Document public

Etude de stabilité des masses rocheuses sur la commune de Chailland (Mayenne)

Rapport final

BRGM/RP -59929-FR
Septembre 2011

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Etude de stabilité des masses rocheuses sur la commune de Chailland (Mayenne)

Rapport final

BRGM/RP -59929-FR
Septembre 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2010 RISE57

PLAT E. et CLOSSET L.

avec la collaboration de DEWEZ T. et de CHRETIEN P.

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : GRANDJEAN G.	Nom : CONIL P.
Date : vérifié le 12/09/2011	Date : approuvé le 12/09/2011

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique, l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : Risques naturels, chutes de blocs, stabilité, Chailland, Mayenne, Pays de la Loire

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

PLAT E. et CLOSSET L. avec la collaboration de DEWEZ T. et de CHRETIEN P. (2011) – Etude de stabilité des masses rocheuses sur la commune de Chailland (Mayenne). Rapport BRGM/RP- 59929 - FR. 71 p., 60 ill., 2 annexes

© BRGM, 20011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

La commune de Chailland est concernée par plusieurs affleurements rocheux à proximité du bourg qui surplombent des maisons d'habitation. Dans un but de prévention, la Direction Départementale des Territoires de Mayenne a souhaité que le BRGM intervienne pour évaluer le risque de chute de blocs au niveau de trois zones d'affleurements, à savoir le rocher de la rue des Forges, les affleurements du lieu-dit les Maisons-neuves et le rocher de la Vierge.

Pour les différents secteurs identifiés, l'objectif a été de déterminer :

(1) quelles masses rocheuses sont susceptibles de se mettre en mouvement et d'évoluer en chutes de pierres ou de blocs voire en éboulement ?
(2) dans quel délai ?
(3) jusqu'où elles peuvent se propager ?
(4) quels travaux prioritaires doivent être mis en œuvre pour sécuriser le secteur ?

Pour les affleurements du rocher de la rue des Forges et les affleurements du lieu-dit les Maisons-neuves, l'étude a été réalisée à la parcelle selon une démarche purement naturaliste, alors que pour le rocher de la Vierge, l'approche naturaliste a été complétée par de la photogrammétrie (comprenant la réalisation de photographies, les levés de cibles au tachéomètre laser réalisé par un géomètre et le traitement des photographies pour l'élaboration d'un nuage de point 3D) et une étude des trajectoires des blocs susceptibles de se détacher. Plusieurs visites de terrain ont également été réalisées.

L'examen des différents affleurements a révélé une roche massive et dure présentant parfois une fracturation importante qui peut être sujette à des instabilités (chutes de pierres et de blocs) relativement peu fréquentes à moyen et long terme mais potentiellement dommageables aux personnes et aux biens.

Sur les différentes parcelles visitées dans les secteurs de la rue des Forges et des Maisons-neuves (si l'on excepte la parcelle communale 43 ne présentant aucun enjeu) :

- Trois parcelles (301 et 117/118) présentent un aléa de chutes de pierres ou de blocs moyen ;
- Une parcelle (107) présente un aléa chutes de pierres et de blocs faible associé à des enjeux ;
- Une parcelle (384) présente un aléa chute de bloc très faible.

Concernant le rocher de la Vierge, la probabilité de chutes de blocs a été jugée faible (parcelles 114 et 115) ou faible à moyenne (parcelles 46) ; celle-ci est associée à une probabilité de propagation jugée faible à forte (forte pour les parcelles 46, 114 et 115). L'aléa chutes de pierre a été quant à lui jugé faible (voire faible à moyen). Par ailleurs, nous avons estimé qu'il semble peu probable qu'un éboulement en masse puisse se produire.

Les préconisations réalisées à l'issue de cette étude sont de trois types :

- Des travaux de sécurisation (purge du rocher et contrôle de la végétation) devraient être mis en place au niveau des parcelles 117/118 ;
- Plusieurs parcelles ou affleurements devraient faire l'objet d'un suivi voire d'un entretien régulier : la parcelle 107 (bloc de l'angle nord-est), la parcelle 301 (pour éliminer notamment les pierres susceptibles de se détacher), le rocher de la Vierge ;
- Sur les parcelles 117/118 et 107, l'ensemble des affleurements n'a pas pu être étudié du fait de la présence de végétation. Concernant la parcelle 117/118, la purge du rocher et le contrôle de la végétation devraient être complétés par une évaluation de la stabilité des blocs de dimension plus importante et d'une réflexion sur le traitement potentiel (purge/stabilisation) de ceux-ci. Pour la parcelle 107, il conviendrait de rendre l'accès aux blocs présents à l'arrière de l'habitation possible pour observer de manière plus détaillée la stabilité des blocs et éventuellement proposer des mesures de remédiation à l'arrière de l'habitation.

