

Cet article sur la réhabilitation des caves inaugure une série qui vise à aborder de manière multidisciplinaire des problématiques d'actualité dans le cadre de la rénovation et du développement durable. Il devrait être suivi, dans les prochains mois, d'une approche semblable concernant les espaces sous toiture et la réhabilitation des façades.



Cette approche multidisciplinaire a été rédigée par l'ensemble de l'équipe des Conseillers technologiques de la Guidance technologique 'Éco-construction et développement durable en Région de Bruxelles-Capitale', avec l'aide de la Guidance technologique wallonne 'Installations de climatisation et confort intérieur' et du service des Avis techniques du CSTC.

1 INTRODUCTION

Toute rénovation, notamment relative aux ouvrages enterrés, implique de décrire les lieux au préalable en tant qu'espace et d'en définir les composants, la problématique générale et les pathologies correspondantes.

Il convient ensuite de spécifier les affectations recherchées (stockage, buanderie, salle de jeux, locaux habités, ...), car ces dernières détermineront le niveau des interventions à réaliser.

On pourra dès lors dégager les éventuelles solutions, sans oublier d'en définir les limites et conséquences inhérentes.

Les travaux de réhabilitation visent généralement à aménager un maximum d'espace habitable, surtout dans les villes.

Il va de soi qu'une affectation des caves en logement nécessite un budget de rénovation plus important et des frais de fonctionnement accrus (chauffage, ventilation, éclairage) pour un confort moindre par rapport à une rénovation similaire d'espaces initialement dédiés à l'habitation. Par ailleurs, tout comme les greniers, les caves ne sont généralement pas destinées à servir de logement à l'origine. D'une certaine façon, ces pièces constituent des zones tampons éventuellement utilisées comme espaces de stockage, qui protègent les pièces d'habitation (rez-de-chaussée et étages) de l'humidité du sol. Les caves isolent le bâtiment de l'humidité extérieure, tandis que les greniers le protègent des rigueurs du climat (chaud et froid).

Dans certains cas, ces affectations seront tout simplement impossibles, compte tenu des contraintes intrinsèques des lieux.

Rénovation des caves

Notons également que l'aménagement des caves à des fins de logement implique le respect des législations et réglementations existantes au niveau fédéral, régional et communal, en particulier si les lieux sont donnés en location. Il est également utile de connaître les contraintes liées à la salubrité et à la sécurité des logements, car celles-ci sont particulièrement délicates à traiter en cas de locaux enterrés (étanchéité, ventilation, éclairage naturel, dimensions du logement, circulation et évacuation, équipements sanitaires, installations électriques et de gaz, installation de chauffage, ...).

2 QUELQUES RAPPELS

2.1 CAVES

Locaux en sous-sol partiellement ou totalement enterrés, les caves ont comme fonction première de servir de garage, de réserve, de stockage de marchandises peu périssables, de buanderie ou de chaufferie.

Le climat intérieur relativement frais et stable qui y règne tout au long de l'année favorise la conservation des denrées. Cette stabilité (régime plus ou moins stationnaire) s'explique avant tout par la forte interaction de ces espaces avec le sol environnant, qui leur procure une inertie thermique importante face aux variations climatiques externes, ainsi qu'une ambiance relativement humide (l'humidité traverse les parois enterrées).

2.2 MURS INTÉRIEURS ET EXTÉRIEURS DES CAVES

Pour la compréhension, il importe de distinguer les murs intérieurs des murs extérieurs d'une cave.

Par mur intérieur, on entend tout mur accessible des deux côtés depuis un même sous-sol.

Les murs extérieurs comprennent donc tous les autres murs de la cave, à savoir ceux en contact avec la terre ou l'extérieur, ou encore les murs mitoyens avec d'autres caves ou d'autres locaux appartenant à un autre immeuble et dont l'affectation n'est donc pas directement contrôlable.

2.3 CONTRAINTES SPÉCIFIQUES AUX LOCAUX ENTERRÉS

Une image d'infiltration d'eau vient directement à l'esprit lorsque l'on évoque les problè-



Fig. 1 Image qui se passe de commentaires...

mes en caves. En réalité, ce n'est pas le cas le plus courant. Heureusement, car si l'apparition accidentelle d'un peu d'eau ne requiert pas de traitements excessifs, des pénétrations importantes et/ou répétées doivent inciter à la prudence quant à une nouvelle affectation des lieux.

2.3.1 Humidité

En revanche, l'humidité est omniprésente dans les caves. Celle-ci provient indirectement d'infiltrations locales ou ponctuelles, du transport capillaire de l'eau en provenance des terres, de phénomènes hygroscopiques liés aux sels présents dans les murs, ou d'une humidité relative élevée de l'air, voire de condensations en périodes chaudes et humides. Ces phénomènes peuvent être accentués par une ventilation faible ou inexistante, liée par exemple au colmatage des ouvertures et soupiroux, réalisé pour des raisons thermiques.

2.3.2 Inertie thermique

La température relativement constante des terres (qui varie toutefois selon la profondeur), cumulée à des murs peu isolés thermiquement, est une source majeure d'inconvénients en cas d'occupation des caves en tant que logement. Les lieux nécessiteront un chauffage quasi permanent durant une bonne partie de l'année afin de maintenir des températures de confort habituelles (17 à 20 °C).

En période estivale, cette forte stabilité thermique peut par ailleurs être à la source d'une humidité relative élevée, voire d'un phénomène de condensation superficielle lié au contact de l'air extérieur chaud et humide avec des parois plus froides.

Lorsque l'usage envisagé des caves (buanderie, stockage, cave à vin, ...) ne nécessite pas le maintien d'une température de confort particulière, la stabilité thermique peut toutefois être un avantage.

2.3.3 Ventilation

La ventilation des caves et l'amélioration du renouvellement d'air ne sont pas évidentes, du fait de la stratification de l'air (stagnation de l'air froid en partie basse) et du nombre d'ouvertures potentielles et de leur nombre, souvent peu propices à une ventilation naturelle transversale. La ventilation des caves s'avère toutefois nécessaire si l'on veut éviter une augmentation excessive du taux d'humidité relative de l'air intérieur. En effet, celle-ci entraînerait des phénomènes d'humidité hygroscopique et de condensation superficielle, néfastes aux matériaux sensibles à l'humidité (bois, cuir, carton, ferrailles, ...).

La ventilation souvent nécessaire à l'utilisation des caves peut cependant entraîner des effets secondaires. En effet, un taux plus faible d'humidité relative de l'air ambiant accélère l'assèchement des maçonneries humides. Si ces maçonneries contiennent une quantité importante de sels, la cristallisation de ces derniers peut provoquer une dégradation des matériaux.

Il faut également tenir compte du fait qu'une ventilation intensive durant les périodes chau-



Fig. 2 Humidité et moisissures au niveau des finitions.

des et humides (p. ex. périodes orageuses) peut être à l'origine de condensation superficielle (air chaud et humide au contact de surfaces froides). Étant donné leur caractère très ponctuel, ces phénomènes ne nuisent toutefois pas à l'exploitation des locaux.

2.3.4 Autres contraintes

D'autres contraintes existent également, qui touchent plus particulièrement le confort et la sécurité des lieux :

- l'exiguïté (hauteur sous le plafond)
- l'accessibilité et l'évacuation (souvent un escalier unique et exigü)
- l'acoustique
- l'isolation thermique
- la présence de canalisations d'évacuation des eaux qui, outre leur encombrement, peuvent aussi engendrer des problèmes d'odeur d'égout
- l'éclairage naturel
- la sécurité au niveau des compteurs souvent placés en caves (inondation et électricité, évacuation des gaz, ...).

3 RÉHABILITATION DES CAVES

Avant d'entreprendre des travaux de réhabilitation d'une cave, d'en modifier la destination et d'établir un diagnostic en ce sens, il importe de déterminer le degré de confort souhaité (absence plus ou moins totale de problèmes d'humidité, conditions hygrothermiques d'ambiance, ...).

Certaines affectations nécessiteront bien sûr des conditions ambiantes très éloignées des conditions habituelles d'équilibre des caves en termes de température et de taux d'humidité (10-15 °C et HR > 70 %), qui entraîneront à leur tour des interventions de réhabilitation souvent plus conséquentes.

Les interventions les plus contraignantes seront celles liées à une réaffectation en logement et/ou en locaux à usage intensif. À l'inverse, une remise en état en vue d'une utilisation de cave réaffectée en chaufferie ou en buanderie ne réclamera généralement que des interventions restreintes.

