

RETOUR D'EXPERIENCE SUR LE CONFORTEMENT DES COTEAUX SOUS-CAVES DE TOURAINE

FEEDBACK ON THE REINFORCEMENT OF CAVES IN TOURAINE

Alexandre PHILIPPE ¹

¹ Syndicat Intercommunal Cavités 37 – Tours (37) – France

RESUME – Les coteaux sous-cavés de Touraine sont assujettis à des phénomènes d'altération susceptibles de générer des mouvements de terrain. La maîtrise de ces risques peut passer par des travaux de consolidation basés sur les techniques de boulonnage. Les sinistres, sur des sites déjà renforcés montrent toutefois l'importance des phases de conception et de contrôle d'exécution en phase travaux, même sur des sites de faible envergure.

ABSTRACT – Touraine caves are subject to alteration phenomena may generate landslides or rock fall. Controlling these risks can go through consolidation working based on bolting technology. However, accidents on previously reinforced sites show that phases of design and control are essential.

1. Introduction

La Touraine constitue l'un des territoires les plus sous-cavés de France (Tritsch et al. 2002). Les développements souterrains ont été aussi bien creusés pour l'exploitation de la pierre de tuffeau que pour de l'habitation. Cette région présente, en effet, avec le Saumurois, l'une des plus fortes concentrations d'habitations troglodytiques de l'hexagone (Bertholon et Huet, 2005).

Après un âge d'or au XVII^e et XVIII^e siècle, l'habitat creusé a progressivement été délaissé au profit d'habitations plus confortables. Ce désamour, et le manque d'entretien qu'il a entraîné, ont favorisé l'abandon et la dégradation des coteaux sous-cavés de Touraine. Aujourd'hui altérés à des niveaux divers, les falaises rocheuses et cavités associées sont susceptibles de générer des mouvements de terrains dans des secteurs localement à forts enjeux.

Dans un souci de gestion et de prévention des risques à l'échelle départementale, le Syndicat Intercommunal Cavités 37 a été créé en 1985. Sous son impulsion et celles des acteurs locaux publics et privés, un regain d'intérêt croissant pour les sites sous-cavés s'est propagé sur le territoire. Au préalable à une exploitation commerciale ou touristique, ou avant réaménagement d'une habitation troglodytique, les développements souterrains font, en cas de besoin, l'objet de travaux de consolidation. Ces derniers reposent essentiellement sur des ouvrages de soutènement en béton armé ou sur les technologies de boulonnage décrites notamment par Roux et al. (2014).

Dans le cadre de ses activités de conseil, auprès de ses communes adhérentes, le Syndicat Intercommunal Cavités 37 a toutefois pu observer que la présence d'ouvrages de confortement ne garantissait pas pour autant de manière systématique la sécurité des sites renforcés.

Deux sites impactés par des mouvements de terrain, malgré des travaux de stabilisation préventifs, seront présentés. Ces deux cas, parmi d'autres, permettront de mettre en exergue les anomalies qui peuvent se produire dans la chaîne de travaux depuis la conception à l'exécution.

2. Effondrement d'un ciel de carrière dans une galerie renforcée par clouage

2.1. Une carrière d'extraction visée par un projet de revalorisation commerciale

Le premier site analysé est positionné en rive droite d'une vallée de la commune de SAINT EPAIN. Il s'agit d'une petite carrière d'extraction de tuffeau creusée en plusieurs phases. Lors de la première phase d'exploitation, le développement a été creusé en piliers tournés avec des piliers irréguliers (cf. Figure 1). Dans la deuxième phase d'exploitation, la taille de la carrière a été rationalisée avec des piliers réguliers et des galeries découpées à la scie à chaîne.



Figure 1 : détail d'une galerie de la carrière souterraine

D'une manière générale, la portée de la voûte avoisine 4.50 m. La hauteur sous voûte est, elle, variable, fluctuant entre 3.00 et 5.00 m.

Dans le cadre de l'extraction du tuffeau, le toit de la carrière a été renforcé ponctuellement par des boulons fibre de verre scellés à la résine type CELTITE. Ce travail de renforcement préventif n'a pas été mené de manière systématique, mais plutôt sporadiquement au gré des fragilités rencontrées.

Inexploitée depuis plusieurs années, cette carrière souterraine a fait l'objet d'un projet de revalorisation en site de stockage. Le Syndicat Intercommunal a ainsi été sollicité en 2013 pour vérifier la sécurité du site souterrain.

