



Cavités 37

NUMÉRO 9

SYNDICAT INTERCOMMUNAL POUR LA SURVEILLANCE DES CAVITÉS SOUTERRAINES ET DES MASSES ROCHEUSES INSTABLES D'INDRE-ET-LOIRE

L'aménagement de l'habitat troglodytique

L'aménagement d'un habitat troglodytique doit intégrer, d'une part les travaux confortatifs nécessaires à la sécurisation des lieux, et d'autre part la maîtrise d'éléments propres à l'environnement de la cave pour une occupation confortable du site. La gestion de l'humidité, de la lumière, et le choix des matériaux adaptés, sont souvent des problèmes délicats à traiter pour des sites qui disposent chacun de leurs particularités. Le bon sens et "la patience" sont souvent le gage de la réussite, pour comprendre, maîtriser et gérer un habitat en cave.

L'humidité et son traitement



Aménagement moderne de l'extérieur d'un troglodyte

L'humidité se révèle souvent une contrainte délicate à gérer, pour une occupation confortable d'un habitat troglodytique. Les caves de nos régions sont particulière-

ment sensibles à ce phénomène, en raison des particularités du tuffeau. Le tuffeau est en effet, une roche poreuse à 40 % voire 50 %, qui dispose d'une grande capacité d'absorption de l'eau, notamment lorsque l'humidité ambiante atteint ou dépasse 90 %. Cette roche dispose d'un bon pouvoir de transfert capillaire (conductivité hydraulique de 3,2 mm/h en moyenne), qui conduit à des échanges permanents avec le milieu ambiant. Ces échanges entraînent des

périodes de saturation en eau du matériau, alternant avec des périodes de décharge et de "séchage". Ces processus ont un impact direct sur l'état de la roche et sa dégradation progressive, mais également sur la stabilité des caves.

Les effets de l'eau

Parmi les effets de l'eau sur des caves creusées dans le tuffeau, nous pouvons relever :

- l'augmentation de la charge pondérale de la roche en cas de

saturation en eau : cet accroissement peut atteindre 30 %, et conduit à une surcharge en voûte, sur les piliers et les parois.

- la baisse des caractéristiques mécaniques du tuffeau, notamment de sa résistance à l'écrasement qui peut diminuer de 40 %.
- l'apparition de contraintes internes dans le matériau, liées au gonflement de la fraction argileuse de la roche ou à des variations de pressions capillaires.

- la dégradation progressive de la roche, par action de sels minéraux véhiculés ou par la dissolution de la calcite. ▼



L'origine de l'eau

Dans un contexte d'habitat troglodytique, l'eau peut avoir trois origines :

- les infiltrations, qui sont alimentées par le ruissellement sur les terrains de surface et par les circulations d'eau au sein des sols superficiels. Ces eaux cheminent vers les caves grâce aux fracturations du massif rocheux, aux rétentions que forment les ouvrages maçonnés non drainés en tête de coteau, aux racines de la végétation ou tout simplement à la capacité de transfert de l'eau dans le tuffeau. ▼



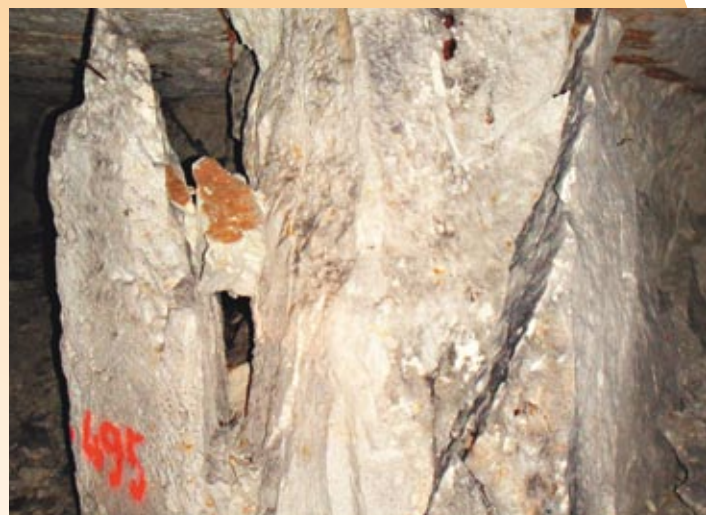
- les remontées capillaires, en raison de la présence de nappes phréatiques dans l'environnement de la cave et de la capacité de transfert de l'eau dans le tuffeau.
- l'humidité de l'air, en raison de la capacité d'absorption de l'eau par le tuffeau. L'air peut en effet contenir des quantités d'eau importantes selon sa température : à 10°C, 7 g d'eau par kilo d'air sec, à 20°C, 14.7 g d'eau par kilo d'air sec.

