

**COMMUNE DE VAUX SUR POLIGNY (39)**

**RN5 – PR49+100 – MUR 27-05 ET FALAISE  
SOUS-JACENTE**

**ETUDE DE DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE ET  
D'AVANT-PROJET**

A LA DEMANDE ET POUR LE COMPTE DE LA DIR EST

<b>Dossier</b>	<b>18-347 II 14</b>	
<b>Indice</b>	<b>Modifications</b>	<b>Date</b>
0	Document initial	19/12/2023

## SOMMAIRE

<b>1 - PRESENTATION .....</b>	<b>4</b>
1.1 - Introduction.....	4
1.2 - Localisation.....	4
1.3 - Objectifs de l'étude .....	4
1.4 - Définition et localisation des enjeux .....	5
1.5 - Limites de l'étude .....	5
1.6 - Documents de référence .....	6
<b>2 - CONTEXTE GENERAL DU SITE .....</b>	<b>7</b>
2.1 - Contexte géologique .....	7
2.2 - Contexte géomorphologique .....	10
2.3 - Contexte hydrogéologique .....	10
2.4 - Contexte vis-à-vis des risques naturels .....	11
2.4.1 - Contexte vis-à-vis du risque sismique .....	11
2.4.2 - Phénomène mouvements de terrains .....	11
2.4.3 - Aléa retrait gonflement des argiles .....	13
2.5 - Historique de la zone sur photos aériennes .....	13
2.6 - Contexte environnemental .....	15
<b>3 - MUR 27-05 : SYNTHESE DES RECONNAISSANCES.....</b>	<b>16</b>
3.1 - Description de l'ouvrage .....	16
3.2 - Relevé des désordres .....	17
3.2.1 - Désordres relevés sur le mur .....	17
3.2.2 - Désordres relevés sur la zone d'influence du mur .....	19
<b>4 - DIAGNOSTIC DES PHENOMENES D'EBOULEMENT ROCHEUX .....</b>	<b>20</b>
4.1 - Analyse de l'événement passé .....	20
4.1.1 - Description de l'événement .....	20
4.1.2 - Analyse de l'événement .....	23
4.2 - Diagnostic vis-à-vis des éboulements rocheux.....	24
4.2.1 - Méthodologie .....	24
4.2.2 - Relevé des principales instabilités potentielles.....	26
4.3 - Analyse structurale et étude de la stabilité du massif rocheux .....	30
4.3.1 - Relevé des principales discontinuités .....	30
4.3.2 - Analyse cinématique et mécanismes de rupture .....	33
4.3.3 - Conclusion sur la stabilité du massif rocheux .....	36
<b>5 - SOLUTIONS DE TRAVAUX .....</b>	<b>37</b>
5.1 - Principes généraux .....	37
5.2 - Prédimensionnement des parades .....	37
5.2.1 - Gestion des écoulements d'eau .....	37
5.2.2 - Traitement des instabilités rocheuses potentielles.....	39
5.2.3 - Entretien du mur de soutènement .....	40
5.3 - Opérations de travaux .....	41
5.3.1 - Conditions de réalisation des travaux.....	41
5.3.2 - Sécurisation du chantier.....	41
5.3.3 - Opérations de maintenance .....	41
5.3.4 - Gestion foncière .....	41
5.4 - Estimatif financier.....	42
5.5 - Comparatif multicritères des solutions .....	43

## 1 - PRESENTATION

### 1.1 - INTRODUCTION

Le présent rapport d'étude a été réalisé par le Bureau d'Ingénieurs - Conseils GEOLITHE à la demande et pour le compte de la DIR EST.

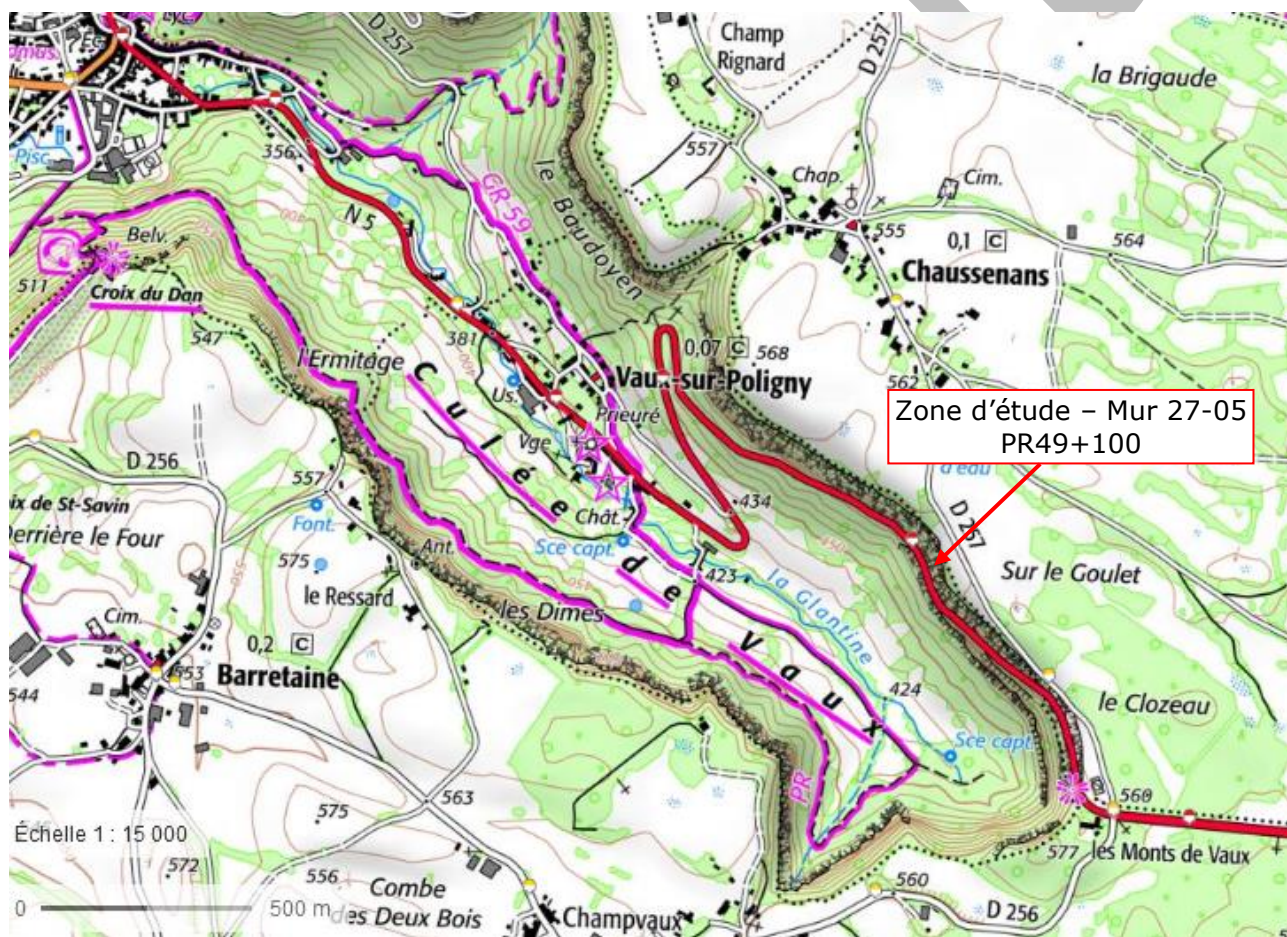
Il concerne l'étude de stabilité du mur 27-05 et de la falaise sous-jacente, situés en aval de la RN5 au PR49+100. Cette étude fait suite à un éboulement constaté en 2022.

Il s'agit d'une mission de diagnostic et d'avant-projet.

Les reconnaissances de terrain ont été réalisées le 31 octobre 2023.

### 1.2 - LOCALISATION

La zone d'étude se situe sur la commune de Vaux-sur-Poligny (39). Le mur de soutènement M27-05 et la falaise sous-jacente se situent en aval de la RN5 au niveau du PR49+100.



Localisation de la zone d'étude sur extrait de carte IGN

### 1.3 - OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette étude se place dans le cadre du programme d'amélioration de l'itinéraire RN5 concernant les murs et les falaises, lancé par la DIR Est en 2018.

Le principe d'action est de remettre en état les dispositifs de protection contre les éboulements rocheux et de mettre en œuvre si nécessaire des compléments de parades.



Les objectifs de cette étude sont de :

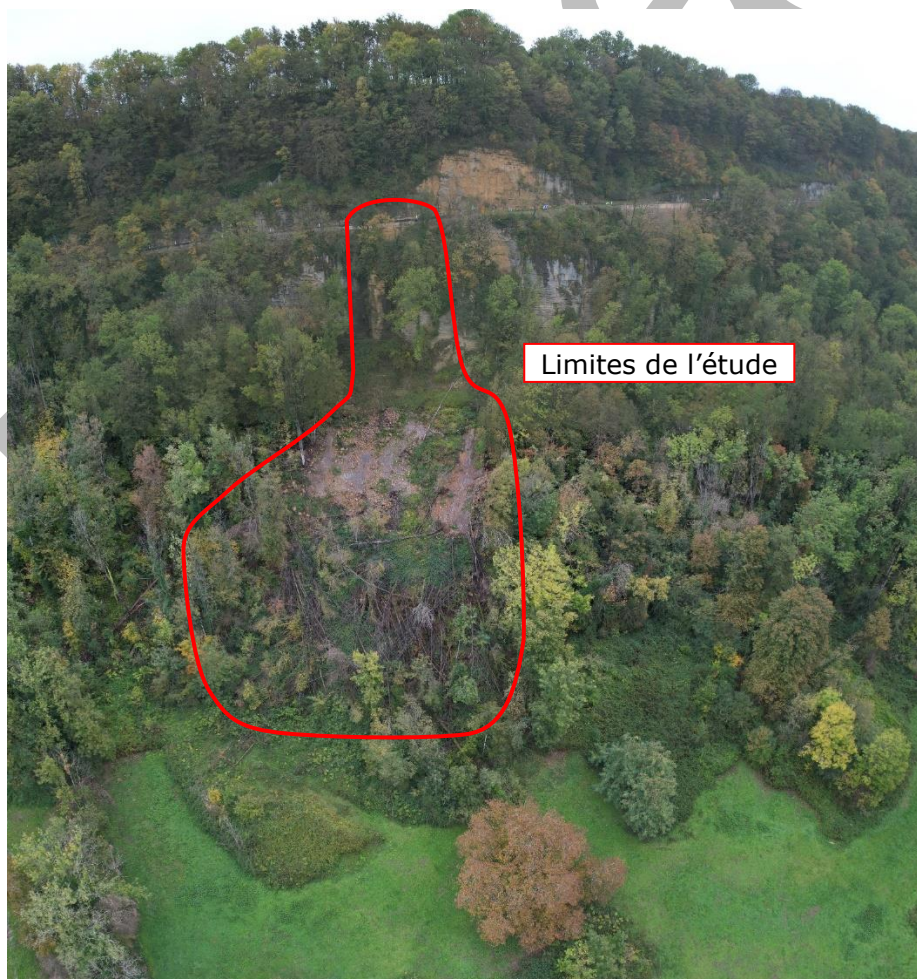
- Réaliser une description géologique, morphologique et structurale de la zone d'étude ;
- Réaliser une analyse de l'événement ayant affecté la zone d'étude ;
- Réaliser une description géométrique du mur 27-05 ;
- Etablir le diagnostic des désordres du mur 27-05 ;
- Réaliser une analyse structurale de la falaise rocheuse en aval du mur ;
- Relever les principaux compartiments instables ;
- Proposer et décrire des solutions de sécurisation envisageables ;
- Réaliser le prédimensionnement des différentes solutions ;
- Donner une estimation du coût des travaux ;
- Etablir les conditions de réalisation des travaux ;
- Etablir une analyse comparative multicritère des solutions de travaux.

#### **1.4 - DEFINITION ET LOCALISATION DES ENJEUX**

Les enjeux pris en compte sont la RN5, ses infrastructures et ses usagers.

#### **1.5 - LIMITES DE L'ETUDE**

La zone étudiée comprend le mur 27-05 de longueur 30 m environ, la falaise rocheuse sous-jacente et toute la zone concernée par l'événement en aval.



*Implantation des limites de l'étude sur photographie*

## **1.6 - DOCUMENTS DE REFERENCE**

### Documents de contexte :

- Fonds topographiques de l'IGN (en ligne : [www.geoportail.fr](http://www.geoportail.fr))
- Cartes géologiques du BRGM (en ligne : <http://infoterre.brgm.fr/>)
- Portail des risques naturels (Georisques.gouv.fr)
- Code de l'environnement : Prévention du risque sismique (Articles R563-1 à D563-8-1) portant délimitation des zones de sismicité sur le territoire français.

### Documents fournis par le client :

- Photographies de la zone de l'éboulement en aval de la falaise (06/2022).