2.2. Une carrière souterraine creusée dans les unités du Turonien moyen

La carrière été creusée dans les unités du Turonien moyen (cf. Figure 2). Ils sont ici représentés par un tuffeau beige blanc micacé, peu chargé en silex et autres éléments fossilifères. La roche est ici agencée en bancs d'épaisseur pluri métrique.

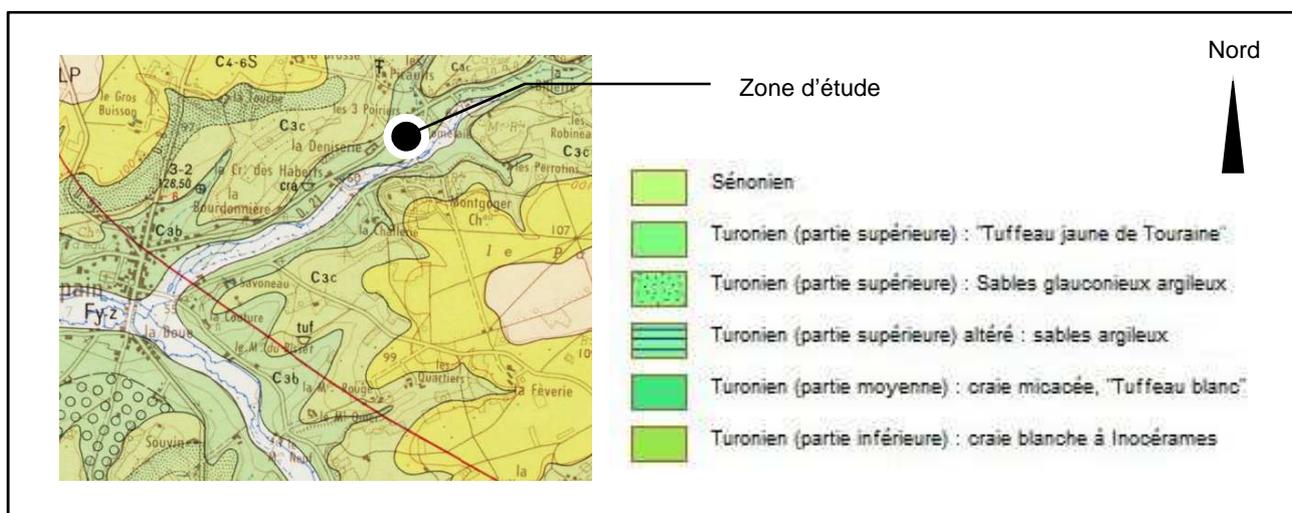


Figure 2 : extrait de la carte géologique de SAINTE MAURE DE TOURAINE du BRGM

2.3. Un ciel de galerie effondré malgré des travaux de boulonnage

Dans l'une des galeries terminales, le ciel de la carrière s'est effondré sur une surface de 25 m² et sur une épaisseur avoisinant 1.80 m. La zone impactée est positionnée au carrefour entre la galerie principale et une galerie secondaire. Dans sa chute, la masse de roche qui s'est détachée du toit de la carrière s'est disloquée en plusieurs blocs. L'évènement s'est ici produit dans un secteur où la voûte avait été renforcée préventivement par une campagne de boulons (cf. Figure 3). L'effondrement met toutefois en lumière d'une part un défaut de conception, et d'autre part un défaut d'exécution.

En ce qui concerne la conception du schéma de boulonnage adopté, il faut s'interroger en premier lieu sur la longueur des boulons. La masse effondrée présente ici une hauteur de l'ordre de 1.80 m à 2.00 m ce qui correspond à l'épaisseur du banc de tuffeau présent au toit de la carrière souterraine dans ce secteur. Or les clous ne présentent qu'une longueur de 2.00 à 2.50 m, ce qui est insuffisant pour garantir une reprise pérenne des efforts de traction, efforts induits par la rupture de l'ensemble de l'horizon rocheux. En deuxième lieu, l'orientation générale des boulons semble peu opportune puisque certains des éléments, se dirigent vers l'intérieur de la masse effondrée. En dernier lieu, il faut noter l'inadéquation de la technique de consolidation adoptée au regard du volume de roche instable au toit de la galerie.

