a qualitative approach. In the case of interior thermal insulation, the analysis reveals that a hygroscopic insulating material fits the best, while materials that block moisture transfer have to be avoided. A standard vapour barrier would be detrimental, while a smart vapour retarder would be the most efficient solution allowing the evacuation of water and the limitation of water input.

KEYWORDS : moisture ; insulation ; wall ; WUFI

1. INTRODUCTION

En Europe, la part du secteur résidentiel-tertiaire dans les consommations en énergie finale dépasse 40% (statistiques AIE, 2005). Les bâtiments historiques sont responsables d'une part non négligeable de ces consommations et la majorité d'entre eux occasionne des dépenses énergétiques élevées. L'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments anciens et le recours aux énergies renouvelables représentent un enjeu majeur pour le développement durable des villes historiques. Depuis peu on note un nombre croissant de projets sur ce thème comme BATAN « Consommation des bati anciens et économie d'énergie », le projet européen New4old et d'autres en cours de lancement comme LINKS mené par la ville de Bayonne. Toutefois, l'héritage architectural nécessite une attention particulière lorsque des travaux de rénovation sont envisagés sous l'angle de la performance

environnementale. En effet, la réhabilitation énergétique des bâtiments anciens se retrouve confrontée à la problématique de la préservation et de la protection des identités historique et architecturale.

C'est dans ce cadre que la ville de Grenoble a choisi trois immeubles représentatifs de son centre ville pour étudier les possibilités de rénovation énergétique. Parmi les solutions étudiées, une attention particulière a été portée sur l'isolation thermique des façades. En effet, il est admis qu'une isolation sur une paroi existante augmente les risques liés à l'humidité. Toutes les solutions d'isolation ont donc été étudiées selon cet aspect. Cette étude a été menée par une équipe pluridisciplinaire composée du bureau d'études énergétiques Thermi Fluides (Culoz), de l'architecte du patrimoine Sylvie Amselem (Grenoble) et du CRT Nobatek (Anglet), avec un comité de pilotage dont faisaient partie le CSTB, le CETE de l'Est et l'ADEME, la DRAC, l'ANVPAH&VSSP, le SDAP 38, et le CG Isère.

2. ETUDE DES TRANSFERTS POUR EVALUER LES RISQUES LIES A L'HUMIDITE

2.1. TRANSFERTS COUPLES DE MASSE ET DE CHALEUR

Les transferts de masse et de chaleur dans les parois poreuses sont bien maîtrisés et décrits par différents modèles comme (Kunzel, 1995), et validés par comparaison avec des mesures expérimentales. Pour réaliser les simulations, nous avons utilisé le logiciel WUFI développé par le Fraunhofer Institut Bauphysik (Künzel et al, 1994), il présente l'intérêt de disposer d'une base de données de matériaux très fournie. Les phénomènes que l'on vient étudier sont ceux de transferts de chaleur et de transport de masse, qui sont couplés entre eux. On peut distinguer trois types de couplage (Piot, 2009) :

- Les propriétés des matériaux dépendent de la température et de l'humidité
- Energétiquement, il faut prendre en compte le transport d'eau et notamment la chaleur latente d'évaporation de l'eau
- La température influe sur le taux d'humidité localement, **ce qui entraîne une redistribution de celle-ci.**

Cependant ce modèle repose sur une modélisation géométrique simple laissant peu de place à la prise en compte de parois à géométrie complexe et composition hétérogène, cas de cette étude.

2.2. MATERIAUX

Le comportement vis-à-vis de l'eau d'un matériau est en grande partie caractérisé par son isotherme de sorption et sa résistance à la diffusion de vapeur d'eau. L'isotherme de sorption traduit la capacité du matériau à accueillir de l'eau en son sein et sa passivité ou non par rapport à l'eau. La résistance à la diffusion de vapeur d'eau, que considère la réglementation thermique française, elle quantifie sa capacité à « laisser diffuser » la vapeur d'eau.