Extrait

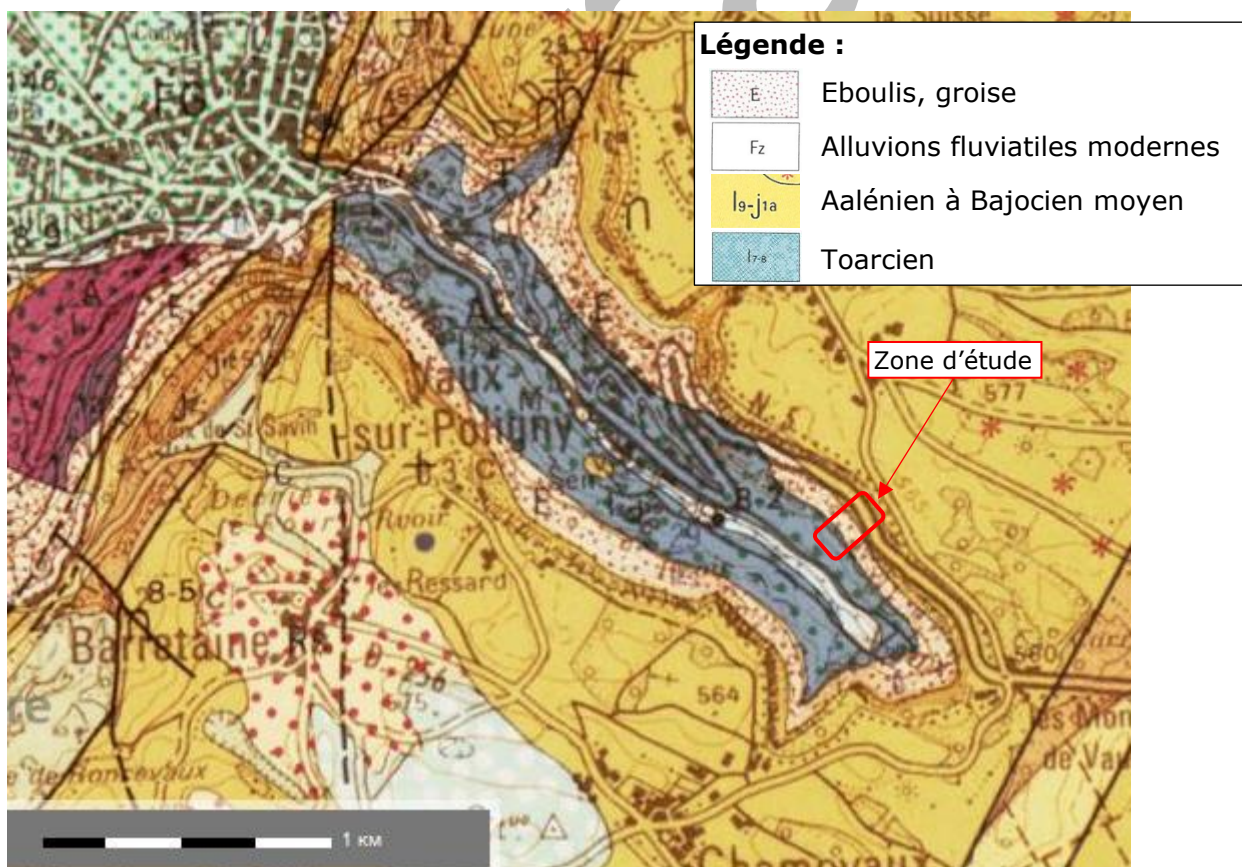
## 2 - CONTEXTE GENERAL DU SITE

### 2.1 - CONTEXTE GEOLOGIQUE

La zone d'étude se situe en bordure du plateau jurassien, en limite Nord de la reculée de Poligny. D'après la carte géologique de la France à l'échelle 1/50 000 – Feuille de Poligny, les formations rencontrées sont de l'amont vers l'aval :

- Des calcaires du Jurassique moyen (i9-j1a, Aalénien à Bajocien moyen) correspondant aux barres rocheuses observées en amont de la RN5 et jusqu'en aval du mur 27-05. Il s'agit principalement de calcaires marneux, calcaires à silex et de calcaires à entroques. La stratification est tabulaire ;
- En pied de barre rocheuse, des éboulis (E) contenant soit des amas de blocs, soit une groise (petits fragments calcaires anguleux cimentés entre eux) mélangée aux niveaux argileux du pied de falaise ;
- En fond de la reculée, des marnes / argiles plastiques grises / schistes carton du Jurassique inférieur (A/i7-8, Toarcien) ;
- Sur les bords de la Glantine, des alluvions fluviatiles modernes (Fz).

La carte géologique indique la présence d'une direction de fracturation préférentielle ~N30, avec notamment de failles d'extension pluri-kilométrique repérées en bordure Est et Ouest de la reculée.

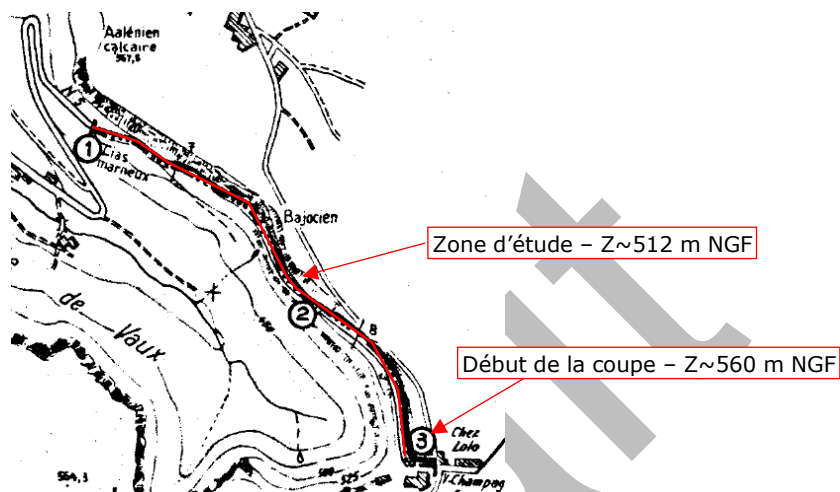


Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème, feuille de Poligny n°555  
(Source : Infoterre – BRGM)

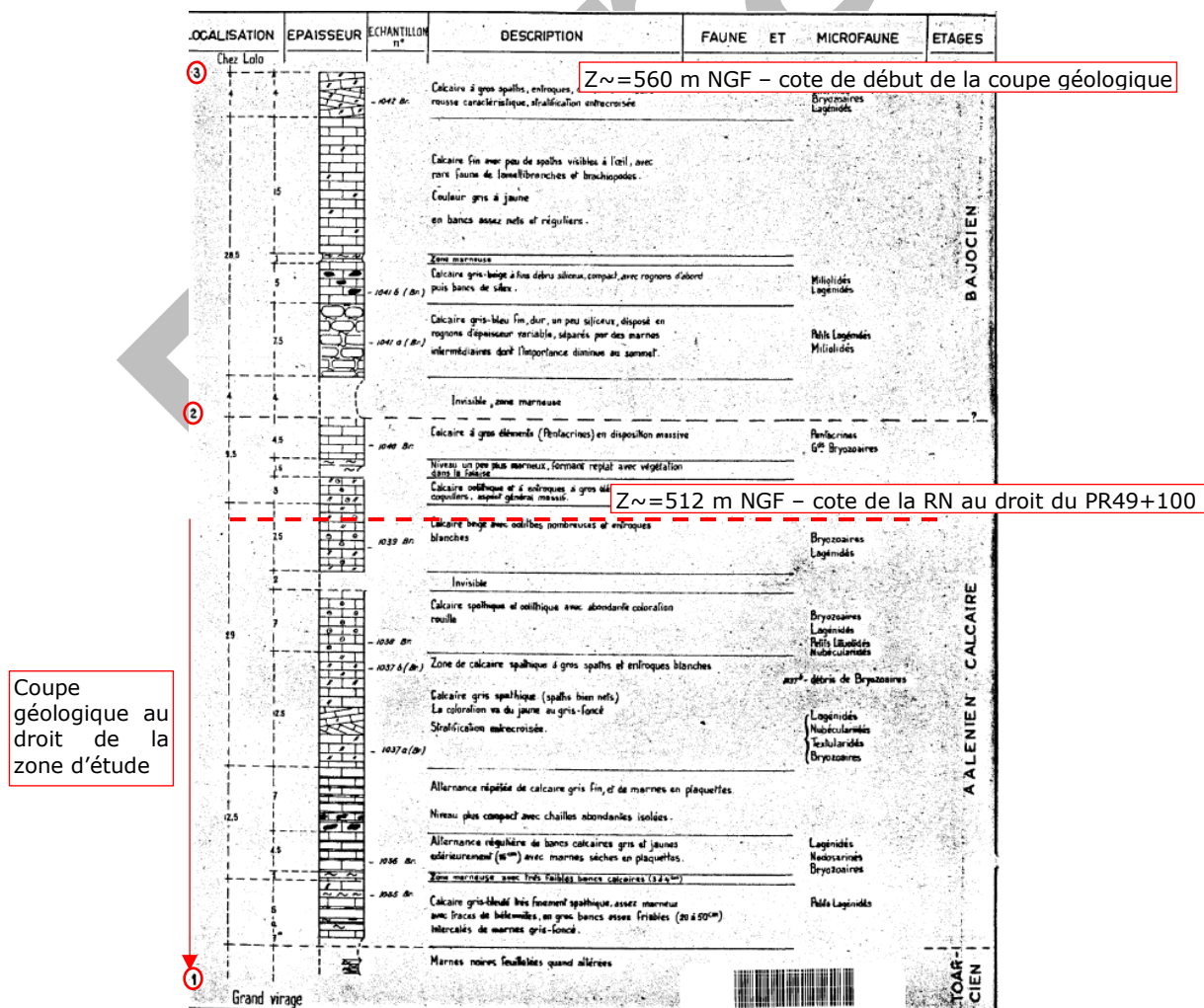


D'après une coupe réalisée en 1958 par G. Kuntz et D. Lajat le long de la RN5 qui descend progressivement le long de la série sédimentaire, les terrains rencontrés au droit de la zone d'étude sont les suivants :

- Des calcaires oolithiques et spathiques sur 26 m d'épaisseur ;
- Une alternance de calcaires et de marnes sur 12.5 m d'épaisseur ;
- Un calcaire gris bleuté assez marneux sur 5 à 7 m d'épaisseur ;
- Les marnes noires du Toarcien, à partir de 44 m de profondeur environ par rapport à la RN5 (cote 468 m NGF environ).

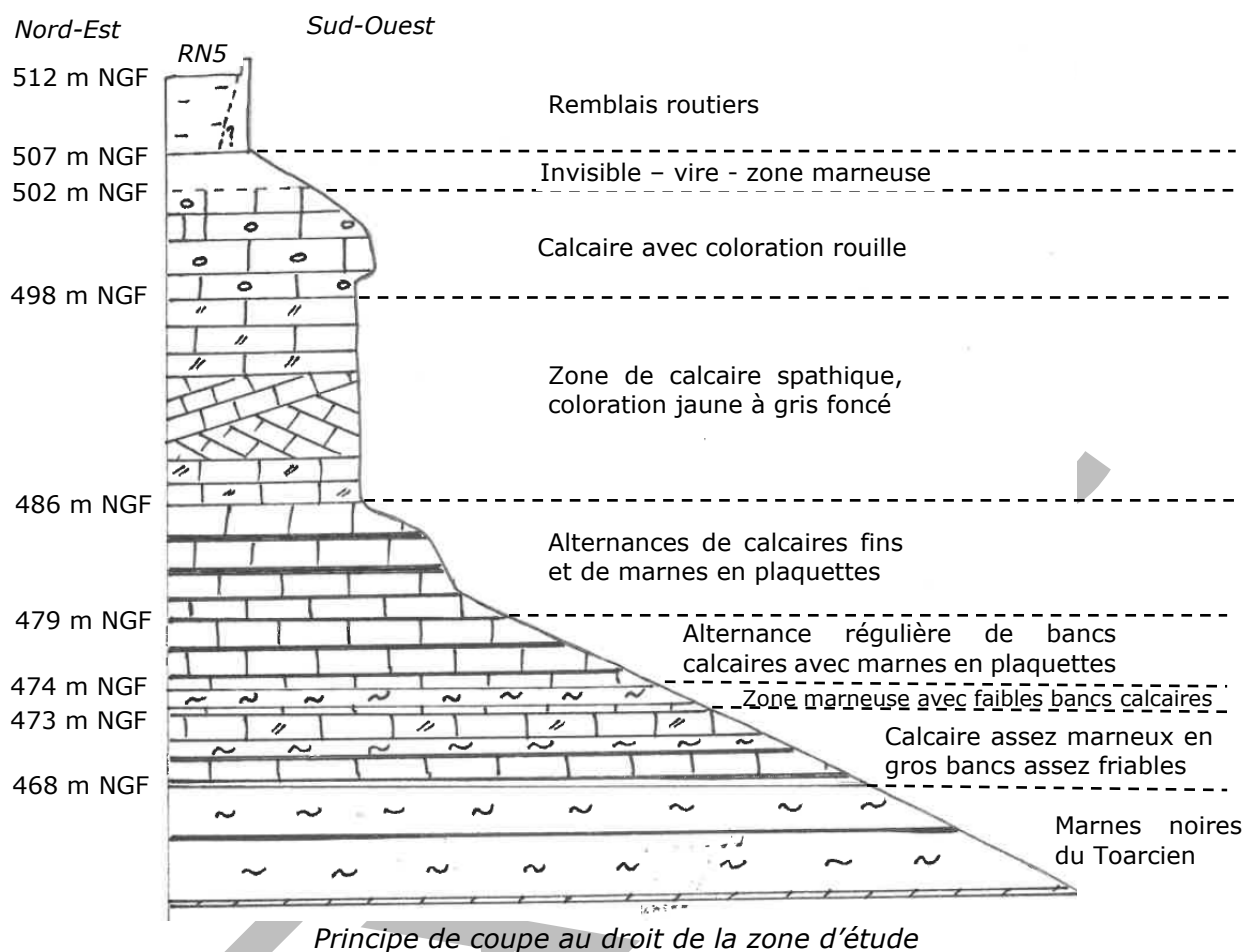


Implantation de la coupe de 1958 réalisée le long de la route



Extrait du log de 1958

Un principe de coupe géologique au droit de la zone d'étude, basé sur la coupe de 1958 et les observations de terrain, est présenté ci-dessous. Les formations superficielles de pente et la zone de glissement ne sont pas représentées :

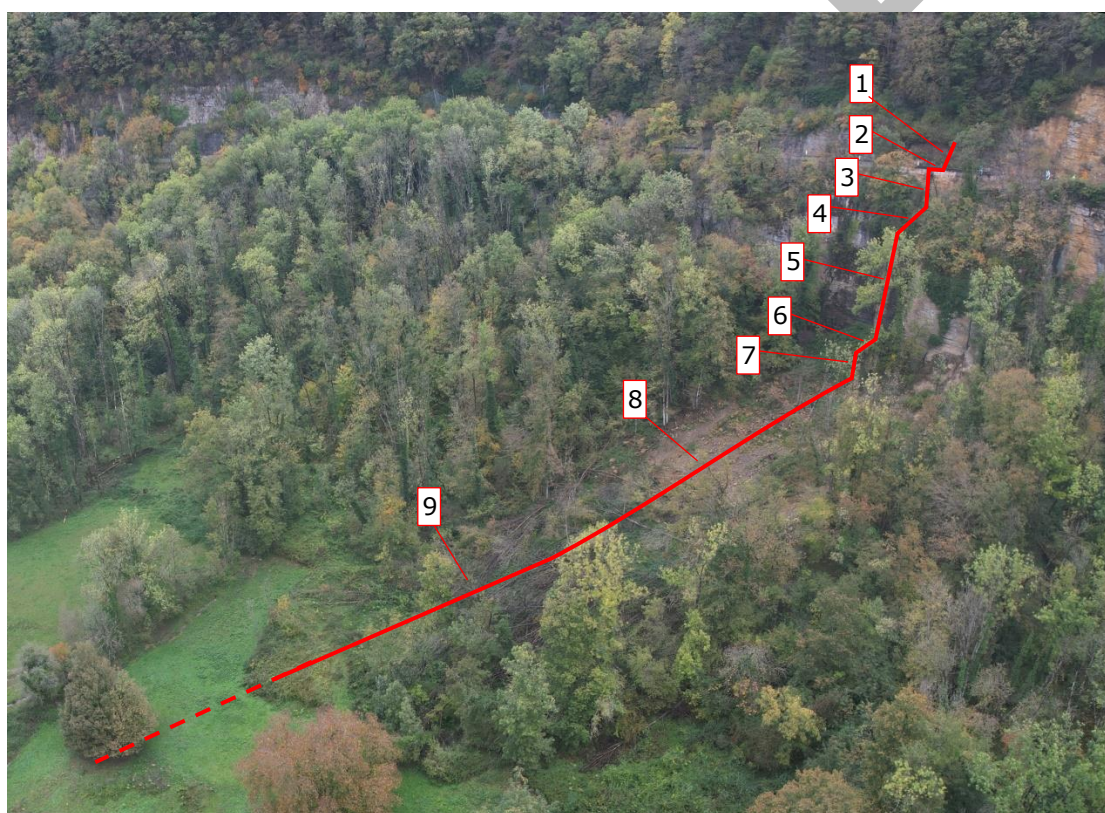




## 2.2 - CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

De l'amont vers l'aval, on observe :

1. Le talus amont de la RN5, formé de calcaires à stratification horizontale ;
2. La RN5, de largeur 8 m environ, située à la cote 516 m NGF ;
3. Le mur 27-05, subvertical, de hauteur 5.5 m au maximum ;
4. Une petite vire de largeur 9 m environ, pentée de 30 à 35°. La largeur de la vire est moins importante (inférieure à 3 m) en extrémité Nord-Ouest du mur ;
5. Une barre rocheuse subverticale de hauteur 17 m environ ;
6. En pied de barre, une petite vire de largeur 3 à 4 m, pentée à 30° ;
7. Un ressaut meuble de hauteur 4 m formant une marche ;
8. Une zone de glissement de pente moyenne 27°, s'étendant sur une longueur développée de 45 m ;
9. En aval de la zone de glissement, le bas du versant, végétalisé et dont la pente s'adoucit progressivement jusqu'à la Glantine qui coule en fond de la reculée.



