

CAUSES ET CONSEQUENCES DE L'EFFONDREMENT DU FRONT DE COTEAU SOUS-MINE DE LA RUE DES MARCHES SUR LA COMMUNE DE VILLAINES LES ROCHERS (37)

CAUSES AND CONSEQUENCES OF ROCKSLIDE ON VILLAINES LES ROCHERS

Alexandre PHILIPPE ¹

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

RESUME – Le 14 février 2014, un effondrement de terrain s'est produit au niveau de l'un des coteaux sous-minés de la commune de VILLAINES LES ROCHERS. Les éboulis se sont propagés sur la voie de circulation en contre bas qui est restée fermée pendant dix mois. L'étude des causes de l'effondrement montre que le sinistre est immédiatement relié à des écoulements d'eaux induits par l'exploitation de terres agricoles à l'amont de la zone sinistrée. Ce sinistre, parmi d'autres en Touraine, montre que l'absence d'entretien des coteaux sous-cavés, mais aussi de limites à la culture intensive, peut conduire à l'accélération des processus de dégradation d'un front rocheux sous-miné.

ABSTRACT – On the 14th of February 2014, a huge rockslide covered the main street in VILLAINES LES ROCHERS. This street has been closed to traffic during ten months. This phenomenon can be explained by flows of water caused by the exploitation of farmland located uphill the damage zone. This rockslide, like other landslides in Touraine, shows that intensive farming without limit can accelerate degradation of rock cliffs.

1. Introduction

La commune de VILLAINES LES ROCHERS est régulièrement impactée par des mouvements de terrain. Son territoire est en effet recoupé par de nombreux coteaux sous-minés, pour beaucoup d'entre eux dans des états de stabilité précaire, qui génèrent des sinistres. Ces coteaux se positionnent en bordure de plateaux occupés par des parcelles agricoles entrant dans le cadre d'exploitations céréalières.

Dernièrement, le sinistre du 14 février 2014 a conduit à un important impact socio-économique pour le village. La voie de circulation principale du village a en effet été coupée sur de longs mois gênant le fonctionnement normal de la commune. Des travaux de consolidation et de protection ont fini par être exécutés dix mois après le sinistre pour permettre la réouverture de la chaussée. L'analyse des causes de l'éboulement montre quant à elle qu'il semble exister un lien manifeste entre les pratiques agricoles menées sur le plateau à l'amont de la zone sinistrée, et les mouvements de terrain observés au niveau des coteaux sous-minés de la commune.

2. Le coteau de la rue des Marches

2.1. Présentation du site

La commune de VILLAINES LES ROCHERS correspond à l'un des villages troglodytiques remarquables du département d'Indre et Loire (Bertholon, 2005). Avec un millier d'habitants, et presque autant de cavités souterraines, ce village s'agence autour de plusieurs vallées sèches qui se rejoignent dans le centre-bourg. La localité est desservie par la route départementale RD57, axe de circulation principal de la commune.

A proximité de la place de la Mairie, cette voie de communication emprunte la rue des Marches. Elle est bordée par un coteau d'une dizaine de mètres de hauteur agencé en une succession de ressauts et de terrasses (cf. Figure 1). Depuis le pied du coteau, ou depuis les terrasses qui ont été aménagées à mi-hauteur du front rocheux, de nombreuses cavités souterraines ont été creusées. Elles s'enfoncent sous des parcelles agricoles. Outre les nombreuses cavités souterraines superposées les unes avec les autres, le coteau a fait l'objet de nombreuses opérations d'urbanisation.



Figure 1 : contexte morphologique général du coteau de la rue des Marches

2.2. Présentation géologique du site

Dans le Ridellois (Alcaydé, 1972), les coteaux s'élèvent dans les terrains du Turonien supérieur (C3c). Ils se caractérisent par une craie sableuse ou un calcaire gréseux jaune ocre, glauconieux, plus ou moins compact. La roche s'agence en bancs d'épaisseur pluri décimétrique, les horizons étant séparés localement les uns des autres par des lits de sables glauconieux. Les niveaux du Turonien supérieur sont surmontés au niveau des plateaux par des argiles à silex (C4-6S). Les massifs rocheux de Touraine sont quant à eux recoupés par des fractures naturelles subverticales qui marquent les phénomènes de décompression. Elles participent au compartimentage de la masse rocheuse. C'est dans ce contexte, qu'un effondrement s'est produit au cours du mois de février 2014.