A partir de ces propriétés hygrothermiques des matériaux on peut distinguer différentes classes ou familles d'isolants, chacune correspondant à un type de comportement à l'eau du matériau :

- la première correspond aux matériaux qui n'accueillent pas d'eau en leur sein, ils sont aussi très résistants à la diffusion de vapeur d'eau. Ce sont surtout les mousses, et matériaux plastiques comme le polystyrène extrudé ou expansé...
- **Les matériaux se comportant comme l'air par rapport à l'eau** composent la seconde partie : ce sont les laines minérales. Leurs résistances à la diffusion de vapeur d'eau est donc très faible, et ils accueillent très peu d'eau en leur sein.
- la troisième famille est celle des **matériaux hygroscopiques**. Les matériaux à base de bois (fibre de bois, ouate de cellulose) sont **très actifs** par rapport à l'eau, ils la fixent très rapidement, mais se dégradent pour de hautes teneurs en eau. D'autres matériaux comme le béton cellulaire et le silicate de calcium peuvent supporter de hautes teneurs en eau mais sont moins actifs par rapport à l'eau.

Famille	Exemples	Accueil d'eau	Exposition à de hautes HR ?	Résistance à la diffusion de vapeur d'eau ?
1	Polystyrène expansé ou extrudé	Nul	-	Haute
2	Laine minérale	Faible	Non	Faible
3	Fibre de bois, Silicate de calcium, béton cellulaire.	Grand	Oui (nuance pour le bois)	Faible - Moyenne

Tableau 1: Tableau classant les isolants en trois grandes familles selon leur comportement à l'eau

3. APPROCHES PAR RAPPORT A LA MODELISATION

Une phase de diagnostic menée par l'architecte du patrimoine nous a permis de mieux connaître la composition des murs : à base de pierres calcaires, avec un mortier remplissant l'espace central, et des enduits côté intérieur et extérieur. Il faut noter que les blocs sont jointés avec un mortier à la chaux.

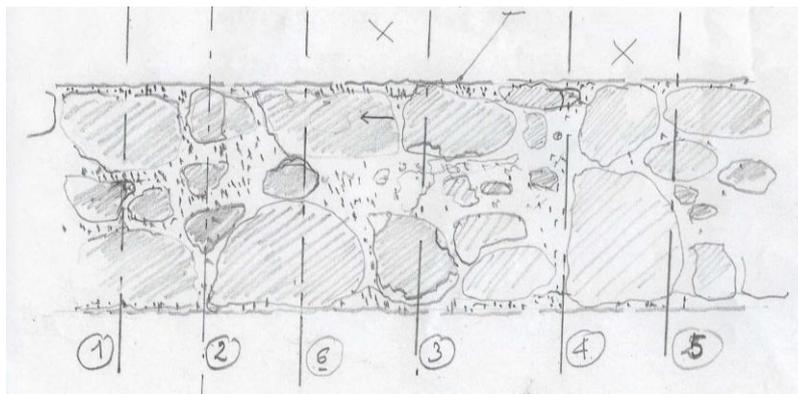


Figure 1 : Schéma de composition du mur mettant en avant l'aspect hétérogène

Un double constat nous oblige à adopter une approche particulière. Premièrement, au niveau des joints en mortier (comme la ligne 4 sur la figure 1) l'eau peut diffuser beaucoup plus facilement que dans le calcaire, ce sont des lignes de forte diffusion à la manière des ponts thermiques. **Il est cependant impossible de quantifier ces migrations d'eau.** (Heim et al, 2009) considèrent que dans le cadre de rénovations de mur en briques, une erreur récurrente est de bloquer les transferts qui se font au niveau du mortier de chaux, perméable à la vapeur d'eau, en appliquant un mortier de ciment, qui lui est imperméable.

Ensuite, les visites des bâtiments ont permis d'établir qu'il y avait aussi des apports d'eau par infiltration (au niveau de la toiture par exemple), et des remontées d'eau. Nous savons donc que ce mur relativement poreux, accueille une grande quantité d'eau en son sein mais que son comportement est stable étant donné que ses caractéristiques ne sont que peu détériorées après plus de 200 ans d'existence.

On en déduit que le mur évacue les apports d'eau, et qu'il faut le moins possible venir perturber le comportement du mur par rapport à l'eau, et ne pas bloquer les transferts de vapeur d'eau en son sein.