*Profil-type au droit de la zone d'étude*

## 2.3 - CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Le plateau calcaire du Bajocien constitue une zone préférentielle d'infiltration et d'accumulation de l'eau qui s'infiltre via des failles ou de petites zones d'effondrement. Les écoulements en provenance du plateau résurgent ensuite en partie inférieure des barres calcaires et alimentent les éboulis situés au-dessus des marnes du Toarcien.

Au droit de la zone d'étude, certaines versions de la carte topographique indiquent la présence d'un écoulement d'eau démarrant en pied de falaise et se jetant dans la Glantine en aval.

La base de données du sous-sol indique en effet la présence d'une source identifiée en pied de falaise (document daté d'octobre 1966), à la cote 475 m NGF.

Lors des reconnaissances sur site, par temps de pluie et après plusieurs jours de fortes précipitations, plusieurs zones de ruissellement sont identifiées sur la zone d'étude. L'eau issue de la RN5 est rejetée en aval du mur via des ouvrages hydrauliques et s'écoule le long du rocher.

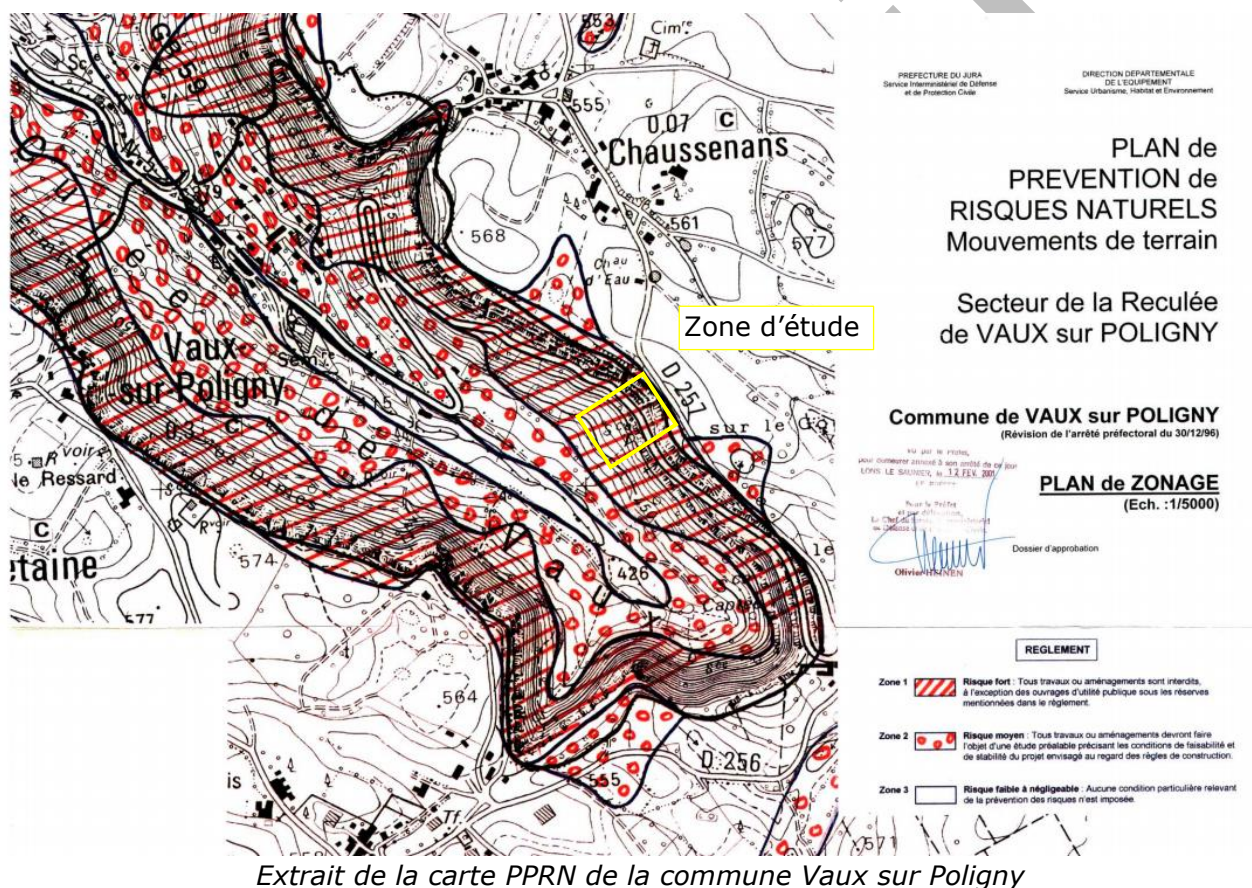
## 2.4 - CONTEXTE VIS-A-VIS DES RISQUES NATURELS

### 2.4.1 - Contexte vis-à-vis du risque sismique

Conformément au code de l'environnement : Prévention du risque sismique (Articles R563-1 à D563-8-1) portant délimitation des zones de sismicité sur le territoire français, la commune de Vaux-sur-Poligny est située en zone de sismicité 3 (modérée).

### 2.4.2 - Phénomène mouvements de terrains

La commune de Vaux-sur-Poligny est dotée d'un Plan de Prévention des Risques Naturels concernant la reculée, approuvé en date du 12/02/2001. La carte du PPRN mouvements de terrain du secteur est présentée ci-dessous :

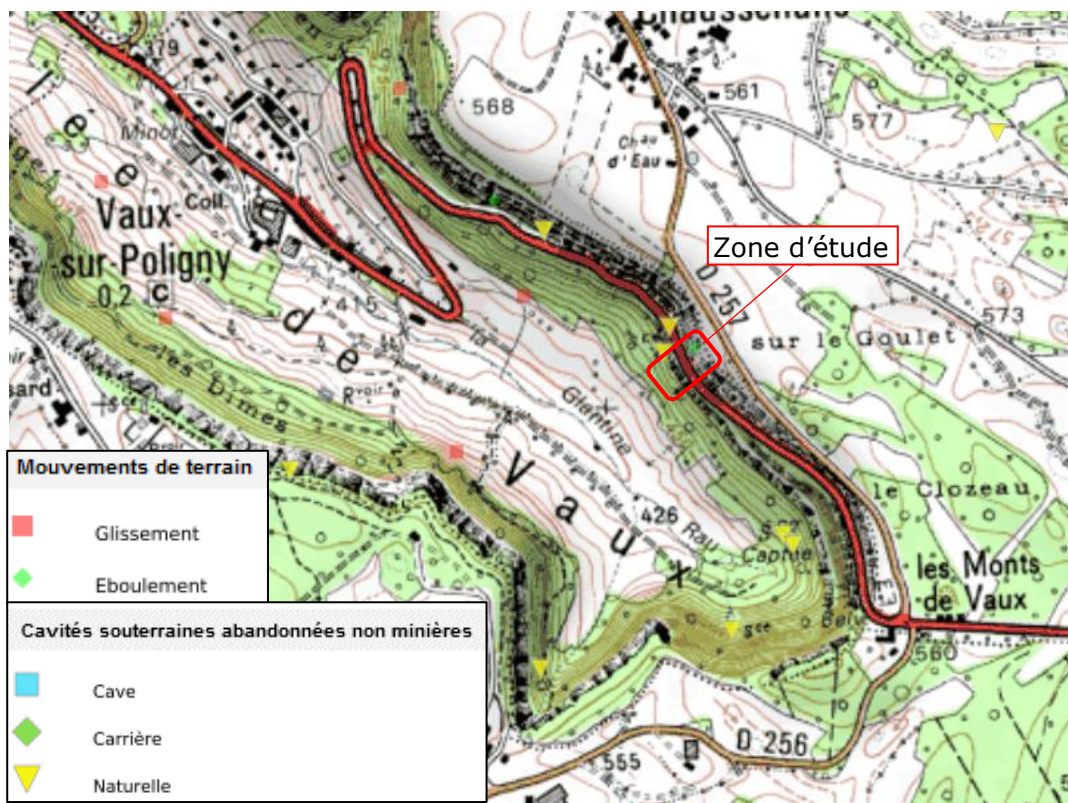


La carte ci-dessus montre que la zone d'étude se situe en zonage de **risque fort**.

Par ailleurs, plusieurs phénomènes naturels sont référencés dans le secteur sur la base de données du BRGM :

- Des cavités naturelles dans les calcaires de l'Aalénien et en particulier deux cavités recensées à proximité directe de la zone d'étude ;
- Des glissements sur les premiers talus en dessous des barres rocheuses ;
- Un éboulement recensé en amont de la RN5 à proximité de la zone d'étude (années ~1900, longueur ~50 m).





Extrait de la carte d'aléa des mouvements de terrains et cavités (Source : infoterre.brgm)

La portion de la RN5 située au Nord-Ouest, entre les PR47+500 et 48+500, est sujette à des phénomènes de glissements de terrains et a fait l'objet de plusieurs études Géolithe (diagnostic, avant-projet, projet). Des travaux de confortement de plusieurs murs ont également été réalisés en 2021.

La notice de la carte géologique indique que « des glissements de terrain affectent toutes les pentes marneuses du Lias moyen et supérieur, notamment celles du Toarcien. [...] Les principales causes de ces mouvements sont les suivantes :

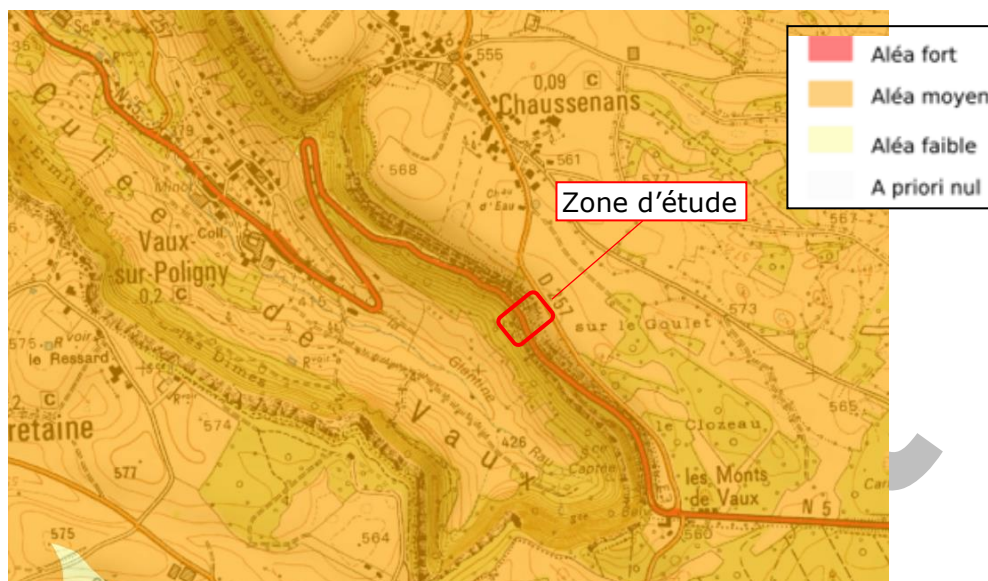
- Les lignes de sources situées à la base des falaises bajociennes alimentent dans la couche superficielle d'altération des marnes des circulations « sous-cutanées » qui lubrifient le contact marnes saines – marnes altérées ;
- La surcharge due aux éboulis qui s'accumulent au pied de ces falaises contribue à augmenter l'instabilité des niveaux marneux sous-jacents, de nature très plastique et ayant une tendance naturelle au fluage ».

La description de la notice de la carte géologique est entièrement applicable à la zone d'étude, sur laquelle des sources sont présentes en pied de la falaise Bajocienne et des éboulis recouvrent les pentes de marnes altérées.



### 2.4.3 - Aléa retrait gonflement des argiles

D'après la cartographie de Géorisques, la zone d'étude se trouve en zone d'aléa moyen vis-à-vis du retrait gonflement des argiles. Cette cartographie ne concerne pas les talus rocheux. Mais principalement la formation des argiles et marnes du Toarcien.



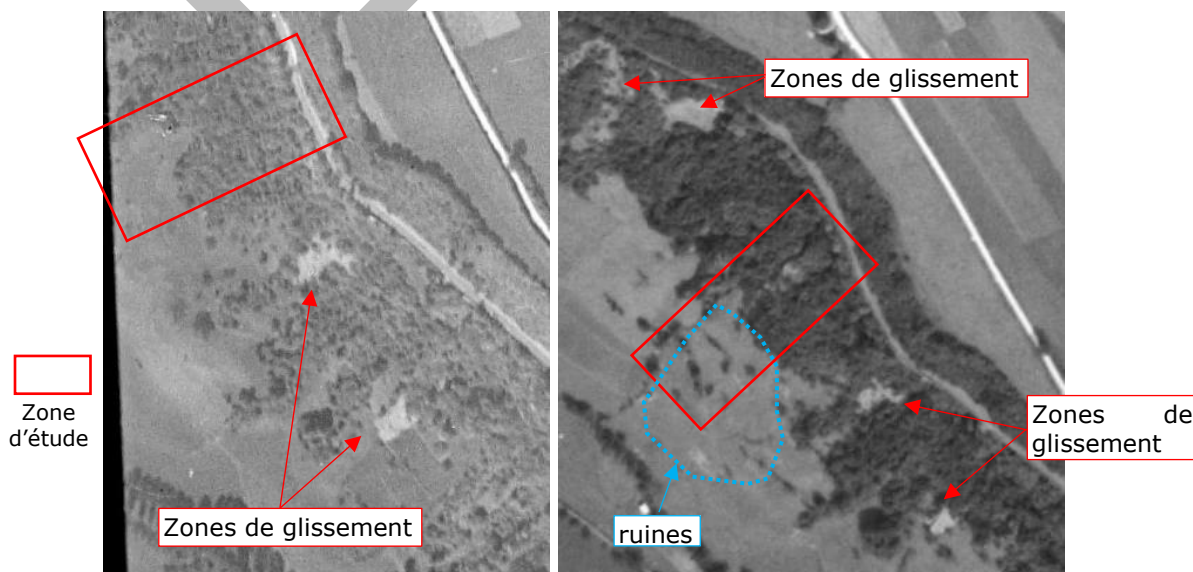
Extrait de la carte d'aléa retrait-gonflement des argiles (Source : Géorisques.gouv)

### 2.5 - HISTORIQUE DE LA ZONE SUR PHOTOS AERIENNES

Des photographies historiques de la zone d'étude sont disponibles à partir de 1938. Elles mettent en évidence plusieurs phénomènes de glissement à proximité directe de la zone d'étude, ainsi que des aménagements anthropiques en pied de zone.