Combattre l'humidité

Pour combattre l'humidité d'une cave, il convient donc d'identifier l'origine de l'apport en eau, et de porter son action, soit sur l'environnement de la cave, soit au niveau de la cave. Il n'existe cependant pas de technique type, car chaque cave dispose d'un contexte particulier.

Des principes généraux peuvent toutefois être avancés, à titre d'exemple.

- Contre les infiltrations, et à défaut de pouvoir maîtriser les aménagements, l'urbanisation ou les modes de culture en amont, il convient de maîtriser les apports à l'aplomb du troglodyte :
 - maîtriser la végétation avec des essences adaptées (racines traçantes).
 - drainer les maçonneries de front de coteau et/ou éviter les effets d'écrans imperméables de type joints ou enduits au ciment ou à la chaux hydraulique.
 - capter les eaux en provenance de l'amont, par fossé ou tranchée drainante.
 - imperméabiliser ponctuellement l'aplomb du troglodyte.



L'augmentation de la charge pondérale de la roche en cas de saturation en eau conduit à une surcharge en voûte, sur les piliers et les parois.

- Contre les remontées capillaires :
 - éliminer l'effet d'écran imperméable d'une dalle béton au sol, en supprimant une bordure périphérique de 15 à 20 cm. Cette disposition évitera la remontée d'humidité dans les parois. L'espace peut rester libre, être drainé, ou bénéficier d'un bouchage à la chaux aérienne.
 - en cas de création d'un sol, mettre en œuvre des éléments adaptés comme la chaux aérienne, un éventuel hérisonnage (installation d'une couche de matériaux drainants avant de couler une dalle), un drainage ou un chauffage basse température.
- Contre l'humidité de l'air : l'eau peut provenir de la masse rocheuse, mais également des structures d'aménagement intérieur (cuisine, salle d'eau, ...). Il convient de privilégier le renouvellement de l'air, par un système de ventilation adapté, soit par aération régulière, soit par ventilation naturelle, soit par ventilation mécanisée. L'équilibre est toutefois délicat à trouver, car l'apport d'air sec

en été favorise "l'appel" d'humidité en provenance de la roche. Dans ce cadre, la mise en service d'un déshumidificateur doit s'effectuer avec modération et il est conseillé d'associer son déclenchement à une sonde hygrométrique (hygrostat), afin d'avoir un fonctionnement régulier conservant un taux d'humidité supérieur à 50 - 60 %, ceci pour éviter cet appel d'humidité supplémentaire, mais également pour la bonne conservation des objets ou le confort de l'organisme humain.

Le traitement de l'humidité en cave est souvent un problème complexe et délicat à régler, car chaque site est particulier. Si des règles générales doivent être respectées, le confort souhaité est souvent obtenu progressivement.

La constance des conditions (chauffage, aération...) est souvent le meilleur gage de réussite.

