



**Commune du
Tampon**



Rapport

Eboulement de la ravine blanche

Expertise géologique, hydrogéologique,
hydraulique



Rapport n°A117091/A – 03 mai 2022

Projet suivi par Eric ANTEMI – 02 62 20 95 88 – eric.antemi@anteagroup.fr

www.anteagroup.fr

Fiche signalétique

Eboulement de la ravine blanche Expertise géologique, hydrogéologique, hydraulique

CLIENT	SITE
Commune du Tampon	Ravine Blanche
256 rue Hubert Delisle 97430 Le Tampon Tel : 02 62 57 86 86	
Christine RADEGONDE-DAMOFF Directrice des Services Plaine des Cafres Courriel : christine.radegonde@mairie-tampon.fr	
Tél. 0262 59 19 00 0693 13 50 40	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Eric ANTEMI
Interlocuteur commercial	Eric ANTEMI
	Implantation de La Réunion
Implantation chargée du suivi du projet	02.62.20.95.88 reunion@anteagroup.fr
Rapport n°	A117091
Version n°	A
Votre commande et date	Bon pour accord date : 27/04/2022
Projet n°	REUP220059

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Eric ANTEMI	Directeur Antea Group Réunion	Mai 2022	
Relecture qualité	Magali GALMICHE	Secrétariat	Mai 2022	

Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
A		26	0	Version initiale

Sommaire

1. Contexte et objectif	5
2. Localisation de l'ouvrage	6
3. Caractéristiques de l'effondrement	7
3.1. Observations initiales SEGC.....	7
3.2. Relevé topographique	8
3.3. Expertise de site	9
3.3.1. Constat hydraulique.....	9
3.3.2. Constat géologique	13
3.3.3. Constat hydrogéologique.....	15
3.4. Analyse du phénomène.....	16
4. Propositions de travaux de confortement	21
4.1. Synthèse des aléas	21
4.2. Solution AVP paroi clouée	21
4.3. Solution PRO – mur de soutènement.....	22
4.4. Préconisations	25

Table des figures

Figure 1 : Localisation du site de l'effondrement.....	6
Figure 2 : Extrait rapport SEGC dans le rapport GETEC	7
Figure 3 : Constats SEGC.....	8
Figure 4 : Relevé topographique Veyland du 03/03/2022 dossier topo 22-175.....	8
Figure 5 : Relevés du début d'année 2022 stations vigie	9
Figure 6 : Cyclone Feleng Ravine Blanche source TRI - DEAL.....	10
Figure 7 : Relevé de hauteur d'eau cyclone Dina à la Grande Ferme (source Office de l'Eau).....	11
Figure 8 : Coupe géologique synthétique.....	13
Figure 9 : Schéma de rupture	17
Figure 10 : Solution AVP GETEC.....	21
Figure 11 : Vue en plan des aménagements au stade PRO.....	22
Figure 12 : Coupe transversale au stade PRO	23
Figure 13 : Traitement de la rive gauche par enrochement	23
Figure 14 : Zone qui ferait l'objet d'un enrochement lié	24
Figure 15 : Principe de la solution PRO apposée sur le relevé de l'expertise	25

1. Contexte et objectif

Suite au passage du cyclone BATSIRAÏ le 3-4 février 2022, il a été constaté un effondrement de la berge en rive droite de la Ravine Blanche au niveau de la rue de la Ravine Blanche.

La commune du Tampon a sollicité le bureau d'étude GETEC et le cabinet de géotechnique SEGC afin de réaliser un premier diagnostic et de préconiser une solution de réparation de la berge afin de sécuriser la route.

Le cabinet SEGC a effectué le 10 février 2022, une visite du site avec les représentants de la commune. La reconnaissance a été limitée à une observation de la berge sinistrée, l'accès au fond de la ravine n'étant pas possible.

A la suite des observations du cabinet SEGC, un relevé topographique a été réalisé par le cabinet Veyland en date du 03 mars 2022. Le bureau d'études GETEC a repris les conclusions et a proposé un avant-projet visant à la réalisation d'une paroi clouée et une longrine en béton armée support d'un parapet maçonné.

Cette solution n'ayant pas été retenue par les services de la commune, une solution par mur maçonné et remplissage de gros béton a été ensuite étudiée au stade projet.

Après concertation avec les services de l'Etat et pour donner suite au fait que le diagnostic initial avait identifié des venues d'eau ayant pu contribuer à la déstabilisation de la berge, un avis hydrogéologique a été requis.

Afin de valider les solutions développées dans le projet par le cabinet GETEC, la commune du Tampon a souhaité faire réaliser une mission d'expertise au regard des contraintes hydrauliques, hydrologiques, géologiques et géotechniques du projet.

L'objectif de la présente mission comprend, l'identification et le diagnostic des aléas, la validation des solutions développées dans les études projet ou l'identification de solutions alternatives.

2. Localisation de l'ouvrage



Figure 1 : Localisation du site de l'effondrement

L'effondrement a été constaté en rive droite de la ravine blanche, au niveau de la rue de la ravine blanche en amont de son intersection avec la rue du Général De Gaulle.

3. Caractéristiques de l'effondrement

3.1. Observations initiales SEGC

La voirie est affectée sur une quinzaine de mètres de long. A la date de la première reconnaissance SEGC (diagnostique géotechnique Mission type G5 n° 10598 février 2022), il était souligné la présence d'un arbre ayant pu contribuer à l'effort du fait de sa prise au vent durant l'épisode cyclonique. Cet arbre a depuis été coupé.



Photo 1 : Vue de l'aval de l'effondrement

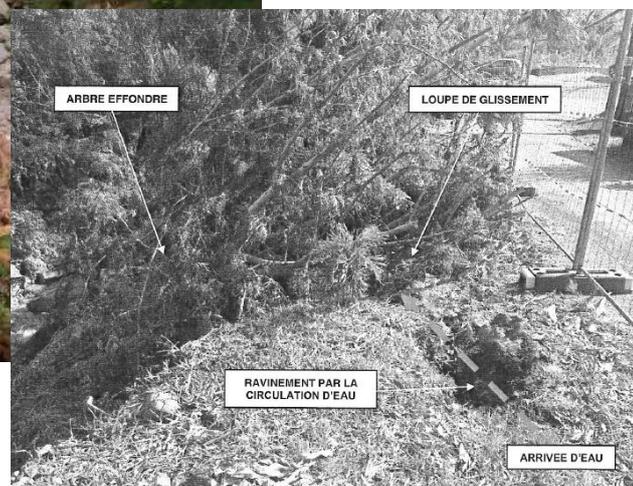


Photo 2 : Zone d'effondrement issue de la mission G5 SEGC

Comme le soulignait GETEC dans son rapport, le constat SEGC effectué depuis la berge indiquait :

La zone sinistrée, d'une quinzaine mètres de long, montre une berge verticale d'une douzaine mètres de hauteur. On notera sur la zone effondrée 2 éléments ayant certainement contribué à cet effondrement :

- La présence d'un arbre imposant ayant chuté. En effet de par sa prise au vent durant le cyclone, par transmission des efforts dans le sol, il a dû déstabiliser la tête de berge. Sa position « verticale » prouve bien que c'est le sol sous-jacent qui a rompu sous la forme d'une loupe de glissement ;
- Cette déstabilisation a dû être facilitée par la présence d'une arrivée d'eau d'origine inconnue présente en subsurface et suintant encore lors de notre visite. Cette venue d'eau a raviné la tête de berge.

Figure 2 : Extrait rapport SEGC dans le rapport GETEC

Ce rapport indiquait également :

- La tête de berge au droit de la zone non sinistrée montre une coulée basaltique d'épaisseur métrique expliquant la bonne tenue de la chaussée présente directement en amont malgré la verticalité de la rive ;
- Cette coulée n'existe pas, ou plus, dans la zone effondrée ;
- Sous la coulée, on constate la présence d'une formation limoneuse à blocs scoriacés présentant une épaisseur estimée à 3/4 mètres avant de retrouver un niveau basaltique. Cette formation est assez lâche et montre des ravinements dues à l'arrivée d'eau ;
- Cette coupe est conforme à celle visible sur l'autre berge à part que la formation limoneuse a été fortement érodée par la ravine et qu'on observe maintenant des sous-cavements importants sous la première coulée basaltique.

Figure 3 : Constats SEGC

3.2. Relevé topographique

Un relevé topographique a été effectué par le cabinet Veyland en date du 03 mars 2022. Ce relevé a été effectué dans la ravine et a mis en évidence deux sous cavages en amont de la zone effondrée en rive droite et rive gauche.