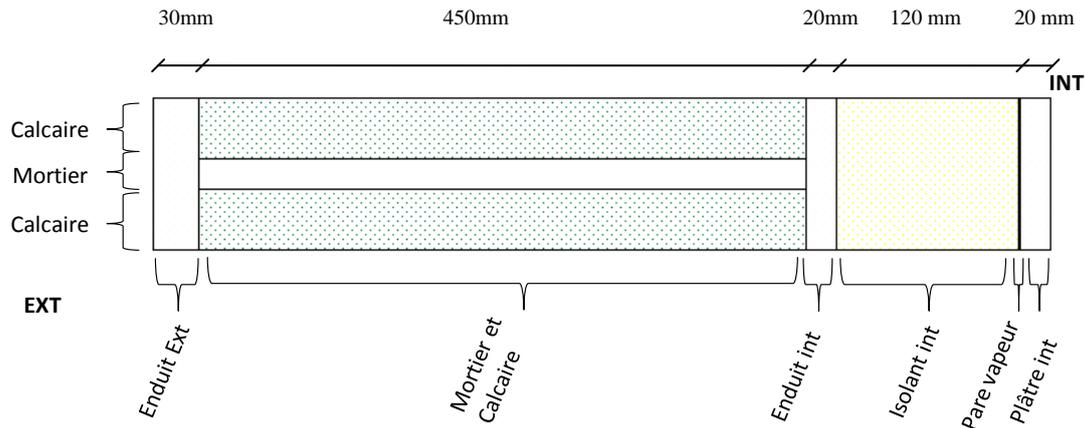


Figure 2 : modélisation du mur

La modélisation du mur est celle que l'on peut voir sur la figure 2, ici dans le cas d'un isolant intérieur et avec un pare-vapeur.

4. SIMULATIONS

Les simulations se font toutes sur plusieurs années avec une teneur en eau initiale élevée, on regarde en premier l'évolution des teneurs en eau pour évaluer d'abord le comportement général du mur et ensuite de chaque matériau. Est-ce que celui-ci accumule de l'eau, sèche ou garde la même quantité d'eau ? Puis nous analysons un cycle sur la dernière année simulée, c'est-à-dire dans un régime pseudo-établi, nous analysons les teneurs en eau, les flux de diffusion, les couples (T, HR).

4.1. EMPLACEMENT DE L'ISOLANT

Une simulation avec un isolant laine de verre (famille 2 dans tableau 1) côté intérieur, une autre, avec l'isolant placé côté extérieur sont réalisées sur 5 ans.

Dans le cas de l'isolation par l'intérieur, les variations de températures dans la partie ancienne du mur sont grandes, et les températures les plus faibles proche de 0°C ; les teneurs en eau sont aussi plus élevées dans ce cas là. Les risques structurels sont donc réels. A ceci s'ajoute les considérations thermiques classiques qui justifient plus l'isolation par l'extérieur. Cette technique est donc à privilégier et l'isolant doit être très peu résistant à la diffusion à la vapeur d'eau. Mais pour des raisons architecturales, techniques et économiques, l'isolation par l'intérieur est souvent adoptée.

4.2. CHOIX DE L'ISOLANT POUR UNE ISOLATION INTERIEURE :

Nous évaluons sur une année en régime établi, la teneur en eau dans l'enduit intérieur qui se situe entre le calcaire et l'isolant, et les flux de diffusion sous phase vapeur, et capillaires entre le joint mortier et l'enduit.