3. Sinistre du 14 février 2014

3.1. Effondrement du coteau

Le 14 février 2014, un effondrement du coteau s'est produit dans l'environnement des propriétés numérotées 15 et 17 de la rue des Marches. Les dites propriétés se caractérisent par deux niveaux de cavités souterraines superposés. Les caves du n°15 sont louées pour de l'habitation. Elles sont reliées à un bâtiment en butée contre le coteau.

Le sinistre s'est produit en deux phases. La première phase s'est déclenchée aux alentours de 10h00. La partie avant des deux niveaux de caves s'est effondrée en direction de la voie publique limitrophe générant 300 m³ d'éboulis (cf. Figure 2).



Figure 2 : propagation des éboulis sur la rue des Marches

La deuxième phase d'effondrement s'est produite en fin d'après-midi. La partie avant de la cavité positionnée sous le bâtiment d'habitation de la propriété n°15 s'est en effet effondrée, entraînant la ruine du bâti sus-jacent et la rupture de la dalle intermédiaire avec le niveau de cavité inférieur. Cette deuxième phase de mouvement de terrain avait été anticipée.

Outre les dégâts matériels, un blessé est à déplorer dans l'évènement. Le locataire de l'habitation semi-troglodytique du n°15 était en effet dans la cuisine troglodytique au moment de la déclaration de l'évènement. A noter par ailleurs des ruptures de canalisation qui ont entraîné d'importantes venues d'eau dans les caves sinistrées.

3.2. Mesures d'urgence et périmètre de sécurité

En urgence, et après évacuation et prise en charge du blessé par le SDIS, une cellule de crise s'est tenue sur place en présence des services communaux, de la Préfecture et du Syndicat Intercommunal Cavités 37.

A l'issue de la première phase d'effondrement, un diagnostic de stabilité du site a été entrepris. Les caves environnant le sinistre ont fait l'objet d'une expertise afin de définir l'extension probable de la zone d'effondrement. Dans le cadre des différentes visites entreprises, un certain nombre de fissures ont été observées en voûte et en façade des caves. L'analyse stéréographique des fractures dans les caves environnant immédiatement la zone sinistrée, laisse présager un phénomène de glissement de la façade des caves en direction de l'ouest (cf. Figure 3), soit en direction de la voie publique voisine. Outre les phénomènes de fissuration, des infiltrations d'eau ont pu être observées aussi bien en caves que dans les habitations en butée contre le front de coteau.

Pour prévenir tout nouvel incident, un périmètre de sécurité est mis en place en fin de matinée. La route départementale RD57 est fermée à la circulation et plusieurs propriétés ont été interdites à la fréquentation. Un péril imminent est pris par la commune. A l'issue des premières mesures de prévention, l'urgence s'est tournée vers la réalisation de travaux pour permettre la réouverture de la voie publique.