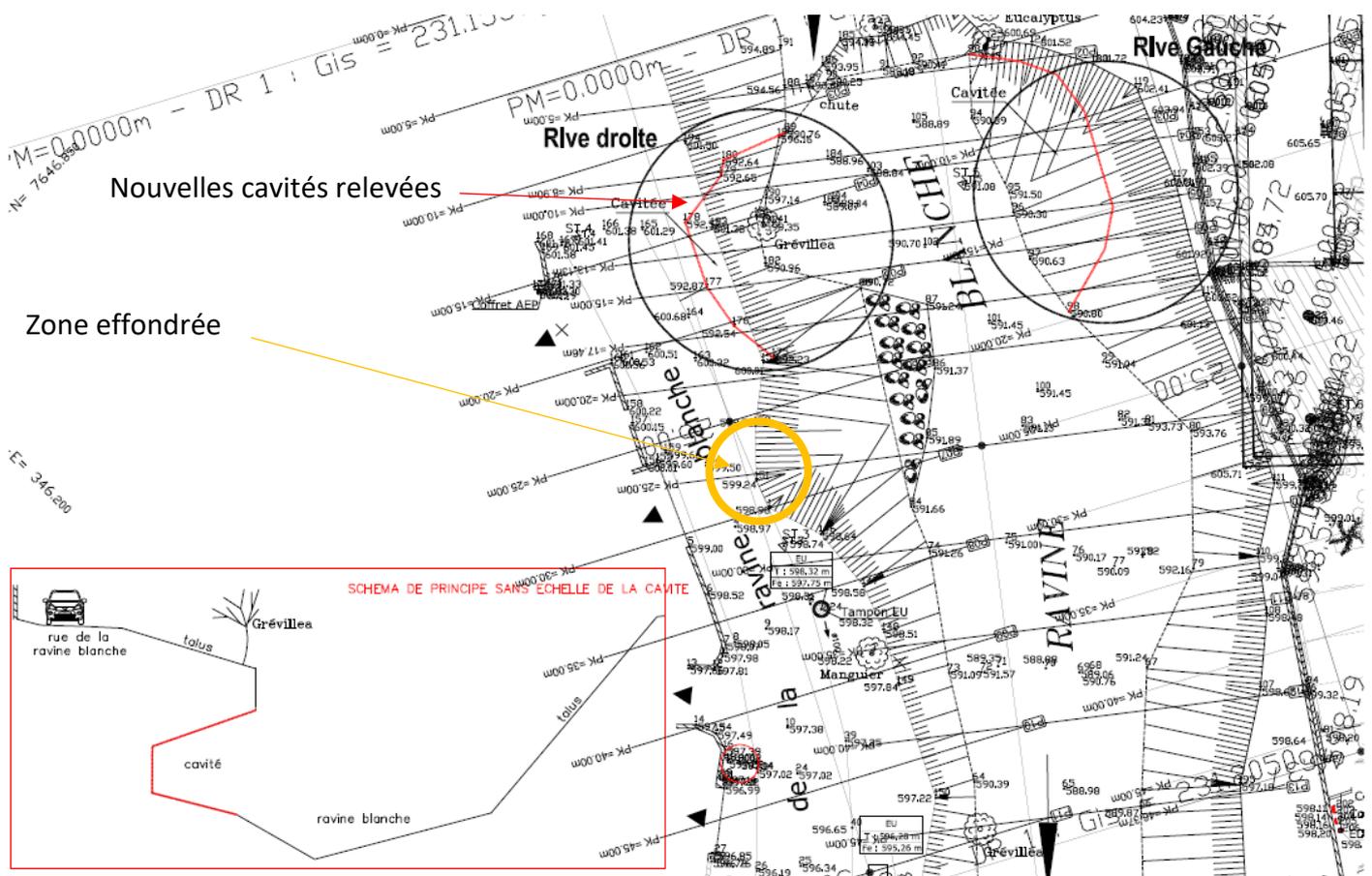


Figure 4 : Relevé topographique Veyland du 03/03/2022 dossier topo 22-175

3.3. Expertise de site

Une expertise de site a été réalisée par Antea Group le 21 avril 2022. Les abords généraux de la zone ont été observés et un accès au fond de la ravine Blanche a ensuite été effectué. Les relevés réalisés sont de plusieurs ordres techniques en rapport avec la configuration du site.

3.3.1. Constat hydraulique

La ravine Blanche est une ravine non pérenne qui ne présente des écoulements qu'en cas de fortes pluies. Des données de débit y sont disponibles via des enregistrements en continu effectués par l'Office de l'Eau qui y disposait antérieurement de 2 stations à la Grande Ferme et à la Chatoire. Ces stations ont été arrêtées et désormais la ravine Blanche intègre le système Vigicrues avec 3 stations disponibles :

- A la Plaine des Cafres ;
- A la Rn3 ;
- A la ZI1.

Hauteur d'eau (m) – Profondeur des données : 3 mois



Hauteur d'eau (m) – Profondeur des données : 3 mois

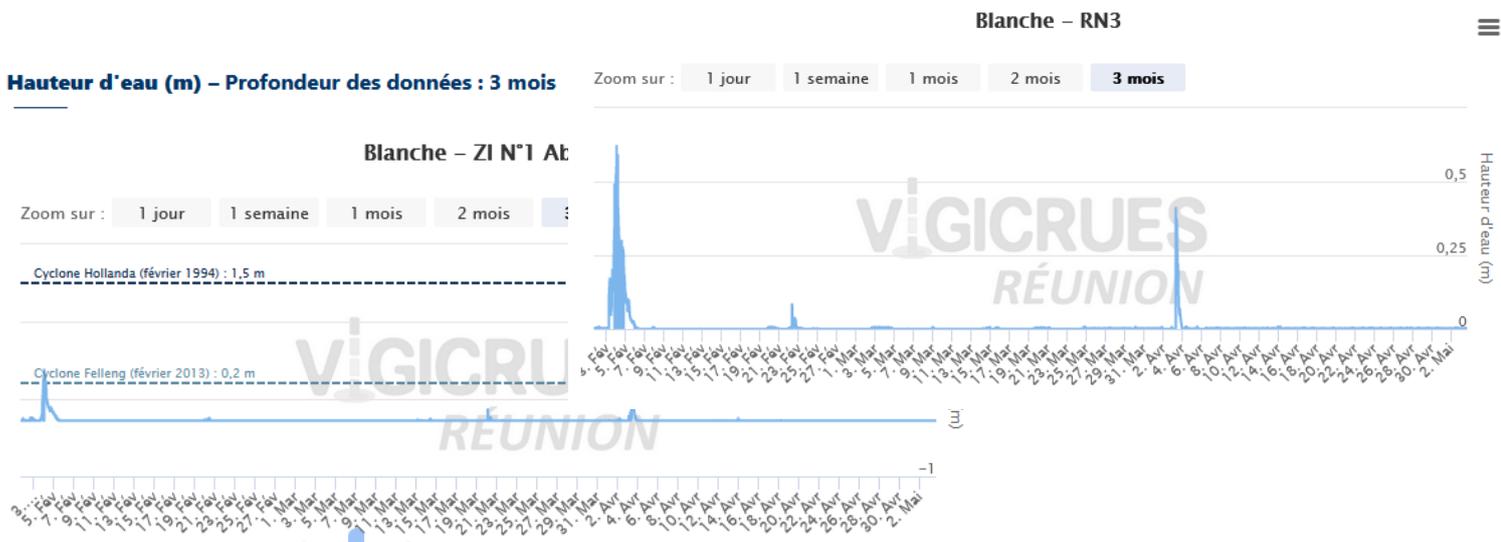


Figure 5 : Relevés du début d'année 2022 stations vigie
crues Ravine Blanche

Les données enregistrées sur ce début d'année n'indiquent que des hauteurs d'eau sans correspondance de débit. Sur la station de la ravine Blanche en aval, Vigiecrues indique la référence au cyclone Feleng du même ordre de grandeur. Afin de qualifier cet évènement, on retrouve au sein du rapport de présentation de la cartographie du risque inondation une information relative à cet épisode Feleng, observé en 2013 avec un débit de pointe à 32 m³/s

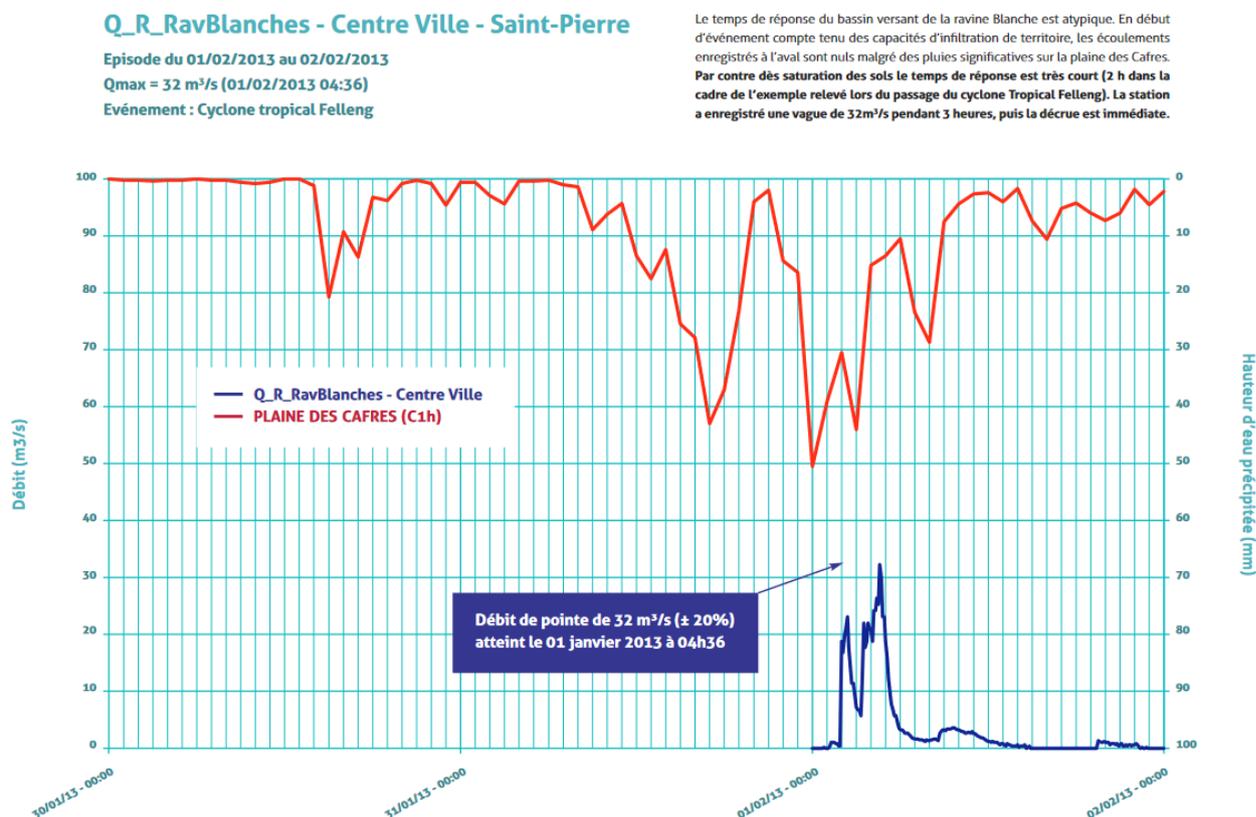


Figure 6 : Cyclone Feleng Ravine Blanche source TRI - DEAL

Certaines informations antérieures de l'OLE, notamment pendant le cyclone Dina en 2002 permettent de juger l'importance des crues de la ravine Blanche au droit de la Chatoire (130 m³/s), 32 m³/s en altitude à la Grande Ferme (bassin versant limité) et 200 m³/s en aval à la RN1.