Entre ces deux extrêmes, on trouve divers niveaux intermédiaires, tels que le stockage de matériaux potentiellement sensibles à l'humidité (livres, vivres plus ou moins périssables, etc.) ou encore l'aménagement de locaux sans production importante d'humidité et/ou à usage limité (bureau, salle de jeux, ...).

En définitive, le degré d'intervention et les coûts correspondants seront étroitement liés à la définition du besoin final et du confort recherché. Ces derniers facteurs doivent être pris en considération dans la définition des

interventions à réaliser, tout comme la détermination des causes et de l'importance des pathologies présentes.

4 DIAGNOSTIC DES CAVES AVANT L'INTERVENTION

Selon les objectifs à atteindre et l'ampleur des problèmes existants, il convient d'établir un diagnostic préalable plus ou moins fouillé et complet. Ce dernier se base principalement sur une visite en présence des occupants. En effet, ceux-ci sont en mesure de fournir des informations sur l'historique des lieux, les problèmes rencontrés en caves, leur fréquence et leur importance, ainsi que les objectifs et contraintes de la rénovation envisagée.

Cette première phase de constatations et de dialogue avec les occupants, ainsi que l'analyse des symptômes observés, suffit souvent à déterminer les principales interventions nécessaires.

En cas de dégâts importants et/ou de réaffectation des lieux en logement, il est toutefois conseillé de mener des investigations plus poussées et de prendre une série de mesures pour confirmer les constatations visuelles, quantifier les problèmes rencontrés et adapter les interventions à mener en fonction de la future destination des lieux.

4.1 CONSTATATIONS

Étant donné qu'on ne dispose souvent d'aucun plan de construction ni de détails constructifs, un relevé des lieux, même très approximatif et à main levée, constitue une première base de travail. Celui-ci reprendra l'implantation des locaux en sous-sol, les niveaux des mitoyennetés, les ouvertures et accès existants, les différents dégâts visibles (humidité, efflorescences, moisissures, ...), leur ampleur et les murs concernés, et devra spécifier la destination future des locaux.

Lors de cette première approche, rien ne remplace un œil exercé et l'expérience, surtout si



Fig. 3 Humidité au bas du mur d'une cave.

L'on ne peut obtenir d'informations précises de la part des occupants.

Lors de ces constatations, l'accent portera principalement sur les problèmes liés à l'humidité.

On distinguera :

- les pénétrations d'eau, même accidentelles, qui se traduisent par des marques plus ou moins nettes sur les murs ou au sol, la présence d'anciens puisards, de planchers surélevés, ...
- l'humidité capillaire (pas d'écoulement), qui se traduit le plus souvent par des zones plus sombres, la présence éventuelle de moisissures (en cas d'humidité ambiante importante), l'apparition d'efflorescences lors des périodes plus sèches, ou encore par la dégradation des matériaux de maçonnerie due aux crypto-efflorescences. Des traces d'anciennes interventions telles que des enduits à base de ciment dans le bas ou sur l'entièreté des murs, sont autant de symptômes de migrations capillaires récurrentes. Notons également que les problèmes aigus d'humidité et de manque de ventilation dans les caves sont généralement accompagnés d'odeurs de moisissures.

Par ailleurs, on fera état des ouvertures existantes, ainsi que des éventuelles possibilités d'amélioration de la ventilation.

Les efflorescences superficielles et la dégradation des matériaux ou des finitions par les crypto-efflorescences témoignent d'une bonne aération naturelle des lieux ou de la présence de corps de chauffe dans les caves. Les zones plus foncées, cumulées à des développements de moisissures, sont plutôt symptomatiques d'une ventilation insuffisante, car elles indiquent une ambiance humide.

Ce diagnostic concerne bien évidemment l'état des locaux au moment de la visite. Un changement d'affectation des lieux, notamment en locaux d'habitation, nécessitera une extrapolation des paramètres aux nouvelles contraintes hygrothermiques, en particulier en ce qui concerne la production de vapeur d'eau.

Un examen visuel permettra également de déceler la présence éventuelle de champignons (p. ex. mэрule). Une attention particulière sera portée aux éléments en bois ou réalisés à base de bois (p. ex. panneaux de particules) présents dans les caves. De même, on examinera soigneusement les zones d'encastrement des gîtes en bois dans les maçonneries.

Quoique nettement plus rares, les éventuels problèmes de stabilité seront notés. Ceux-ci se rencontrent principalement dans le cas d'une modification du niveau du plancher des caves, qui peut fragiliser les fondations, ou en présence de fissurations franches liées à des

phénomènes de tassements différentiels ou d'altération d'éléments de structure en acier ou en bois. Suivant l'importance et le caractère plus ou moins évolutif des phénomènes, des renforcements, des remplacements ou des reprises en sous-œuvre seront à envisager.

Bien que souvent moins évident, il est également souhaitable de s'enquérir d'éventuels problèmes d'odeurs, qu'ils soient liés au réseau d'évacuation d'eau (présence de chambres de visite, d'un épandage sous-terrain, etc.), ou à des fuites de cuves à mazout.

4.2 MESURES

Comme signalé précédemment, un bon diagnostic est idéalement accompagné d'une prise de mesures. Celle-ci vise non seulement à localiser les dégâts et leur ampleur avec précision, mais fournit également des valeurs de référence et permet de contrôler l'évolution des problèmes après les interventions.

Différents appareils peuvent être utilisés *in situ*, du plus simple au plus sophistiqué. Nous reprenons ci-après les principaux types de mesures selon le problème à appréhender.

4.2.1 Mesure de la température et de l'humidité de l'air ambiant

Les mesures de la température et de l'humidité de l'air ambiant vont de pair. En effet, elles visent toutes deux essentiellement à identifier les risques d'hygroscopicité excessive et de condensation superficielle. Elles sont relativement simples et les appareils de mesure sont relativement peu sophistiqués, qu'il s'agisse de thermomètres à alcool, d'humidimètres à cheveux ou de thermo-hygromètres électroniques.

Deux remarques particulières s'y appliquent toutefois. D'une part, les hygromètres doivent régulièrement être étalonnés, car ceux-ci se dérèglent rapidement. D'autre part, il convient



Fig. 4 Exemple d'un thermo-hygromètre.

de prendre des mesures à différentes époques de l'année (aux différentes saisons), voire d'utiliser un appareil capable de suivre l'évolution de l'humidité (p. ex. thermo-hydrographe enregistreur – voir figure 4).

Pour le diagnostic, il est intéressant d'examiner les résultats de mesures étalés dans le temps, car ceux-ci permettent de juger de la fréquence de valeurs anormales, de relier ces données à d'éventuelles conditions intérieures et/ou extérieures particulières, et d'identifier les potentialités de condensations superficielles sur la base du diagramme de l'air humide ([12], [10] ou [15]).

4.2.2 Mesures de la température de surface des matériaux

Les appareils 'infrarouges' permettent d'estimer aisément et instantanément la température des surfaces (voir figure 5).

À l'aide du diagramme de l'air humide présenté plus haut, des écarts de température sensibles permettent de localiser les zones les plus froides au droit desquelles les risques de condensations superficielles seront les plus importants. Ces mesures doivent bien évidemment être mises en œuvre au cours d'une période propice aux écarts entre les températures ambiantes et extérieures.

4.2.3 Mesure du taux d'humidité des matériaux de construction

Connaître le taux d'humidité des matériaux [10] est important, si bien qu'un grand nombre d'appareils de mesure électroniques ont été développés, basés sur des principes capacitifs ou résistifs.



Fig. 5 Exemple de thermomètre 'infrarouge'.



Fig. 6 Exemples d'instruments de diagnostic de l'humidité des matériaux.

Ces appareils sont simples d'utilisation et très utiles dans le cadre du diagnostic, car ils permettent de cerner rapidement les zones les plus problématiques et d'identifier les endroits nécessitant des investigations supplémentaires (voir matériel de droite représenté à la figure 6). Il est toutefois déconseillé d'interpréter ces informations pour quantifier le taux d'humidité des maçonneries. En effet, ces appareils sont fortement influencés par la densité des matériaux, la présence de sels, de métaux, etc., et ne fournissent donc pas de mesure précise du taux d'humidité, ni de contrôle valable après l'assèchement.

Une mesure quantitative effectuée *in situ* requiert le prélèvement d'un échantillon représentatif du matériau, à la profondeur souhaitée. La mesure du taux d'humidité de cet échantillon se réalise ensuite sur chantier à l'aide d'une bombe à carbure (voir figure 6, à gauche) ou en laboratoire, par pesées comparatives effectuées avant et après le séchage.