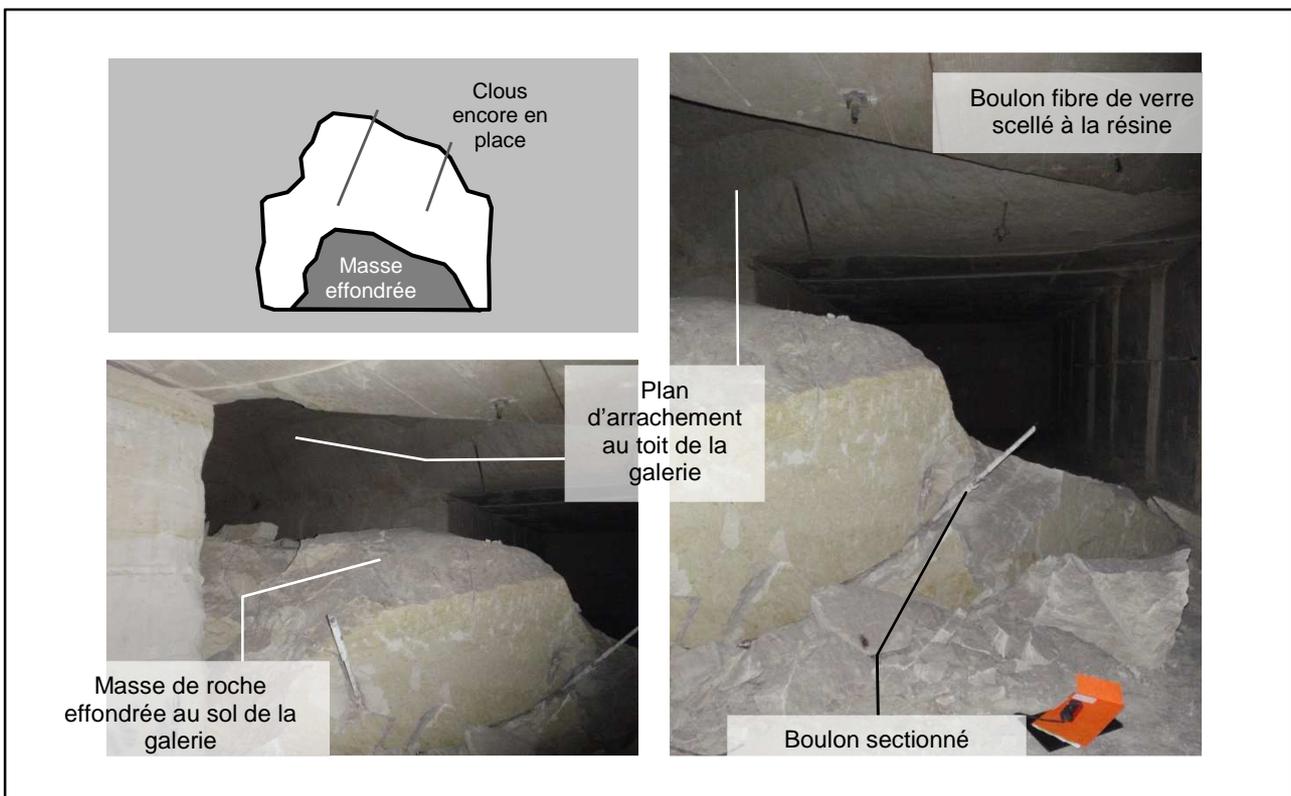


Figure 3 : effondrement du ciel de galerie renforcé par boulons fibre de verre scellés à la résine

Pour ce qui est des problèmes d'exécution, l'évènement les met clairement en exergue (cf. Figure 4). La masse rocheuse s'est effondrée conduisant au déchaussement des clous en fibre de verre scellés à la résine. Certains clous sont encore en place. Ils montrent une absence de scellement continu préjudiciable. Sur l'ensemble des clous présents dans ce secteur, les armatures ne sont scellées au maximum que sur 50% de leur longueur.