La première photographie disponible (1938) montre deux zones de forêt mises à nu en aval de la route, à L'Est de la zone d'étude. Ces zones peuvent correspondre à des zones de glissement.

Sur la photographie suivante (1951), ces deux zones de glissement sont toujours visibles, bien que moins étendues. Des zones de glissement sont également visibles plus au Nord, toujours en aval de la route. Des ruines sont également visibles en aval de la zone d'étude : on distingue environ 6 fondations rectangulaires de dimensions 15 \* 5 m environ.



Photographies aériennes de 1938 et 1951 (source : IGN – remonter le temps)

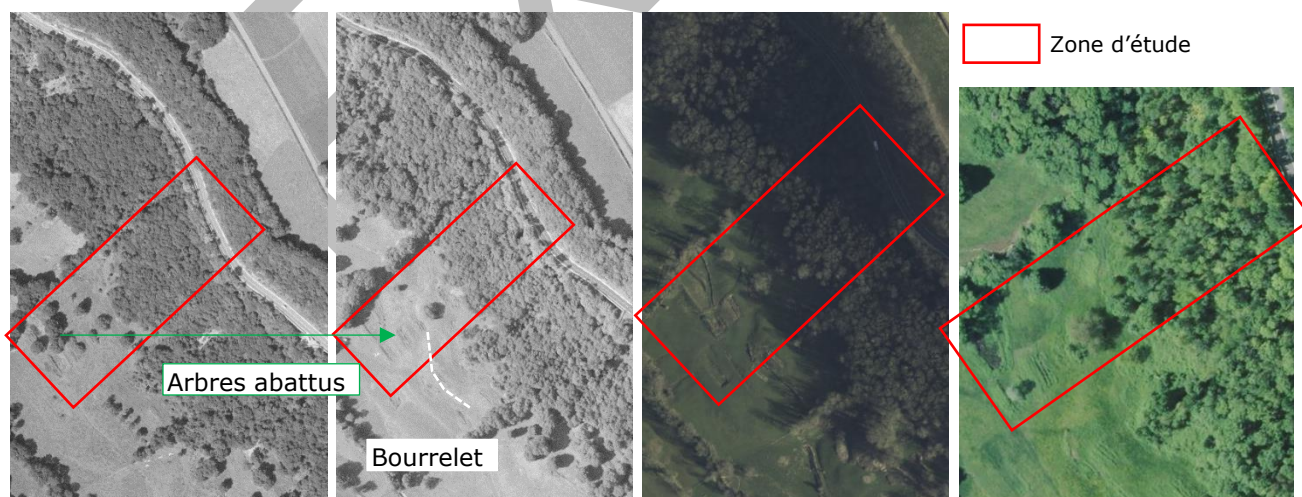
Un lac est visible sur les photographies à partir de 1956 environ et jusque dans les années 70. Les zones de glissement sont de moins en moins visibles dans le paysage, aucune nouvelle zone de glissement n'est observée. La photographie de 1964, de bonne résolution et prise en hiver, permet d'identifier des blocs éboulés en pied de la barre rocheuse. Le mur M27-05 est également visible.



Photographies aériennes de 1962 et 1964 (source : IGN – remonter le temps)

A partir de la photographie de 1989, les zones de glissement ne sont plus visibles. En revanche, des arbres ont été abattus en pied de zone (les premiers abattages sont visibles dès les photographies de 1984). On distingue également sur la photographie de 1989 un bourrelet en partie inférieure de la zone d'étude.

De 1989 à 2020 (dernière photo disponible), la situation ne semble pas avoir évolué significativement : aucun signe de glissement en versant mais plusieurs bourrelets bien visibles en pied de zone.



Photographies aériennes de 1978, 1989, 2012 et 2020 (source : IGN – remonter le temps)



## 2.6 - CONTEXTE ENVIRONNEMENTAL

La zone d'étude se trouve dans la ZNIEFF de type I « Reculée de Vaux-sur-Poligny », Id. 430002181.



Cartographie de la ZNIEFF de type 1 (source : Geoportail.fr)



## 4 - DIAGNOSTIC DES PHENOMENES D'ÉBOULEMENT ROCHEUX

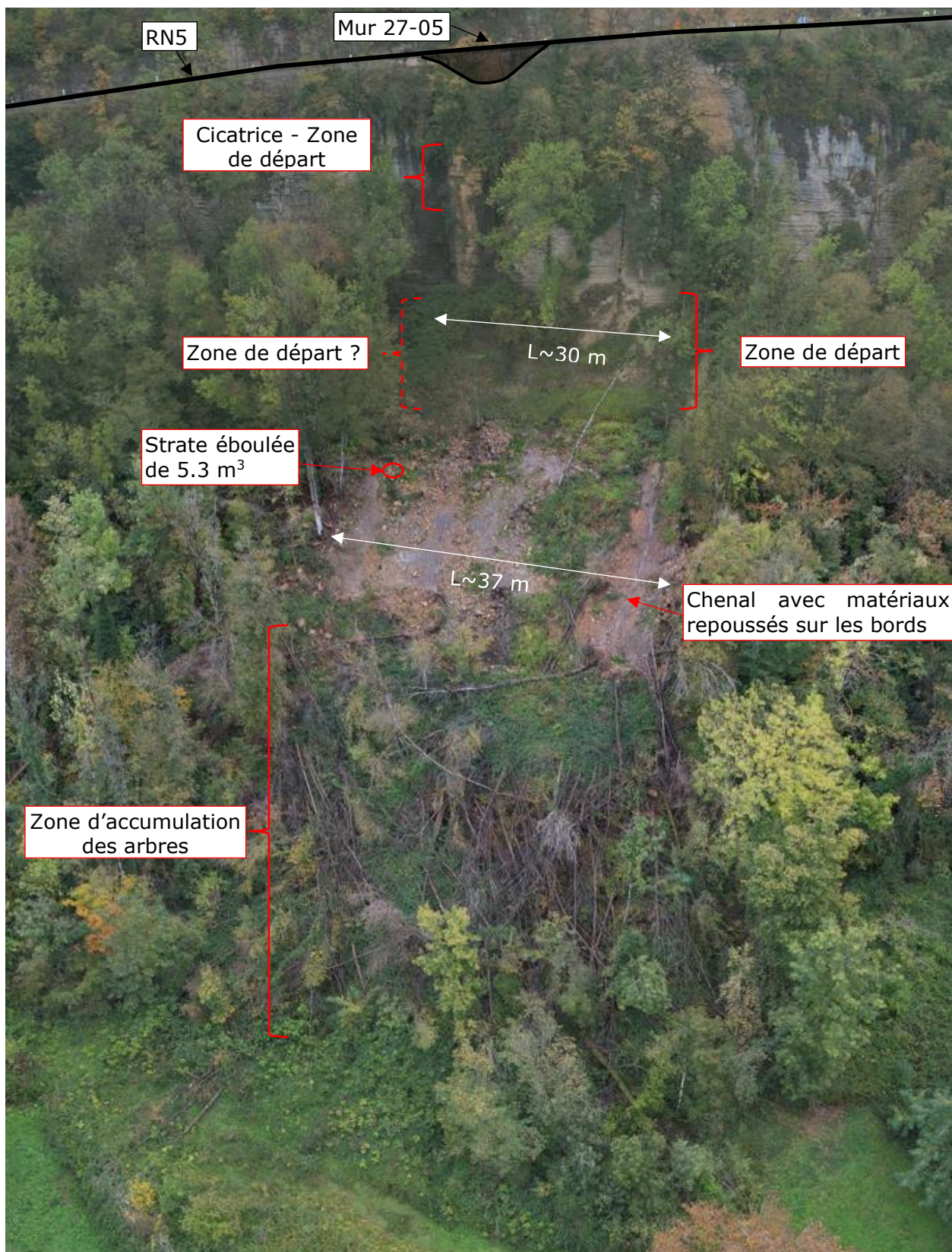
### 4.1 - ANALYSE DE L'ÉVÉNEMENT PASSE

#### 4.1.1 - Description de l'événement

L'événement a été constaté en 2022 par les exploitants de la RN5 : constat d'un glissement et d'un éboulement. Les observations réalisées lors des reconnaissances de terrain en 2023 mettent en évidence les éléments suivants :

- Présence d'une cicatrice sur la paroi rocheuse au droit du mur M27-05. Les limites de la cicatrice ne sont pas bien définies, cependant on relève plusieurs masses rocheuses en surplomb en crête de paroi, sur une hauteur de 4 m et une largeur de 5 m environ. La zone éboulée se situe en aval de ces masses et se poursuit probablement vers l'aval en partie Nord du pilier.
- Présence d'une seconde cicatrice en pied de paroi, décalée vers le Sud. Cette cicatrice est marquée par un ressaut raide d'environ 4 m de hauteur, rocheux en partie supérieure et composé de terrains meubles en partie inférieure. On observe des racines d'arbres à nu au contact avec le rocher.  
Sur les photos prises par l'exploitant en 2022, on observe aussi en pied de paroi un morceau de strate rocheuse très fracturé, sous un arbre. Cette strate peut correspondre à du rocher en place très altéré, ou à un morceau de strate éboulé ayant glissé vers l'aval en conservant sa structure.  
L'extension latérale de la zone de départ en pied de paroi est incertaine, la zone en aval du mur étant recouverte par des ronces.
- En pied de paroi se trouve un éboulis composé d'une grande quantité de matériaux rocheux. Ces matériaux sont dispersés sur une longueur développée de 45 m et une largeur de 30 m en pied de paroi, 37 m plus en aval. La taille des éléments rocheux est très variable :
  - o leur volume moyen est de l'ordre de 0.02 à 0.05 m<sup>3</sup> ;
  - o on relève de nombreux blocs de volume 0.1 à 0.3 m<sup>3</sup> ;
  - o le compartiment le plus grand est une portion de strate rocheuse de volume 5.3 m<sup>3</sup> (1.7 x 2.8 x 1.1 m).
- Ces éboulis recouvrent les terrains argileux sous-jacents qui ont subi un glissement. La niche d'arrachement d'une des loupes de glissement est bien visible sur les photos prises par la DIR Est en 2022. Lors de notre visite, les ronces ont recouvert la partie supérieure de l'éboulis, cachant donc cette niche d'arrachement.
- On distingue un chenal en partie Sud du glissement, correspondant à une zone de coulée. Ce chenal est large de 3 à 4 m et incisé de plusieurs dizaines de centimètres. Les matériaux rocheux issus de l'éboulement ont été repoussés de part et d'autre du chenal, probablement par le glissement de deux arbres arrêtés en extrémité de la coulée.
- Il n'y a plus de végétation sur la zone hormis des ronces. En pied de la zone glissée se trouve une accumulation de plusieurs dizaines d'arbres morts, couchés dans le sens de la pente. De part et d'autre de la zone glissée, sur les terrains non affectés par l'événement, on observe également des arbres penchés vers l'aval.  
Il est probable qu'au vu des formations en présence (argiles très sensibles au glissement) et de la forte quantité d'eau sur la zone, tout le versant en aval des barres rocheuses soit en limite de stabilité.

La vue générale ci-dessous présente les principaux éléments décrits ci-dessus. Des photos de détail sont présentées page suivante :



*Vue générale de la zone de l'événement*





*A gauche : pilier avec cicatrice en crête et ressaut meuble en pied  
Au centre : strate rocheuse fracturée en place ou glissée  
A droite : niche d'arrachement en aval de la paroi rocheuse (photo 2022)*



*A gauche : cicatrice en pied de paroi côté Sud, avec racines d'arbres à nu  
A droite : strate rocheuse éboulée,  $V \sim 5.4 \text{ m}^3$*



*A gauche : chenal au Sud de la zone de glissement avec matériaux rocheux sur les rives  
A droite : vue de la zone de glissement avec arbres couchés et terrains argileux à nu*

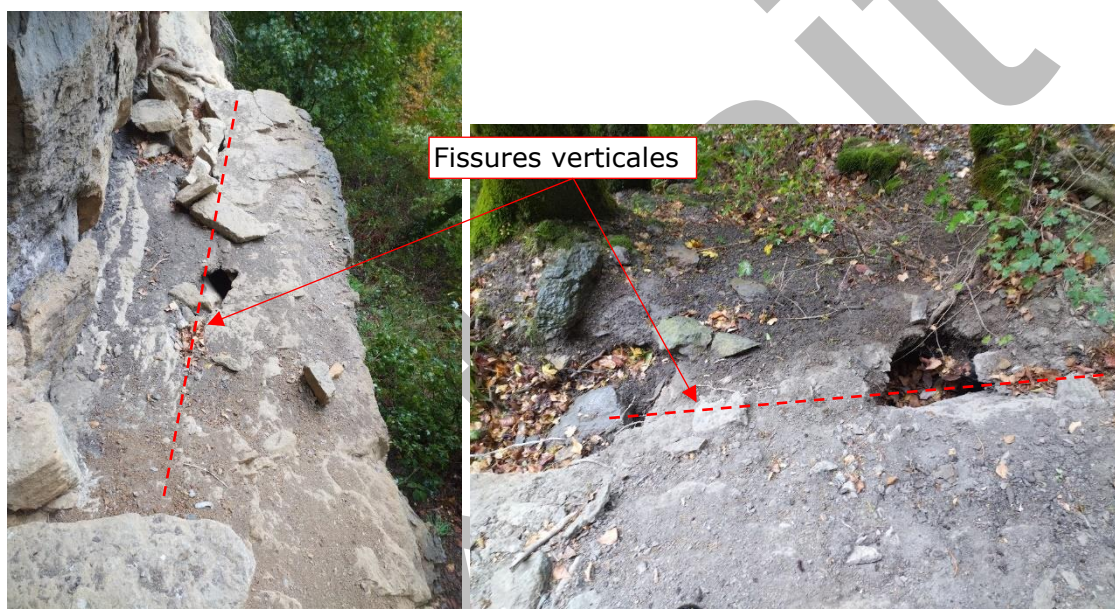


#### 4.1.2 - Analyse de l'événement

Les éléments disponibles et les observations réalisées ne permettent pas de conclure de façon certaine sur la temporalité des événements. Il est probable qu'un banc rocheux en pied de paroi se soit éboulé, ce qui a entraîné une surcharge et une déstabilisation des terrains marneux en aval de la paroi, ces terrains étant déjà en limite de stabilité. Le glissement a ensuite causé la chute des arbres sur la zone.