Signalons que les résultats de mesures, même très précis, doivent être interprétés avec prudence. L'expérience montre en effet que des échantillons d'une même zone prélevés à des profondeurs différentes ou dans des matériaux voisins (p. ex. briques de cuissons différentes,

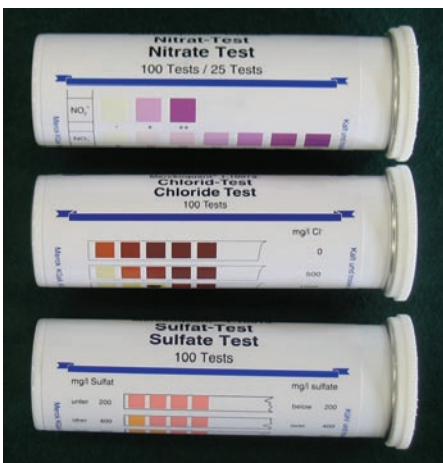


Fig. 7 Bandelettes de test pour le contrôle des sels.

ou joint de mortier/briques) peuvent afficher des taux d'humidité très divergents.

4.2.4 Approche semi-quantitative de la présence de sels

Les sels peuvent provenir du sol, des matériaux, ou encore d'une certaine utilisation des lieux (stockages agricoles, élevage, usage industriel ou semi-industriel, ...). Ils peuvent être hygroscopiques (nitrates et chlorures) ou efflorescents (sulfates et carbonates). Selon leur concentration dans les matériaux, les premiers entraînent des difficultés de séchage des murs (même après des interventions adéquates et performantes), tandis que les seconds provoquent plutôt une dégradation superficielle des matériaux.

Ainsi, il peut s'avérer utile d'obtenir une confirmation de la nature, de la concentration approximative et du caractère plus ou moins pathologique des sels présents.

Des bandelettes indicatrices (voir figure 7) peuvent être utilisées *in situ*. L'intensité et la vitesse de changement de couleur de ces bandelettes indicatrices donne une idée de la quantité de sels présents. Un encadré décrit cette approche en fin d'article, tout comme la procédure 46 du 'Guide pour la restauration des maçonneries' [7].

4.2.5 Mesure de l'ouverture et de l'évolution des fissures

La présence de fissures franches dans des murs enterrés doit inciter à la prudence. Il convient d'en rechercher les causes et de surveiller leur évolution (ou leur stabilisation).

Souvent, ces fissures sont relativement anodines (mouvements stabilisés ou corrosion d'éléments ponctuels). Toutefois, en cas de fissures pathologiques et/ou apparemment évolutives (mouvements non réversibles), l'usage d'un fissuromètre collé de part et d'autre de la fissure permettra de quantifier les mouvements de manière suffisamment précise pour pouvoir décider du degré d'urgence et du type d'intervention à mener (voir figure 8 et procédure 23 du 'Guide pour la restauration des maçonneries' [7]).

4.2.6 Mesures acoustiques

Selon la destination des locaux, il peut être utile de procéder à une étude acoustique, laquelle permettra de définir les mesures à prendre en fonction des performances à atteindre. On accordera une attention particulière à l'isolation aux bruits aériens vis-à-vis des habitations voisines et du trafic extérieur, mais aussi à l'isolation acoustique aux bruits de chocs du plancher séparatif avec les locaux du rez-de-chaussée.



Fig. 8 Exemples de verniers placés sur une fissure.

Les contrôles des performances obtenues doivent être réalisés *in situ* après les interventions par un bureau spécialisé en acoustique du bâtiment, moyennant un matériel très spécifique (source de bruit rose, machine à chocs, sonomètre tiers d'octaves, ...).

4.2.7 Mesure des migrations hydriques

Le cheminement potentiel de l'humidité peut être mis en évidence grâce à la technique au carbonate de rubidium. Ce principe consiste à injecter un élément traceur au niveau de la 'source' potentielle (canalisation, puisard, terrasse en surplomb, ...). Quelques semaines plus tard, les migrations éventuelles de l'ion considéré (rubidium) sont révélées par le biais d'analyses sur les prélèvements. Il s'agit d'une démarche assez lourde et onéreuse, à réserver aux situations particulièrement problématiques et/ou litigieuses.

4.2.8 Mesures piézométriques

Les piézomètres sont généralement de simples tubes qui permettent d'accéder à l'eau d'une nappe phréatique depuis la surface. Ils permettent d'en relever le niveau à l'aide d'une sonde (poids ou contacteur électrique) ou un capteur de pression. Les mesures sont habituellement effectuées sur des périodes suffisamment longues pour pouvoir déceler les variations de niveau de la nappe. On estime que le niveau minimal est atteint au mois d'octobre et le niveau maximal en mars.

5 TRAVAUX DE RÉNOVATION DES CAVES

Comme signalé précédemment, les interventions peuvent être plus ou moins contraignantes en fonction de l'utilisation future des lieux, allant d'une simple réfection des finitions (en cas d'affectation comme lieu de stockage) à des travaux lourds et complexes touchant l'ensemble des maçonneries, en passant par des interventions particulièrement délicates liées à la stabilité.

Par ailleurs, il est recommandé de s'assurer de la conformité des installations électriques et autres (compteur gaz, ...), ainsi que de la sécurité d'accès et d'évacuation des lieux (escalier), même si l'on prévoit des travaux relativement peu importants.

De manière générale, les interventions envisagées ci-après portent sur des ouvrages anciens en maçonneries. En ce qui concerne l'étanchéité des constructions plus récentes en béton armé, nous renvoyons le lecteur à l'article paru sur le sujet dans le CSTC-Contact n° 14, 2007 [17].

5.1 LUTTE CONTRE LES INFILTRATIONS D'EAU DANS LES CAVES

Pour la majorité des bâtiments anciens, la présence d'eau à faible profondeur dans le sol excluait toute construction sur caves. Il s'agit d'une bonne chose en soi, car la présence d'une nappe phréatique permanente ou accidentelle au-dessus du niveau du plancher d'une cave entraîne presque inévitablement des pénétrations d'eau, qu'il est très difficile, voire impossible de traiter de manière définitive dans les anciennes constructions en maçonnerie.

Ainsi, il est important de connaître le niveau de la nappe phréatique par rapport au sol intérieur des caves (voir § 4.2.8). Si la nappe devait se situer au-dessus du niveau des caves, même temporairement, la réalisation d'un espace d'utilisation normale dans les caves s'avèrerait très difficile, quand bien même il s'agirait d'un espace de rangement. Tout au plus peut-on envisager la réalisation d'un cuvelage intérieur rigide, mais l'efficacité réelle de ce dernier risquera néanmoins d'être limitée. En effet, assurer une continuité de l'enduit (au droit des murs de refend, des escaliers, ...) n'est pas chose aisée. Il en va de même d'un cuvelage extérieur souple qui ne pourra résoudre les pénétrations via le sol des caves, ni l'humidité ascensionnelle dans les murs protégés.

Le risque d'accumulation d'eau de surface le long des parois en contact avec les terres (eau de pluie qui ruisselle sur le terrain naturel et qui s'infiltré dans le sol le long des murs de caves) dépend quant à lui essentiellement de la nature du terrain et de son inclinaison autour du bâtiment.

En cas d'accumulation de l'eau de surface, il est possible d'intervenir :

- *via l'extérieur du bâtiment*, en dégagant les terres en contact avec les murs concernés et en plaçant une protection étanche contre la maçonnerie, un drain vertical, et un collecteur horizontal en fond de fouille
- *via l'intérieur*, s'il n'est pas possible d'intervenir de l'extérieur (présence de mitoyennetés, constructions annexes, ...).



Fig. 9 Exemple d'un puisard de relevage.

Les cavités et fissures seront colmatées en priorité par injection de coulis ou de résines gonflantes réactives à l'humidité. Ensuite, on envisagera la mise en place d'une chape et d'un enduit étanche et continu sur l'ensemble des sols et murs concernés. En cas de pénétrations persistantes, on optera pour une goulotte périphérique intérieure raccordée au circuit d'égouttage via un puisard et une pompe de relevage.

Il faudra toutefois garder à l'esprit que les risques importants d'accumulation d'eau de surface (fréquents en cas de rénovation des caves existantes), impliqueront la mise en place de finitions intérieures insensibles à l'humidité et excluront l'usage des locaux enterrés à des fins de logement.