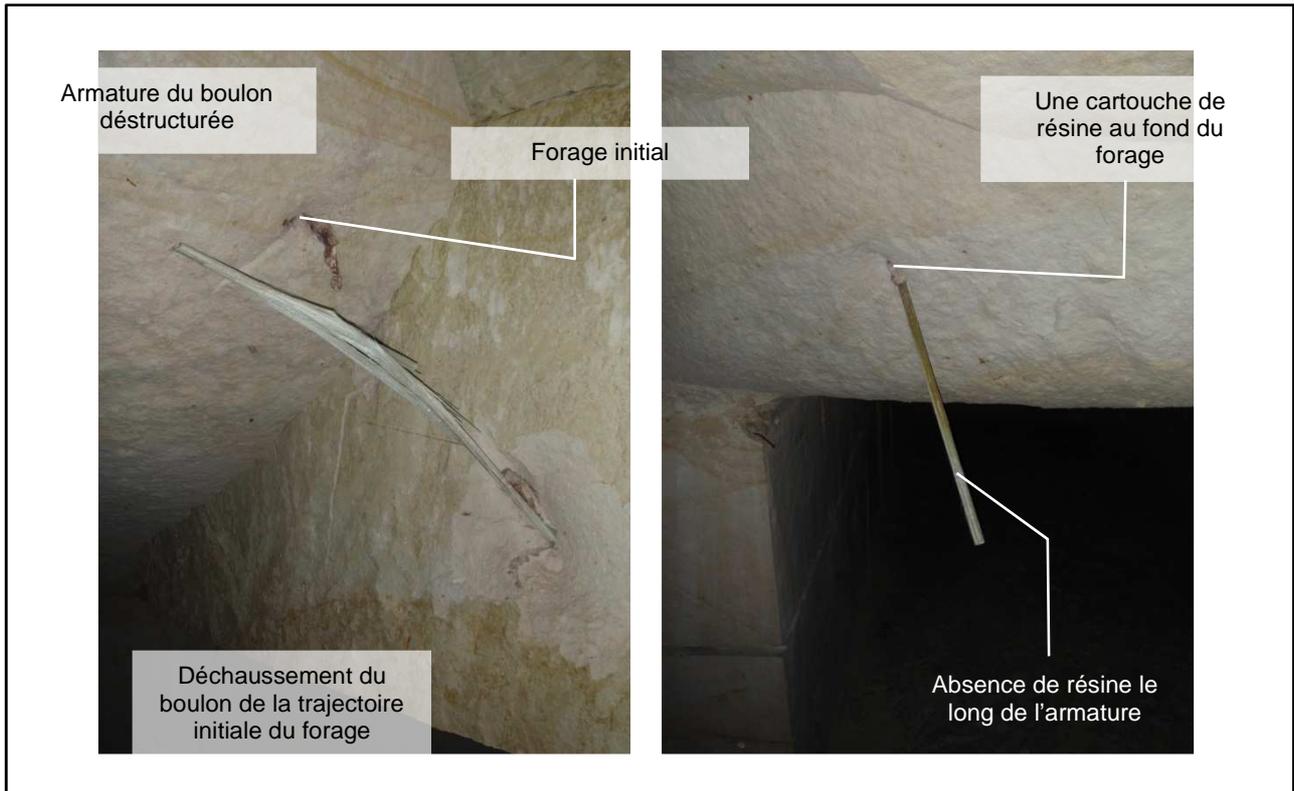


Figure 4 : exemples d'anomalies d'exécution observées sur des boulons

Sans de plus amples informations, l'objectif de stabilité initial du schéma de consolidation reste inconnu. En phase d'exploitation, le schéma de boulonnage adopté n'a, en l'espèce, vocation qu'à ne stabiliser provisoirement la galerie. Toujours est-il que l'exécution des boulons est ici défailante. Des anomalies similaires ont été rencontrées par le Syndicat Intercommunal Cavités 37 lors de diagnostic de coteaux sous-cavés.

3. Eboulement d'un front de coteau sous-cavé renforcé préventivement

3.1. Un sentier de randonnée cheminant à flanc de coteau

Le deuxième site étudié est localisé au niveau du coteau qui borde en rive gauche la vallée de la Loire à l'amont du centre-ville de la commune de MONTLOUIS SUR LOIRE. Le front rocheux s'agence en une succession de ressauts et de terrasses, et s'oriente selon un axe général Est-Ouest.

En partie basse, il existe un ressaut inférieur d'une vingtaine de mètres de hauteur qui borde une propriété privée dans sa partie sud. La tête de ce ressaut inférieur est circulée par un chemin de randonnée positionné en pied du ressaut supérieur du coteau, d'une petite dizaine de mètres de hauteur.

En pied du coteau, la propriété privée donne accès à trois cavités souterraines exploitées en tant que garage, cave à vin ou pour du stockage (cf. Figure 5). Présentant des longueurs variant de 5.00 à 15.00 m, ces développements présentent une portée de la voûte avoisinant 4.00 m.

3.2. Un front de coteau caractéristique de la Touraine

Dans l'environnement de la zone d'étude, le coteau s'élève dans les terrains détritiques du Turonien Supérieur. Le massif rocheux ne présente pas ici de caractéristiques lithologiques homogènes. Il se caractérise par une alternance de niveaux de craie et de calcaire beige gris à beige jaune. D'un horizon à l'autre, le caractère sableux est plus ou moins développé. L'épaisseur des bancs est pluri décimétrique à métrique.