La crue observée au cours de Batsirai en aval (de l'ordre de 30 à 40 m³/s) n'aurait donc pas de caractère exceptionnel.

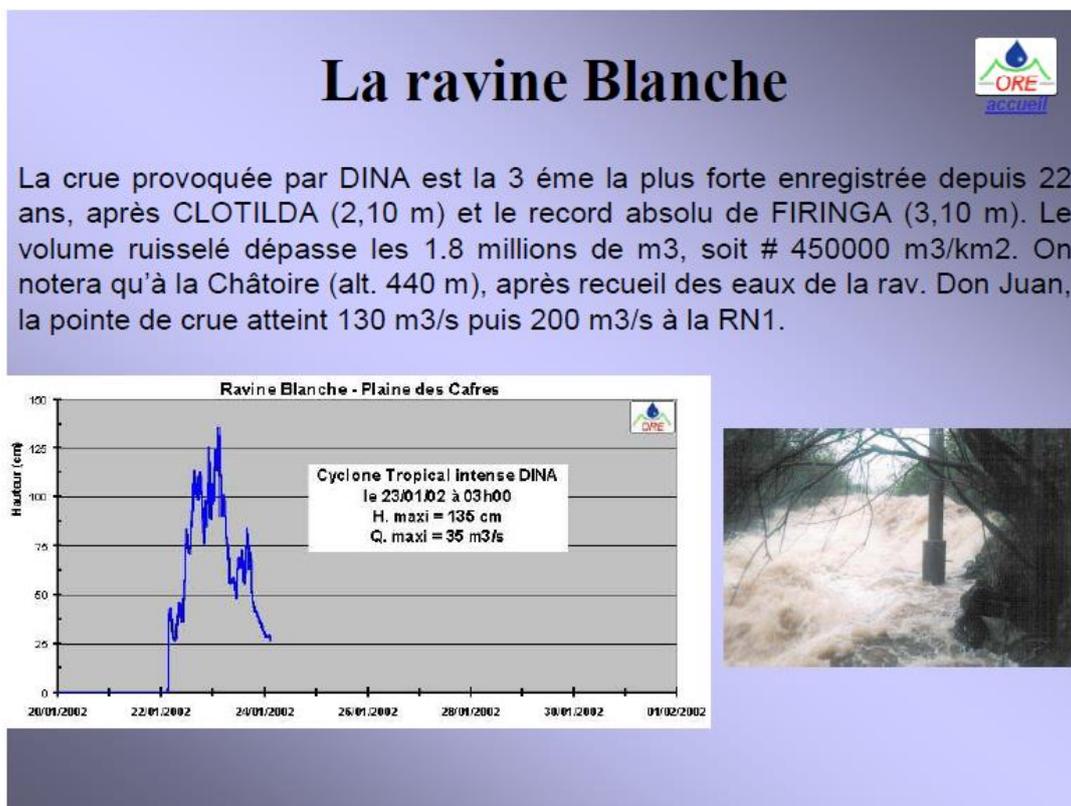


Figure 7 : Relevé de hauteur d'eau cyclone Dina à la Grande Ferme (source Office de l'Eau)

L'observation du lit de la ravine à cet endroit est riche d'enseignement. Au droit du pont de la rue Général De Gaulle, le lit de la ravine est composé d'un substrat dur de coulée basaltique massive. Cette coulée est ensuite recouverte en amont, au droit de la zone éboulée, par des alluvions grossières (blocs et galets pluri décimétriques) phénomène classique d'accumulation de matériaux à la sortie d'une fosse de dissipation.



Photo 3 : Vue vers l'aval à partir de la zone effondrée

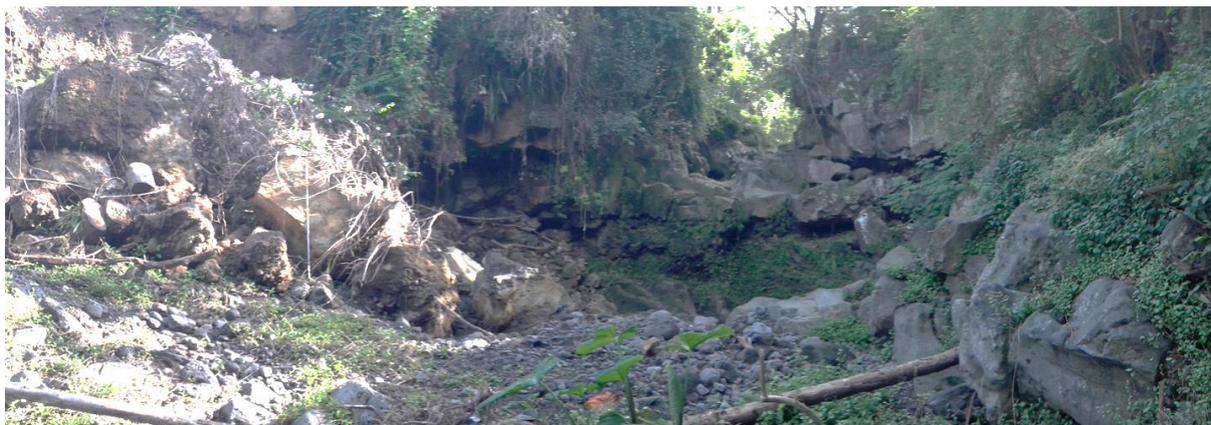


Photo 4 : Vue vers l'amont

Vers l'amont, on observe la fosse de dissipation et une rupture du fond du lit qui marque une chute d'eau en cas d'écoulement. C'est cette chute d'eau qui crée cette fosse de dissipation.

La photo suivante détaille la configuration de cette rupture du profil du fond du lit.



Sous cavage des niveaux tendres entraînant un affaissement des blocs massifs sus jacents et approfondissement du lit

Photo 5 : Configuration géologique de la rupture

On retrouve au droit de cette chute, la configuration géologique habituelle de ce secteur, c'est-à-dire une succession de coulées basaltiques massives de l'ordre métrique avec des niveaux scoriacés plus ou moins indurés. L'érosion des niveaux scoriacés entraîne des sous cavages et un affaissement en blocs de la coulée massive qui se propage au fur et à mesure vers l'amont du lit avec un enfoncement du lit d'une coulée à l'autre. Il s'agit d'un phénomène classique d'érosion régressive.

Ce secteur marqué par l'effondrement, correspond à une zone d'érosion régressive active de la ravine Blanche.

3.3.2. Constat géologique

La zone de l'effondrement correspond à la succession géologique suivante :