5.2 TRAITEMENT DE L'HUMIDITÉ CAPILLAIRE

Contrairement au point précédent, il ne s'agit pas ici de pénétration d'eau liquide, mais d'une migration capillaire d'humidité en provenance des terres en contact avec les murs. Les problèmes liés à cette humidité se présentent sous forme de taches plus foncées, d'efflorescences ou de dégradation des maçonneries et des finitions causées par la cristallisation des sels.

Ces migrations capillaires sont omniprésentes dans les anciens ouvrages enterrés en maçonneries, même en l'absence totale de nappe phréatique ou d'infiltrations. Celles-ci sont liées :

- aux *remontées verticales* du fait que les maçonneries des constructions enterrées étaient le plus souvent réalisées sur des fondations capillaires (p. ex. briquillons), sans interposition de membranes susceptibles d'interrompre l'ascension capillaire de l'eau
- aux *migrations horizontales* dues à l'absence de protection extérieure efficace des faces verticales des maçonneries en contact avec les terres.

Ces migrations drainent l'eau et les sels contenus dans le sol et entraînent ainsi l'apparition d'efflorescences à la surface des matériaux ou légèrement en retrait de celle-ci (crypto-efflorescences). Lors de l'évaporation et selon



Fig. 10 Exemple d'efflorescences et de dégradation des joints.

les caractéristiques des matériaux, les forces de cristallisation des sels peuvent également endommager de manière plus ou moins importante les matériaux des maçonneries (briques, joints), ainsi que les finitions (badigeons, peintures, enduit, ...).

Ce phénomène concerne non seulement les murs périphériques en contact avec les terres avoisinantes, mais aussi le bas des murs intérieurs. Il s'agira d'en tenir compte lors des interventions.

5.2.1 Traitement des maçonneries en contact avec les terres

Idéalement, les travaux se réaliseront par l'extérieur, mais pourraient également être exécutés via l'intérieur du bâtiment, si l'extérieur n'est pas accessible (voir tableau 1, page suivante).

5.2.2 Traitement de l'humidité des murs intérieurs ou mitoyens

Il s'agit ici des murs de caves n'étant pas en contact direct avec les terres et qui n'ont pas été pourvus de membranes anticapillaires à la construction, et/ou érigés sur des fondations capillaires, comme c'est le cas dans la majorité des bâtiments anciens.

Pour les murs intérieurs ou mitoyens, les traitements à prévoir sont identiques à ceux prescrits pour le traitement de l'humidité ascensionnelle au-dessus du niveau du sol (voir [10]). Le plus souvent, on retiendra la technique d'injection de produits hydrophobes sur toute la section de la maçonnerie, aussi bien dans le bas de ces murs intérieurs ou mitoyens (barrière horizontale) qu'à l'intersection des murs intérieurs et des murs périphériques en contact avec les terres (barrières verticales aux refends). En effet, l'important est d'assurer la continuité de la barrière anticapillaire ainsi mise en place.

Il est utile de signaler que le séchage des murs après l'intervention favorise la migration en surface des sels contenus dans les matériaux. L'apparition d'efflorescences risque donc de s'accroître durant la phase d'assèchement et justifier la pose de membranes de doublage à excroissances insensibles aux sels entre les murs et les finitions.

Tableau 1 Interventions pour le traitement des maçonneries en contact avec les terres.

Interventions via l'extérieur du bâtiment	<ul style="list-style-type: none"> dégagement des terres en contact avec les murs concernés placement d'un élément permettant d'éviter un contact direct entre le sol et les parois enterrées et limitant la diffusion de l'humidité vers l'intérieur (p. ex. membrane). La réalisation d'un système de protection et de drainage capable de prévenir l'accumulation des eaux de surface peut être envisagée selon la situation rencontrée (voir § 5.1). Cette façon de procéder peut être complétée par l'injection de masse à la base des murs de caves au contact des terres.
Interventions via l'intérieur du bâtiment	<p>En plus de la mise en place d'une membrane (p. ex. film de polyéthylène) au niveau du sol, protégeant la nouvelle chape et/ou les nouvelles finitions de l'humidité, de nombreuses variantes peuvent être envisagées pour le traitement des maçonneries, à savoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> le placement d'un enduit d'imperméabilisation sur l'ensemble des murs périphériques concernés. Réalisés à base de liants minéraux (p. ex. ciments hydrophobes) ou organiques (p. ex. résines époxydiques (voir figure 11)) et appliqués en épaisseurs plus ou moins importantes, ces enduits luttent contre la diffusion de l'humidité. Cette intervention nécessite une bonne condition des supports, afin de permettre l'adhérence des enduits d'imperméabilisation et de garantir une durabilité suffisante. Le risque de cristallisation des sels à l'interface entre l'enduit et la maçonnerie subsiste néanmoins et le risque de décollement de l'enduit n'est pas exclu la réalisation de parois de doublage par la pose de membranes insensibles aux sels et à l'humidité entre les murs et les finitions. Étant donné les conditions délicates des caves, cette solution remplace avantageusement le doublage habituel des murs à l'aide de panneaux sur lattis. Les membranes spéciales à excroissances utilisées dans ce cadre sont fixées mécaniquement sur les murs et assurent une protection contre l'humidité et les sels, tout en pouvant par la suite être recouvertes d'enduits intérieurs. À ce sujet, rappelons que les enduits au plâtre nécessitent le maintien de conditions hydriques normales d'une pièce d'habitation, c'est-à-dire entre 30 et 60 % l'injection de masse de l'ensemble des murs périphériques à l'aide d'une solution hydrophobe. Il s'agit d'une technique similaire à l'injection contre l'humidité ascensionnelle, mais qui multiplie dans ce cas le nombre d'injections afin de saturer l'entièreté des murs considérés. Le placement d'enduits d'imperméabilisation est toutefois souvent préférable à cette technique, qui nécessite de grandes quantités de produits et un travail intensif et minutieux. Des parois traitées de la sorte ne peuvent néanmoins lutter contre les pénétrations d'eau sous pression (voir § 5.1) l'application d'un enduit d'assainissement (à ne pas confondre avec l'enduit d'imperméabilisation). Ces enduits fort poreux et ouverts ne visent pas à bloquer l'humidité ou les sels, mais fixent le front d'évaporation au sein de l'enduit, afin de garder une surface relativement sèche et exempte d'efflorescences. Surtout retenus en cas d'ouvrages classés, ces enduits d'assainissement ne peuvent en général être recouverts de finitions. Leur usage est peu indiqué en présence de sels hygroscopiques et leur durée d'efficacité est par définition limitée dans le temps. <p>La nature des traitements à envisager dépend essentiellement de la forme de l'eau dans le sol, de la sensibilité à l'eau des finitions intérieures et des conditions d'occupation. Les possibilités d'intervention détermineront également le choix du/des traitement(s) (voir § 6).</p>

5.3 LUTTE CONTRE LES SELS

Il n'est pas facile de remédier à la présence de sels, hygroscopiques ou non, d'autant plus lors-

que leur concentration est importante. S'il existe dans le commerce des produits permettant de réduire la pathologie liée aux sels, les essais en laboratoire ont montré que leur application est à

REMARQUE

Dans la mesure où l'efficacité de certains systèmes précités est liée à la mise en place d'une finition plus ou moins étanche à la vapeur d'eau, l'humidité des murs en contact avec les terres risque de s'en trouver accrue. Ceci ne devrait pas affecter la durabilité des maçonneries, mais peut légèrement accentuer les phénomènes de remontée capillaire dans le prolongement des maçonneries au-dessus du niveau du sol.

Ainsi, il peut être conseillé de compléter les interventions en caves d'un traitement des maçonneries en élévation contre l'humidité ascensionnelle (voir technique décrite au § 5.2.2).

Le niveau des terres extérieures étant souvent sensiblement inférieur au niveau du rez-de-chaussée, ce traitement se réalisera à un niveau inférieur au plafond de cave, et permettra également de favoriser le bon comportement futur de la structure correspondante (p. ex. structure de plancher en bois ou en voussettes sur poutrelles métalliques).




Fig. 11 Système d'injection.



Fig. 12 Enduit d'imperméabilisation à base de résines époxydiques.

envisager comme une amélioration potentielle et non comme un remède absolu. La meilleure solution consiste dès lors à mettre en place un doublage insensible aux sels et non capillaire, notamment via des membranes à excroissances fixées mécaniquement sur les murs et servant de base aux nouvelles finitions.

La technique habituelle de doublage par l'application d'une cloison en plaques de plâtre enrobées de carton est à déconseiller. Outre le fait que les sels pourraient migrer vers la face intérieure des plaques via les éléments de fixation, un développement de moisissures au dos des plaques est également à craindre.