Les bancs de craie les plus sableux présentent à l'affleurement une friabilité plus importante. A l'inverse, les niveaux de calcaire gréseux, moins sensibles à l'érosion, tendent à former des surplombs. En tête de coteau, le massif rocheux est surmonté de terrains d'altération.

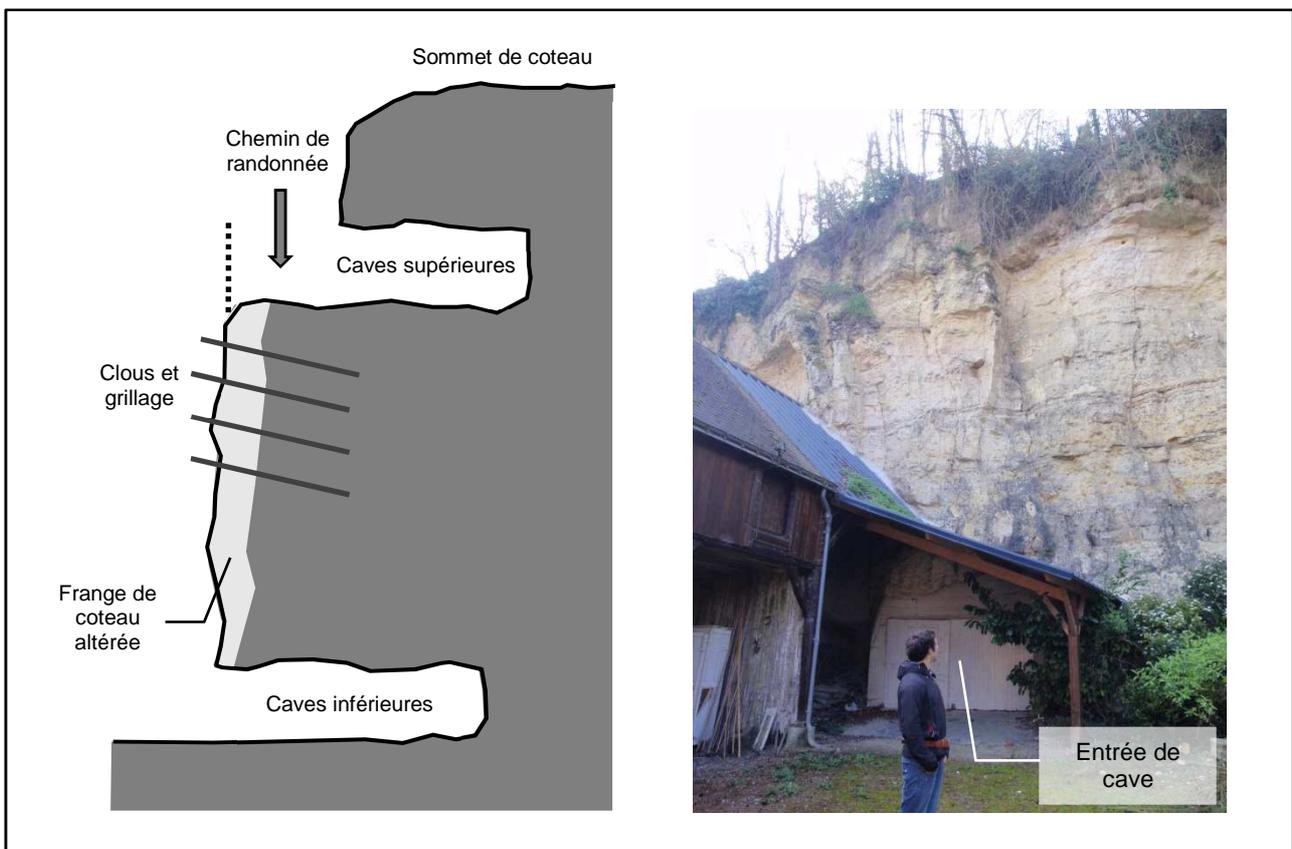


Figure 5 : coteau caractéristique des terrains détritiques de Touraine

D'un point de vue tectonique, le coteau nord de MONTLOUIS SUR LOIRE est recoupé par des fractures orientées N120°E qui correspondent à la fracturation sud armoricaine, des fractures N200°E dont l'origine est à relier avec la tectonique alpine post miocène. Par ailleurs, un certain nombre de fractures de décompression de coteau, longitudinales à la trace du coteau, le recoupe sur sa longueur et sont observées dans les caves en pied du coteau.