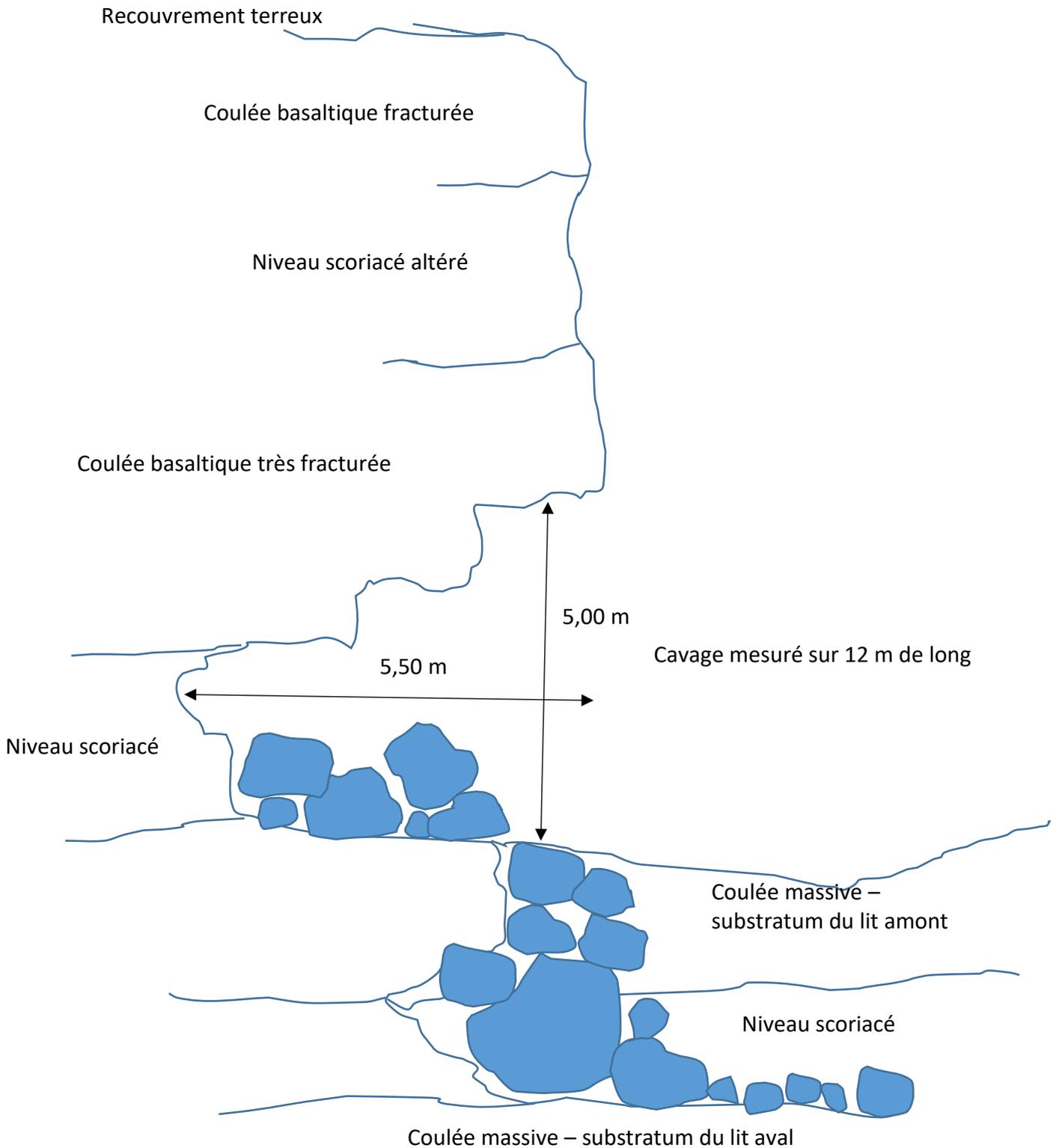


Figure 8 : Coupe géologique synthétique



Photo 6 : Zone effondrée basalte très fracturé

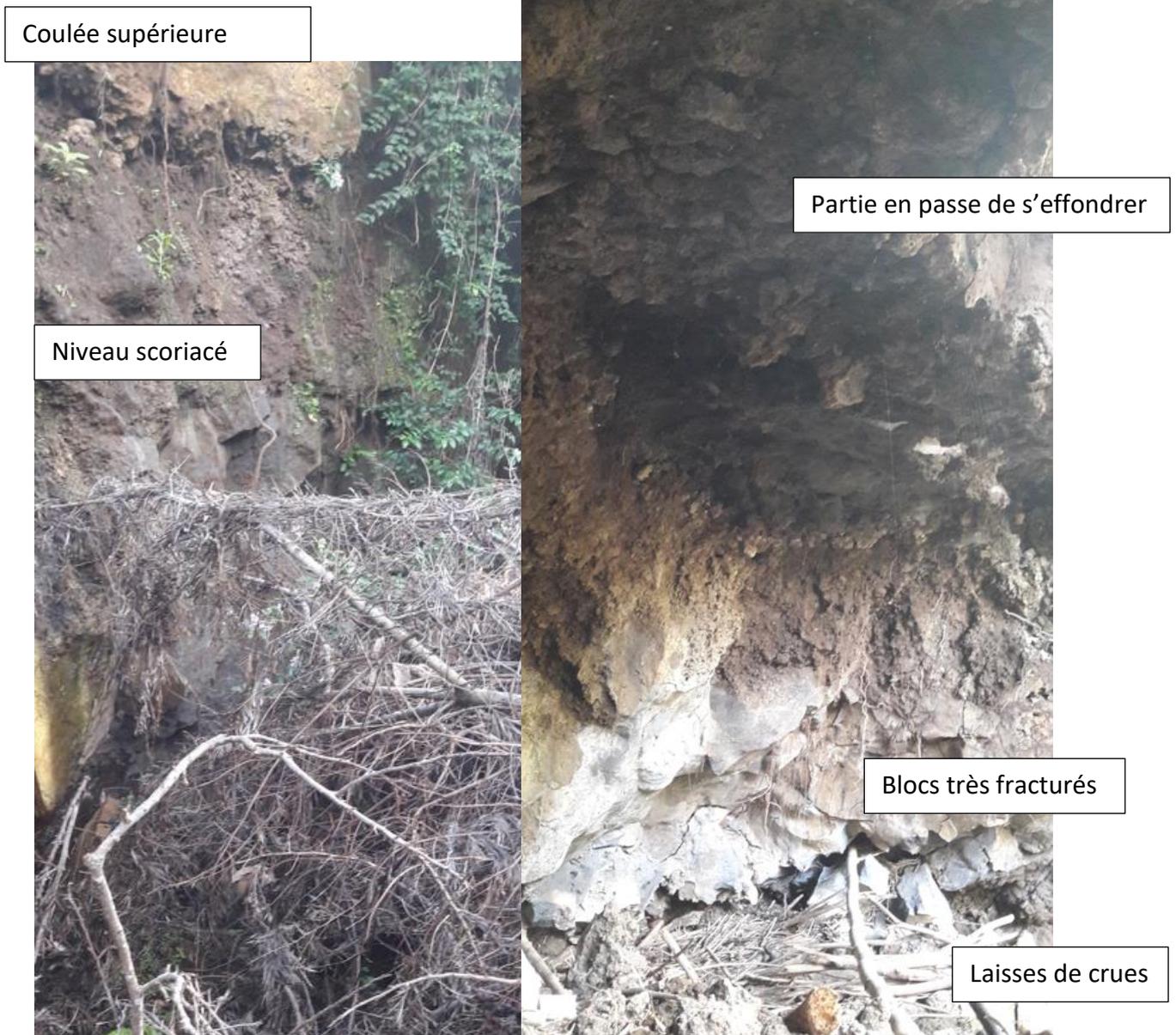


Photo 7 : Niveau scoriacé altéré supérieur et sous cavage du niveau scoriacé inférieur

Il est à noter que le repérage topographique a permis de mettre en évidence le sous cavage, mais le levé minimise son volume du fait de la présence des blocs éboulés.

Du fait de l'érosion des niveaux scoriacés durant les épisodes de crue, les coulées de basaltes fracturés s'effondrent au fur et à mesure. La présence de sous cavages important implique la poursuite des phénomènes d'effondrement.

3.3.3. Constat hydrogéologique

Lors du diagnostic, le cabinet SEGC notait la présence de venues d'eau dans la zone de l'effondrement. Ces venues d'eau ont également été constatées lors de notre expertise.



Photo 8 : Suintements dans les fissures du basalte fracturé

Si l'on pouvait mettre sur le compte des pluies récentes, les observations de SEGC, celles que nous avons effectuées ont été observées après une période sèche. Il y a donc des circulations d'eau faibles au travers des fissures du basaltes au toit des interfaces scoriacés moins perméables. Ces circulations sont certainement plus importantes à la suite de fortes pluies.

3.4. Analyse du phénomène

L'effondrement s'est produit lors du cyclone Batsiraï, avec une crue que l'on considère comme non extrême, mais dont les niveaux atteignaient la zone de sous cavage.

La zone d'effondrement se situait en sortie de fosse de dissipation et l'accumulation des matériaux entraîne une surélévation de la ligne d'eau et donc une atteinte particulière des niveaux scoriacés de la berge. Compte tenu de la taille des blocs effondrés (de l'ordre de 2m à 3m de diamètre) ce n'est pas un arbre qui a pu entraîner leur chute mais l'aggravation du sous cavage, le ruissellement et l'infiltration directe des eaux dans les fissures, la saturation en eaux des niveaux scoriacés supérieurs et l'augmentation de leur masse volumique.

Tout ceci conjugué a conduit à l'effondrement de la zone. Il est fort probable que ceci se reproduise de manière similaire à l'amont immédiat de la zone effondrée et entraîne une rupture également jusqu'à la voirie voire sur une partie de la voirie.