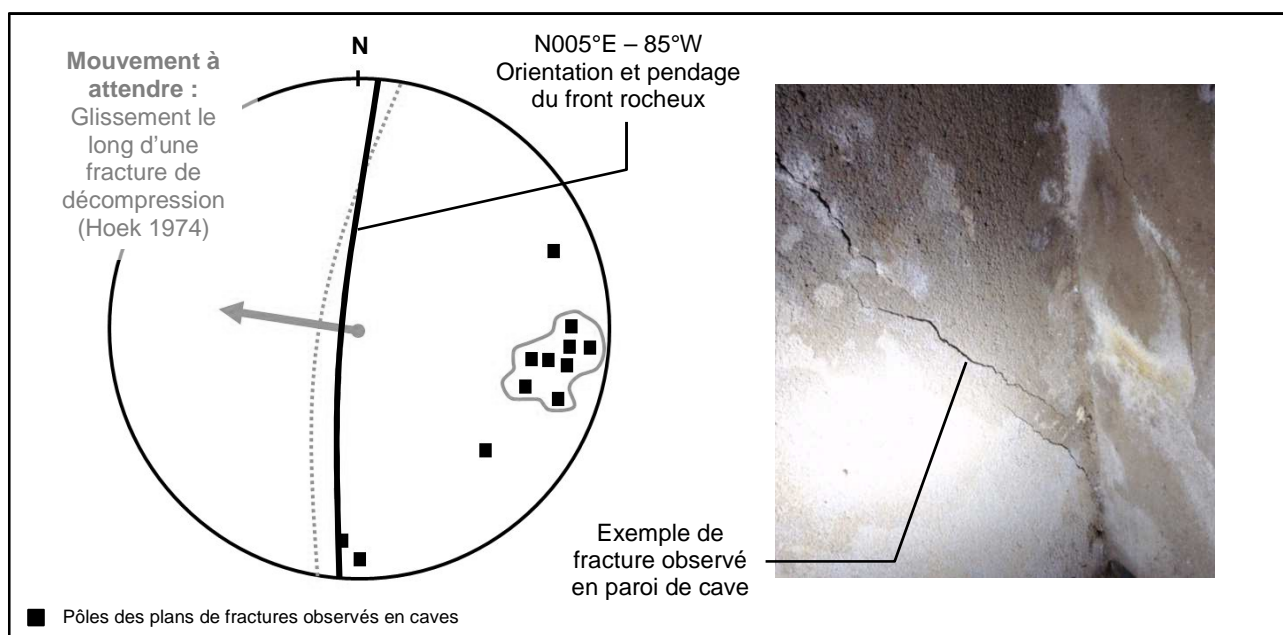


Figure 3 : analyse stéréographique des plans de fissuration reconnus en caves

4. Travaux de confortement et de protection en urgence

4.1. Des difficultés financières pour faire réaliser les travaux d'urgence

Le diagnostic initial du site conclu à la nécessité, d'une part de procéder à un renforcement du front rocheux, et d'autre part de traiter le cône d'éboulis. La multiplicité des propriétaires concernés par le sinistre a rendu la situation inextricable. Au mois de décembre 2014, la commune a fait réaliser une campagne de travaux d'urgence. Les travaux ont été réalisés sur la base de l'arrêté de péril imminent pris par la commune.

4.2. Une campagne de travaux d'urgence alliant consolidation et protection

L'objectif des travaux est d'une part de renforcer la façade des caves environnant la zone sinistrée pour éviter un nouveau glissement le long d'une fracture de décompression latente et d'autre part de s'affranchir du risque de chutes de blocs ou d'un mouvement du massif d'éboulis. La campagne de travaux s'est ainsi orientée vers une campagne de clouage et une opération de remodelage du massif d'éboulis avant pose d'un écran de protection en bordure de la voie publique.

Compte tenu de la situation, une étude complémentaire a été sollicitée auprès d'un bureau d'études géotechniques au préalable à l'opération de travaux. Le bureau d'étude s'est attaché à pré dimensionner la campagne de clouage sur la base de clous d'essais réalisés dans deux horizons de tuffeau distincts (cf. Figure 4).

Formation	Faciès	Clou Injection Globale Unitaire		
		Courbe de frottement Clouterre 2002	pl (MPa)	q _s (kPa)
1a	Tuffeau altéré	Marne	2.4	210
1b	Tuffeau compact	Marne	3	260

Figure 4 : résultats des clous d'essais dans le cadre de l'étude préliminaire

La barrière dynamique a été dimensionnée conjointement avec le fournisseur sur la base d'un remodelage du massif d'éboulis à une pente de 45° et des résultats des sondages pressiométriques (cf. Figure 5) réalisés au niveau de l'assise des poteaux.