La fracturation naturelle associée aux agents d'altération extérieurs tels que les fortes pluviométries ou les périodes de gel/dégel favorisent un risque d'éboulement et d'effondrement identifié depuis plusieurs années par les services du Syndicat Intercommunal Cavités 37.

3.3. Un risque d'effondrement identifié depuis plusieurs années

Etant positionné au cœur de l'agglomération de MONTLOUIS SUR LOIRE, ce chemin de randonnée, en belvédère par rapport à la vallée de la Loire, est emprunté fréquemment par du public. Le Syndicat Intercommunal Cavités 37 a ainsi été sollicité à plusieurs reprises pour vérifier la sécurité du site (cf. Tableau 1). Dans le cadre de ces interventions un risque d'éboulement avait été identifié dès 1992.

Tableau 1 : interventions sur site et résumé des observations du Syndicat Cavités 37

Année	Type d'étude effectuée ou travaux	Conclusions et remarques émises
1992	Avis sur stabilité	Stabilité de coteau très douteuse avec risque d'éboulement et de glissement de terrain – Nécessité de procéder à des travaux de purge et d'ancrage.
1994	Avis sur stabilité suite à un éboulement	Eboulement de quatre blocs de 100 kg. Front de coteau montrant toujours des signes d'éboulement. Des travaux de purge et d'ancrage sont jugés nécessaires ainsi qu'un suivi régulier du site.
2003	Etude générale du coteau	Le coteau, affecté par une fracturation croisée, montre toujours des signes d'éboulement préoccupants qu'il est conseillé de traiter par des travaux de purge et d'ancrage.

Entre 2003 et 2014, le Syndicat Intercommunal Cavités 37 n'est plus intervenu sur le site. Il a de nouveau été sollicité à la suite d'éboulements durant l'hiver 2013-2014 et le printemps 2014.

3.4. Deux phases d'éboulement successives en 2014

Le front de coteau, malgré les travaux et études antérieures, a été affecté par deux phases d'éboulement durant l'hiver et le printemps 2014.

3.4.1. Eboulement de janvier 2014

En janvier 2014, entre 5 et 10 m³ de matériaux rocheux se sont détachés de la paroi rocheuse et sont venus s'ébouler dans les entrées de caves. Les éboulis comprennent des blocs d'un diamètre pluri décimétrique voire ponctuellement métrique (cf. Figure 6). Le plan d'arrachement des matériaux est positionné à mi-hauteur de la paroi, entre deux secteurs ayant fait l'objet de travaux de renforcement.



Figure 6 : détail des éboulis en pied du coteau à la suite de l'évènement de janvier 2014

Lors du constat sur place, des interrogations sont dans un premier temps émises quant à l'orientation générale des travaux préventifs effectués sur le coteau sous-cavé. En effet, si des ouvrages ont été exécutés, ils n'ont été opérés que sur des parties très ponctuelles du site et non de manière généralisée. Les entrées de caves notamment n'ont pas fait l'objet de travaux ce qui paraît surprenant vue leur état de fracturation.

Ainsi sur une surface de coteau de l'ordre de 400 m², seules quelques dizaines de mètres carrés ont été traitées, ce qui paraît insuffisant au regard des instabilités relevées.

En outre, dans les secteurs stabilisés, des doutes sont émis sur la qualité intrinsèque des travaux exécutés. Pour ce qui est des boulons, certains montrent des scellements douteux (cf. Figure 7). D'autres montrent des plaques imparfaitement serrées. Le maillage des clous est lui étrange. En ce qui concerne le grillage de protection mis en œuvre, ce dernier n'est câblé que sur deux longueurs avec des câbles de faible section et un nombre de serre-câble déficitaire. Il est de plus plaqué imparfaitement et maintenu avec des boulons SPLIT SET. Ces derniers sont quant à eux peu justifiés vus les efforts à reprendre.