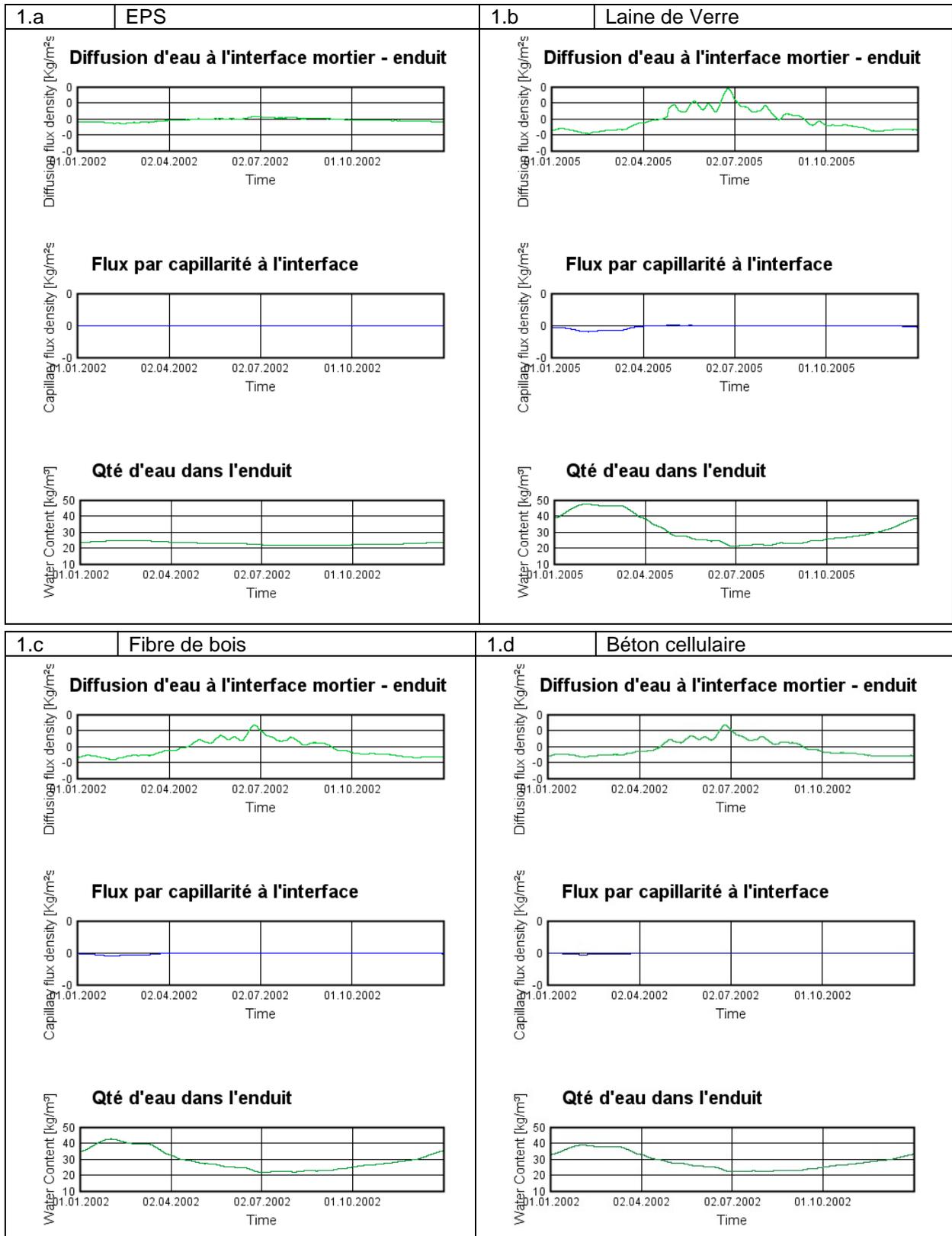


Figure 3 : Résultats des simulations comparant l'effet de 4 isolants placés du côté intérieur

Note : L'échelle des valeurs des flux de diffusion n'apparaît pas sur les graphes suivant. Les deux sont centrées sur 0, et pour la diffusion sous forme vapeur, chaque division verticale correspond à 10^{-7} kg/m²s et pour la diffusion par capillarité à 10^{-8} kg/m²s.

1.a Pour le polystyrène expansé : EPS, de la famille 1, il y a une très faible diffusion de vapeur d'eau et une teneur en eau basse dans l'enduit qui varie très peu. Ceci montre bien que les transferts d'eau sont très limités par l'isolant. Or dans le cas d'un apport d'eau par infiltration ou remontée, il y aura accumulation dans le mur car impossibilité d'expulsion.

1.b Pour la laine de verre, de la famille 2, il y a une légère diffusion par capillarité, ce qui atteste de la présence de condensation capillaire. Ceci peut être dû au fait que la laine de verre peut accueillir que très peu d'eau, elle est donc rapidement saturée. Ceci est corrélé par le fait que la teneur en eau dans l'enduit est maximale pour ce cas là.