La période de survenance de l'éboulement en tête de paroi par rapport à l'éboulement en pied n'est pas connue.

Au Sud-Est de la zone d'étude, on peut observer en pied de la paroi un banc rocheux découpé à l'arrière par une fracture subverticale ouverte de plusieurs dizaines de centimètres et susceptible de s'ébouler selon le même mécanisme : basculement de banc en pied de paroi.



*Fracturation de bancs en pied de la paroi rocheuse*

## 4.2 - DIAGNOSTIC VIS-A-VIS DES EBOULEMENTS ROCHEUX

L'objectif de ce diagnostic éboulement rocheux est d'identifier les principaux compartiments rocheux situés au droit du mur 27-05 ou à proximité directe.

### 4.2.1 - Méthodologie

Les instabilités rocheuses potentielles sont caractérisées par :

- Leur classe d'instabilité ;
- Leur volume initial ;
- Leur volume résiduel ;
- Leur mécanisme de rupture ;
- Leur aléa d'éroulement individuel.

Les **classes d'instabilités** et les volumes associés utilisés dans ce rapport sont les suivants :

Classe d'instabilité	Volume
Pierres	0.01 à 0.1 m <sup>3</sup>
Blocs	0.1 à 2 m <sup>3</sup>
Masses	2 à 20 m <sup>3</sup>
Grandes masses	20 à 100 m <sup>3</sup>
Très grandes masses	> 100 m <sup>3</sup>

Le **volume résiduel** correspond au volume estimé d'un compartiment après sa fragmentation. Cette estimation est basée sur le volume initial des compartiments, leur fracturation, leur lithologie et leur morphologie.

Les **mécanismes de rupture** sont les mécanismes géologiques pouvant conduire à la rupture du compartiment :

- Glissement plan : correspond au glissement d'un compartiment sur un plan rocheux ;
- Glissement dièdre : correspond au glissement d'un compartiment sur un dièdre formé par deux plans de discontinuité du massif ;
- Basculement : Concerne un compartiment dont la géométrie (centre de gravité par rapport au polygone de sustentation) est susceptible de créer un déséquilibre dont l'évolution conduirait au basculement du compartiment ;
- Rupture de surplomb : Concerne un compartiment formant un surplomb et qui pourrait s'érouler ;
- Etc...

Les mécanismes de rupture sont définis par observation des compartiments.

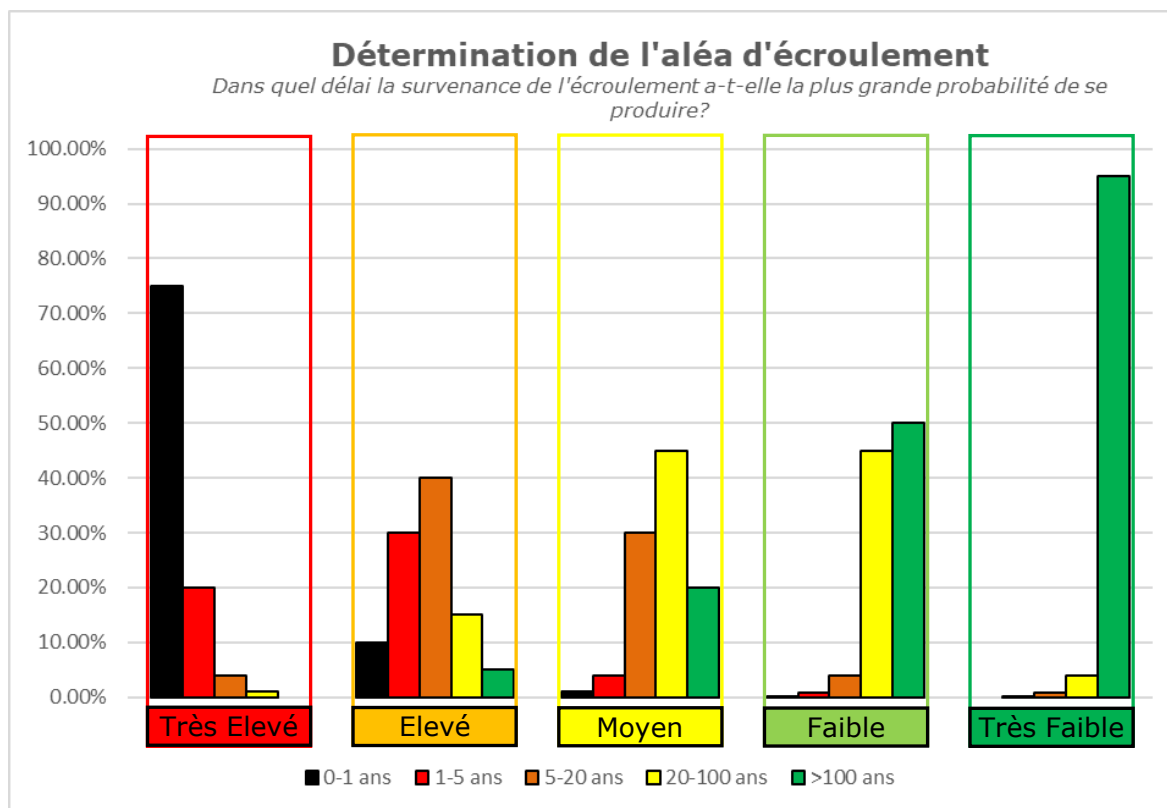
L'**aléa d'éroulement** est déterminé de manière experte en déterminant la période dans laquelle l'éroulement du compartiment a la plus grande probabilité de se produire.

Les critères pris en compte pour estimer l'aléa d'éroulement sont :

- La géologie ;
- La géométrie du compartiment ;
- L'orientation, l'ouverture, le remplissage, la rugosité des épontes des discontinuités ;
- La présence de circulations d'eau ;
- La végétation à proximité ;
- Etc...



Le graphique ci-dessous permet de comprendre la signification de l'aléa d'éroulement tel que défini dans ce rapport :



Le graphique ci-dessus doit être lu de la manière suivante : chaque « paquet » d'histogramme représente un niveau d'aléa d'éroulement, de Très Elevé pour les histogrammes de gauche à Très Faible pour les histogrammes de droite.

Exemple de l'aléa d'éroulement Elevé : Un compartiment (quelle que soit son volume et donc sa classe d'instabilité) dont l'aléa d'éroulement est qualifié d'Elevé aura :

- 10% de probabilité de s'ébouler dans le délai 0-1 ans ;
- 30% de probabilité de s'ébouler dans le délai 1-5 ans ;
- 40% de probabilité de s'ébouler dans le délai 5-20 ans ;
- 15 % de probabilité de s'ébouler dans le délai 20-100 ans ;
- 5 % de probabilité de s'ébouler dans un délai au-delà de 100 ans.

Cette représentation est une construction arbitraire, propre à notre méthodologie, visant à permettre d'effectuer des calculs de probabilité de survenance d'un événement.

L'aléa d'éroulement est déterminé pour chaque compartiment relevé.

## 4.2.2 - Relevé des principales instabilités potentielles

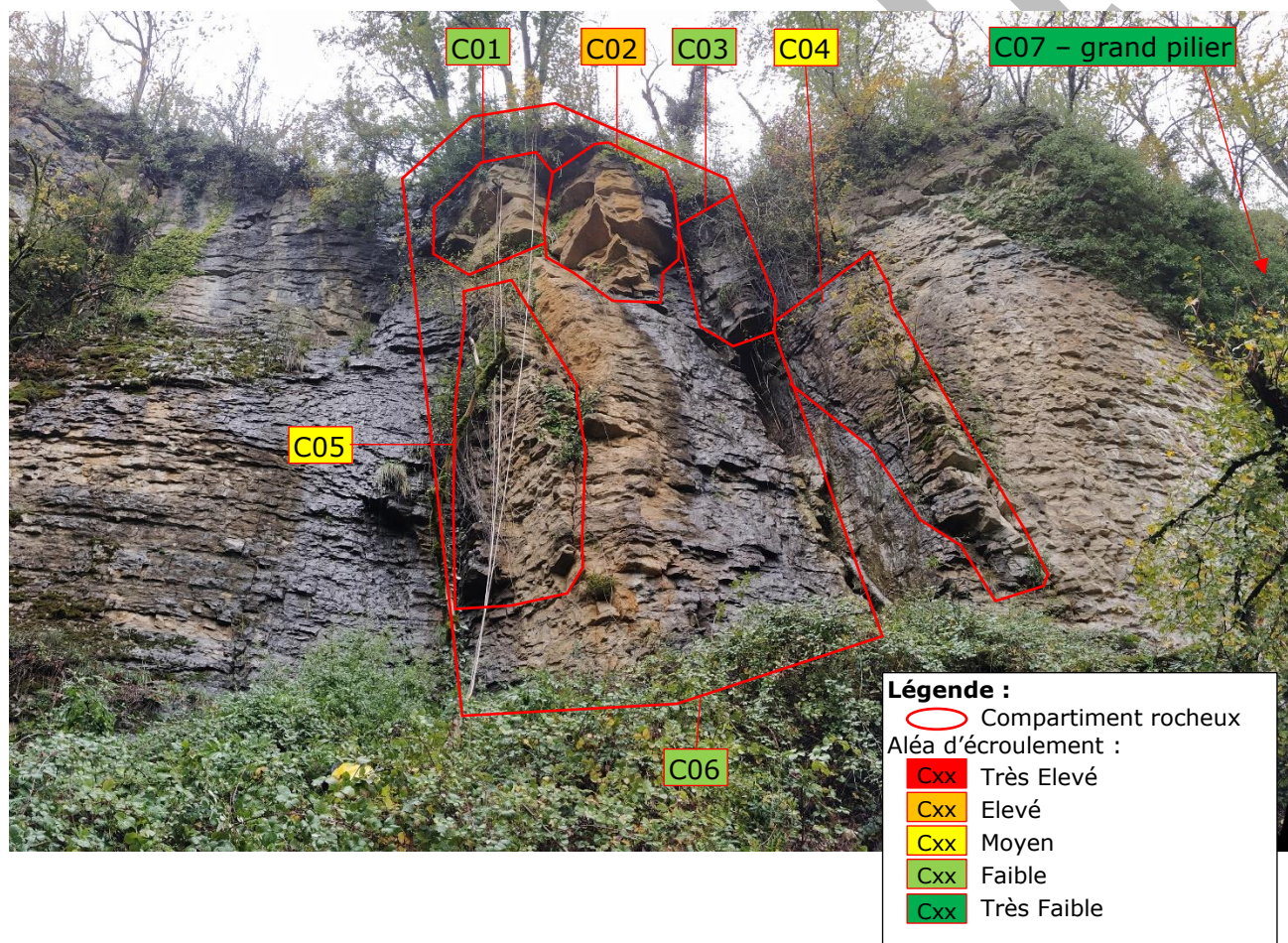
Les compartiments rocheux relevés sont localisés sur une vue générale puis décrits individuellement.

Les zones de départ de pierres et de petits blocs n'ont pas été relevées spécifiquement car ces éléments de petit volume ne sont pas susceptibles d'impacter la stabilité de la paroi rocheuse à court ou moyen terme. On notera cependant que l'ensemble de la paroi, et en particulier le pilier rocheux au droit du mur, constitue une zone de départ de pierres et petits blocs avec un aléa d'écroulement Très Elevé.

Le compartiment C07 n'est pas situé au droit du mur M27-05 mais il est décrit en raison de son volume très important : son éboulement aurait un impact sur la stabilité du mur en amont.

### 4.2.2.1 - Localisation des instabilités

Les instabilités relevées sont localisées sur la vue générale ci-dessous :





#### 4.2.2.2 - Description des instabilités

##### **Compartiment C01 :**



##### **Compartiment C01 :**

Compartiment de type Masse

Volume initial :  $\sim 6$  à  $8 \text{ m}^3$

Volume résiduel max :  $V_r \sim 3 \text{ m}^3$

Mécanisme d'évolution : Rupture de surplomb

Aléa d'éroulement : Faible

##### **Compartiment C02 :**



##### **Compartiment C02 :**

Compartiment de type Masse

Volume initial :  $\sim 15 \text{ m}^3$

Volume résiduel max :  $V_r \sim 5 \text{ m}^3$

Mécanisme d'évolution : Rupture de surplomb

Aléa d'éroulement : Elevé

##### **Compartiment C03 :**



##### **Compartiment C03 :**

Compartiment de type Masse

Volume initial :  $\sim 5$  à  $6 \text{ m}^3$

Volume résiduel max :  $V_r \sim 2 \text{ m}^3$

Mécanisme d'évolution : Rupture de surplomb

Aléa d'éroulement : Faible

### Compartiment C04 :



#### Compartiment C04 :

Compartiment de type Masse  
Volume initial :  $\sim 6$  à  $8 \text{ m}^3$   
Volume résiduel max :  $V_r \sim 0.5$  à  $1 \text{ m}^3$   
Mécanisme d'évolution : Basculement  
Aléa d'écroulement : Moyen

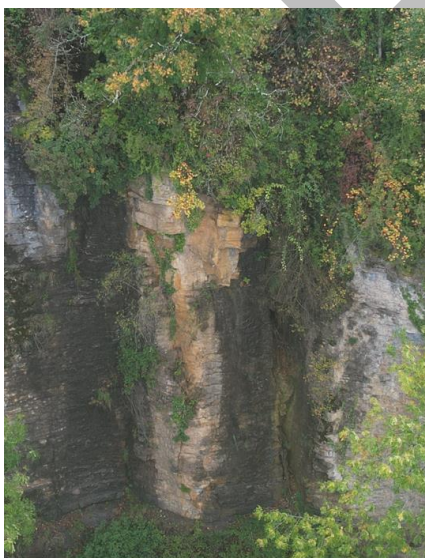
### Compartiment C05 :



#### Compartiment C05 :

Compartiment de type Masse  
Volume initial :  $\sim 7$  à  $9 \text{ m}^3$   
Volume résiduel max :  $V_r \sim 0.5$  à  $1 \text{ m}^3$   
Mécanisme d'évolution : Basculement  
Aléa d'écroulement : Moyen