La pose complémentaire d'une feuille de polyéthylène entre la paroi existante et la cloison de doublage peut constituer une alternative, mais en pratique, celle-ci offre souvent moins de garantie.

5.4 VENTILATION

Le rôle de la ventilation est de maintenir une qualité d'air suffisante dans les locaux grâce à un apport d'air frais et à l'évacuation de l'humidité excédentaire et des polluants. La qualité d'air requise dépend de l'affectation des locaux et peut donc varier au sein d'un même bâtiment.

Lorsque les locaux enterrés sont utilisés comme espaces d'habitation, la ventilation est indispensable pour le confort des occupants, et afin de maintenir l'humidité relative de l'air à un niveau acceptable. Elle est également nécessaire dans le cas de caves utilisées comme lieux de rangement. En effet, une humidité relative trop importante pourrait générer des problèmes de moisissure et de condensation dans la cave, une mauvaise conservation de certains matériaux, voire des problèmes d'humidité dans les espaces adjacents.

La rénovation des caves entraîne habituellement une utilisation plus intensive des locaux

et une production complémentaire d'humidité de 2 à 10 kg/jour. À titre d'exemple, le tableau 2, reprend quelques ordres de grandeur de production de vapeur en fonction des activités dans les bâtiments.

Dans le cas où l'on souhaite affecter des caves en locaux d'habitation, diverses solutions de ventilation existent, celles-ci sont décrites en détail dans la norme NBN D 50-001 'Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation' [3].

Dans le cas de caves utilisées comme espaces de rangement, la norme prévoit également :

- la ventilation naturelle par le biais de soupiriaux, de petites fenêtres ou de grilles de ventilation (éventuellement reliées à l'extérieur par des conduits). Ces ouvertures permettent à l'air frais extérieur d'entrer, et à l'air intérieur pollué de sortir. Le sens et le débit du flux d'air dans la cave dépendent de la configuration des lieux et des conditions météorologiques. Afin d'assurer une ventilation transversale, il convient de prévoir des ouvertures de part et d'autre de la cave. Dans le cas de petites fenêtres, la section libre en position ouverte est de minimum 140 cm². Dans le cas de grilles, la somme des débits de toutes les grilles sous une différence de pression d'air de 2 Pa, doit être au moins égale à 50 m³/h
- l'extraction mécanique (ventilateur qui aspire l'air de la cave et le rejette à l'extérieur) d'un débit d'au moins 25 m³/h combinée à une ou plusieurs ouvertures permettant l'entrée de l'air (voir plus haut), idéalement dans le bas des caves. Ces extracteurs assurent un débit de ventilation plus stable, moins dépendant des conditions météorologiques. Les points d'extraction et les ouvertures doivent être disposés judicieusement, de façon à ce que le flux d'air puisse balayer l'ensemble de la cave. Il faut également veiller à ce que la dépression créée ne soit pas trop importante, au risque de provoquer ou d'accroître la pénétration de l'air depuis l'espace

d'habitation et de gaz en provenance du sous-sol (p. ex. radon)

- deux ventilateurs permettant de réaliser une alimentation et une évacuation mécaniques. L'air frais extérieur est introduit dans la cave par le premier ventilateur, tandis que le second aspire et rejette l'air pollué vers l'extérieur. Il n'est plus nécessaire de prévoir des ouvertures de ventilation, de même que le débit et le sens du flux d'air peuvent être maîtrisés de manière plus efficace. Il est également possible de filtrer et/ou de préchauffer l'air frais extérieur au moyen d'un récupérateur de chaleur. L'équilibrage de l'alimentation et de l'évacuation permet de limiter la dépression ou la surpression créée, laquelle entraîne le risque que l'air pollué (p. ex. radon) de la cave pénètre dans l'espace d'habitation.

5.5 MISE EN PLACE D'UN DÉSHUMIDIFICATEUR

Après avoir traité les causes pathologiques de l'humidité, le placement temporaire d'un déshumidificateur d'air est souvent envisagé en vue de réduire le taux d'humidité relative de l'air ambiant.

Tableau 2 Production de vapeur d'eau en fonction des activités dans les bâtiments [3].

Source de vapeur d'eau	Taux de production de vapeur d'eau dans un logement
Occupants	0,9 à 1,25 kg d'eau par jour et par personne
Cuisson des repas pour 4 personnes avec une cuisinière électrique	1 à 2 kg d'eau par jour
Cuisson des repas pour 4 personnes avec une cuisinière au gaz	2 à 3 kg d'eau par jour
Hygiène personnelle (bains, douches, ...)	0,2 à 0,5 kg d'eau par jour et par personne
Séchage du linge	1,25 à 2,5 kg d'eau par jour
Nettoyage du sol à l'eau	environ 0,2 kg d'eau par jour
Plantes vertes	0,02 à 0,05 kg d'eau par jour et par plante

REMARQUE

Le choix du système de ventilation s'opère en fonction des préférences et des caractéristiques du bâtiment (accessibilité des parois de la cave, orientation, présence de radon, présence d'une chaudière à foyer ouvert, ...).

Dans le cas fréquent de présence d'une chaudière dans la cave, il y a lieu de respecter les exigences énoncées dans les normes NBN B 61-001 [1] (puissance ≥ 70 kW) et NBN B 61-002 [2] (puissance < 70 kW) relatives à la ventilation des locaux de chauffe.

On surveillera notamment l'interaction possible entre le système de ventilation et l'évacuation des gaz brûlés de la chaudière. Si cela ne pose normalement pas de problème dans le cas d'une ventilation naturelle, il peut s'avérer judicieux d'opter pour une chaudière à circuit de combustion étanche (air de combustion directement puisé à l'extérieur) si le système de ventilation est mécanique.

Par ailleurs, il est également recommandé de veiller à l'isolation thermique de la chaudière et des tuyauteries d'eau chaude. En effet, ceci permettra de limiter la consommation d'énergie et d'éviter les surchauffes locales et non souhaitées de la cave.

Il s'agit d'une possibilité d'amélioration des conditions hygrométriques, qui ne se substitue en aucun cas à la nécessité de ventilation des lieux.

Les systèmes les plus simples sont basés sur l'hygroscopicité des sels (souvent du chlorure de calcium), laquelle capte l'humidité de l'air, passe sous forme liquide et s'évacue ensuite dans un récipient que l'on vide manuellement. Ce système présente l'avantage d'être peu coûteux et totalement silencieux. Il ne convient cependant que pour des volumes très restreints et ne permet que l'élimination de faibles quantités d'humidité.

Les déshumidificateurs électriques sont nettement plus sophistiqués et performants, mais leur prix est sans commune mesure avec les systèmes précités à base de sels. En outre, ces appareils électriques nécessitent une quantité d'énergie importante et peuvent présenter une gêne acoustique notable, en particulier la nuit.

L'élimination de l'eau récoltée s'opère manuellement ou via un raccordement direct à une évacuation extérieure.

Le recours temporaire à un déshumidificateur (aux sels ou électrique) peut s'envisager dans certains cas, notamment durant la phase d'assèchement, à la suite d'une intervention sur les causes d'humidité (qu'il s'agisse d'humidité ascensionnelle ou de lutte contre les infiltrations) ou pour des conditions ponctuelles d'occupation anormalement intensive des lieux.

Cependant, la nécessité de recourir en permanence à ce type de matériel traduit la présence d'un problème plus fondamental en amont qu'il convient de traiter en priorité, qu'il soit lié au bâti ou à des habitudes inadaptées d'occupation des lieux.

Enfin, un assèchement excessif de l'air ambiant risque d'entraîner une sensation d'inconfort et favorisera l'apparition d'efflorescences liées aux transferts d'humidité vers les surfaces d'évaporation (voir encadré page 11).

5.6 CHAUFFAGE DES LOCAUX ENTERRÉS

Chauffer les caves permet d'améliorer le climat intérieur de façon indéniable, en particulier si cette pratique est couplée à une ventilation légère et permanente des locaux. Le chauffage des caves ne devrait néanmoins s'envisager que lorsque ces dernières font partie du volume protégé, c'est-à-dire lorsque les caves sont utilisées comme espaces de vie. Dans ce cas, pour des raisons de confort et d'économie d'énergie, il y a lieu d'envisager une amélioration de l'isolation thermique des parois (voir § suivant).