1.c et 1.d Les comportements de ces deux d'isolants de la famille 3 sont très proches. On notera cependant que la teneur en eau de l'enduit dans le cas du béton cellulaire est légèrement plus faible. Un autre argument pour justifier l'emploi d'un tel isolant est qu'il peut plus facilement supporter des humidités relatives élevées.

Il est donc préconisé d'utiliser pour l'isolation par l'intérieur un isolant d'hygroscopique. Une condition supplémentaire est qu'il puisse bien supporter de hautes teneurs en eau. Dans ce cas là, un matériau comme le béton cellulaire est approprié.

4.3. PERTINENCE DE LA POSE D'UN PARE-VAPEUR

L'isolant côté intérieur impliquait que la teneur en eau du mur était plus élevée et qu'il pouvait y avoir condensation capillaire. L'introduction d'un pare-vapeur côté intérieur limiterait ces transferts ? Quelles seraient alors les évolutions de teneur en eau dans les différents matériaux ?

La simulation se fait sur 5 ans, pour une teneur en eau initiale correspondant à une humidité relative de 80% dans tous les matériaux.

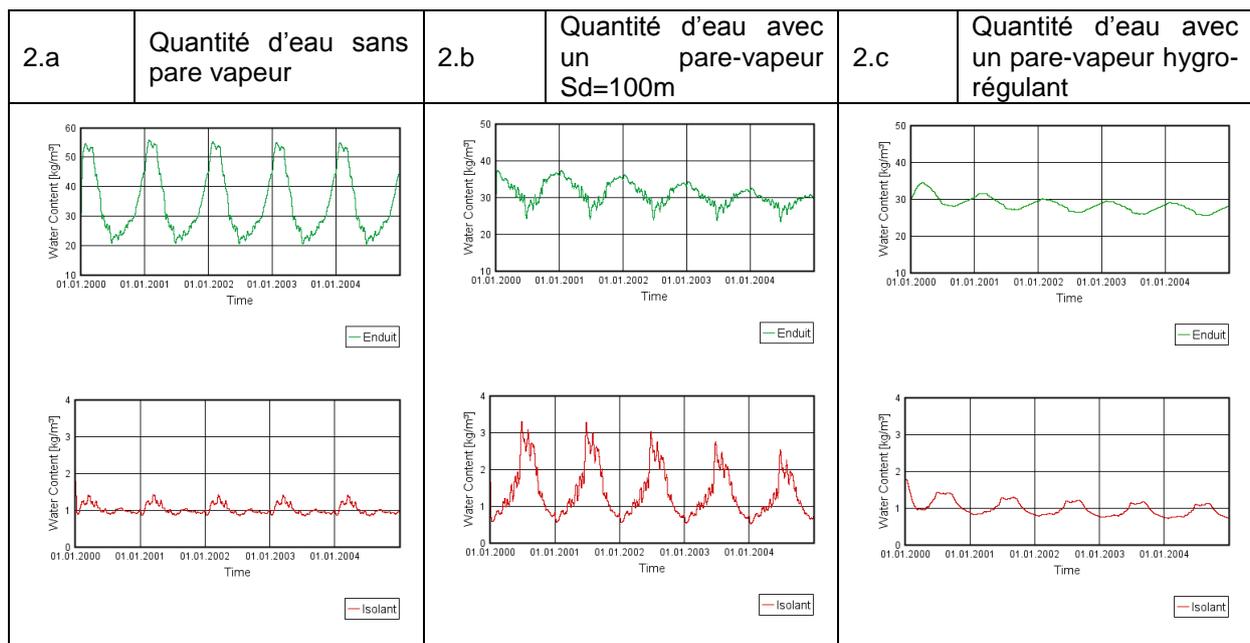


Figure 4 : Evolution de la teneur en eau sur 5 ans dans l'enduit et dans l'isolant avec ou sans pare-vapeur

On remarque qu'après 5 ans, le régime établi n'est pas encore complètement atteint notamment pour 2.b et 2.c, ceci est dû au fait que les pare-vapeurs limitent considérablement les transferts. Mais c'est ici le régime semi-établi qui nous intéresse : savoir comment le mur réagit à une stimulation qui est ici une charge initiale en eau relativement élevée.