Christophe Léotot,
Docteur ès géologie

L'emploi des matériaux en caves et habitats troglodytiques

Dans le cadre de la réhabilitation et de l'entretien des habitats creusés ou autres caves, le choix des matériaux est primordial tant pour garantir la sécurité du site que pour gérer l'humidité. Il faut distinguer :

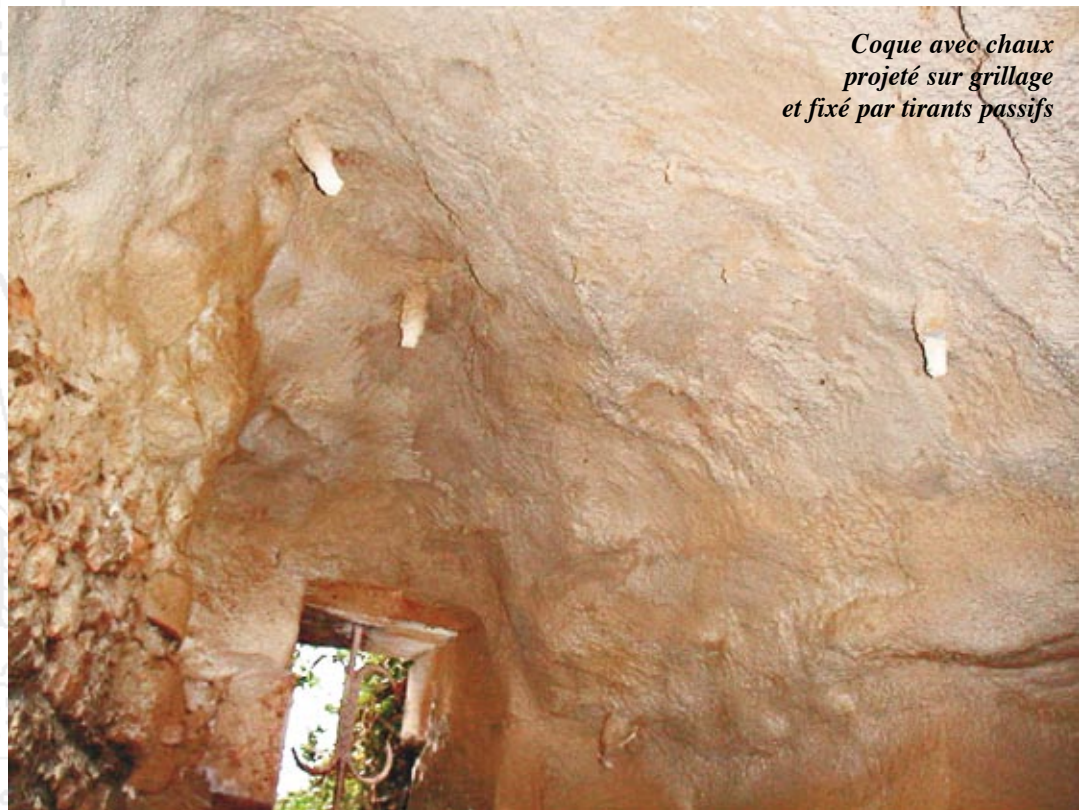
- les ouvrages de confortement, tels que piliers, linteaux, portiques. Dans ce cas, et dans ce cas seulement, l'emploi de mortier de ciment ou de chaux hydraulique est adapté : leurs résistances mécaniques sont bonnes, et ils n'attaquent pas les tiges ferrillées qui peuvent armer les maçonneries. Des dalles en béton de ciment peuvent également être coulées au sol à condition qu'elles s'arrêtent à une quinzaine de centimètres des parois des caves.



Longrine béton armé autoportée renforçant la voûte



Espace libre entre paroi rocheuse et dalle béton



Coque avec chaux projeté sur grillage et fixé par tirants passifs

- les enduits (y compris les coques qui peuvent renforcer les voûtes), la pose ou le rejointoyage des murs de façade ou de soutènement. Seule peut être utilisée la chaux aérienne, dite aussi chaux grasse ou CAEB (chaux aérienne éteinte pour le bâtiment), ou, lorsque la roche est particulièrement humide, une chaux aérienne et hydraulique. Ces chaux contiennent peu d'argiles et, comme leurs noms l'indiquent, font leur prise à l'air (gaz carbonique).