Sommaire

1. Introduction 9

2. Présentation du secteur d'étude 11

2.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE 11

2.2. HISTORIQUE 11

2.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE 12

3. Objectifs et méthodologie 15

3.1. OBJECTIFS 15

3.2. QUELQUES DEFINITIONS 15
3.2.1. Le vocabulaire du « risque » 15
3.2.2. Typologie des instabilités 16
3.2.3. Niveaux d'aléa considérés pour les différents évènements 16

3.3. METHODOLOGIE ET LIMITES DE L'ETUDE 16
3.3.1. Levé de terrain 17
3.3.2. Photogrammétrie 17
3.3.3. Étude de la propagation des blocs 20

4. Determination du risque par levé de terrain (hors rocher de la Vierge) 23

4.1. LES MAISONS-NEUVES 23
4.1.1. Présentation du secteur 23
4.1.2. Étude par parcelles cadastrales 24

4.2. LE ROCHER DE LA RUE DES FORGES 29
4.2.1. Présentation du secteur 29
4.2.2. Description générale du rocher 30
4.2.3. Étude par parcelles 32

5. Exposition aux risques liés au rocher de la Vierge 39

5.1. PRESENTATION DU SECTEUR 39

5.2. DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU ROCHER 39

5.3. DETERMINATION DES ZONES DE DEPART POTENTIELLES 40

5.3.1. Étude de la face est 41
5.3.2. Étude de la face ouest 48
5.3.3. Étude de la face sud 52
5.3.4. Étude de la face nord 59
5.3.5. Partie sommitale 61
5.3.6. Récapitulatif 62

5.4. ETUDE DE LA PROPAGATION DES BLOCS 63

5.5. NIVEAUX D'ALEA 65

6. Récapitulatif à la parcelle des niveaux d'aléa et définition des travaux et mesures de sécurisation 67

7. Conclusion 69

8. Bibliographie 71

Liste des illustrations

Illustration 1 – Localisation de la zone d'étude sur le Scan25 de l'IGN (extrait de www.geoportail.fr) 11

Illustration 2 – Localisation des trois affleurements étudiés sur l'orthophotographie de l'IGN (BD ORTHO 2006) 12

Illustration 3 - Extrait de la carte géologique au 1/80 000 (feuille de Laval) autour de la commune de Chailland 13

Illustration 4 - Typologie des instabilités 16

Illustration 5 - Photo d'une cible chevillée dans le rocher 19

Illustration 6 – Présentation du nuage de points obtenu au niveau de la face ouest du rocher de la Vierge (Chailland) vue depuis le sud-ouest 20

Illustration 7 – Exemple de résultat obtenu par la méthode des cônes 21

Illustration 8 – Utilisation d'un angle moyen de propagation pour déterminer le point d'arrêt d'un bloc dans une pente 21

Illustration 9 – Quelques valeurs de l'angle moyen de propagation considéré par divers auteurs (Jaboyedoff et Labiouse, 2002) 21

Illustration 10 - Extrait du cadastre au niveau du lieu dit les Maisons-neuves à Chailland (www.cadastre.gouv.fr) 23

Illustration 11 - Sud de la propriété de la parcelle 301 24

Illustration 12 – Vue de l'amoncellement de bloc à l'arrière de l'habitation de la parcelle 106 25