Horizon	Nature	Profondeur (m)		Caractéristiques à retenir		
		De	Jusqu'à	p_l^* (Mpa)	E (MPa)	α
0	Sols de couverture	0.00	0.20	Pas de valeurs représentatives		
1	Tuffeau altéré	0.20	0.75 à 1.00	3	75	1/2
2	Tuffeau compact	0.75 à 1.00	>8.00	5	190	1/2

Figure 5 : résultats de sondages pressiométriques

Les travaux se sont orientés vers une opération de clouage. La façade des caves décomprimées a en effet été consolidée par dix-huit clous acier scellés au coulis de ciment. Réalisés en diamètre \varnothing 102 mm et équipés d'armatures métalliques FE500 d'un diamètre de \varnothing 32 mm, les clous ont été portés à une profondeur de 6.00 m. Un facteur de sécurité de 1.50 a été retenu pour le dimensionnement. Le massif d'éboulis a été remodelé à une pente de 45° et mis en œuvre en butée contre le front rocheux. En bordure du massif d'éboulis, une barrière passive de protection a été établie (cf. Figure 6). La barrière est constituée de poteaux métalliques descendus dans l'horizon de tuffeau compact et servent de support à des nappes de grillage à maille double torsion ourlées et agrafées sur des câbles à âme d'acier \varnothing 16 mm.