Ces chaux naturelles sont imperméables à l'eau mais permettent toutefois les échanges gazeux. Elles participent à la régulation hygrométrique, à l'inverse des ciments hydrauliques qui sont imperméables à l'air, confinent l'humidité et provoquent des poussées hydrostatiques pouvant conduire à terme à la fissuration des enduits, voire à la ruine du

site. Dans la mesure où les dosages (environ 3 volumes de sable pour un volume de chaux) et les temps de prise sont respectés, les mortiers des chaux aériennes présentent une résistance remarquable qui a permis à de nombreux édifices comme le Pont du Gard ou le Panthéon de Rome (plus grande coupole au monde jamais égalée) de traverser deux millénaires. Enfin, associée avec du sable de Loire ou d'autres carrières locales, la chaux aérienne fournit un mortier qui se marie très bien avec la couleur de la pierre, à la différence des couleurs bleutées et froides des autres produits.

En dehors des maçonneries, la roche brute peut être nettoyée par sablage ou brossage. Afin d'assainir les caves et de limiter les chutes de poussières qui résultent de l'altération du tuffeau, les parois et les voûtes

pourront ensuite soit être badigeonnées de lait de chaux, soit pulvérisées de lait de chaux très dilué ou d'eau de javel.

En conclusion, on choisira le ciment et le béton armé pour tous les éléments de confortement ponctuels nécessitant une forte résistance mécanique, et exclusivement la chaux aérienne pour les enduits, rejointoyage et traitement de surface.

*Patrice Arnault,
Ingénieur géologue*



Exemple de ce qu'il ne faut surtout pas faire

Le chauffage et la ventilation des caves troglodytes

Les caves troglodytiques peuvent être réhabilitées dans des conditions de confort dignes de notre époque, sous réserve de traiter la question de la ventilation et du chauffage d'une manière adaptée.

Aujourd'hui où la Haute Qualité Environnementale est une volonté permanente, le troglodytisme peut proposer une réponse

de grande qualité : les caves troglodytes sont très bien isolées, naturellement. Les températures intérieures varient très peu entre l'hiver et l'été (6 à 8 ° d'amplitudes maxi). Cependant, les taux d'humidité de l'air et des parois ne sont pas acceptables pour une vie confortable. Au vu des expériences et des projets déjà réalisés, il est donc nécessaire de traiter la question du chauffage et

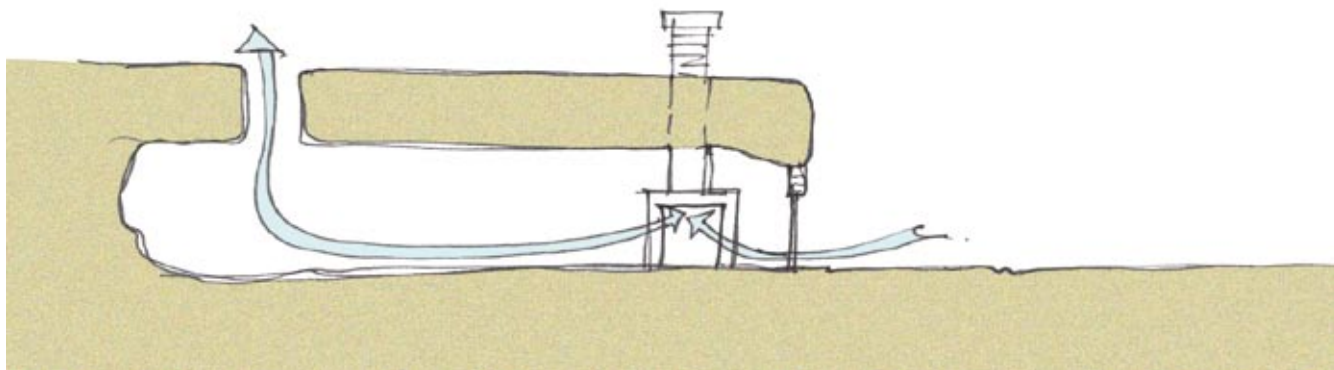
de la ventilation dans une même réflexion. L'important dans le traitement thermique est la ventilation permanente des caves. Quand ce problème est traité, l'apport des calories nécessaires à un bon confort est aisé.