Illustration 13 - Affleurement au niveau de l'angle nord-est de l'habitation de la parcelle 107 26
Illustration 14 - Affleurement surplombant l'angle nord-est de l'habitation de la parcelle 107 (vue de l'arrière de l'habitation)....27
Illustration 15 – Vue de l'affleurement présent à l'arrière de l'habitation de la parcelle 107 28
Illustration 16 – Extrait du cadastre au niveau du centre de Chailland (www.cadastre.gouv.fr) 30
Illustration 17 – Vue sur le rocher de la rue des Forges (photographie prise depuis l'ouest)....31
Illustration 18 - Vue sur le rocher de la rue des Forges (photographie prise depuis l'est) 31
Illustration 19 – Vue sur le rocher dit de la rue des Forges depuis la parcelle communale 43....32
Illustration 20 – Vue sur le rocher de la rue des Forges au niveau des parcelles 117 et 118 34
Illustration 21 – Vue sur la partie haute du rocher de la rue des Forges au niveau des parcelles 117./118....34
Illustration 22 – Zoom sur la partie haute du rocher de la rue des Forges surplombant l'habitation de la parcelle 118 35
Illustration 23 – Vue du rocher de la rue des Forges depuis la cour de l'habitation de la parcelle 118....36
Illustration 24 – Vue du rocher de la rue des Forges au niveau de la parcelle 384....37
Illustration 25 – Vue de l'affleurement du rocher de la rue des Forges à proximité de l'habitation de la parcelle 384 38
Illustration 26 – Localisation du rocher de la Vierge à Chailland 39
Illustration 27 - Vue d'ensemble de la partie supérieure du rocher de la Vierge – face ouest (photo prise le 25/03/2011) 40
Illustration 28 – Vue sur la face est du rocher de la Vierge depuis le nord-est 42
Illustration 29 – Vue sur la face est du rocher de la Vierge depuis l'est 42
Illustration 30 - Vue de détail de la partie basse du rocher au niveau de l'arrière de la face est....43
Illustration 31 – Vue sur la partie sommitale à l'arrière du rocher de la Vierge depuis le nord-est 43
Illustration 32 – Vue du dessous du bloc reposant au sommet à l'arrière du rocher de la Vierge (miroir de faille) 44
Illustration 33 - Vue sur la partie sommitale à l'arrière du rocher de la Vierge depuis le nord 44
Illustration 34 - Vue sur la partie sommitale à l'arrière du rocher de la Vierge depuis l'ouest....44
Illustration 35 – Vue sur l'empilement de blocs de la face est du rocher de la Vierge (côté sud) 45

Illustration 36 – Vue sur les blocs et les fractures à l'arrière du rocher de la Vierge (NE) 46

Illustration 37 – Vue sur le secteur NE du rocher de la Vierge (photo prise du NE) 47

Illustration 38 – Direction probable des fractures au sein du rocher dans le secteur NE (en jaune : fracture principale d'orientation N18 85^{E}, en bleu : fracture fermée d'orientation N165 85E) 48

Illustration 39 – Vue générale de la face ouest du rocher de la Vierge 49

Illustration 40 – Reconstitution de la famille de fracture orientée N49°-69°N au niveau de la face ouest du rocher de la Vierge 49

Illustration 41 – Mise en évidence d'une zone de départ potentielle d'un bloc au niveau de la face ouest (bloc SW) 50

Illustration 42 – Vue de détail du bloc SW prise depuis le sud-ouest 51

Illustration 43 – Vue de détail du bloc SW prise depuis le nord-ouest 51

Illustration 44 - La face sud vue depuis la parcelle cadastrale 46 52

Illustration 45 – Vue de la face sud prise du sud 53

Illustration 46 – Eperon rocheux située sur la face sud, en partie basse (vue du sud) 54

Illustration 47 – Eperon rocheux située sur la face sud, en partie basse (vue de l'est) 54

Illustration 48 - Zone fracturée et altérée à l'ouest de l'éperon 55

Illustration 49 – Localisation des écailles présentes au niveau de la face sud (partie haute) 56

Illustration 50 – Zoom sur le secteur présentant les écailles au niveau de la face sud (partie haute) 56

Illustration 51 – Vue des écailles de la face sud (partie haute) 57

Illustration 52 – Fragmentation d'une écaille au niveau de la face sud (partie haute) 58

Illustration 53 – Rocher cimenté au niveau des écailles de la face sud (partie haute) 58

Illustration 54 – Vue d'ensemble de la face nord du rocher de la Vierge 60

Illustration 55 – Vue sur le bloc potentiellement instable de la face nord 61

Illustration 56 – Vue sur le sommet du rocher de la Vierge 62

Illustration 57 – Récapitulatif des zones de départ et des niveaux d'aléa estimés sur le site 63

Illustration 58 – Vue dans la direction de plus grande pente à partir du secteur NE du rocher de la Vierge 64

Illustration 59 – Résultats issus de l'étude de la propagation des blocs présentés sur fond cadastral (www.cadastre.gouv.fr) et sur l'orthophotographie de l'IGN 65

Liste des annexes

Annexe 1 Principe et réalisation de la photogrammétrie 73

Annexe 2 Résultats des levés du géomètre 85

1. Introduction

La commune de Chailland est concernée par plusieurs affleurements à proximité du bourg qui surplombent des maisons d'habitation. Dans un but de prévention, la Direction Départementale des Territoires de Mayenne a souhaité que le BRGM intervienne pour évaluer le risque de chute de blocs au niveau de trois zones d'affleurements, à savoir le rocher de la rue des Forges, les affleurements du lieu-dit les Maisons-neuves et le rocher de la Vierge.