### Compartiment C06 :



#### Compartiment C06 :

Compartiment de type Très Grande masse  
Volume initial :  $\sim 90$  à  $120 \text{ m}^3$   
Volume résiduel max :  $V_r > 5 \text{ m}^3$   
Mécanisme d'évolution : Basculement  
Aléa d'écroulement : Faible



## Compartiment C07 :



### Compartiment C07 :

Compartiment de type

Très Grande masse

Volume initial :  $>250 \text{ m}^3$

Volume résiduel max :  $V_r > 5 \text{ m}^3$

Mécanisme d'évolution : Basculement

Aléa d'écroulement : Très Faible

### 4.2.2.3 - Synthèse

Les compartiments relevés sont synthétisés dans le tableau ci-dessous :

N°	Volume	Volume résiduel	Classe d'instabilité	Aléa d'écroulement	Mécanisme de rupture
C01	6 à 8 m <sup>3</sup>	3 m <sup>3</sup>	Masse	Faible	Rupture de surplomb
C02	~15 m <sup>3</sup>	5 m <sup>3</sup>	Masse	Elevé	Rupture de surplomb
C03	5 à 6 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>	Masse	Faible	Rupture de surplomb
C04	6 à 8 m <sup>3</sup>	0.5 à 1 m <sup>3</sup>	Masse	Moyen	Basculement
C05	7 à 9 m <sup>3</sup>	0.5 à 1 m <sup>3</sup>	Masse	Moyen	Basculement
C06	90 à 120 m <sup>3</sup>	$> 5 \text{ m}^3$	Très grande masse	Faible	Basculement
C07	$>250 \text{ m}^3$	$> 5 \text{ m}^3$	Très grande masse	Très Faible	Basculement

## 4.3 - ANALYSE STRUCTURALE ET ETUDE DE LA STABILITE DU MASSIF ROCHEUX

### 4.3.1 - Relevé des principales discontinuités

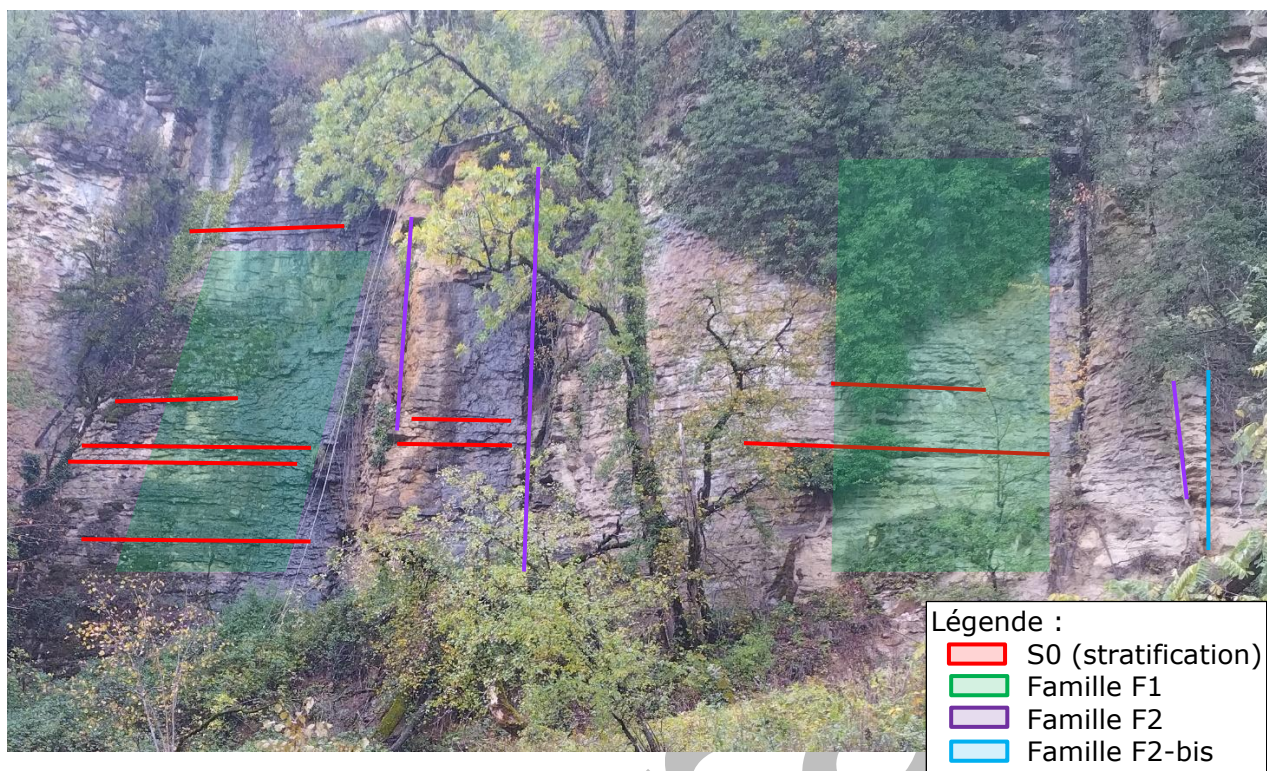
Quatre principales familles de discontinuités sont relevées sur la zone d'étude. Elles sont synthétisées dans le tableau ci-dessous. La notation utilisée est celle de l'azimut/pendage, à savoir :

- L'orientation du plan de discontinuité dans le plan horizontal par rapport au Nord (de 0 à 180°) ;
- La valeur du pendage de la discontinuité, c'est-à-dire l'inclinaison par rapport à l'horizontale du plan, et la direction du pendage de la discontinuité.

Nom	Orientation du plan	Remarques
S0	N146 – 0 à 5° NE	<p>Le plan de stratification est quasiment horizontal. Les strates sont très régulières et ont une épaisseur décimétrique à pluridécimétrique.</p> <p>On distingue une alternance entre des bancs calcaires et des interbancs marneux, ce qui forme une succession de strates en surplomb entre des interbancs plus érodés.</p>
F1	<p>N136 – 85° SW</p> <p>N146 – 85° SW</p>	<p>La famille F1 forme le plan de la paroi rocheuse.</p> <p>Il s'agit de plans de fréquence métrique à plurimétrique et d'extension décamétrique. Ces plans forment les découpes avant et arrière de bancs ou piliers rocheux.</p> <p>Une des fractures arrière présente une ouverture décimétrique.</p>
F2	<p>N71 – 90°</p> <p>N56 – 80 à 85° SE</p>	<p>Cette famille correspond à des plans de fracture quasi perpendiculaires à la paroi rocheuse.</p> <p>On retrouve ces plans à deux échelles :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- A l'échelle de la paroi rocheuse : plans de fréquence plurimétrique et d'extension pluridécamétrique, d'ouverture décimétrique, découpant la paroi sur toute sa hauteur ;</li> <li>- A l'échelle de la strate : plans de fréquence décimétrique et d'extension décimétrique, d'ouverture inférieure au centimètre, découpant les strates en petits cubes.</li> </ul>
F2-bis	N41 – 85° NO	<p>Cette famille correspond à des plans de fracture légèrement obliques par rapport à la paroi rocheuse, formant les rives gauches de dièdres rocheux.</p> <p>Il s'agit de plans de fréquence plurimétrique et d'extension métrique.</p>

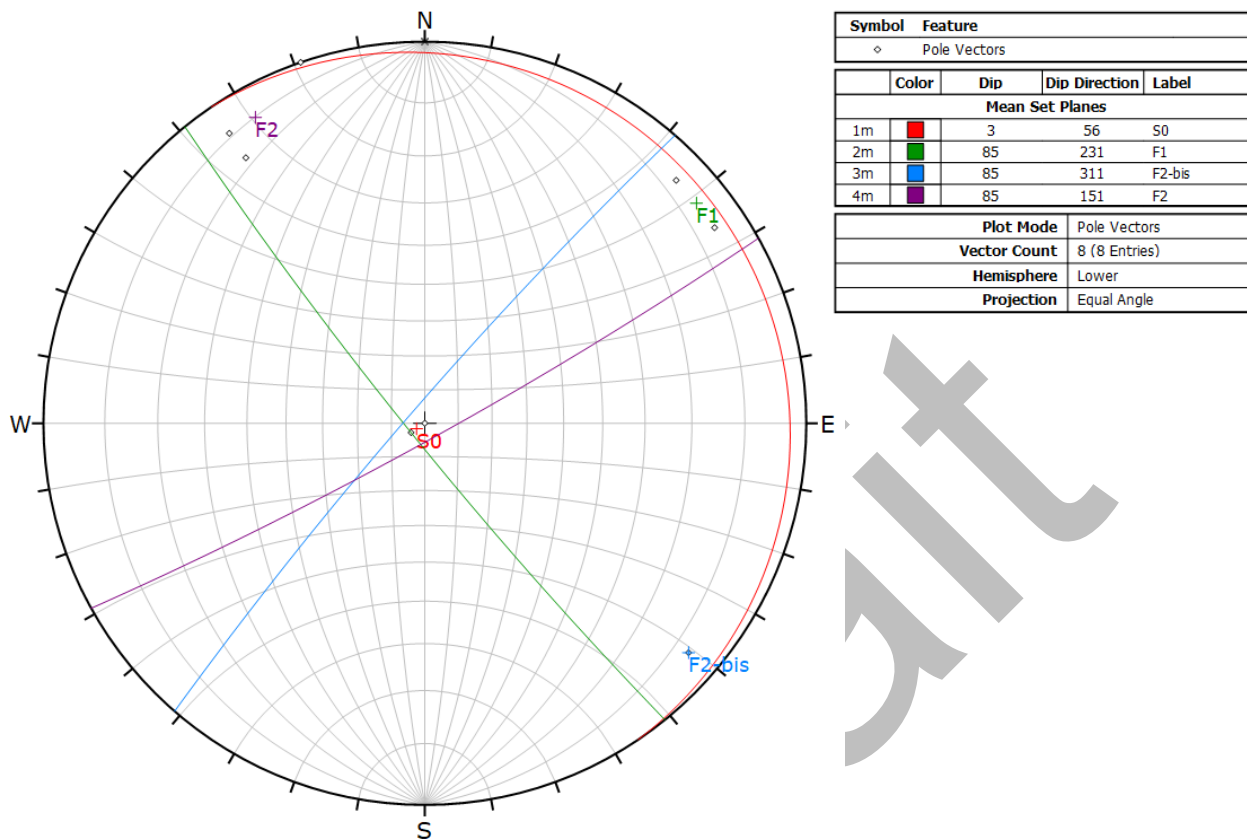


Les principales familles de fractures sont présentées sur les photographies ci-dessous :



*Représentation des principales familles de fractures sur photographies*

Les plans moyens des familles ainsi que les pôles de l'ensemble des plans relevés sont présentés sur le diagramme de Wulff ci-dessous :



Représentation des discontinuités sur diagramme de Wulff (hémisphère inférieure)



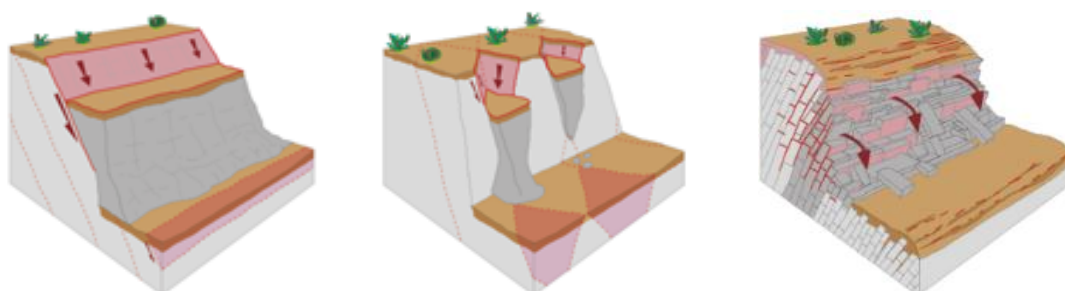
### 4.3.2 - Analyse cinématique et mécanismes de rupture

#### 4.3.2.1 - Méthodologie

L'analyse cinématique permet d'étudier le potentiel de libération de blocs rocheux découpés par les fractures affectant la paroi, en tenant compte des caractéristiques géométriques de la paroi rocheuse (orientation et pente). Elle est réalisée avec le logiciel *Dips* de l'éditeur *RocScience* sur une projection stéréographique en hémisphère inférieur, sur la base du levé de fracturation effectué sur site.

L'analyse s'effectue en étudiant 4 mécanismes de rupture principaux :

- Possibilité de **glissement** si les 5 conditions suivantes sont remplies simultanément :
  - Orientation d'une 1<sup>ère</sup> famille de discontinuités sub-parallèle ( $\pm 20^\circ$ ) à l'orientation du talus ;
  - Inclinaison de cette 1<sup>ère</sup> famille de discontinuités inférieure à l'inclinaison du talus ;
  - Inclinaison de cette 1<sup>ère</sup> famille de discontinuités supérieure à l'angle de frottement interne ;
  - Présence d'une 2<sup>ème</sup> famille de discontinuités sub-perpendiculaire à la 1<sup>ère</sup> permettant un découpage latéral ;
  - Présence d'une 3<sup>ème</sup> famille de discontinuités sub-parallèle à l'orientation du parement, permettant un découpage arrière.
- Possibilité de **glissement dièdre** (selon l'intersection de 2 discontinuités) si :
  - La ligne d'intersection des 2 discontinuités est sub-perpendiculaire à l'orientation du talus ( $\pm 20^\circ$ ) ;
  - L'inclinaison de la ligne d'intersection est plus faible que l'inclinaison du talus ;
  - L'inclinaison de la ligne d'intersection est supérieure à l'angle de frottement interne ;
  - Présence d'une troisième famille de discontinuités permettant un découpage arrière ou dans la hauteur.
- Possibilité de **basculement de blocs** (selon l'intersection de 2 discontinuités) si :
  - La ligne d'intersection doit présenter un pendage en direction opposée au plan du talus, à  $\pm 20^\circ$  ;
  - Si l'angle du plan du talus est  $\beta^\circ$  et le plongement de la ligne d'intersection est de  $\alpha^\circ$ , la condition suivante doit être remplie :  $\alpha > (90 - \beta)$  ;
  - Présence d'une troisième famille de discontinuités permettant un découpage en pied et en toit des blocs.
- Possibilité de **basculement plan** si les 3 conditions suivantes sont remplies simultanément :
  - Orientation d'une 1<sup>ère</sup> famille de discontinuités sub-parallèle ( $\pm 20^\circ$ ) à l'orientation du talus ;
  - Si le pendage de la discontinuité est de  $\alpha^\circ$  et l'inclinaison du talus de  $\beta^\circ$ , la condition suivante doit être remplie :  $(90 - \alpha) < (\beta - \text{angle de frottement interne})$  ; L'inclinaison de la normale à la discontinuité est moins pentue qu'une ligne dont la pente est égale à l'angle de frottement ;
  - Présence d'une troisième famille de discontinuités permettant un découpage en pied et en toit des blocs.