Une des solutions proposées est la mise en place d'arrivées d'air frais jusque dans les fonds de caves. Ces ventilations sont créées par la pose de tuyaux dans

le sol jusqu'en fond de cave ; un chauffage à très faible température par le sol est alors installé pour permettre de gagner les quelques degrés nécessaires et pour réchauffer l'air impulsé par les bouches de ventilation.

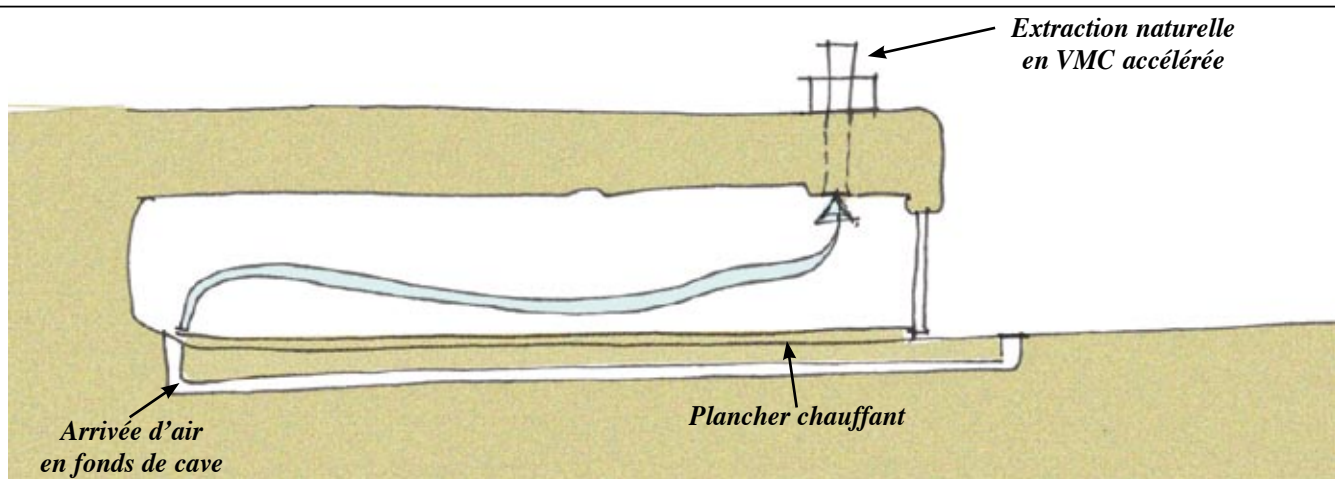
Une extraction naturelle forcée ou une ventilation mécanique est installée au dessus de la façade avant pour permettre une circulation d'air permanente.

Système traditionnel de ventilation



Problème : il nécessite une amenée d'air par les portes en façade et ne traite pas la température et l'hygrométrie de l'air ambiant

Système proposé



Toujours basé sur la ventilation, il force l'extraction et permet de traiter l'air ambiant. Cette solution reprend le système ancestral des ventilations naturelles des troglodytes, où le creusement de puits et la réalisation de cheminées dans la pièce permettaient de créer une ventilation permanente.

Dans tous les cas, il n'est pas utile d'envisager la mise en place de déshumidificateurs, leur fonctionnement étant onéreux et inefficace. De plus, l'hygrométrie et la température doivent être maîtrisées : les parois ne doivent pas être trop asséchées, afin de garder la cohésion initiale de la pierre tendre.

Bruno Duquoc, Architecte

Problématique de conception architecturale & la lumière

Face à un projet de réhabilitation d'un habitat troglodytique, un des premiers exercices consiste à réfléchir sur la lumière naturelle, le chauffage et la ventilation.