Pour les différents secteurs identifiés, l'objectif est de déterminer :

(5) quelles masses rocheuses sont susceptibles de se mettre en mouvement et d'évoluer en chutes de pierres ou de blocs voire en éboulement ?
(6) dans quel délai ?
(7) jusqu'où elles peuvent se propager ?
(8) quels travaux prioritaires doivent être mis en œuvre pour sécuriser le secteur ?

Après avoir présenté le secteur d'étude et rappelé le contexte et les principales définitions liées à la problématique des chutes de blocs, l'étude de stabilité des blocs au niveau du lieu-dit les Maisons-neuves et du rocher de la rue des Forges réalisée par une démarche naturaliste est présentée. Ensuite, l'étude de la stabilité du rocher de la Vierge est réalisée ; celle-ci comprend (i) une évaluation des zones de départ obtenue par une inspection visuelle complétée par l'analyse du nuage de points 3D issu de la photogrammétrie et (ii) une étude de propagation des blocs susceptibles de se détacher. Enfin, l'ensemble des résultats obtenus sont synthétisés et les travaux et mesures de sécurisation de la zone sont présentés.

2. Présentation du secteur d'étude

2.1. LOCALISATION DE LA ZONE D'ETUDE

Chailland est une commune de la Mayenne située à une vingtaine de kilomètres au nord de Laval. La zone d'étude concerne plusieurs affleurements situés en rive nord de l'Ernée à Chailland (Illustrations 1 et 2) :

- le rocher de la Vierge qui domine le centre bourg et en particulier une quinzaine d'habitations ainsi que l'église et la rue des forges ;
- les affleurements du lieu-dit les Maisons-neuves ;
- le rocher de la rue des Forges.

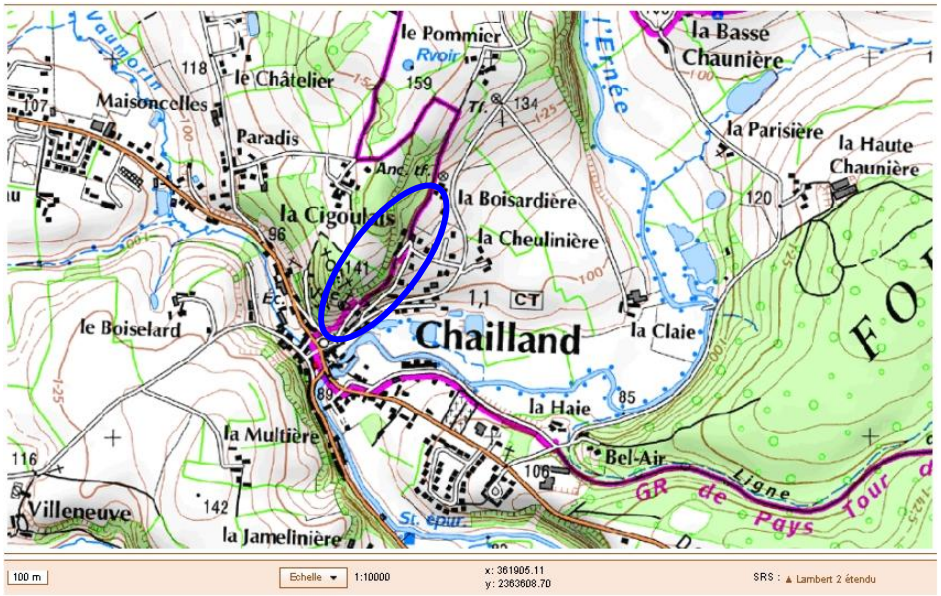


Illustration 1 – Localisation de la zone d'étude sur le Scan25 de l'IGN (extrait de www.geoportail.fr)

2.2. HISTORIQUE

Suite à un éboulement qui s'est produit en octobre 2006 à l'arrière d'une crêperie, le BRGM a réalisé, dans le cadre de sa mission d'appui aux administrations, une expertise géotechnique liée aux évènements de chute de pierres et de blocs. Lors d'un entretien le 2 octobre 2009 avec la Direction Départementale des Territoires de la Mayenne (DDT 53), le maire a confirmé que les travaux prioritaires préconisés par le BRGM ont été réalisés (débroussaillage et dessouchage complet des parois, purge du rocher) mais que les mesures complémentaires de réduction de vulnérabilité du bâti n'ont pas été mises en œuvre. En effet, d'après le maire de Chailland, le secteur affecté par cet éboulement semblerait moins vulnérable que le secteur en contrebas immédiat de la falaise qui surplombe le centre bourg.