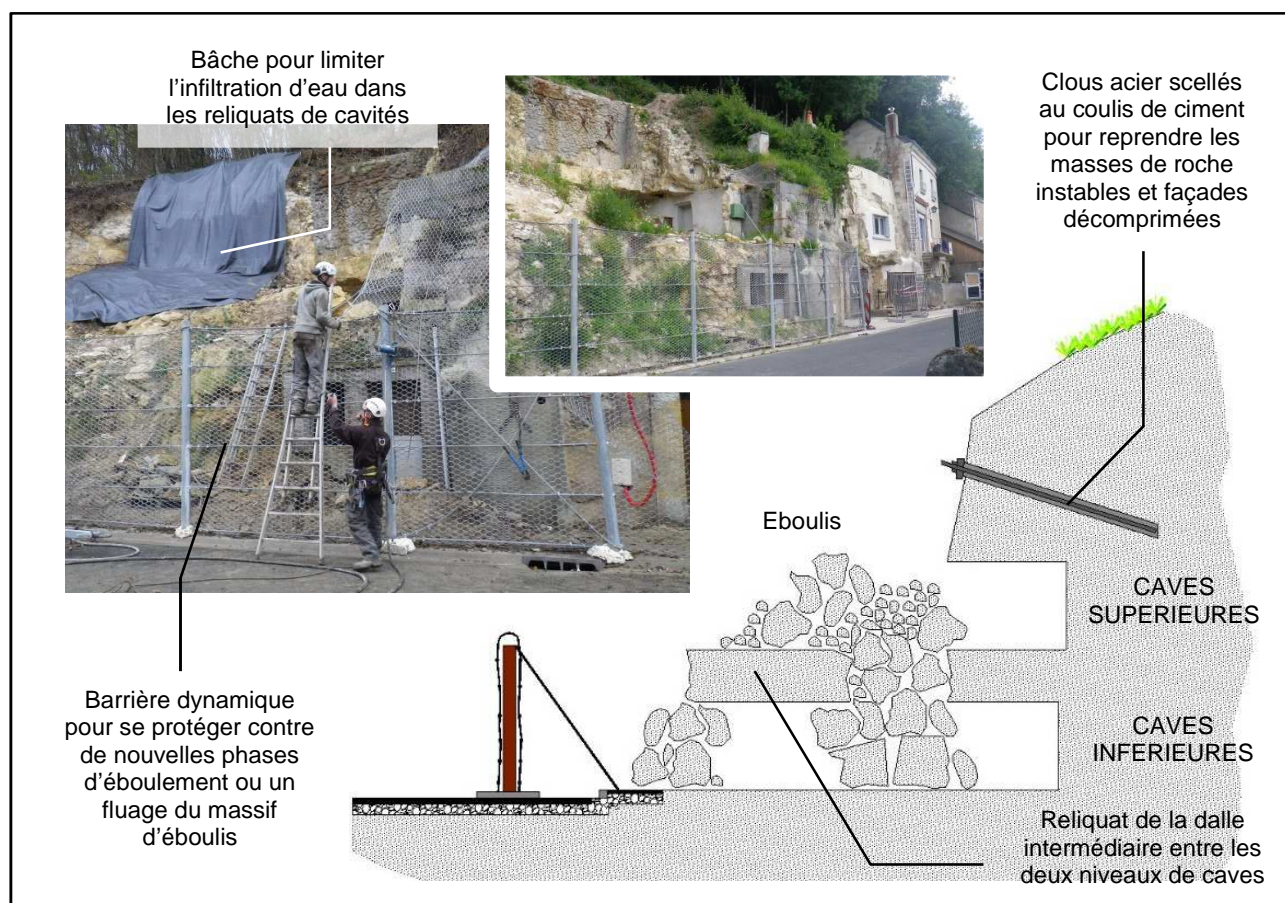


Figure 6 : détails des travaux d'urgence

4.3. D'importants impacts sociaux-économiques

Pour les travaux d'urgence, l'enveloppe avoisine près de 80 k€. Les travaux de traitement définitifs de la zone sinistrée sont eux estimés en première approche à 300 k€. A la suite de l'effondrement, les propriétaires privés concernés ont été dans l'impossibilité de faire réaliser les travaux de consolidation et de protection nécessaires à la maîtrise du risque. Les frais inhérents aux travaux d'urgence ont été avancés par la commune qui a porté l'affaire en justice. Ce sinistre met enfin en lumière une problématique de gestion des différents coteaux qui jalonnent le territoire communal.

5. Origines et causes du sinistre

5.1. Un processus de décompression naturel du coteau aggravé par des facteurs anthropiques

L'origine du sinistre est ici à mettre en relation avec un processus de décompression naturelle du coteau. Ce phénomène conduit à la formation de fractures subverticales et longitudinales à la trace du front rocheux. Elles favorisent le glissement de franges de roche en direction de la vallée. En contexte de sous-cavage, le processus est aggravé par les défauts d'appui que constituent les cavités souterraines creusées dans la masse, mais également par des facteurs anthropiques bien identifiables au droit du plan d'arrachement, notamment la pénétration racinaire induite par la végétation anarchique en tête du coteau (cf. Figure 7), ou encore l'absence de drainage des murs de soutènement. Quoiqu'il en soit, l'élément déclencheur du sinistre est bien la pluviométrie de l'hiver 2013 / 2014.