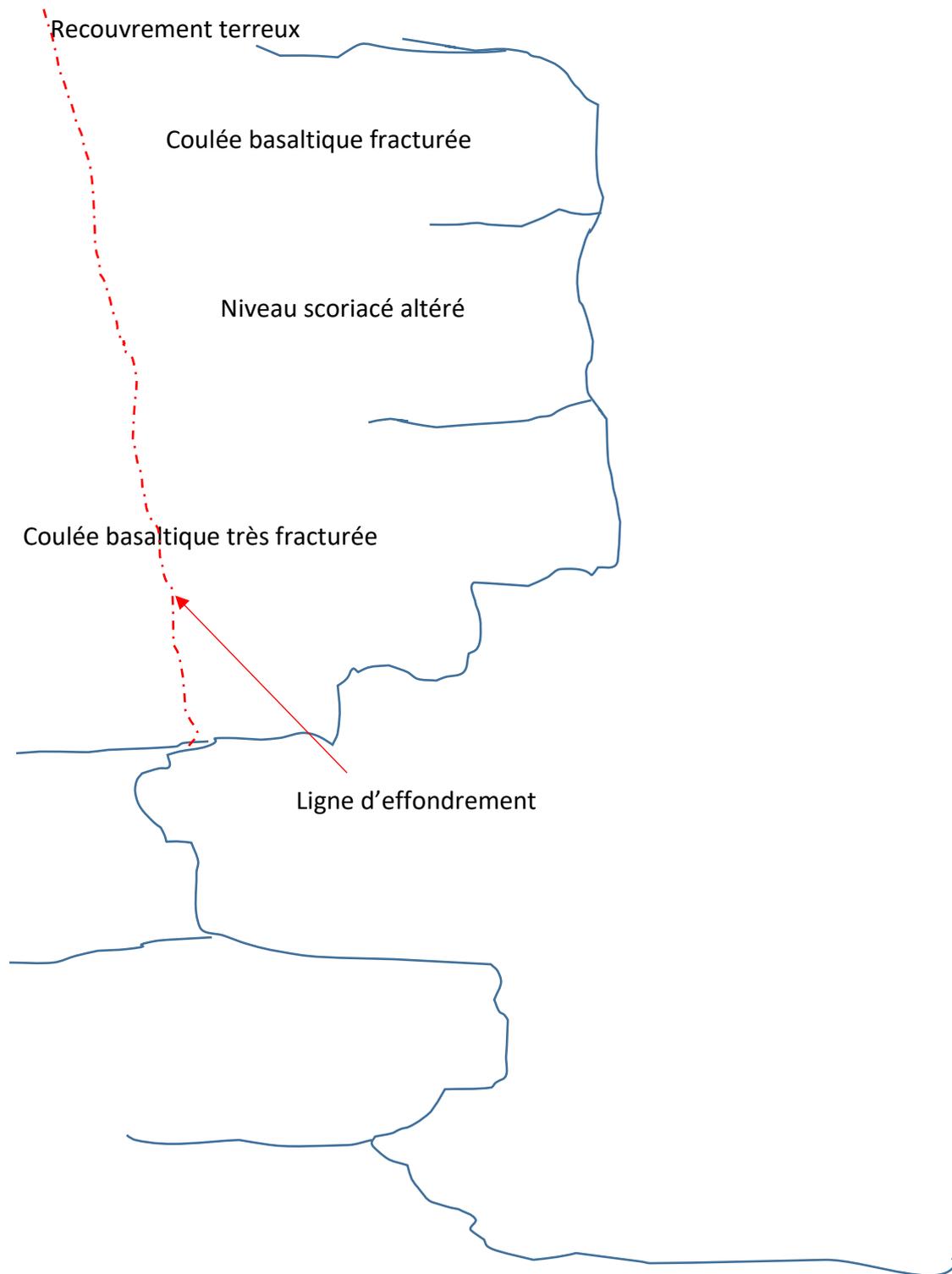


Figure 9 : Schéma de rupture

Aujourd'hui, les blocs effondrés obstruent en partie le lit de la ravine.



Photo 9 : Blocs effondrés dans la ravine Blanche

Des sous cavages sont également observés en rive gauche et menacent certaines infrastructures du lycée.

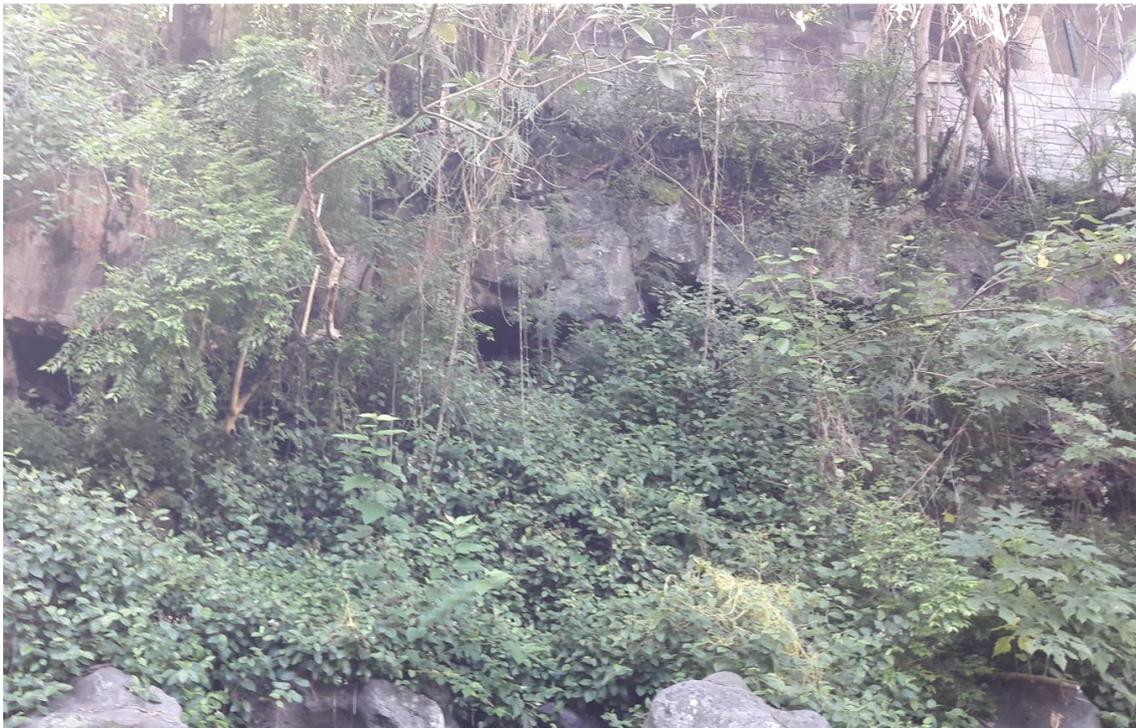
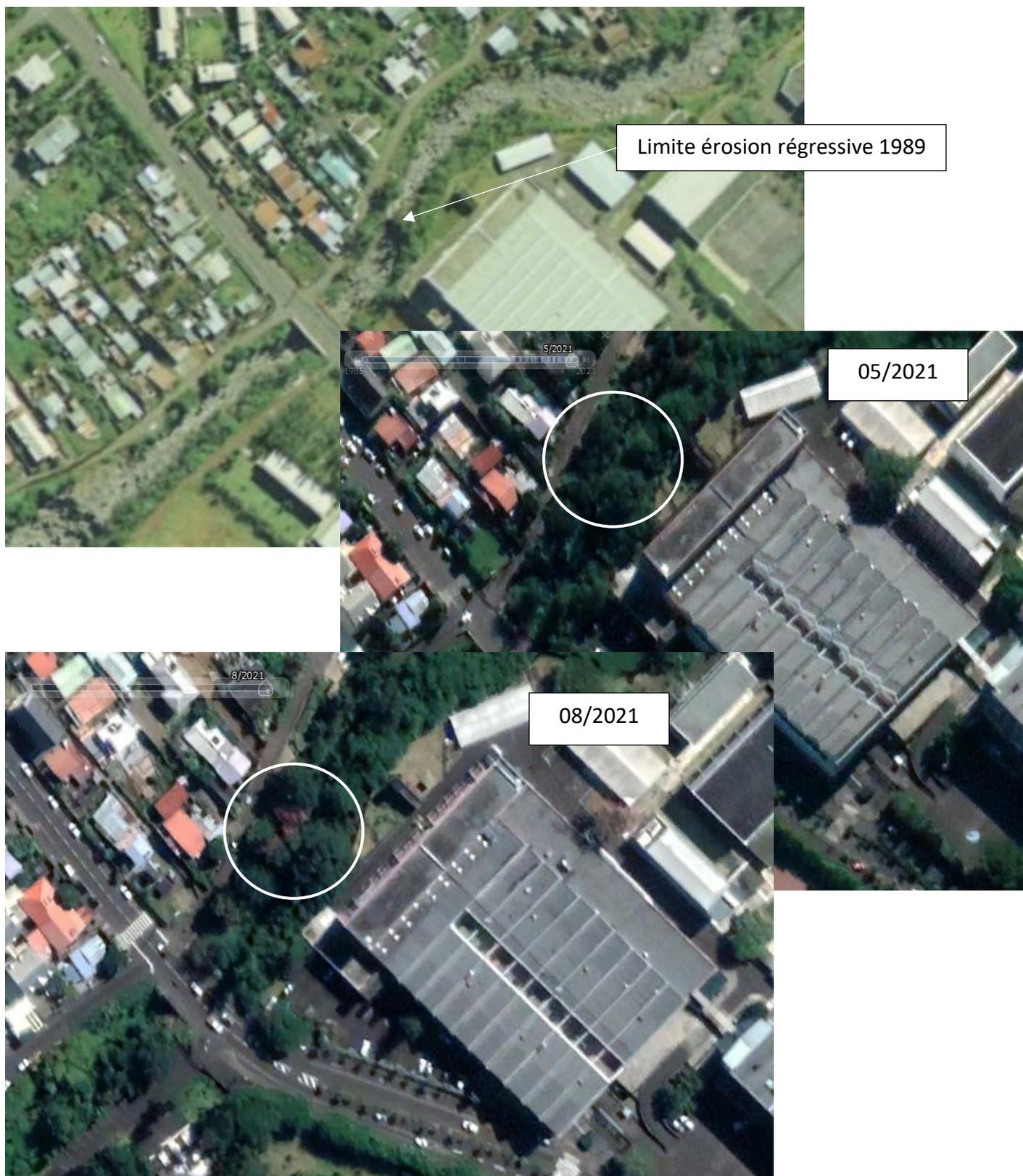


Photo 10 : Sous cavages sous un mur et poteaux du lycée

Les menaces sont réelles en rive droite et rive gauche de la ravine Blanche sur ce secteur. Elles peuvent survenir à n'importe quel moment du fait de la configuration actuelle et sont bien sûr, accentuées en cas de crue de la ravine et de fortes pluies.