La DDT 53 a alors sollicité une intervention du BRGM pour obtenir un avis de celui-ci sur le secteur mentionné par la mairie. Une visite de terrain a ainsi été réalisée par le BRGM en mai 2010 et a permis d'identifier les 3 affleurements distincts au sein de la zone d'étude, à savoir, les Maisons-neuves, le rocher présent rue des Forges et le rocher de la Vierge (Illustration 2).

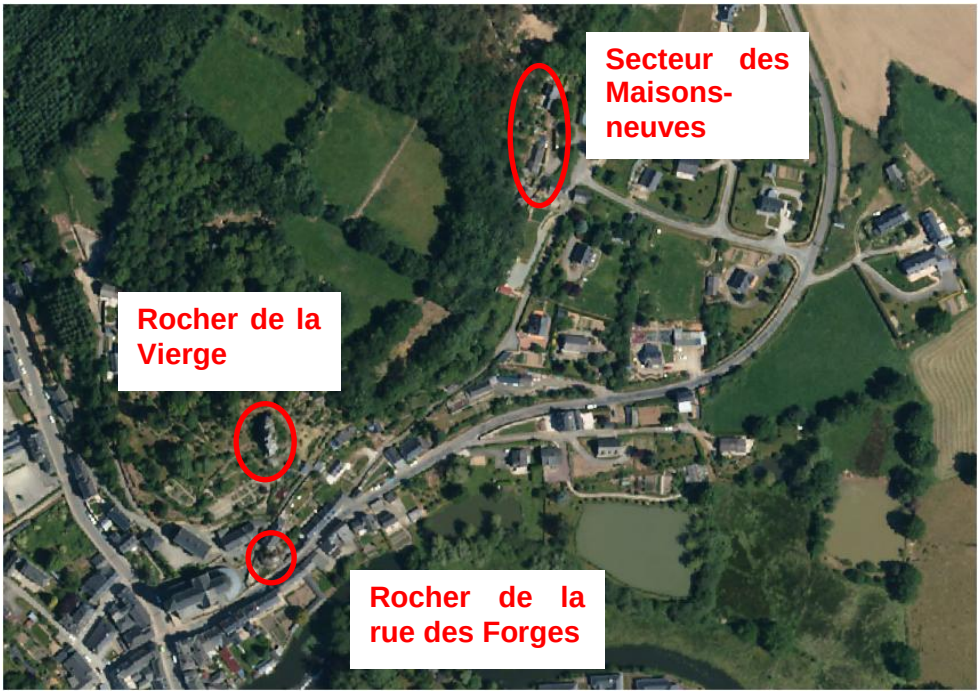


Illustration 2 – Localisation des trois affleurements étudiés sur l'orthophotographie de l'IGN (BD ORTHO 2006)

2.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le rocher de la Vierge, celui de la rue des forges et les roches présentes au niveau des Maisons-neuves sont constitués de grés quartzitique correspondant à la formation du « Grés armoricain » (noté s1b) sur la carte géologique à 1/80 000 (feuille de Laval)[1]. D'après la notice de cette feuille, ce grès, de couleur blanchâtre, présente une stratification décimétrique à métrique visible localement et une importante fracturation.

[1] La carte géologique à 1/50 000 de la feuille de Laval n'est pas disponible actuellement