5.7 ISOLATION ET INERTIE THERMIQUE

Pour rappel, les caves présentent une grande inertie thermique en raison de leur forte interaction avec le sol environnant, et offrent ainsi un avantage pour les affectations nécessitant un climat stable et frais. En revanche, elles comportent des désavantages notoires dans le cas d'une réaffectation de l'espace en tant que logement.

Comme signalé au point précédent, on se trouve en présence d'une demande en température ambiante (17 à 20 °C) constamment supérieure à celle des parois contre terres (10 à 15 °C), ce qui impliquera une période de chauffe plus longue pendant l'année, avec une demande en chaleur relativement constante.

En période de canicule, l'inertie thermique pourra jouer un rôle positif pour d'éventuels besoins de climatisation. Ces conditions impliquent en effet de rester attentif au risque de condensations superficielles liées à la pénétration d'air chaud et humide provenant de l'extérieur.

5.7.1 L'isolation thermique comme remède partiel

La pose de l'isolation permet, d'une part, de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur et, d'autre part, d'augmenter la température de surface des parois. Compte tenu de la configuration enterrée des caves, le choix de la technique d'isolation se limitera souvent à une intervention à l'intérieur, qui implique une réalisation complexe et rarement optimale.

Dans les cas où la rénovation des caves vise une utilisation des lieux comme local technique ou de stockage, l'isolation thermique globale n'est pas une nécessité, et on se satisfera généralement d'une isolation sous le plafond, afin d'augmenter le confort à l'étage supérieur et de diminuer le volume chauffé.

5.7.2 Comment isoler ?

On privilégie généralement l'isolation d'une paroi par l'extérieur, car celle-ci permet de conserver le bénéfice de l'inertie thermique des parois et la stabilité de la température intérieure. Toutefois, dans le cas de nombreux locaux enterrés, cette solution est difficilement envisageable et réalisable, étant donné la situation enterrée ou mitoyenne des caves. En outre, elle ne met pas totalement à l'abri des ponts thermiques au niveau du sol [14].

En pratique, on retiendra généralement cette solution s'il a été décidé de réaliser des fouilles pour placer une membrane contre les murs et ainsi lutter contre les pénétrations d'eau. Dans

la foulée, la pose d'une isolation thermique n'implique qu'un faible surcoût.

Dans le cas d'une occupation partielle des locaux enterrés en logement, l'isolation thermique peut être limitée aux locaux destinés à l'habitat et posée en totalité ou en partie via les locaux non occupés. Toutefois, il faut garder à l'esprit que seuls certains murs peuvent être isolés de la sorte, et que cette mesure va accentuer les risques de ponts thermiques au niveau des zones non isolées.

Dans la majorité des cas, on isolera donc via l'intérieur des locaux considérés, sachant qu'il ne s'agit pas d'une technique optimale, et qu'elle comportera toujours certains risques, quand bien même la mise en œuvre était parfaite.

Parmi les risques majeurs, on peut citer :

- les *condensations derrière l'isolant* : l'air intérieur chaud et humide qui passe entre l'isolation et la maçonnerie entraîne un risque de condensation contre la paroi extérieure, plus froide. Ces condensations favorisent le développement de moisissures dans un espace confiné. Pour limiter ces risques, une étanchéité continue à la vapeur d'eau et à l'air (panneaux d'isolation à jonctions étanches ou pare-vapeur du côté chaud de l'isolant), est nécessaire. Parallèlement à cela, il convient de veiller à maintenir une humidité relative ambiante satisfaisante. Pour plus de détails, nous renvoyons le lecteur à la brochure 'Isolation thermique des murs pleins' [18], à la NIT 178 [11] ou à l'article CSTC 'L'isolation et les parachèvements intérieurs' [16]
- les *ponts thermiques* : toute discontinuité dans l'isolation est source de ponts thermiques et présente donc un risque de condensation (murs de refends, sols, plafonds, canalisations, etc.). En présence d'éléments sensibles (abouts de poutrelles métalliques, châssis en bois, etc.), ces condensations peuvent avoir des conséquences locales importantes et faire croire, à tort, à une déficience de l'étanchéité placée en parallèle. Vu leur complexité, les interventions réalisées via l'intérieur, qu'il s'agisse d'une isolation thermique ou d'interventions destinées à lutter contre l'humidité, réclament des soins particuliers (joints périphériques, joints entre les plaques, passage des canalisations, prises, raccords entre des zones distinctes, ...). Ceux-ci ne préviennent toutefois jamais totalement les problèmes ultérieurs
- la *réduction de l'inertie thermique* : la pose d'une isolation thermique ayant pour objectif de lutter contre la grande inertie des terres environnantes, il est évident que les avantages procurés par cette dernière seront fortement réduits. Seule la masse des murs intérieurs de l'espace occupé permettra encore de profiter d'une inertie thermique relative

- la *diminution de l'espace disponible* : compte tenu de l'espace intérieur souvent réduit, il n'est pas toujours possible de consacrer de la place à une isolation intérieure, en particulier en ce qui concerne la réduction des hauteurs disponibles
- d'*autres contraintes* : parmi les contraintes liées à l'isolation par l'intérieur, on peut également citer la sensibilité des finitions aux chocs et la nécessité du démontage et de l'adaptation d'éléments existants (radiateurs, canalisations, prises, interrupteurs, tablette de fenêtre, etc.).

5.7.3 Choix du type d'isolant

La première caractéristique d'un isolant thermique est de réduire les déperditions thermiques. En d'autres mots, il doit comporter un coefficient de conductivité thermique λ minimal de $< 0,065 \text{ W/mK}$.

Si l'isolant est appliqué sur la face extérieure, (à l'interface entre les maçonneries et les terres) les isolants seront insensibles à l'humidité et auront une résistance mécanique suffisante pour supporter la pression des terres. On utilise souvent du polystyrène extrudé, ou encore du verre cellulaire.

À l'intérieur, le choix tiendra également compte de l'absence de dégagement de composés organiques volatils des matériaux utilisés ou de leur comportement au feu (certains isolants peuvent dégager des fumées toxiques).

D'une manière générale, et compte tenu des nombreuses contraintes citées précédemment, l'utilisation de matériaux potentiellement sensibles à une dégradation biologique n'est pas recommandée, tant pour l'isolant que pour les éventuelles structures de support (lattis).

Notons, à titre d'information, que dans le cas de travaux nécessitant l'obtention d'un permis d'urbanisme, le niveau d'isolation thermique minimum recommandé par les régions en cas de parois verticales en contact avec le sol requiert des épaisseurs d'isolants de 3 à 5 cm.

5.8 AMÉLIORATION DU CONFORT ACOUSTIQUE

Parmi les nombreuses gênes acoustiques rencontrées dans les logements, certaines sont plus spécifiques aux ouvrages enterrés. C'est le cas des bruits et des vibrations :

- à fort contenu en basses fréquences liés au trafic et transmis par le sol
- en provenance des appareils de ventilation
- liés aux installations ou appareils souvent installés au niveau des caves (compteurs et bruits de canalisation, chaufferie, séchoirs, machines à laver, ...)
- en provenance des étages supérieurs ou de bâtiments voisins.

Différents niveaux de prestation seront à atteindre en fonction de la destination future des locaux. Ceux-ci sont définis dans la norme NBN S01-400-1 [5] pour les immeubles d'habitation et dans la norme NBN S 01-400 [4] pour les autres types de bâtiments. Les critères acoustiques repris dans ces documents peuvent être mesurés avant la rénovation pour s'assurer des améliorations acoustiques à prévoir ou contrôlés après les interventions.

Parmi les interventions acoustiques menées lors de la rénovation des caves, on privilégie :

- l'amélioration de l'isolation de la façade, notamment de l'étanchéité à l'air des menuiseries qui, malgré leurs dimensions souvent restreintes au niveau des caves, jouent un rôle important en termes de confort acoustique. Le plus souvent, les châssis existants seront remplacés en veillant à choisir des menuiseries suffisamment massives, stables, résistantes à l'humidité et garnies de vitrages acoustiques et de joints d'étanchéité, comme on le fera pour les usages correspondants en façades
- la protection contre les bruits aériens et les bruits de chocs en provenance de l'étage supérieur, particulièrement en présence de planchers légers. Si la hauteur le permet, la mise en place d'une chape flottante au rez-de-chaussée sera idéalement complétée d'un plafond acoustique en cave
- un choix de matériel de ventilation aussi silencieux que possible, mis en place au moyen de *silentblocs* (bloc antivibratile), si possible dans des locaux annexes.