Obscurité/lumière horizon

Un des problèmes auxquels nous sommes confrontés est celui de la lumière car il induit tout un imaginaire mystérieux, voire terrifiant. Ce problème est avant tout culturel. En effet, pour beaucoup de gens, "habiter une caverne", n'est pas envisageable. La première crainte vient de l'obscurité, puis vient celle de l'humidité et enfin celle de la stabilité. Il y a là tout un imaginaire qui ressurgit dans les pensées : la cave est obscure, elle fait peur, engendre l'idée de la mort, de l'enfermement, de l'enterrément. Pour beaucoup, elle est incompatible avec l'idée de vie harmonieuse, équilibrée, au sens le plus large du terme. Il faut savoir qu'une cave peut être sombre pour plusieurs raisons : les ouvertures sont étroites et/ou la cour est profonde et de petite dimension.

Pourtant, contrairement aux idées reçues, une cave n'est pas forcément sombre, elle peut même être beaucoup plus lumineuse qu'une maison "en surface", qui ne posséderait que des ouvertures sur une seule façade. Une cavité possédant par exemple, de grandes ouvertures en façade, donnant sur une grande cour, avec un creusement formant une fenêtre zénithale (au plafond), avec des lumières traversantes venant de plusieurs cours, une habitation troglodytique peut

être bien plus lumineuse qu'une maison construite.

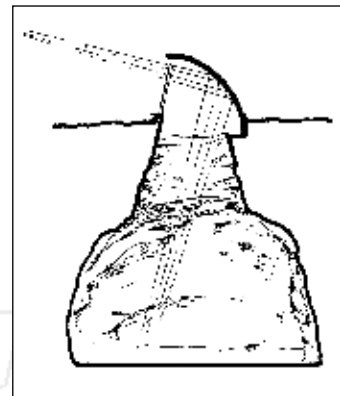
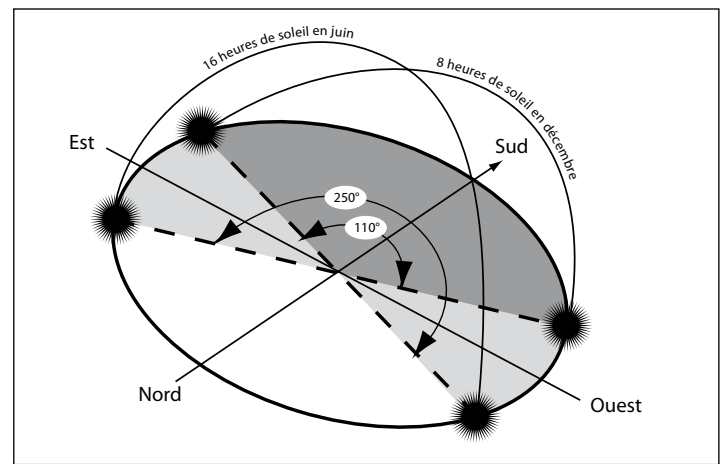
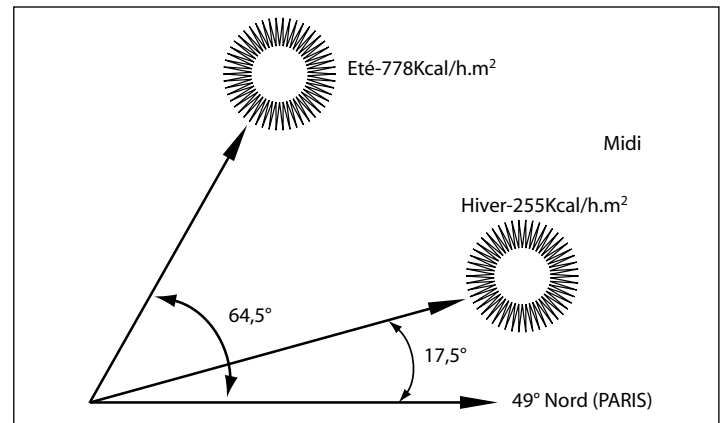
Il est certain que l'orientation sud ou nord va également jouer. Nous ne prétendons pas dire qu'une cave peut être plus lumineuse qu'un cube de verre, mais rares sont les maisons ainsi construites. L'homme a de toute façon besoin de parois opaques pour diverses raisons (intimité, protection, rangements...)