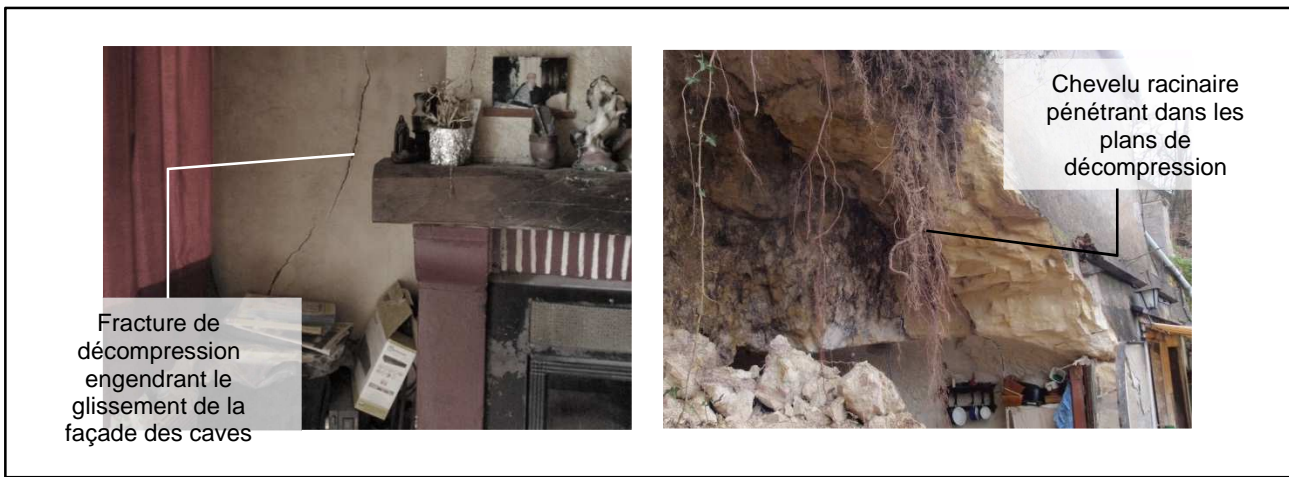


Figure 7 : un processus de décompression aggravé par une pénétration racinaire

5.2. La mauvaise gestion des eaux météoriques au droit du plateau agricole

5.2.1. L'eau, un vecteur de désordres pour les coteaux de Touraine

Le sinistre étudié est concomitant d'une phase d'intense pluviométrie et conduit à s'intéresser à l'intensité des précipitations sur la période ayant précédé le sinistre. Les craies du Turonien sont des matériaux poreux qui comportent plus de 30 % de vides. A saturation, le matériau tend à s'alourdir et la contrainte liée au poids des matériaux se voit donc accentuée (Tritsch, 2002). Les caractéristiques mécaniques de ces matériaux (cohésion, et angle de frottement) sont également susceptibles d'évoluer défavorablement. Par ailleurs, l'infiltration des eaux peut favoriser le lessivage des fractures de décompression subverticales recoupant le massif rocheux et générer des poussées hydrostatiques néfastes pour la stabilité du massif de terrain.

5.2.2. Des mouvements de terrain malgré une pluviométrie loin d'être exceptionnelle

La consultation des données météorologiques permet de préciser le contexte pluviométrique et climatique de l'hiver 2013 / 2014. En l'occurrence, les épisodes pluvieux n'ont pas constitué des volumes exceptionnels de pluie pour la saison (cf. Figure 8).

Il faut toutefois noter la multiplicité des phénomènes d'infiltrations d'eaux observés au niveau des propriétés bordant le pied du coteau et desservies par la route départementale. Au cours des années 2013 et 2014, et sur une longueur de coteau de 300 m, plusieurs phénomènes ont été recensés (cf. Figure 9). Ils se sont produits lors d'épisodes météorologiques à peine exceptionnels, et laissent donc penser qu'une gestion inadaptée des eaux météoriques est effectuée sur les terrains environnant le coteau.

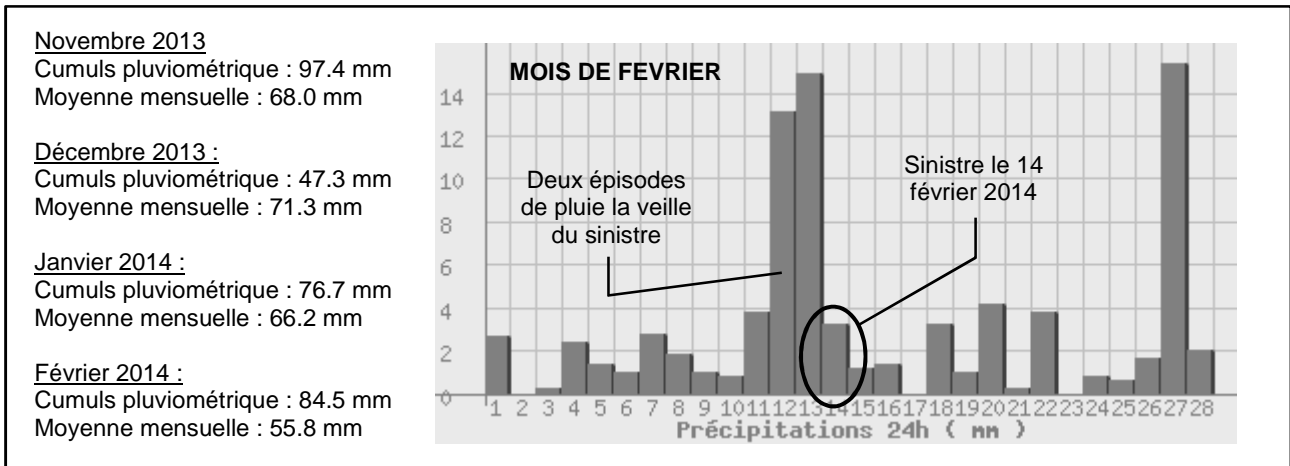


Figure 8 : cumuls plus pluviométriques à la station de TOURS, source METEOCIEL

5.2.3. Une mutation du plateau agricole vers un schéma d'agriculture intensive

Au cours des différentes expertises, un relevé topographique du plateau agricole a pu être réalisé. Le bassin présente une pente moyenne de l'ordre de 10% qui s'accroît vers l'Ouest pour atteindre 30%.