Une solution radicale aux problèmes des bruits divers consiste à créer un volume habitable totalement isolé de la structure existante, tant au niveau du sol et des plafonds que des murs. Cette solution implique bien évidemment une importante réduction de l'espace habitable, ainsi que l'utilisation de matériaux d'isolation insensibles à l'humidité.

L'amélioration de l'isolation acoustique s'accompagnera souvent de gains thermiques importants, ce qui devrait présenter un avantage non négligeable en cas d'affectation des lieux en zones habitables.

Notons enfin qu'en cas de vibrations liées à un trafic lourd, on évitera d'affecter les locaux concernés en chambre ou en lieu de repos. En effet, si des améliorations sont envisageables, leur mise en place est particulièrement complexe dans les espaces restreints.

5.9 AUTRES INTERVENTIONS

5.9.1 Exiguïté

La question de la hauteur sous le plafond est souvent critique dans le cadre de l'aménagement de caves en logement, notamment

lorsqu'une isolation des sols et plafonds est envisagée.

L'éventualité d'un abaissement du niveau sol est souvent invoquée, mais n'est pas toujours réalisable d'un point de vue économique, ou en raison de problèmes d'accessibilité et/ou de stabilité de l'ensemble.

Il se peut donc qu'en fonction des normes et réglementations en vigueur relatives au respect des hauteurs minimales sous plafond, les utilisations potentielles des lieux soient fortement limitées.

5.9.2 Accessibilité

L'accessibilité directe à un niveau sous-sol est généralement limitée à un accès unique via un escalier souvent exigu. Il s'agit d'un facteur limitatif très important pour les personnes à mobilité réduite (permanente ou temporaire).

D'un point de vue légal, l'accessibilité ne concerne toutefois que les lieux publics, qui n'envisagent qu'exceptionnellement ce type d'affectation des caves.

5.9.3 Sécurité incendie

Les caves sont souvent un espace délicat à traiter du point de vue de la sécurité incendie, notamment en raison de leur configuration intérieure. D'une part, leur manque d'accessibilité restreint fortement les possibilités d'évacuation d'urgence, et d'autre part, l'exiguïté des espaces, les hauteurs sous plafonds, et le manque de ventilation naturelle empêchent une évacuation correcte des fumées. En définitive, la détection incendie sera prioritaire en caves, plus que pour toute autre pièce d'habitation.

Notons que pour des locaux semi-enterrés ('cuisines caves'), la situation devrait être moins critique, ceci grâce à la présence de fenêtres de dimensions plus conséquentes, et souvent d'une issue complémentaire vers un jardin ou une petite cour à l'arrière du bâtiment.

Le gouvernement fédéral a publié des normes de base en matière de prévention à caractère obligatoire contre l'incendie et l'explosion. Ces normes ne s'appliquent toutefois qu'aux nouvelles constructions d'immeubles à appartements, la rénovation ne faisant ainsi plus partie du domaine d'application depuis 2003.

Cependant, toute modification de la destination de certaines pièces d'une habitation touchant au nombre ou la répartition des logements nécessite une demande de permis d'urbanisme, ce qui est le cas lors d'une sub-

division pour la location. La délivrance du permis, dans ce dernier cas, sera soumise à un avis contraignant des services d'incendie. Cet avis, basé sur les réglementations et normes en vigueur, sera circonstancié en fonction de la destination, de la disposition des lieux et des risques particuliers présents (accessibilité, évacuation des fumées, présence d'une chaufferie, compteurs gaz, électricité, stockage de combustible, ...).

5.9.4 Égouttage et sanitaires

L'égouttage des espaces enterrés, notamment l'élimination des eaux usées, peut s'avérer problématique, car le niveau de sol est potentiellement inférieur au niveau des égouts publics. On évitera par conséquent l'implantation de cuisines, salles d'eau et toilettes en caves. Si cela est toutefois nécessaire, il s'agira de prévoir un puisard étanche muni d'une pompe/broyeur, qui renverra les eaux vers l'égout. Ceci entraînera toutefois un surcoût de mise en œuvre et d'utilisation (entretien, pannes, ...).

5.9.5 Éclairage

La situation des caves offre peu de possibilités d'éclairage naturel. L'éclairage artificiel y est donc indispensable de manière quasi permanente, ce qui augmente le coût d'utilisation des lieux, pour un confort toujours inférieur à celui que procure la lumière naturelle.

D'un point de vue légal, une série de normes a été établie dans le but de quantifier les conditions d'éclairement intérieur et le confort visuel. Quand bien même ces normes ne sont d'application que dans le cas particulier du lieu de travail, il peut être intéressant de s'en inspirer pour obtenir une ambiance visuelle confortable. Il en va de même pour l'installation d'un éclairage de secours.

5.9.6 Entretien

Une configuration confinée et enterrée (châssis semi-enterrés, cours anglaises, tuyaux d'évacuation des toitures-terrasses supérieures, ...) favorise l'accumulation d'encrassements et autres débris, qui nécessite une fréquence d'entretien accrue.

6 CONCLUSION

De prime abord, la rénovation des caves ou des locaux semi-enterrés peut sembler simple tout en permettant, dans un bâtiment existant, de récupérer ou de gagner de la place de façon assez facile et rapide. Cela s'applique partiellement à la transformation de ces locaux en vue d'une utilisation sporadique. Les nouvelles affectations des lieux sont plus contraignantes et nécessiteront une approche préalable et des travaux nettement plus complexes requérant du personnel qualifié.

Dans cette optique, il y a donc lieu de s'interroger sur la destination des locaux avant toute intervention. On vérifiera au préalable si les caves ne peuvent pas servir à des affectations peu contraignantes (buanderie, salles de jeu, ...), permettant de libérer d'autres locaux plus 'confortables' aux étages, pour des utilisations directes en logement.

Si ce n'est pas possible, et que les caves doivent être affectées au logement, l'examen préalable des lieux et le diagnostic devront être particulièrement soignés, en tenant également compte des particularités propres aux caves, à savoir :

- les problèmes récurrents d'humidité, voire d'infiltrations
- l'inertie thermique importante des lieux, qui entraîne des risques d'humidité relative élevée et de condensation superficielle en périodes chaudes et humides, des besoins en chauffage quasi permanents afin de mainte-



INFORMATIONS UTILES

Pour de plus amples informations relatives à la législation incendie, nous renvoyons le lecteur à l'adresse suivante : www.normes.be/feu

nir un niveau de confort satisfaisant, et une mise en place souvent délicate de l'isolation thermique

- le renouvellement d'air et son adéquation avec la présence éventuelle d'installations de chauffage et/ou la présence de compteur à gaz
- le confort acoustique délicat en présence de circulation intense et/ou de charroi lourd
- les contraintes de sécurité découlant de l'exiguïté des lieux et de l'accès direct souvent inadapté aux personnes à mobilité réduite (temporaire ou permanente).

Le tableau 3 récapitulatif (voir page 12) résume les principaux problèmes rencontrés lors de la rénovation des caves, les interventions les plus courantes et les éventuelles normes et/ou publications plus complètes du CSTC sur le sujet.

Signalons que les nombreuses remarques et limitations citées dans cet article n'ont pas pour but de décourager les personnes désireuses de rénover des locaux enterrés. Bien au contraire, elles visent à mettre en évidence les précautions à prendre et les interventions à mener pour la réussite de cette opération, afin que les lieux répondent aux souhaits initiaux.

Il convient en effet d'éviter d'investir dans des travaux inadaptés, inefficaces, ou pire, susceptibles d'entraîner de nouveaux problèmes, voire de rendre les lieux inutilisables, insalubres ou dangereux. ■

DIAGNOSTIC DE LA PRÉSENCE DE SELS DANS LES MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Pour mesurer la concentration de sels dans les matériaux de construction, on prélève généralement des échantillons représentatifs que l'on envoie au laboratoire qui en fait l'analyse. Cette méthode est la plus fiable et la plus précise, mais entraîne également des inconvénients considérables : le coût est élevé et il est impossible d'obtenir directement des résultats sur chantier.

L'utilisation de bandelettes test constituent ici une variante simple qualitative (types de sels) et semi-quantitative (idée approximative de la quantité de sel présente).

Ces bandelettes sont conçues pour tester les sels les plus courants, à savoir :

- les sulfates, sels généralement efflorescents
- les nitrates et les chlorures, sels généralement hygroscopiques.

Le plus souvent, un test de surface rapide permet de juger du caractère plus ou moins pathologique de la présence de ces sels. Ce test consiste à humidifier la partie réactive de la bandelette et la surface à contrôler avec de l'eau déminéralisée, et à mettre ensuite la partie réactive en contact avec le support durant quelques secondes, pour ainsi visualiser le changement de couleur de la ou des zones indicatrices.