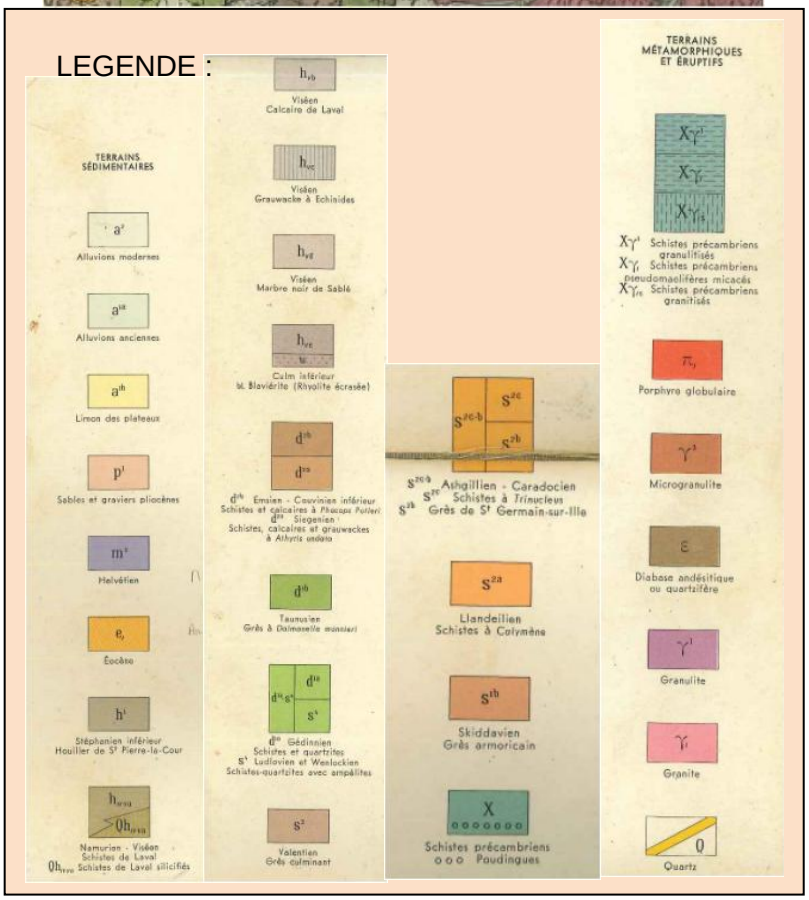


Illustration 3 - Extrait de la carte géologique au 1/80 000 (feuille de Laval) autour de la commune de Chailland

3. Objectifs et méthodologie

3.1. OBJECTIFS

Pour les différents affleurements identifiés (cf. paragraphe 2), l'objectif est de déterminer :

- quelles masses rocheuses sont susceptibles de se mettre en mouvement et d'évoluer en chutes de pierres ou de blocs voire en éboulement ;
- dans quel délai ;
- jusqu'où peuvent-elles se propager ;
- quels travaux prioritaires doivent être mis en œuvre pour sécuriser le secteur.

Le paragraphe 3.2 propose quelques définitions sur lesquelles s'appuient la présente étude et le paragraphe 3.3 la méthodologie mise en œuvre.

3.2. QUELQUES DEFINITIONS

3.2.1. Le vocabulaire du « risque »

On définit par **aléa**, la probabilité de survenance sur une zone donnée, d'un évènement donné, d'une intensité donnée, sur une période donnée. Pour un type d'évènements donné, on peut associer une évaluation de son intensité probable, caractérisée par une grandeur physique qui généralement est en relation directe avec les dégâts que le phénomène peut occasionner. Par exemple, dans le cas des chutes de pierres ou de blocs, on associe généralement la taille maximale des éléments unitaires, le volume total de matériaux déplacés mais aussi la hauteur de chute, pour évaluer l'intensité de l'évènement.

Les **enjeux** constituent l'ensemble des personnes et des biens qui peuvent être soumis aux évènements considérés, et donc mis en danger par ces derniers. Les enjeux sont généralement exprimés en unité monétaire pour les biens et en nombre de victimes pour les personnes. Pour les personnes, on introduit aussi le **concept d'exposition**, qui tient compte de la présence variable au cours du temps de personnes dans des lieux potentiellement soumis à des aléas

La **vulnérabilité** définit la résistance des biens et des personnes aux phénomènes considérés. Dans le cas des mouvements de terrains, les biens n'ayant généralement pas été construits pour résister à ce type de phénomène, la vulnérabilité est la plupart du temps considérée comme maximale (égale à 1). Cependant pour les chutes de pierres de faible volume total, la vulnérabilité est souvent plus faible.

Le **risque** définit, *a priori*, les populations et les valeurs des biens qui sont soumis aux aléas. Le risque peut donc schématiquement être représenté par la formule suivante :

Risque = Somme (aléa x vulnérabilité x enjeux) pour chaque intensité du phénomène

3.2.2. Typologie des instabilités

Le tableau 1 présenté ci-dessous permet de classer les différents types d'événements compris dans la classe des instabilités (instabilités rocheuses et instabilités en zone meuble) selon la taille des blocs (volume unitaire) et le volume total impliqué.

Type d'évènement	Volume unitaire	Volume impliqué
Chute de pierre	Vol . unitaire inférieur à 1 dm³	Volume global faible
Chute de bloc	Vol. unitaire inférieur à 1 m³	Volume global variable
Chute de gros bloc	Vol. unitaire supérieur à 1 m³	Vol. global supérieur à 1 m³
Eboulement en masse	Variable	Vol. global supérieur à 10 m³
Glissement meuble de talus		Volume global variable
Coulées		Vol. global supérieur à 1 m³

Illustration 4 - Typologie des instabilités

Dans le cas de la commune de Chailland, les événements envisagés se limitent uniquement à des chutes de pierres et/ou de blocs voire à des éboulements en masse.