Pour compléter ce constat, l'analyse des photographies aériennes de l'IGN semble montrer que la zone d'érosion régressive était située un peu plus en aval en 1989 après Firinga. La précision est à ce stade insuffisante pour être affirmatif. Il semble également, sans certitudes, qu'un premier éboulement ait pu avoir lieu en 2021 au droit de la zone. Toutefois, cela peut être aussi un déversement sauvage de matériaux dans la ravine, voire les feuilles mortes ou fleurs d'un arbre que l'on repère sur les photographies aériennes.



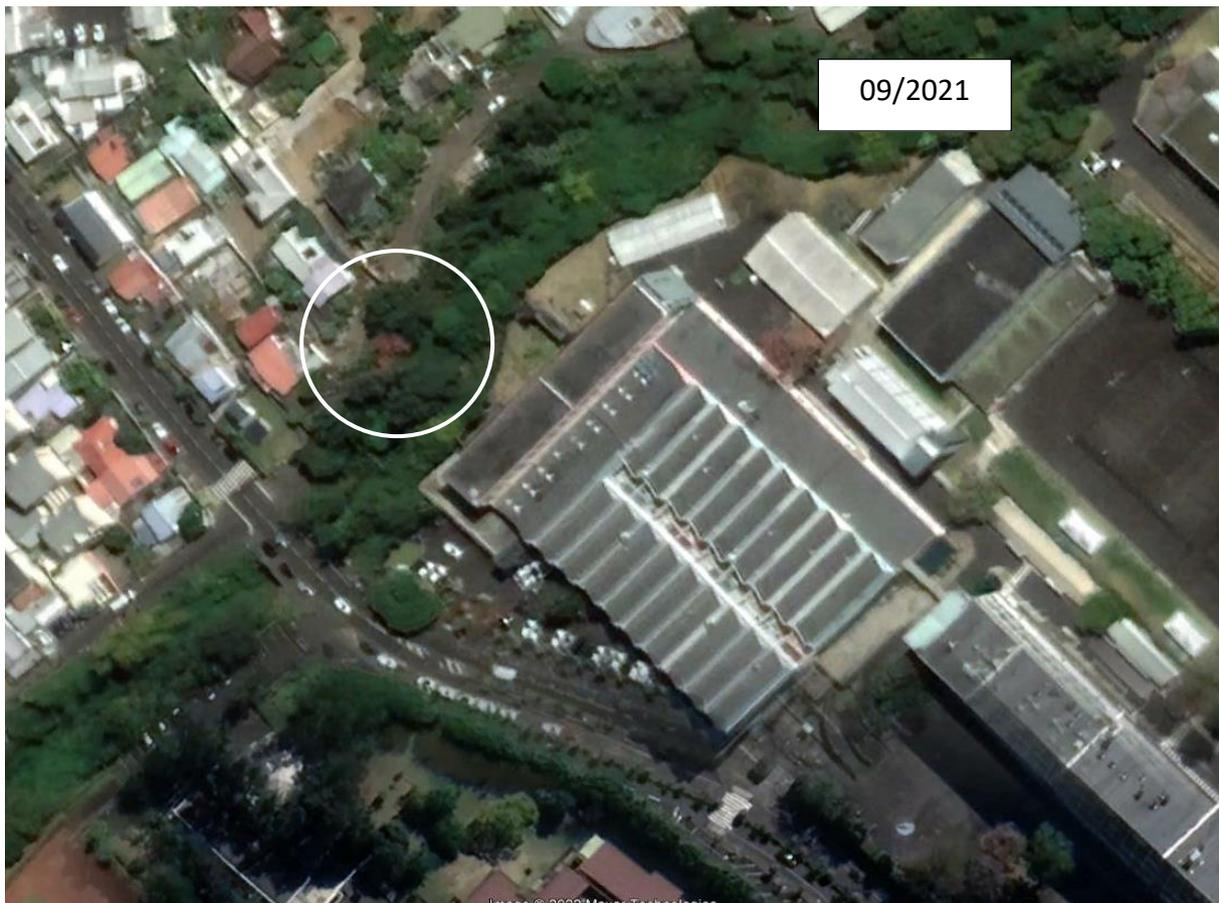


Photo 11 : Photographies aériennes de la zone d'étude.

4. Propositions de travaux de confortement

4.1. Synthèse des aléas

Les aléas identifiés sont liés à :

- Des crues ;
- Des risques d'embâcle forts ;
- L'érodabilité des niveaux scoriacés des berges rive droite et rive gauche ;
- Le risque d'effondrement des blocs basaltiques fracturés sous cavés ;
- L'effondrement total lié au sous cavage rive droite, blocs basaltiques et niveaux scoriacés,
- Des effondrements partiels en rive gauche sous les infrastructures du lycée.

4.2. Solution AVP paroi clouée

Les prescriptions envisagées par GETEC au stade AVP consistaient en la réalisation d'ancrages et paroi clouée.

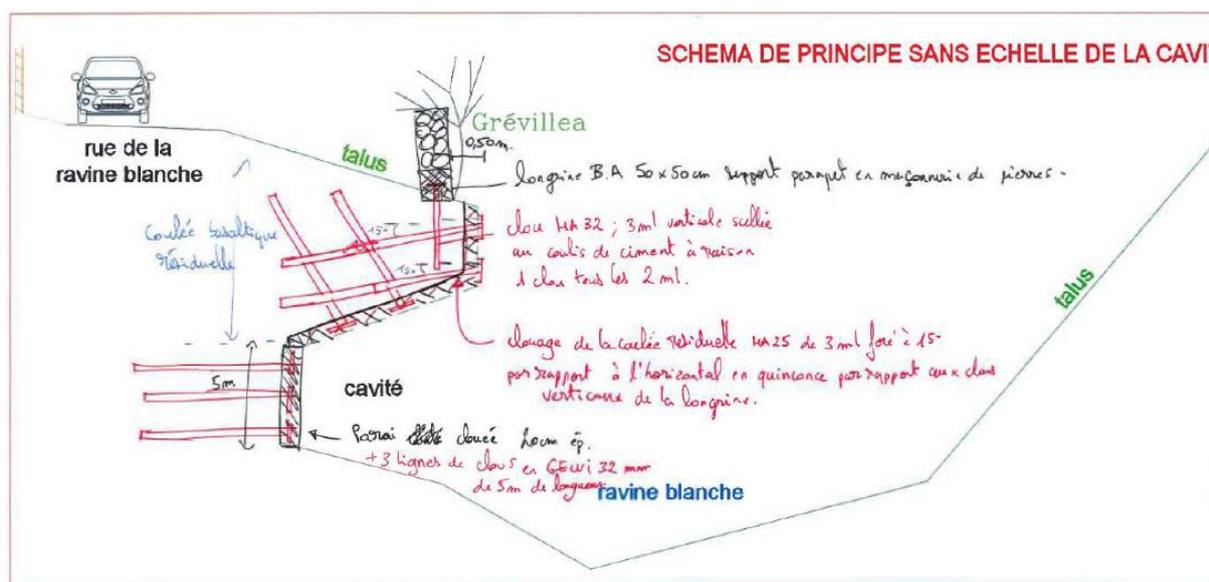


Figure 10 : Solution AVP GETEC

Cette solution est adaptée sur ces principes à la nature des aléas qui visent à stabiliser les zones d'érosion (les niveaux scoriacés) par du béton projeté et paroi clouée et ancrer les masses instables.

On ne retiendra pas la solution de la longrine béton armée et parapet maçonné qui crée une surcharge qui devra être reprise par les clous.

Cette solution établie sans avoir la dimension du sous cavage (profondeur 5,5 m) sous-estime la longueur des clous qui devra être supérieure, pour que les charges soient reprises au-delà de la ligne de rupture.

Cette solution doit dans tous les cas, si elle est retenue, être redimensionnée après une purge totale de tous les blocs instables qui ont été repérés dans le sous cavage.

Elle doit être également complétée du devenir des blocs éboulés qui obstruent le lit en l'état et après purge.

4.3. Solution PRO – mur de soutènement

La solution d'une paroi clouée en béton projeté évoquée dans le rapport G5 de SEGC n'ayant pas été retenue, la solution de mise en œuvre d'un mur de soutènement en maçonnerie de pierres et mise en œuvre d'encochements liés en rive gauche ont été détaillées en phase PRO.

Cette solution implique également le comblement de la cavité en béton.
Les travaux comprennent :

- La création d'une rampe d'accès et une piste provisoire ;
- La mise en œuvre d'un mur de soutènement en maçonnerie sur une semelle en béton armé ;
- Le comblement de la cavité en béton ;
- La mise en œuvre d'un encochement lié en rive gauche ;
- L'injection des cavités et failles en rive gauche.