En pratique, on peut considérer :

- qu'en l'absence quasi-totale de changement de couleur, la quantité de sels est insignifiante (bandelettes supérieures des figures 13 et 14)
- qu'un changement radical de couleur dans les premières secondes (intensité ou nombre important de zones) indique la présence d'une quantité pathologique de sels, et nécessite une intervention correspondante (voir parties inférieures des figures 13 et 14).
- qu'un léger changement de couleur ou d'une zone dans la première minute de mesure, correspond à une quantité de sels relativement faible, et généralement non pathologique (partie centrale des photos des figures 13 et 14)
- qu'entre ces deux extrêmes, l'aspect pathologique ou non de la teneur en sels présente dépendra étroitement des conditions hygrothermiques ambiantes et de la sensibilité potentielle des finitions.

Remarques

Si l'on désire obtenir des valeurs de concentration chiffrées, il est possible de réaliser une dilution (p. ex. 1/10) dans de l'eau déminéralisée, moyennant la pesée précise *in situ* d'une quantité de matériau prélevée.

La mesure de la teneur en sels de cette solution est ensuite multipliée par le facteur de dilution (ici : 10 fois) afin d'obtenir la concentration en sels de l'échantillon. Si l'on se trouve en présence de concentrations supérieures à la sensibilité des bandelettes, une dilution supérieure (p. ex. 1/100) sera réalisée et interprétée en conséquence.



Fig. 13 Constatations sur bandelettes 'sulfates'.



Fig. 14 Constatations sur bandelettes 'nitrates'.

Tableau 3 Tableau récapitulatif des principaux problèmes rencontrés lors de la rénovation des caves.

Problèmes	Éléments à contrôler			Interventions	Normes ou publications CSTC	
Infiltrations d'eau (1)	Nappe phréatique en permanence sous le niveau de la cave	Sol parfaitement drainant	Terrain incliné vers l'extérieur	Finitions intérieures sensibles ou non à l'humidité	Enduit extérieur au ciment + membrane antidiffusion	CSTC-Contact 2/2007
			Terrain horizontal ou incliné vers le bâtiment	Finitions intérieures sensibles à l'humidité	Membrane extérieure étanche empêchant la diffusion de l'humidité	
		Sol entièrement ou partiellement argileux	Terrain incliné vers l'extérieur ou vers le bâtiment	Finitions intérieures non sensibles à l'humidité	Enduit extérieur au ciment + drainage vertical et horizontal	
	Nappe phréatique au-dessus du niveau de la cave, même temporairement. Les affectations des lieux en, logements sont à éviter		Finitions intérieures non-sensibles à l'humidité	Étanchéité par cuvelage intérieur rigide et continu (sol + murs)		
Humidité capillaire (2)	Murs en contact latéral avec les terres			Finitions intérieures non sensibles à l'humidité	Protection externe des terres ou enduit intérieur d'imperméabilisation ou d'assainissement	NIT 210 + CSTC-Contact 2/2007
				Finitions intérieures sensibles à l'humidité	Doublage intérieur insensible à l'humidité et aux sels ou protection extérieure par une membrane anticapillaire	
	Murs en contact non direct avec les terres			Finitions intérieures non sensibles à l'humidité	Enduit intérieur d'imperméabilisation ou d'assainissement	
				Finitions intérieures sensibles à l'humidité	Doublage (p. ex. membrane à excroissances) insensible aux sels	
Sels efflorescents ou hygroscopiques	Contrôle des types de sels (nitrates, chlorures, sulfates) et approche des concentrations au moyen de bandelettes de tests			Finitions intérieures non sensibles à l'humidité	Enduit intérieur d'assainissement	NIT 210
				Finitions intérieures sensibles à l'humidité	Doublage (p. ex. membrane à excroissances) insensible aux sels	–
Ventilation	Affectation future des lieux, densité d'occupation, possibilités de ventilation existantes			Ventilation naturelle ou mécanique à flux simple ou double	NBN D 50-001 + NIT 192 et 203	
Taux d'humidité relatif de l'air	Traitement préalable des causes d'humidité et adaptation de la ventilation en fonction des usages			Déshumidificateurs à ne retenir qu'en tant qu'amélioration temporaire	–	
Isolation thermique	Usage limité au stockage, buanderie, ...			Se limiter à l'isolation sous plafond	CSTC-Contact 4/2008	
	Rénovation des lieux en logement			Si possible via l'extérieur, généralement par l'intérieur, avec des risques de ponts thermiques		
Confort acoustique	Contrôle des sources (trafic, appareils existants, étages supérieurs)			Amélioration selon la source du bruit (le trafic entraîne des difficultés)	NBN S 01-400-1	

(1) Dans ce cas, les finitions intérieures sensibles à l'humidité sont le plus souvent à proscrire.

(2) Dans tous les cas (murs extérieurs et intérieurs), les interventions seront utilement complétées par des injections contre l'humidité ascensionnelle. Suivant les cas, dans le bas ou dans la partie supérieure des murs.



1. Bureau de normalisation
NBN B 61-001 Chaufferies et cheminées. Bruxelles, NBN, 1986.
2. Bureau de normalisation
NBN B 61-002 Chaudières de chauffage central dont la puissance nominale est inférieure à 70 kW. Prescriptions concernant leur espace d'installation, leur amenée d'air et leur évacuation de fumée. Bruxelles, NBN, 2006.
3. Bureau de normalisation
NBN D 50-001 Dispositifs de ventilation dans les bâtiments d'habitation. Bruxelles, NBN, 1991.
4. Bureau de normalisation
NBN S 01-400 Acoustique. Critères de l'isolation acoustique. Bruxelles, NBN, 1977
5. Bureau de normalisation
NBN S 01-400-1 Critères acoustiques pour les immeubles d'habitation. Bruxelles, NBN, 2008.
6. Centre scientifique et technique de la construction
Guide pour la restauration des maçonneries. 1^{ère} partie : stabilité des ouvrages. Bruxelles, CSTC, Monographie n° 20.1, 2002.
7. Centre scientifique et technique de la construction
Guide pour la restauration des maçonneries. 2^e partie : sels et humidité ascensionnelle. Bruxelles, CSTC, Monographie n° 20.2, 2003.
8. Centre scientifique et technique de la construction
La ventilation des habitations. 1^{ère} partie : principes généraux. CSTC, Note d'information technique, n° 192, 1994.
9. Centre scientifique et technique de la construction
La ventilation des habitations. 2^e partie : mise en oeuvre et performances des systèmes de ventilation. CSTC, Note d'information technique, n° 203, 1997.
10. Centre scientifique et technique de la construction
L'humidité dans les constructions : particularités de l'humidité ascensionnelle (remplace la NIT 162). CSTC, Note d'information technique, n° 210, 1998.
11. Centre scientifique et technique de la construction
L'isolation thermique des façades. CSTC, Note d'information technique, n° 178, 1989.
12. Centre scientifique et technique de la construction
Problèmes d'humidité dans les bâtiments. Causes des dégradations. Ponts thermiques. Climat intérieur. Données pour la conception et l'exécution des bâtiments. Conditions d'occupation des bâtiments. CSTC, Note d'information technique, n° 153, 1984.
13. Delmotte C.
Réglementation sur la performance énergétique des bâtiments : du nouveau à Bruxelles et en Wallonie. Bruxelles, CSTC, Les Dossiers du CSTC, Cahier n° 1, 4/2008.
14. Delmotte C. et Vandooren O.
Pied de mur : un noeud à isoler. Bruxelles, CSTC, CSTC-Contact n° 9, n° 1/2006
15. Eeckhout S.
Condensation superficielle. Bruxelles, CSTC, Infofiche n° 5, 2004.
16. Montariol P. et Eeckhout S.
L'isolation et les parachevements intérieurs. Bruxelles, CSTC, Les Dossiers du CSTC, Cahier n° 14, n° 1/2006.
17. Montariol P., Van de Sande W. et Parmentier B.
Étanchéité des constructions enterrées en béton armé. Bruxelles, CSTC, CSTC-Contact n° 14, n° 2/2007.
18. Wagneur M.
Brochure – Isolation thermique des murs pleins. Direction générale des technologies de la recherche et de l'énergie, Namur, 1998.
19. Wijnants J.
Des constructions enterrées isolées et étanches. Bruxelles, CSTC, CSTC-Contact n° 9, n° 1/2006.