Dans le cas de base, il y a de fortes variations dans l'enduit mais pas dans l'isolant. En effet l'isolant (qui est ici de la laine de verre) accueille peu d'eau car celle-ci est expulsée vers l'intérieur. Alors que dans l'enduit c'est la pose de l'isolant qui fait que l'amplitude est grande, car les variations de températures le sont aussi. Ici le risque se situe au niveau de l'enduit, et à l'interface enduit/isolant.

La pose d'un pare-vapeur diminue les variations de la teneur en eau dans l'enduit mais augmente celle de l'isolant. Dans cette configuration l'isolant ne peut évacuer l'eau qui est en son sein, il y a donc une certaine accumulation et les valeurs atteintes sont élevées (le maximum correspond à 90% d'humidité relative). Le pare-vapeur limite grandement la diffusion de vapeur d'eau dans le mur, donc diminue les amplitudes de variation.

Enfin, le pare-vapeur hygro-régulant ou intelligent semble cumuler les avantages des deux autres scénarii. Les pics de teneur en eau de l'isolant sont écrêtés. Quand l'humidité relative autour du pare-vapeur est élevée, il laisse évacuer l'eau dans l'isolant et il limite cependant les fluctuations sur l'ensemble du mur. Ceci est en accord avec (Kunzel, 2003) qui montre que le séchage d'un mur chargé en eau est plus rapide avec un pare-vapeur actif ou adaptatif.

5. CONCLUSIONS

La complexité du mur due à son hétérogénéité et le fait qu'il y ait des apports d'humidité que l'on ne peut quantifier, nous ont imposé une approche qualitative. Ainsi, il faut chercher à perturber le moins possible les transferts naturels d'humidité qui permettent d'évacuer cette eau.

Dans le cas d'une **isolation par l'intérieur, la pose d'un pare-vapeur est déconseillée** car elle limiterait les échanges d'eau et donc perturberait le comportement naturel du mur vis-à-vis de l'humidité. L'utilisation d'un pare-vapeur hygro-régulable ou intelligent est à étudier. Il serait intéressant d'avoir un retour d'expérience sur une telle solution appliquée dans le cas d'une rénovation.

Le choix de l'isolant est à faire parmi les matériaux hygroscopiques : fibre de bois, béton cellulaire, silicate de calcium, ceux-ci ayant un comportement qui s'adapte à la teneur en eau.

Dans cette étude, nous avons été confrontés au problème de la modélisation d'un mur à géométrie et composition complexes par un logiciel ne permettant pas de prendre en compte les irrégularités. Une autre limitation était celle du manque de connaissances des caractéristiques des matériaux entrant dans la composition du mur. Un retour d'expérience nous permettrait de valider les préconisations faites, et de vérifier leurs pertinences. Elle

pourrait passer par une campagne d'instrumentation d'un bâtiment rénové comme cela a été fait par (Mahlknecht et al, 2009) en Italie.

6. BIBLIOGRAPHIE

Künzel H.M., (1995), "Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components", Thèse de doctorat, Institute for Building Physics à Holzkirchen.

Künzel H.M., Holm A., (1994) "WUFI : Wärme-Und Feuchtetransports Instationär in bauteilen mit einfachen kennwerten" Fraunhofer Institut Bauphysik, Stuttgart, Computer Program

Künzel H.M., « Pare-vapeurs pour la protection de l'enveloppe des bâtiments contre un excès d'humidité ». *Colloque Interuniversitaire Franco Quebecois, Thermique des Systèmes, Quebec.*

Heim D., Krawczynski S., Gunewald J., (2009) « Numerical analysis of heat and moisture transfer in historical ceramic masonry wall », 11ème conférence IBPSA International Glasgow.

Mahlknecht M., Exner D., Avesani S., Troi A., Sparber W., (2009) « Refurbishment and monitoring of an historic building : a case study », *47 AICARR International Conference, Roma.*

Piot A., (2009) « Hygrothermique du bâtiment : expérimentation sur une maison à ossature bois en conditions climatiques naturelles et modélisation numérique », Thèse de doctorat, L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.