3.2.3. Niveaux d'aléa considérés pour les différents évènements

Les niveaux d'aléa considérés dans le cadre de la présente étude sont les suivants :

- Aléa nul : zone non concernée par le phénomène ;
- Aléa très faible : zone où l'on ne peut pas exclure complètement la survenance du phénomène ;
- Aléa faible : zone où le phénomène risque de se produire à long terme (> 10 ans) ;
- Aléa moyen : zone où le phénomène risque de se produire à moyen terme (dans les 10 ans) ;
- Aléa fort : zone où le phénomène risque de se produire à court terme (dans les 2 ans).

3.3. METHODOLOGIE ET LIMITES DE L'ETUDE

La première étape dans le diagnostic des risques liés aux mouvements de terrain consiste à identifier les sites qui sont susceptibles d'y être soumis par une approche naturaliste. Il s'agit, dans un premier temps, d'observer le secteur d'étude dans son intégralité pour avoir une connaissance globale bien que superficielle au démarrage de l'étude. La visite de terrain de mai 2010 a permis d'identifier les 3 affleurements au sein du secteur d'étude, à savoir, les Maisons-neuves, le rocher présent rue des Forges et le rocher de la Vierge.

Pour les deux premiers sites, du fait de la faible hauteur des affleurements et de la faible propagation attendue en cas de chutes de pierres ou de bloc, il a été décidé de mettre en œuvre une approche naturaliste à la parcelle. Au contraire, en ce qui concerne le rocher de la Vierge, l'objet d'étude étant beaucoup plus volumineux et les parcelles impactées potentiellement plus nombreuses, l'approche naturaliste est

complétée par une investigation par photogrammétrie afin d'évaluer la dimension des blocs et la direction des fractures, ainsi que par une étude des trajectoires de propagation en cas de chute (étude dite trajectométrique).

Il est à noter qu'en l'absence d'évènements de chutes de pierre ou de blocs connus sur ce secteur, nous n'avons pas pu procéder à une rétroanalyse pour étudier la stabilité des blocs ou leur propagation en cas de chute éventuelle.

De plus du fait de la faible sismicité de la Mayenne, il ne rentre pas dans les objectifs de la présente étude d'évaluer les effets d'un séisme sur la stabilité des blocs.

3.3.1. Levé de terrain

La journée de terrain du 08 mars 2011 a permis de réaliser une inspection visuelle des affleurements situés au lieu-dit les Maisons-neuves et du rocher de la rue des Forges afin de relever un ensemble de paramètres conditionnant la stabilité de la roche (fracturation ; état des joints ; écoulement des eaux ; végétation…).

Afin de pouvoir accéder aux rochers situés dans les propriétés privées, un courrier a été adressé par la mairie de Chailland aux administrés dont les parcelles étaient concernées par un éventuel aléa chutes de blocs. Suite à ce courrier, le BRGM a pris rendez-vous avec les différents propriétaires. Outre la possibilité d'examiner le rocher de plus près, cette visite avait également pour objectif de déterminer, pour chaque parcelle, les éléments pouvant conduire à une réduction de la propagation des blocs. Au cours de cette visite, nous avons pu rencontrer un certain nombre d'habitants que nous tenons à remercier pour leur aimable collaboration. Ceux-ci nous ont mentionné ne pas avoir été confrontés à des évènements majeurs ni en avoir eu connaissance. Malheureusement, il n'a pas été possible de rencontrer les habitants des habitations situées sur les parcelles 46 et 115 car nous n'avons pas réussi à les joindre.

Deux nouvelles journées de terrain ont eu lieu les 23 et 24 mars 2011 afin de réaliser la photogrammétrie (prise de photo et lever topographique) mais également de faire une inspection visuelle de détail au niveau du rocher de la Vierge. Cette journée a été réalisée pendant une période où le couvert végétal était restreint et par temps peu couvert (période hivernale ou début du printemps) afin d'optimiser les conditions d'étude du site mais surtout la réalisation de la photogrammétrie.

3.3.2. Photogrammétrie

La photogrammétrie a été utilisée dans le but de pouvoir déterminer avec plus grande précision la taille des blocs susceptibles de se détacher de la paroi et notamment dans les zones non accessibles.