Au niveau des lumières zénithales (ouverture au niveau de la voûte rocheuse de la cave, lorsque celle-ci n'est pas trop épaisse), nous avons travaillé sur une typologie de puits de lumière, sur un système qui puisse fonctionner à plusieurs échelles (petites ouvertures dans la roche, d'un mètre de diamètre, ou plus grandes fonctionnant comme des patios, des cours intérieures).

Le principe de ces ouvertures consiste à capter le maximum de lumière en fonction de la trajectoire du soleil dans la journée et dans l'année (été, hiver).

Elles sont composées de deux parties : l'une en verre orientée systématiquement au Sud, l'autre formant un talus de soutènement. Un mécanisme de jeux de miroirs amovibles automatiques (à régler en fonction des saisons) sera installé derrière la verrière afin de faire pénétrer un maximum de lumière au fond des cavités. Le déblai du creusement sera directement utilisé pour confectionner le talus, permettant ainsi une bonne insertion dans le site.

Le canon de lumière, selon sa taille, pourra être utilisé pour habiter l'espace géologique, formant ainsi une pièce en surface



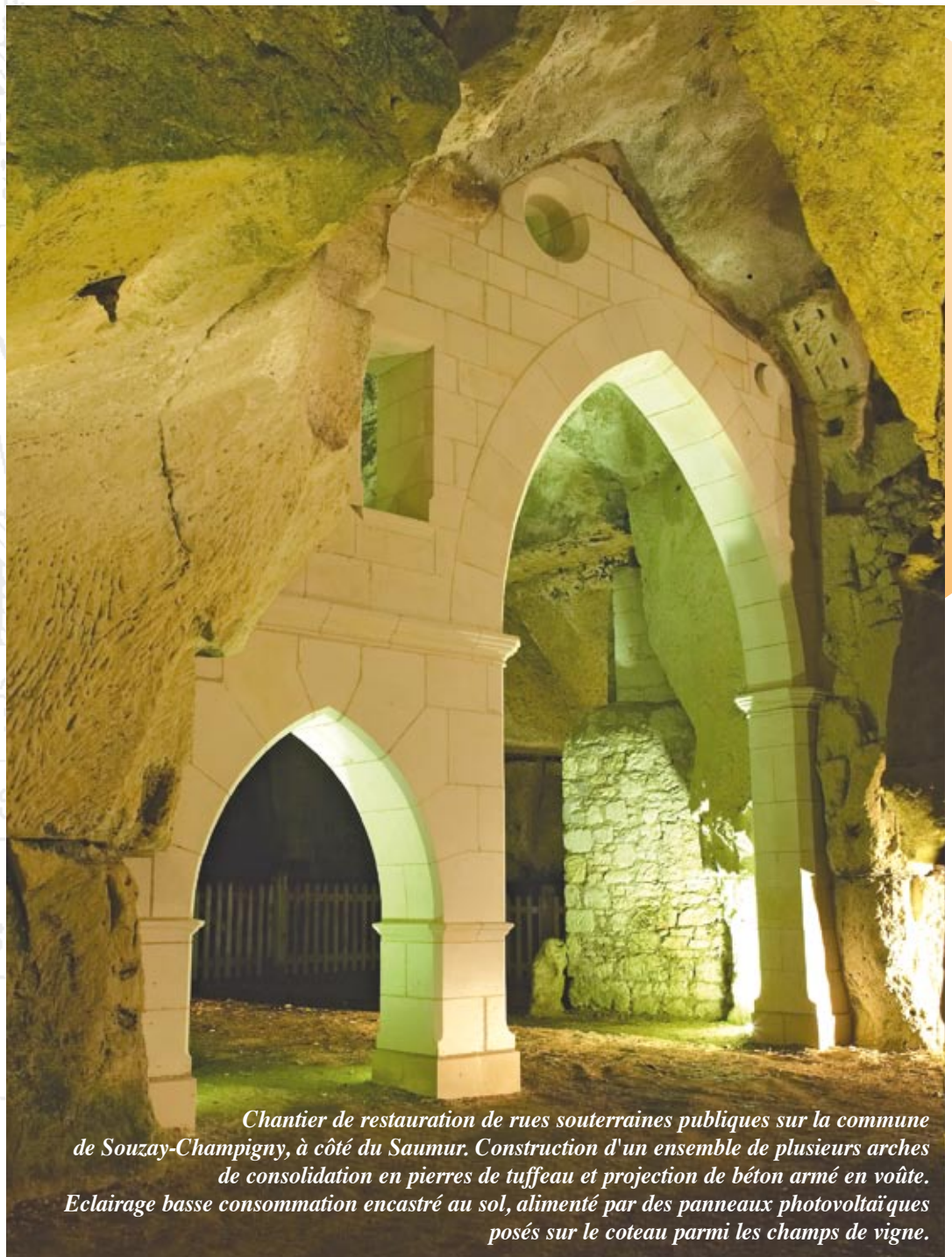
du soleil de la journée, avec l'installation d'éclairages électriques fixés au niveau haut des puits de lumière et qui se refléteront selon le même principe que celui cité plus haut.