A l'amont du coteau, il faut noter l'évolution du schéma d'occupation du plateau agricole. L'analyse de photographies aériennes anciennes montre qu'au début du XX^{ème} siècle, le plateau était morcelé en une multitude de parcelles. Au tournant des années 1970, à l'occasion du remembrement, les terrains ont été redistribués et ont évolué progressivement vers une unique parcelle céréalière, les haies étant éradiquées (cf. Figure 9). Les visites de cette parcelle ont permis d'observer que les semis étaient par ailleurs effectués dans le sens de la pente et que le site ne bénéficiait d'aucun ouvrage de collecte des eaux de ruissellement ou d'infiltration. L'analyse des photographies aériennes tend à montrer que l'évolution de l'occupation du plateau agricole est ainsi favorable au développement de phénomènes de ruissellement des eaux météoriques. Quelques traces diffuses de ruissellement ont d'ailleurs pu être observées sur place au droit des parcelles concernées (traces de transport de matériaux,...).

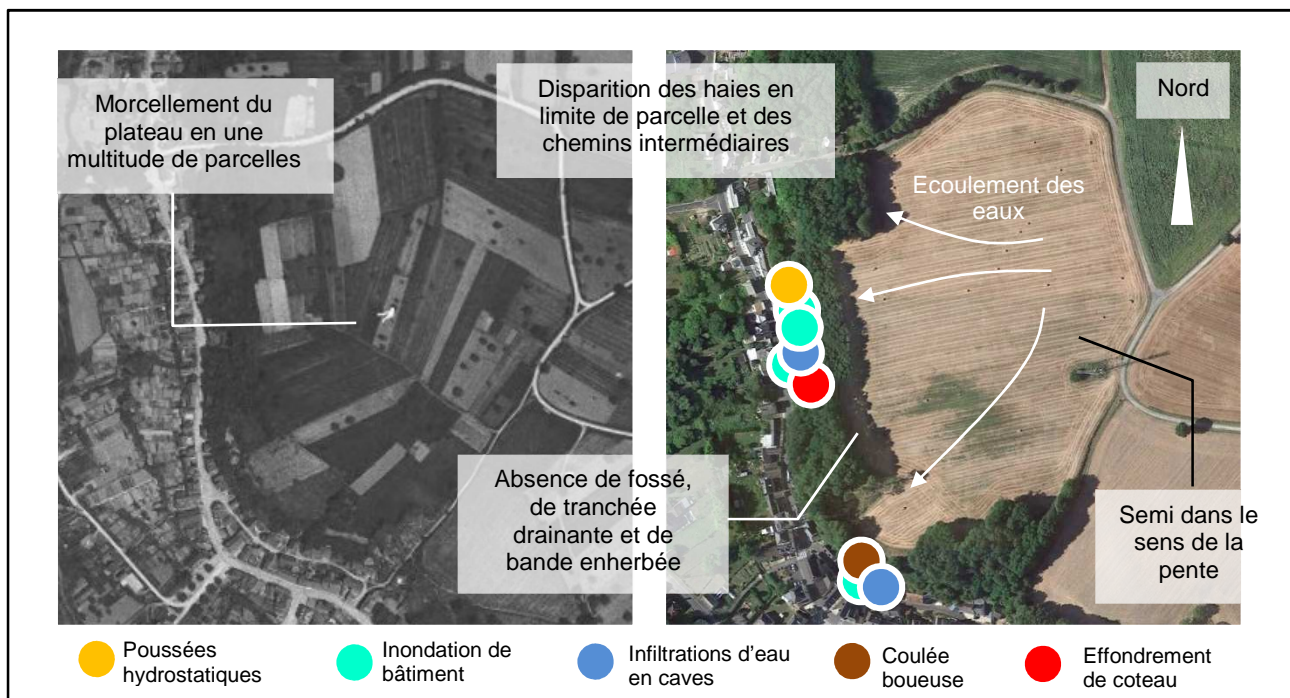


Figure 9 : modification du mode de culture du plateau agricole et mouvements de terrains