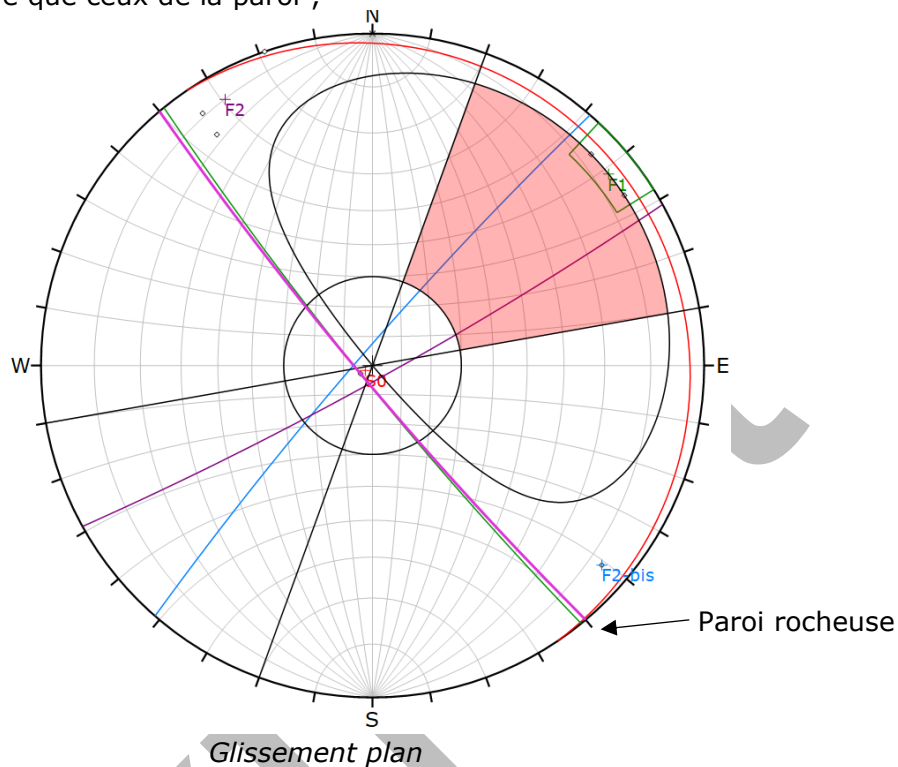


Schémas du : glissement plan – glissement dièdre – basculement

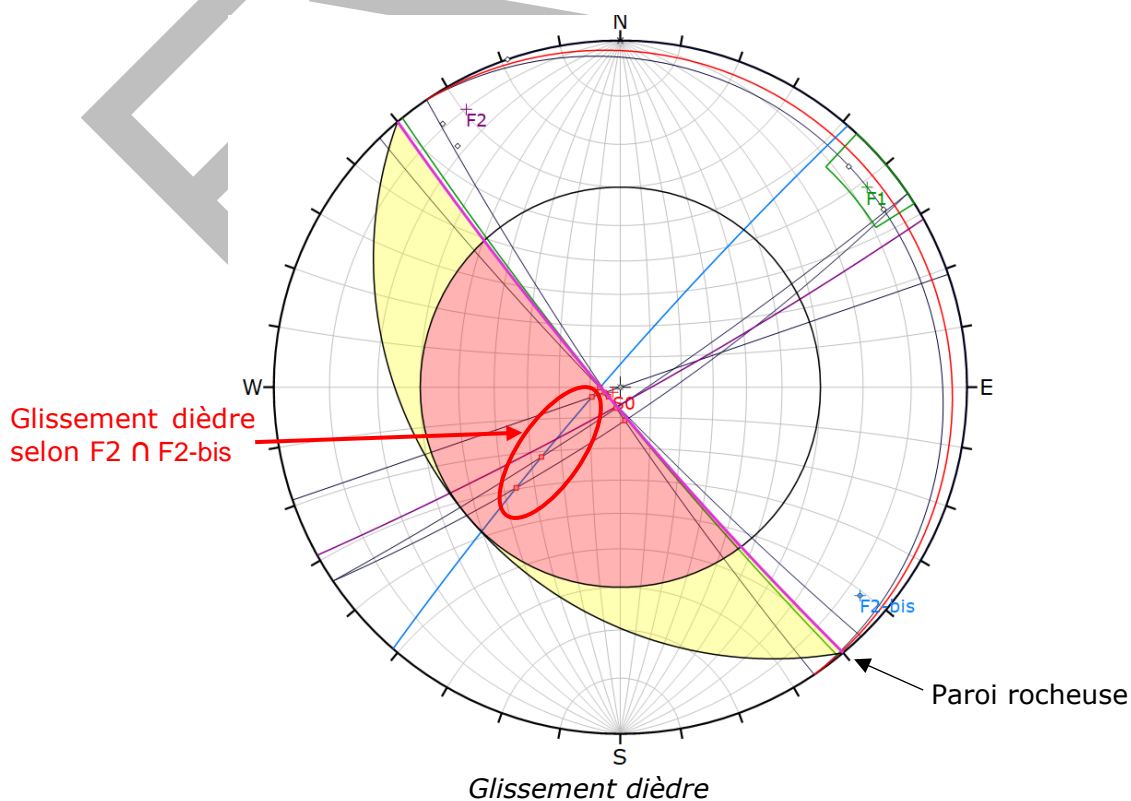
#### 4.3.2.2 - Analyse cinématique

Selon l'analyse cinématique, les mécanismes selon lesquels des compartiments sont susceptibles de se déstabiliser sont les suivants :

- **Glissement** : aucun plan de glissement identifié, les plans de découpe arrière F1 étant de même pendage que ceux de la paroi ;

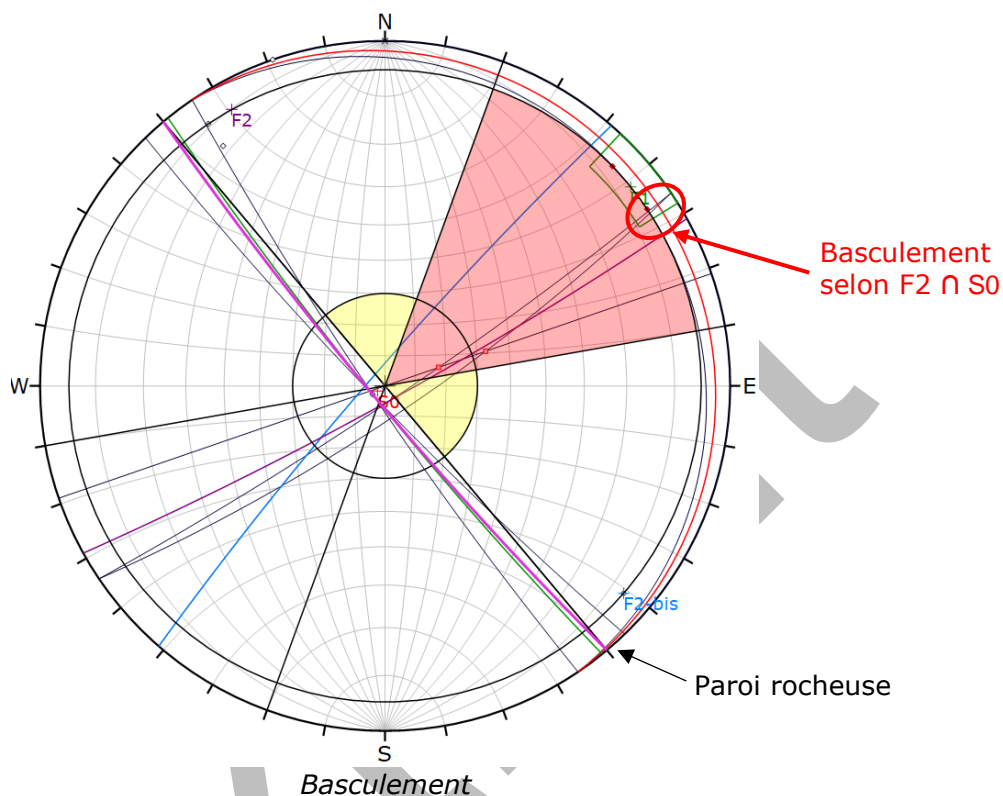


- **Glissement dièdre** : selon les intersections entre les plans F2 et F2-bis. Les glissements dièdres impliquant le plan F1 ne sont pas possibles à l'échelle de la zone d'étude.

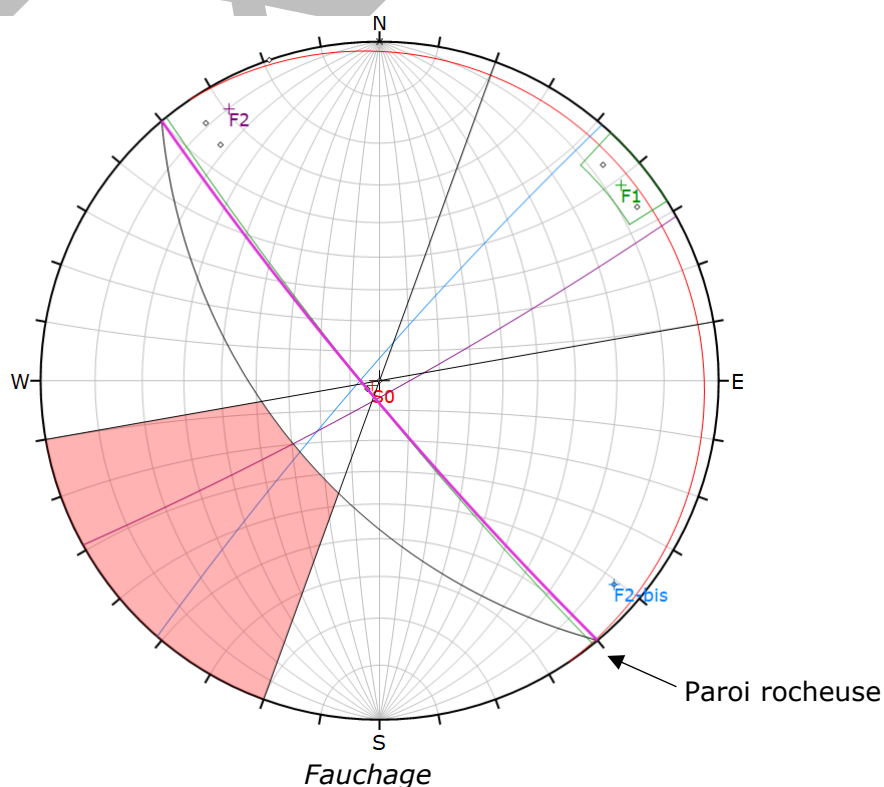




- **Basculement de blocs** : selon les intersections entre les plans suivants  $S0 \cap F2$ . Ces basculements sont observés à petite échelle (échelle de la strate ou de plusieurs strates). L'analyse indique que des basculements sont possibles selon des intersections entre plans dans la famille F2, cependant l'espacement entre les fractures de la famille F2 est trop important pour découper des compartiments à l'échelle de la zone d'étude.



- **Basculement plan** : aucun plan de basculement identifié.



### 4.3.3 - Conclusion sur la stabilité du massif rocheux

L'analyse effectuée couplée aux observations de terrain permet de conclure sur les mécanismes potentiels de déstabilisation de la paroi rocheuse :

- **A l'échelle de la strate :** A l'échelle de la strate, le recoupement des plans de stratification S0 par les fractures des familles F2 ou F2-bis produit des instabilités rocheuses de petite taille ( $<0.05 \text{ m}^3$ ) pouvant évoluer par rupture de surplomb.

L'érosion différentielle entre les bancs calcaires et les bancs argileux ou marneux favorise la formation de ces surplombs.

L'évolution de ces petites instabilités n'est pas susceptible d'affecter la stabilité générale de la paroi ou du mur en amont.

- **A l'échelle de plusieurs strates :** on observe deux mécanismes principaux :
  - o Au sein de la paroi, le recoupement des plans de stratification S0 par des fractures des familles F2 et F2-bis ou d'autres fractures plus obliques forme des surplombs ;
  - o En pied de paroi, des bancs entiers sont découpés à l'arrière par des fractures de la famille F1 et latéralement par des fractures des familles F2 et F2-bis. Ils reposent sur une base plane formée par le plan de stratification S0. Sous l'effet de la décompression ou de par l'action de la végétation (racines), des portions entières de bancs peuvent basculer.

Les volumes concernés varient entre quelques centaines de litres et plusieurs mètres cubes au départ (exemple de la strate éboulée de volume  $5 \text{ m}^3$ ).

Un éboulement en crête de paroi (compartiments C01 à C03) entraînerait la chute des arbres en amont et une régression de la vire, déjà partiellement sous-cavée au droit de C02. Une évolution de la vire (régression, raidissement des terrains) pourrait avoir un impact sur la stabilité du mur M27-05.

- **A l'échelle de la paroi :** de grands piliers rocheux de plusieurs mètres de largeur sont découpés latéralement par des discontinuités de la famille F2 ou F2-bis. La face avant de ces piliers est formée par la famille F1.

On observe en partie Sud-Est de la zone d'étude un grand pilier (compartiment C07) présentant également une découpe arrière par une fracture de la famille F1. Le pilier ainsi formé présente une épaisseur de 3 à 4 m environ. Au niveau du pilier situé au droit du mur M27-05, aucune fracture arrière n'est observée sur la vire en aval du mur, cependant la vire étant recouverte de matériaux meubles et végétalisée, il n'est pas possible d'exclure la présence d'une telle fracture.

Ces piliers reposent sur une base plane formée par le plan de stratification S0. Si le rocher situé en base du pilier ne s'altère pas et ne régresse pas, il est très peu probable que le pilier se déstabilise et bascule. Le seul mécanisme pouvant permettre l'évolution du pilier serait une régression ou un affaissement des strates sous-jacentes au pilier, créant ainsi un degré de liberté permettant un basculement de l'ensemble.

Le log stratigraphique au droit de la zone d'étude met en évidence que le calcaire sain s'arrête en pied de la paroi, pour laisser place à des alternances marno-calcaires puis aux marnes argileuses du Toarcien. Des mouvements dans les terrains marneux existent.

En cas d'éboulement d'un des grands piliers, la ruine partielle du mur M27-05 et de la RN5 au droit du pilier est quasi certaine.

La présence d'écoulements d'eau persistants dans les zones de fractures contribue à l'altération de la matrice rocheuse et à sa fragmentation par des processus de gel-dégel.



## 5 - SOLUTIONS DE TRAVAUX

### 5.1 - PRINCIPES GENERAUX

L'objectif des travaux de sécurisation est d'assurer la stabilité du mur M27-05 soutenant la RN5.

Le principe des travaux est :

- De gérer les écoulements des eaux issus de la RN5 ;
- D'assurer ou vérifier la stabilité du pilier rocheux en aval du mur :
  - o Stabilité des compartiments instables en crête de pilier ;
  - o Stabilité du pilier dans son ensemble ;
- D'effectuer des travaux d'entretien sur le mur de soutènement.