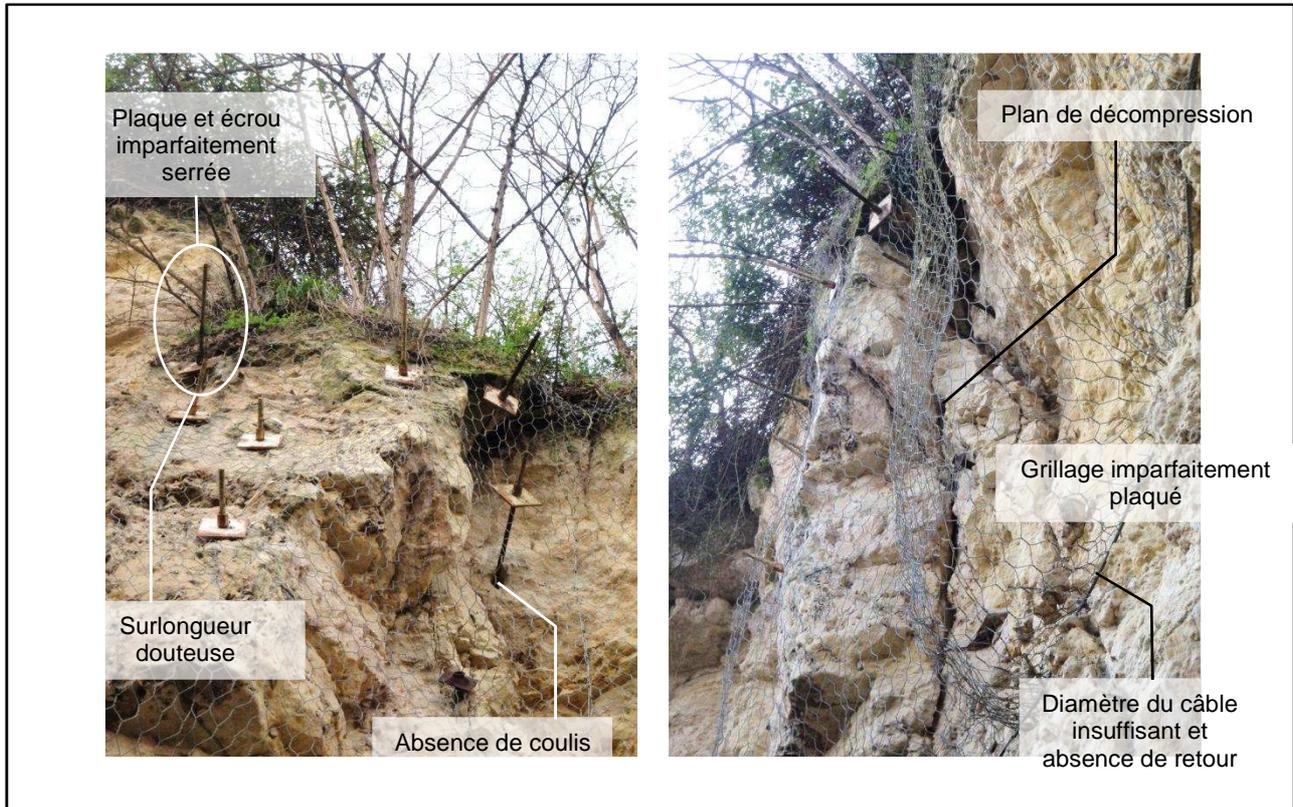


Figure 7 : exemples d'anomalies sur des boulons exécutés au droit du coteau

L'ensemble de ces observations a conduit à restreindre l'accès au chemin de randonnée et à une partie de la propriété privée vue l'incapacité des travaux existant à maîtriser les risques réels d'éboulement.

3.4.2. Eboulement de juillet 2014

Au mois de juillet 2014, une deuxième phase d'éboulement s'est produite. 70 m³ de matériaux se sont détachés du coteau. Cet éboulement s'est accompagné de l'effondrement de l'entrée de la cavité centrale sur les premiers mètres. L'effondrement est positionné dans l'un des secteurs initialement renforcé du coteau et confirme les doutes sur la qualité intrinsèque des ouvrages exécutés.

En effet, les boulons présentent une exécution défectueuse avec un mode de scellement déficient (cf. Figure 8). Certains éléments sont déchaussés et montrent des anomalies de scellement, le coulis n'enrobant l'armature métallique que sur le premier mètre de longueur. D'autres clous sont toujours en place mais ne montrent aucun signe de coulis sur les premiers mètres dorénavant libres. L'éboulement, s'il était prévisible, met en lumière les défauts de conception et d'exécution des travaux de stabilisation préventifs du coteau sous-cavé incriminé.