La ligne d'horizon

L'habitat troglodytique a le gros avantage de posséder un toit terrasse naturel que l'on peut bien entendu percer pour y aménager puits de lumière, patios, avec un accès menant sur le niveau du dessus. Nous venons de voir que le problème de la lumière peut tout à fait se résoudre. Il y a maintenant celui de la ligne d'horizon qui est absente (pour le troglodytisme de plaine uniquement). Il est vrai que certaines personnes peuvent être incommodées par la présence physique de la masse rocheuse au dessus de leur tête : crainte d'être enterré,

“enroché”, notions proches, dans notre culture occidentale de la mort. Nous pensons qu’il est très important de ne pas hésiter à “sortir de terre”; que ce soit par un escalier extérieur partant de la cour accédant à une terrasse haute dans le jardin ou bien en perçant directement la voûte de la roche. L’habitant, le troglodyte est toujours amené à “aller voir l’horizon”. On peut construire en surface un prolongement de la caverne, quitte à déplaire aux puristes qui veulent à tout prix conserver la cavité intacte sans jamais oser la toucher, la transpercer, la faire respirer. Toutes ces cavités dont nous parlons ici ont été à une certaine époque creusées par la main de l’homme, pourquoi devrait-on figer là leur histoire? Nous sommes convaincus que cette politique du trop grand respect des cavités, dans le sens protection à l’ancienne, risque de condamner les habitations troglodytiques à devenir de vastes musées sans vie. La modernité, la lumière, l’air, le XXI^e siècle doivent pénétrer ces lieux et les rendre vivants pour qu’ils continuent à exister en tant qu’architecture et lieu de vie.

*Atelier d’architecture
Bruneteaux et Dahhan*



Chantier de restauration de rues souterraines publiques sur la commune de Souzay-Champigny, à côté du Saumur. Construction d’un ensemble de plusieurs arches de consolidation en pierres de tuffeau et projection de béton armé en voûte. Eclairage basse consommation encastré au sol, alimenté par des panneaux photovoltaïques posés sur le coteau parmi les champs de vigne.

Édition avril 2008,
tirée à 10 000 exemplaires.

Directrice de publication :

Guy Nogier

Rédacteurs :

Anne Bruneteaux

Patrice Arnault

Bruno Duquoc

Christophe Léotot

Mise en pages :

Projectil

Impression :

Lagoutte Imprimeur

Cavités 37

En 2007, le Syndicat a réalisé des expertises géologiques sur **49 communes** :

- **120 visites** diagnostics de stabilité,
- **227 dossiers** d’assistance technique aux communes.

Le topographe du Syndicat a relevé **127 caves** et **7 carrières** pour un total de **11,3 ha**.

En 2006, le Syndicat a réalisé des expertises géologiques sur **53 communes** :

- **120 visites** diagnostics de stabilité,
- **143 dossiers** d’assistance technique aux communes.

Le topographe du Syndicat a relevé **438 caves** et **2 carrières** pour un total de **34,6 ha**.