### 5.2 - PREDIMENSIONNEMENT DES PARADES

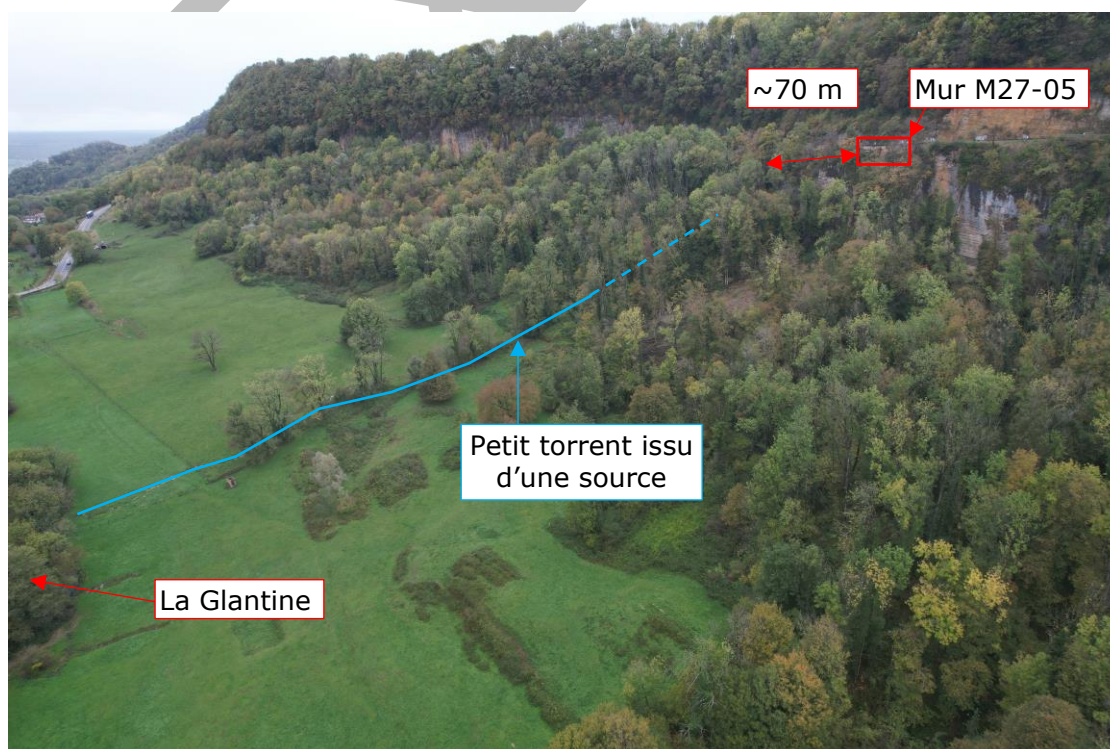
#### 5.2.1 - Gestion des écoulements d'eau

Les écoulements d'eau en provenance de la RN5 doivent être gérés spécifiquement. L'objectif est :

- D'éviter la poursuite de l'affouillement des terrains meubles en pied du mur ;
- De limiter les circulations d'eau dans les fractures délimitant le pilier au droit du mur ;
- D'éviter de rejeter les eaux issues de la RN5 dans la zone de glissement en pied de paroi.

Une première option de gestion des eaux consisterait à recueillir les eaux en sortie des ouvrages du mur et à les diriger hors de la zone d'étude et jusqu'à la Glantine via un petit torrent existant situé à environ 70 m en amont de la zone d'étude.

Cependant, cette solution nécessiterait des aménagements hydrauliques complexes pour diriger les eaux depuis l'aval du mur jusqu'au thalweg qui démarre en pied de barre, sans laisser l'eau ruisseler sur la paroi rocheuse.



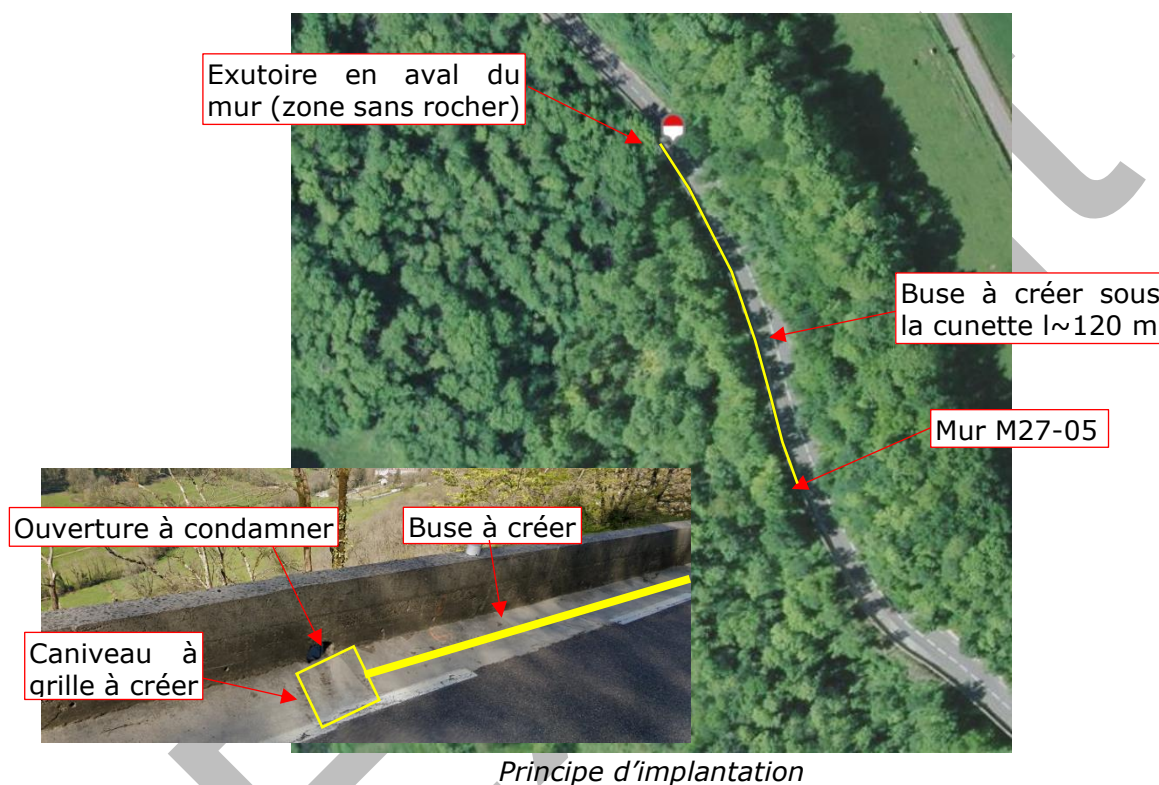
Vue de l'aval de la zone d'étude

Une option alternative est donc proposée. Celle-ci consiste à canaliser les eaux de ruissellement sur la RN5, jusqu'au droit du PR49 où la paroi rocheuse en aval de la route s'interrompt.

Pour cela, nous proposons :

- De condamner l'ouverture dans le mur M27-05, et de mettre en place à cet endroit un caniveau à grille. Cette grille permettra de collecter les eaux de ruissellement dans une buse qui sera réalisée sous la cunette ;
- Les eaux issues de la buse existante sous la route seront également collectées par la buse sous la cunette ;
- La buse se poursuivra sur environ 120 m de longueur, jusqu'au PR49.

Au niveau du PR49, les eaux pourront être rejetées en aval de la RN5, au niveau d'un ouvrage existant.



*Vues de la RN au niveau du PR49 (source : Google Maps)*



## 5.2.2 - Traitement des instabilités rocheuses potentielles

### 5.2.2.1 - Principe de traitement

Une purge de l'ensemble du pilier rocheux et en particulier de la zone de la cicatrice en partie amont sera réalisée avant le démarrage des autres travaux.

Nous proposons de traiter individuellement les compartiments C01, C02 et C03 situés au niveau de la cicatrice de l'éboulement en crête de paroi. En effet, leur éboulement pourrait entraîner une régression de la vire et ainsi une perte de butée de pied du mur M27-05 :

- Le compartiment C02 d'aléa d'écroulement Elevé est à traiter en priorité 1.
- Les compartiments C01 et C03 d'aléa d'écroulement Faible sont à traiter en priorité 2.

Concernant le pilier rocheux dans son ensemble (compartiment C06), deux solutions sont proposées :

- La mise en place d'une instrumentation de type extensomètres à lecture déportée, permettant de vérifier l'absence d'évolution au niveau des fissures délimitant le pilier et l'absence de basculement vers l'aval ;
- Le confortement du pilier rocheux à l'aide d'ancrages.

En priorité 2, le pilier rocheux situé au Sud-Est (C07) pourrait également être instrumenté.

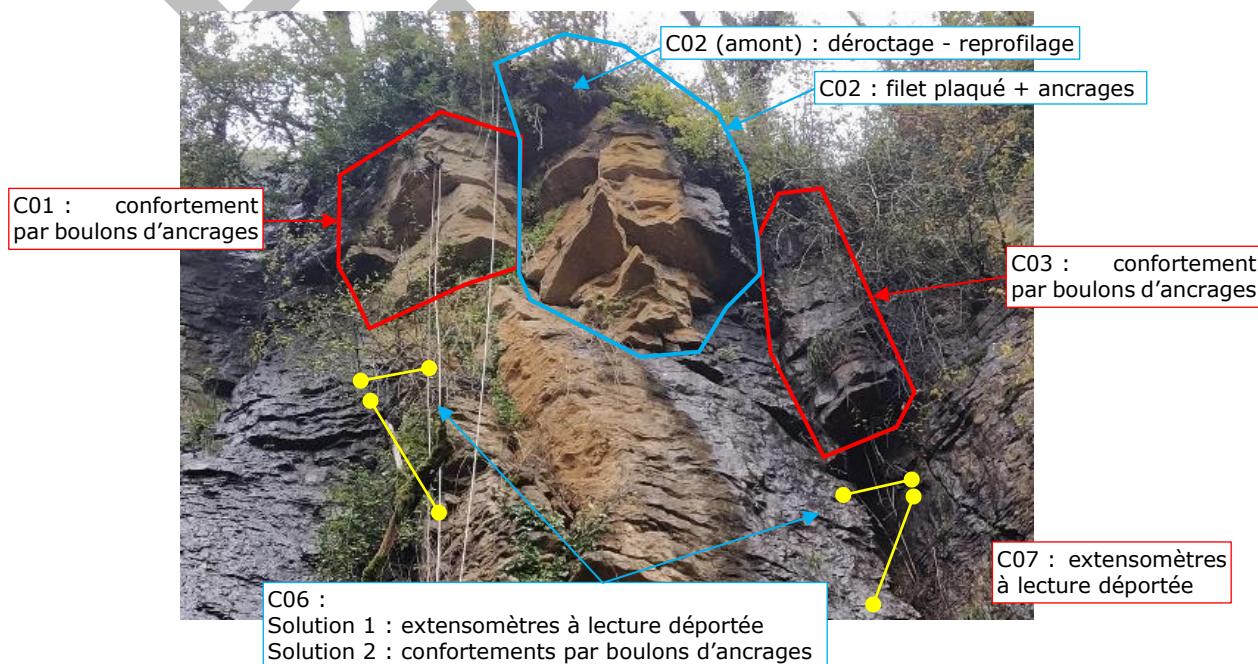
### 5.2.2.2 - Prédimensionnement des traitements actifs

Les principes de traitement sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

Priorité	N°	Volume	Classe d'instabilité	Aléa d'écroulement	Traitement proposé
1	C02	~15 m <sup>3</sup>	Masse	Elevé	Déroctage + filet plaqué + ancrages
	C06	90 à 120 m <sup>3</sup>	Très grande masse	Faible	Instrumentation ou confortement par boulons d'ancrages
2	C01	6 à 8 m <sup>3</sup>	Masse	Faible	Confortement par boulons d'ancrages
	C03	5 à 6 m <sup>3</sup>	Masse	Faible	Confortement par boulons d'ancrages
	C07	>250 m <sup>3</sup>	Très grande masse	Très Faible	Instrumentation

### 5.2.2.3 - Principe d'implantation

Les principes de traitement sont représentés sur la photographie ci-dessous. Les travaux de priorité 1 sont présentés en bleu et jaune, ceux de priorité 2 en rouge.



## **5.3 - OPERATIONS DE TRAVAUX**

### **5.3.1 - Conditions de réalisation des travaux**

Les travaux sur la chaussée, sur le mur de soutènement et la vire en aval nécessiteront la neutralisation d'une voie de circulation et la mise en place d'un alternat de circulation.

Selon les méthodes employées par l'entreprise (accès par l'amont ou par l'aval), les travaux réalisés sur le pilier rocheux en aval nécessiteront ou non la neutralisation de la voie de circulation aval.

### **5.3.2 - Sécurisation du chantier**

Les travaux seront réalisés hors période de gel, neige ou précipitations.

Les travaux seront réalisés de l'amont vers l'aval, avec en premières étapes l'abattage des arbres sur la vire et la purge de la cicatrice.

### **5.3.3 - Opérations de maintenance**

L'efficacité des parades à moyen et long terme dépendra des opérations de maintenance réalisées. Les opérations d'inspection et de maintenance concernent :

- Les extensomètres en fissure ;
- les ancrages de confortement ;
- les filets plaqués ;
- les ouvrages de drainage et de gestion des eaux.

Les opérations d'inspection et de maintenance à réaliser sont les suivantes :

- Contrôle visuel général des ouvrages – peut être réalisé par l'exploitant. Fréquence mensuelle.
- Visites détaillées par un bureau d'étude spécialiste pour établir un diagnostic détaillé de l'ensemble du matériel et des composants constituant les ouvrages (inspection détaillée périodique) – Fréquence : 3 à 5 ans.
- Visite exceptionnelle par un ingénieur spécialisé après chaque événement ayant sollicité nominalement un ouvrage.
- Travaux d'entretien courant (traitement corrosion, purge, etc.) – Fréquence : 5 ans.
- Travaux d'entretien spécifiques : en fonction des résultats des visites détaillées.
- Travaux de réparation après événements : en fonction des résultats de la visite exceptionnelle.

Pour la solution d'instrumentation, les lectures pourraient être réalisées régulièrement depuis la route par les agents de la DIR-Est. Elles devront être analysées par un bureau d'étude spécialiste.

Une fréquence de mesure trimestrielle pourrait être mise en œuvre au démarrage. Cette fréquence sera réévaluée en fonction des évolutions constatées.

Un plan d'intervention devra être établi préalablement pour gérer le cas de mouvements détectés, en fonction de seuils : coupure de route éventuelle, visite d'inspection puis éventuellement solution de traitement.

### **5.3.4 - Gestion foncière**

La gestion foncière n'est pas prise en compte dans cette étude.