Le phénomène de ruissellement s'explique par ailleurs par la faible perméabilité des couches de terrain superficielles. En effet pour un bassin versant présentant une superficie S pour une pente moyenne $\tan \alpha$, α étant l'angle de la pente avec l'horizontale, et dont le sol à sa surface affiche une perméabilité maximale à saturation de k_{sat} , le débit capable d'infiltration du bassin versant est donné par :

$$Q_{\text{inf}} = k_{\text{sat}} \cdot S \cdot \cos \alpha$$

L'intensité $i(t)$ d'une pluie de référence d'une durée de retour de 5 ans à la station de Tours peut être calculée sur la base de la formule de Montana.

$$i(t) = 450 \cdot t^{-0.739} \text{ en mm/h pour } t \text{ en minutes}$$

Pour une pente de 10 %, et en comparant k_{sat} à $i(t) / \cos \alpha$, il vient pour $i(t)$ en m/s :

t (min)	6	15	30	60	120	180	240	300
$i(t) / \cos \alpha$ (m/s)	3.3×10^{-5}	1.7×10^{-5}	1.0×10^{-5}	6.1×10^{-6}	3.7×10^{-6}	2.7×10^{-6}	2.2×10^{-6}	1.9×10^{-6}

Figure 10 : perméabilité critique au-dessus de laquelle les eaux météoriques s'infiltrent en totalité

Ce n'est que pour des perméabilités en dessous de ces valeurs que la pluie ruisselle (cf. Figure 10). Sinon elle s'infiltré intégralement. En ce qui concerne le plateau agricole à l'amont de la zone sinistrée, les terrains de surface correspondant à des argiles à silex, qui se caractérisent par des matériaux à faible perméabilité inférieure à 1.10^{-6} m/s (valeurs mesurées sur d'autres plateau dans un contexte géologique similaire), il faut donc s'attendre à ce qu'une partie des eaux météoriques ruissellent sur les parcelles et ceci même pour des pluies de référence d'une durée de retour inférieure à 10 ans. En l'absence d'ouvrage de collecte, elles vont se propager en direction du coteau d'ores et déjà fragilisé par des processus de décompression et la forte densité de cavités.

6. Synthèses et conclusions

Le sinistre du 14 février 2014 sur la commune de VILLAINES LES ROCHERS, résulte d'un processus de décompression naturel du coteau. Il a manifestement été favorisé par l'altération progressive du massif rocheux sous l'effet de l'infiltration des eaux issues du ruissellement superficiel à proximité du front rocheux. Le ruissellement superficiel est lui consécutif de la mutation du bassin versant à l'amont de la zone sinistrée vers un schéma d'agriculture intensive qui s'est effectuée sans préoccupation particulière portée à la gestion des eaux météoriques. Cet exemple, parmi d'autres, tend à montrer qu'au droit de certaines parcelles, le développement d'une culture intensive sans prise en compte du contexte environnemental, en particulier hydrogéologique, tend à accroître les phénomènes de mouvement de terrain au niveau des coteaux sous-minés qui les bordent. Le retour d'expérience sur ce sinistre doit ainsi permettre, à minima à l'échelle communale, de mieux appréhender les causes de ce mouvement de terrain. Il doit par ailleurs permettre de définir des pratiques agricoles soucieuses de préserver leur environnement dans lequel elles sont appliquées.

7. Références bibliographiques

- Alcaydé G. et Rasplus L. (1972). Carte géologique de Langeais XVIII-23 au 1/50 000 et sa notice. Bureau de Recherches Géologiques et Minières. 12 pages.
- Bertholon P. et Huet O. (2005). Habitat Creusé. Le patrimoine troglodytique et sa restauration. Collection Au Pied du Mur. Edition EYROLLES. 224 pages.
- Hoek E. et Bray J. (1974). Rock Slope Engineering. Civil and Mining. 4th edition. Spon Press. London and New York. 460 pages.
- Tritsch J.J. et al. (2002). Evaluation des aléas liés aux cavités souterraines. Guide Technique. Collection Environnement. Edition LCPC et INERIS. 130 pages.