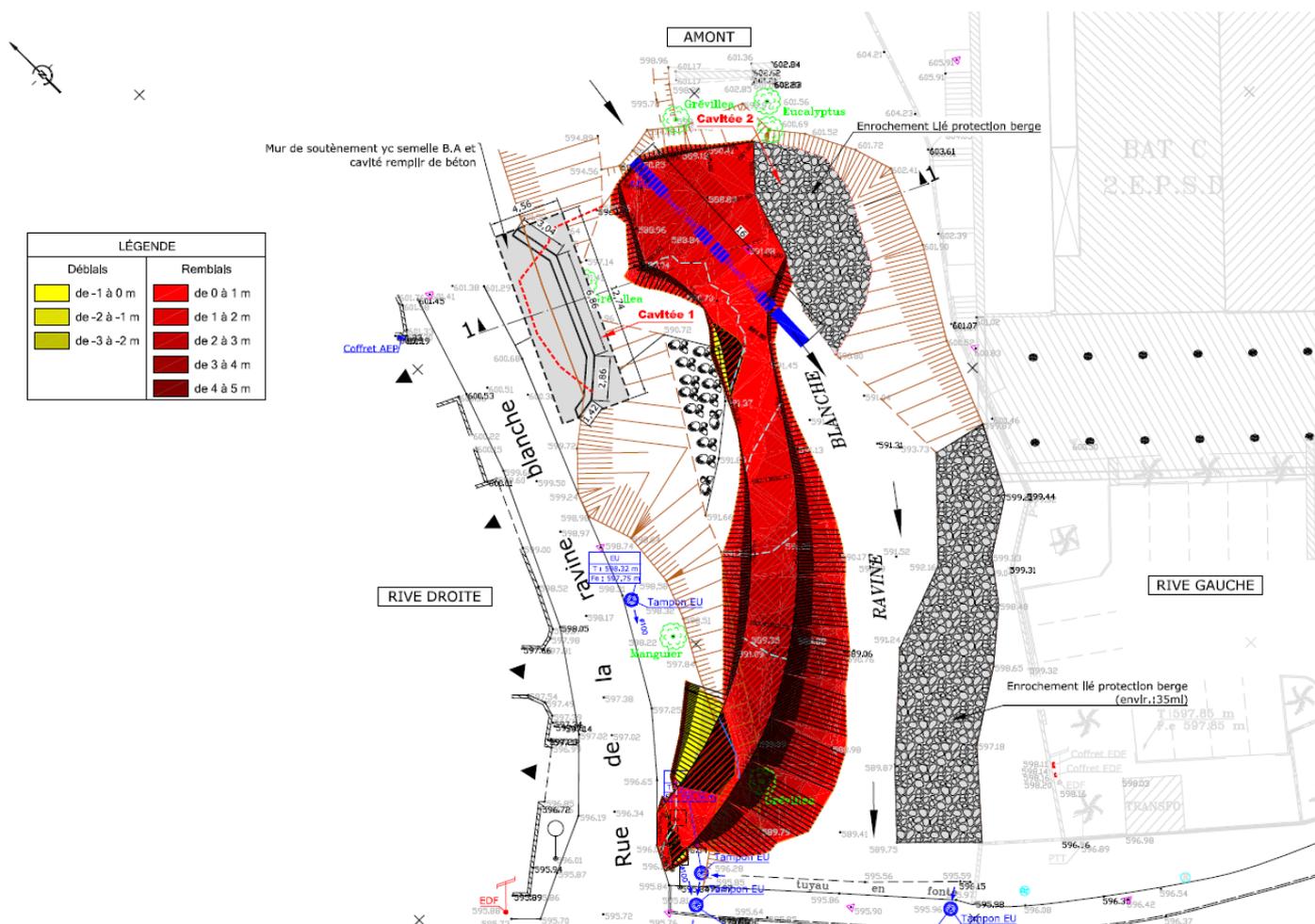


Figure 11 : Vue en plan des aménagements au stade PRO (GETEC)

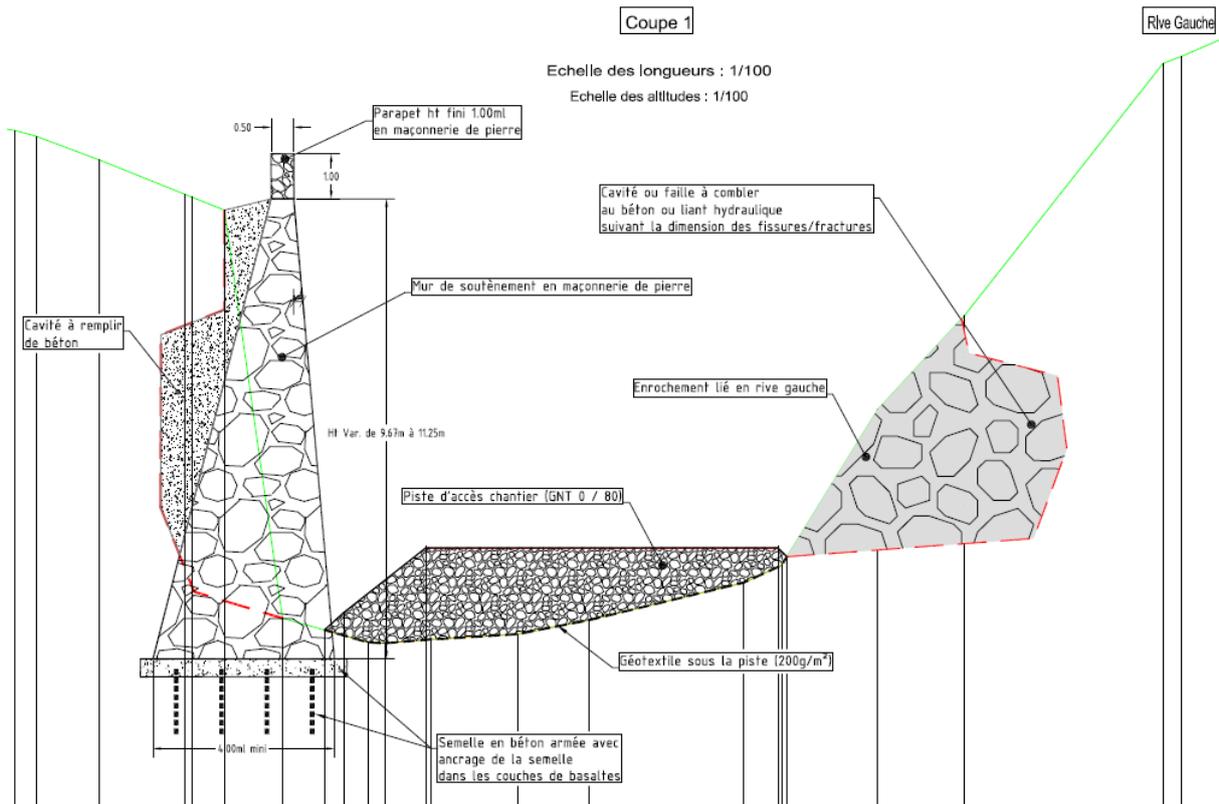


Figure 12 : Coupe transversale au stade PRO

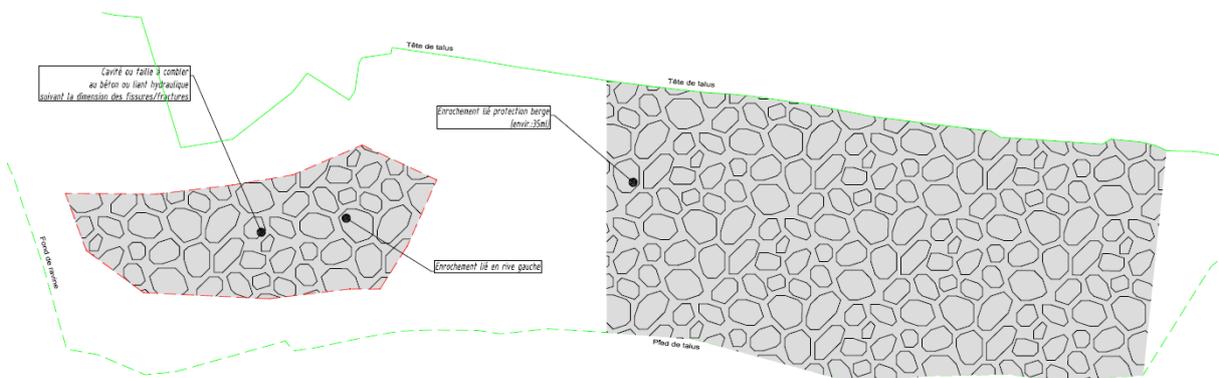


Figure 13 : Traitement de la rive gauche par enrochement

De manière générale, la solution globale de traitement de la rive gauche, ne peut être établie qu'à partir d'un diagnostic de l'état des menaces, qui n'a pas été réalisé à ce jour. Le traitement en masse par enrochement lié sur une quinzaine de mètres de hauteur n'est pas adapté à la configuration hydraulique qui n'atteint pas cette cote, ni au confortement des infrastructures du lycée vis-à-vis des sous cavages.



Figure 14 : Zone qui ferait l'objet d'un enrochement lié

Des solutions de confortement par ancrage, emmaillotage des masses instables et protection des zones érodables par béton projeté sont des solutions plus adaptées après identification précise des zones à traiter.

Pour ce qui est de la rive droite, la solution retenue n'est que partielle car elle ne vise que la zone du sous cavage et ne concerne pas la zone de l'éboulement, ce qui signifie que le traitement adopté devrait être poursuivi sur une quinzaine à vingtaine de mètres pour consolider la zone où la voirie a été affectée.

La solution du mur nécessite une assise favorable alors que celle-ci est pour l'instant peu visible car située sous les blocs éboulés du sous cavage. Il est donc probable que l'assise de la coulée doivent être descendue sur celle de la coulée qui compose le fond du lit soit un mur encore plus haut et plus large.

Cela revient à un mur « exceptionnel » d'une douzaine de mètres à plus de haut dont la stabilité interne et externe devra être justifiée par calcul. La stabilité interne et externe est difficile à établir pour un ouvrage de telle nature.

Compte tenu de la présence de venues d'eau le mur devra être drainé.

Compte tenu des écoulements de la ravine le mur doit être également considéré comme un enrochement lié au moins sur la hauteur concernée par les écoulements.