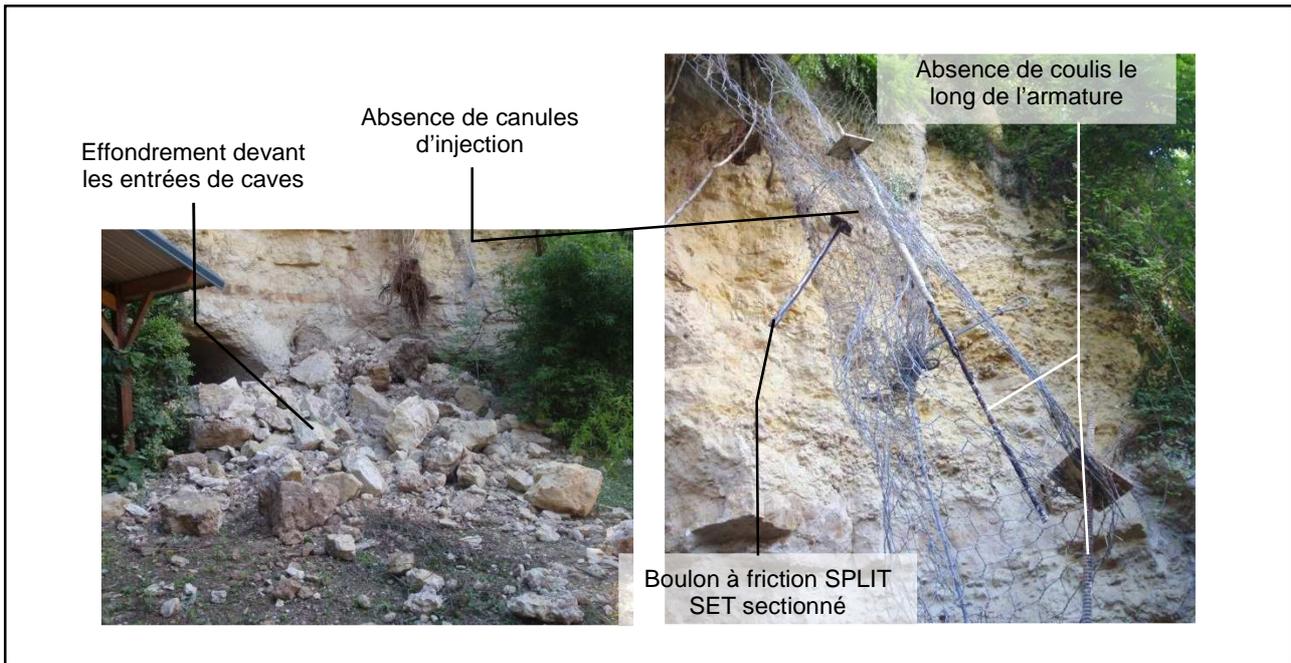


Figure 8 : détail des anomalies relevées sur les boulons après l'éboulement de juillet 2014

4. Synthèses et conclusions

Les deux cas analysés soulignent l'importance de la phase de conception des schémas de consolidation des coteaux sous-cavés. Chaque site présente une morphologie spécifique et doit ainsi bénéficier d'une analyse géotechnique la plus fine possible au préalable des travaux de consolidation. L'adoption de schéma conventionnel de boulonnage ne peut remplacer l'opération préliminaire de dimensionnement. Dans la phase d'exécution, comme le souligne Roux et al. (2014), la phase de contrôle est primordiale. Qu'il soit interne ou externe, le contrôle doit permettre d'éviter la production d'anomalies d'exécution. Ces dernières sont d'autant plus problématiques dès lors que les ouvrages sont destinés à garantir la sécurité des personnes.

En Touraine, avec une multitude de propriétaires privés possédant deux ou trois caves, les ouvrages de consolidation exécutés ne dépassaient guère, en 2015, la dizaine de milliers d'euros. Au regard, de ces montants, les propriétaires privés ou la maîtrise d'ouvrage publique, ne font pas systématiquement appel à un bureau d'études géotechniques extérieur, qui prendrait en charge les phases de conception et de suivi d'exécution. Si dans certains cas, ce type de prestation peut représenter 50% du marché de travaux, ce n'est toutefois qu'à cette seule condition, qu'une garantie peut être apportée, quant à la capacité de l'ouvrage de confortement réalisé à reprendre les fragilités observées. La rédaction de recommandations spécifiques, à l'échelle régionale, pourrait enfin améliorer l'encadrement des travaux de consolidation des coteaux sous-minés.

5. Références bibliographiques

- Bertholon P. et Huet O. (2005). Habitat Creusé. Le patrimoine troglodytique et sa restauration. Collection Au Pied du Mur. Edition EYROLLES, 224 pages.
- Roux P. et al. (2014). Technologie du Boulonnage. Recommandations de l'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain. GT6R4F1. 31 pages.
- Tritsch J.J. et al. (2002). Evaluation des aléas liés aux cavités souterraines. Guide Technique. Collection Environnement. Les Risques Naturels. Edition LCPC et INERIS, 130 pages.