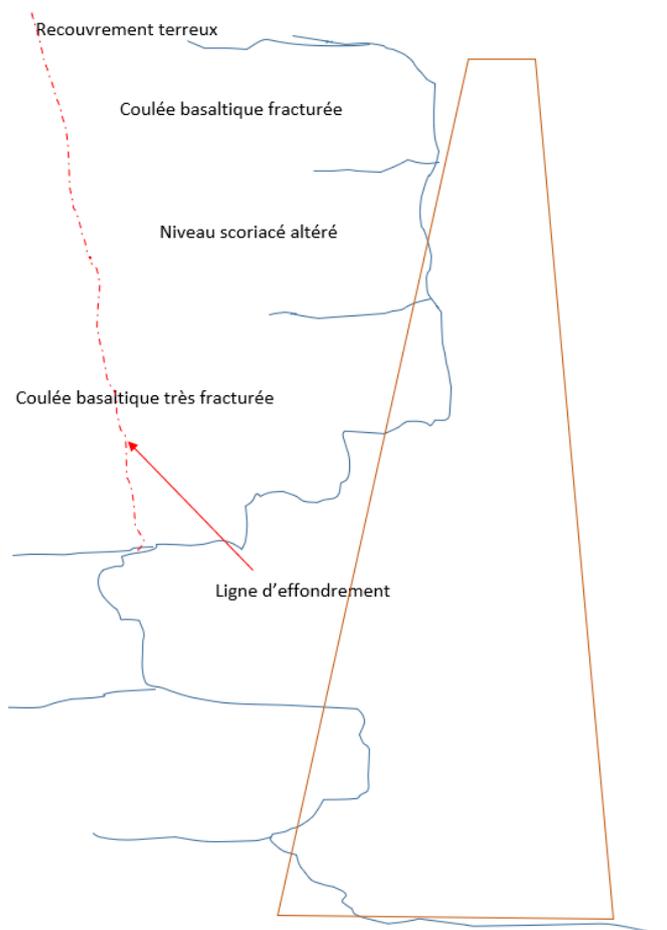


Figure 15 : Principe de la solution PRO apposée sur le relevé de l'expertise

En l'état la solution de mur ne paraît pas adaptée à la configuration du site ni à la nature des aléas relevés.

4.4. Préconisations

La première des actions à engager est un relevé de détail des menaces et géométries en rive droite et en rive gauche en l'état actuel.

Ce relevé doit permettre d'établir un programme de travaux spéciaux de :

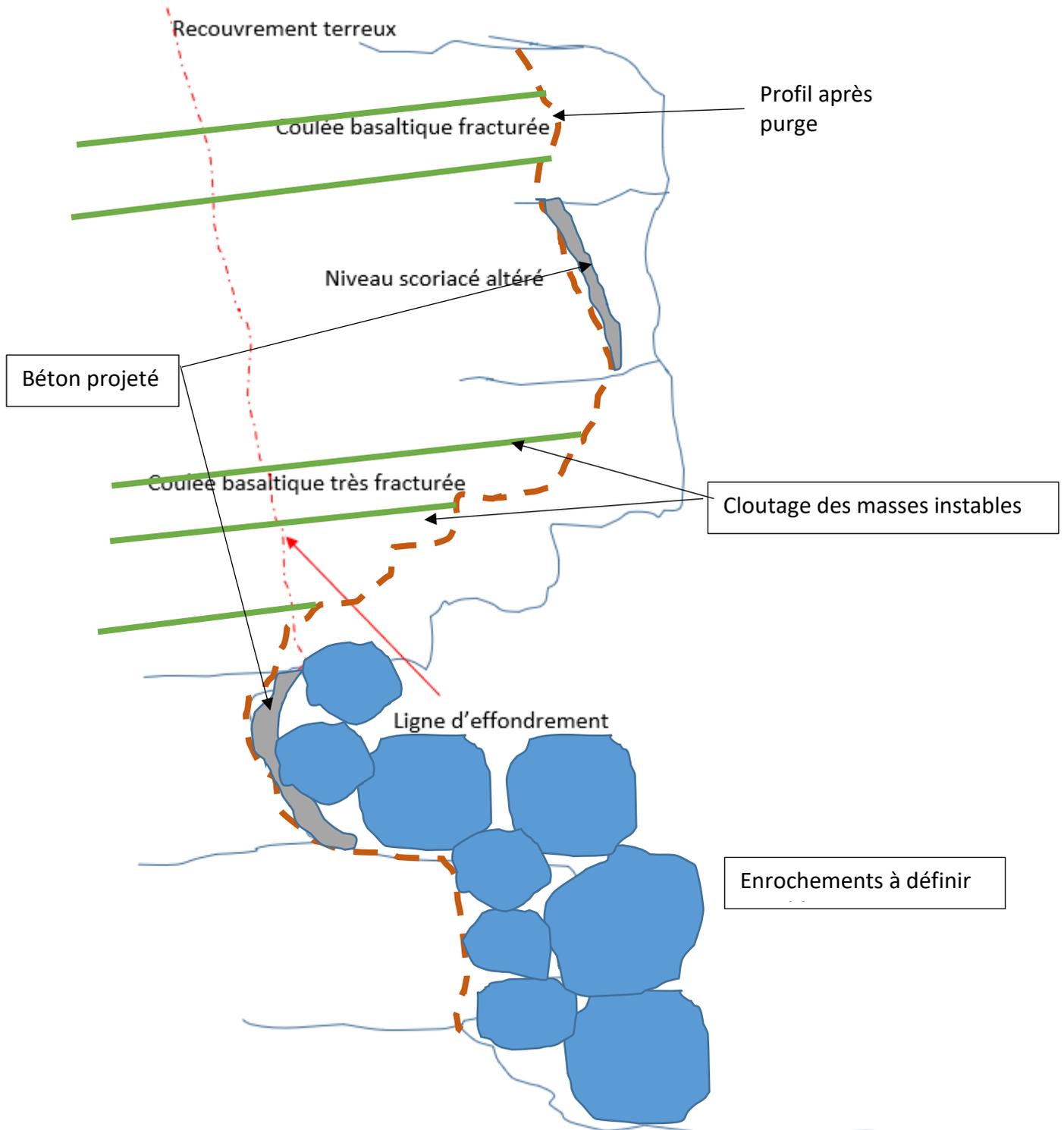
- Défrichage de la zone rive gauche de la chute jusqu'aux infrastructures du lycée ;
- Purge des matériaux terreux et végétaux en partie supérieure de la zone de sous cavage. Attention cette zone étant très instable, aucun engin ne doit y être disposé en tête. Une pelle en retrait à partir de la voirie pourra être utilisée en préalable (prévoir une longueur de bras suffisante) et l'intervention de personnel devra être sécurisé ;
- Purge des masses instables à la canne ou autre moyen, de la zone éboulée et de la zone du sous cavage ;
- Dans le lit de la ravine, fractionnement des gros blocs qui obstruent (perçage et mortier expansif ou cartouche de déroctage de catégorie P2) ;
- Relevé actualisé de la géométrie du site et des menaces (masses instables, volume, zones scoriacées, surface, sous cavage, degré de fracturation).

Les solutions possibles sont :

- Disposition en pied des blocs fracturés comme enrochement de base (attention au rôle et à la dimension de la zone de dissipation. Au vu de la problématique d'érosion et d'affouillement des berges décrite aux paragraphes précédents, des protections de type enrochements pourront être envisagées avec une réserve de pied de type para fouille (sabot de pied) ancrés dans le lit de la ravine. En fonction de la place disponible et de la pente à donner à ce confortement, les blocs de parement pourront être liaisonnés au béton, la réserve de pied si elle peut être mise en place du fait de la nature du substratum, resterait libre ;
- Fixation des masses instables par clous dimensionnés ou emmaillotage des masses sur la zone du sous cavage et de l'éboulement ;
- Béton projeté ancré ou pas selon la nature de la zone scoriacée, prévoir des barbacanes, sur la zone du sous cavage et de l'éboulement.

Ces principes pourront être appliqués également sur la rive gauche une fois les menaces identifiées.

Une solution plus radicale et de faire tomber la zone instable au-dessus du sous cavage et de la conforter plus légèrement après.



Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable. Les incertitudes ou les réserves qui seraient mentionnées dans la prise en compte des résultats et dans les conclusions font partie intégrante du rapport.

En conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou d'une reproduction partielle de ce rapport et de ses annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'Antea Group ne sauraient engager la responsabilité de celui-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Les résultats des prestations et des investigations s'appuient sur un échantillonnage ; ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité des milieux naturels ou artificiels étudiés. Par ailleurs, la prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par Antea Group ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Antea Group s'est engagé à apporter tout le soin et la diligence nécessaire à l'exécution des prestations et s'est conformé aux usages de la profession. Antea Group conseille son Client avec pour objectif de l'éclairer au mieux. Cependant, le choix de la décision relève de la seule compétence de son Client.

Le Client autorise Antea Group à le nommer pour une référence scientifique ou commerciale. A défaut, Antea Group s'entendra avec le Client pour définir les modalités de l'usage commercial ou scientifique de la référence.

Ce rapport devient la propriété du Client après paiement intégral de la mission, son utilisation étant interdite jusqu'à ce paiement. A partir de ce moment, le Client devient libre d'utiliser le rapport et de le diffuser, sous réserve de respecter les limites d'utilisation décrites ci-dessus.

Pour rappel, les conditions générales de vente ainsi que les informations de présentation d'Antea Group sont consultables sur : <https://www.anteagroup.fr/fr/annexes>



Antea Group est certifié :
logo MASE



SITES ET SOLS POLLUÉS
NF X 31-609-2
ÉTUDES, ASSISTANCE
ET CONTRÔLE



SITES ET SOLS POLLUÉS
NF X 31-609-3
INGÉNIERIE DES TRAVAUX
DE RÉHABILITATION



www.lne.fr