La photogrammétrie est une technique de mesure qui ne demande pas de contact avec l'objet mesuré. Elle est relativement aisée à mettre en place sur le terrain puisqu'il

suffit de disposer d'un appareil photo calibré[2] et de prendre plusieurs photos du même objet sous des angles différents. La condition minimale et suffisante pour reconstruire un objet en trois dimensions est de le photographier depuis deux points de vue distincts et d'utiliser un phénomène appelé la parallaxe[3]. Pour pouvoir mesurer cette parallaxe et en déduire le relief, il faut passer par une opération dite d'orientation des photos, c'est-à-dire qu'il faut retrouver la position relative des points de vue par rapport à l'objet en identifiant des points homologues (sur les différentes vues). Trois types d'orientation sont en fait nécessaires à la formation d'un modèle 3D à partir des prises de vues, à savoir, l'orientation interne ou intérieure, l'orientation relative, puis l'orientation absolue.

En pratique, l'orientation interne consiste à donner une dimension métrée aux pixels de l'image et dépend de l'étape de calibration de l'appareil. L'orientation relative consiste à faire correspondre les points homologues des différents clichés. L'orientation absolue consiste quant à elle à mettre le modèle 3D obtenu en vraie grandeur (mise à l'échelle), à orienter le repère d'axes dans un référentiel cartographique et à translater le modèle pour que les coordonnées des points soient positionnées dans le référentiel planimétrique. Pour cela, il faut disposer d'une dimension connue, d'une orientation de référence, d'une verticale, d'une horizontale et d'un point de coordonnées connues.

Afin de contribuer à cette étape d'orientation absolue, des cibles ont été implantées sur le rocher (Illustration 5) et un géomètre est intervenu sur le site le 24/03/11 pour lever ces cibles et les différentes positions des prises de vue (Annexe 2).

Le traitement des photographies est ensuite réalisé à l'aide du logiciel photomodeler®[4] dédié à la photogrammétrie pour différentes applications.

Le nuage de points 3D obtenus est ensuite exporté de photomodeler® et traité à l'aide du logiciel libre CloudCompare® (http://www.danielgm.net/cc/).

---

[2] dont les paramètres d'orientation internes (distance focale, position du point principal, dimension en mm d'un pixel, distorsion causée par l'objectif…) sont connus

[3] La **parallaxe** est l'incidence du changement de position de l'observateur sur l'observation d'un objet

[4] A noter que le logiciel Photosynth, disponible gratuitement en ligne (http://photosynth.net/), permet également de réaliser un nuage de points en 3D à partir des différentes photos réalisées sans lui fournir d'élément de repère (opération « clic-bouton »). Toutefois, ce logiciel ne peut être utilisé pour une telle étude puisqu'il ne permet pas (i) de faire le calage absolu, (ii) de vérifier le nuage de point obtenu, (iii) de manipuler le nuage de point réalisé.

Illustration 5 - Photo d'une cible chevillée dans le rocher

A partir de ce modèle, la dimension de plusieurs blocs a pu être déterminée ainsi que l'orientation probable de fractures présente dans des secteurs inaccessibles dont seule la trace était visible sur les photographies. Pour cela, nous avons utilisé les outils déjà présents dans le logiciel CloudCompare comme les calculs de distance entre différents points mais également un nouvel outil intégré à CloudCompare pour cette étude par le développeur du logiciel (outil Plane Orientation) qui permet de déterminer l'orientation et le pendage de facettes visibles. De plus, une petite application a été réalisée sous Python permettant de reconstituer des nuages de points correspondants à des plans de fracture à partir d'une mesure de pendage réalisée sur le terrain et d'un point appartenant à la trace du plan. Ainsi, les plans ont pu être directement intégrés sous CloudCompare et visualisés sur le modèle 3D. Cela a permis notamment de vérifier si certaines fractures étaient traversantes.

L'annexe 1 décrit en détail les différentes étapes mises en œuvre pour la création du nuage de points par photogrammétrie ainsi que les étapes de traitement de ce nuage 3D.

Le nuage de points complet présente 279 595 points, le modèle ayant été maillé avec un pas de 5 cm. Afin de consolider ce modèle (ainsi que les mesures du géomètre), une centaine de points alignés selon une ligne nord-sud a été levée par le géomètre sur le côté ouest du rocher. Ces mesures n'ont pas été utilisées pour la réalisation du modèle 3D mais ont eu pour but de permettre la vérification de celui-ci par superposition mesure/modèle. La distance moyenne obtenue entre les points du géomètre et le nuage de points 3D obtenu par photogrammétrie est de 1,3 cm (avec un écart type de 5,7 cm) ce qui confirme à la fois la validité des mesures du géomètre et du nuage de points[5]. L'illustration 6 présente en exemple la face ouest du modèle vue depuis le sud-ouest, étant entendue que la restitution du nuage 3D en 2D gomme les reliefs.

[5] Il est à noter que 7 points du géomètre présent au niveau d'une zone végétalisée ont été supprimés

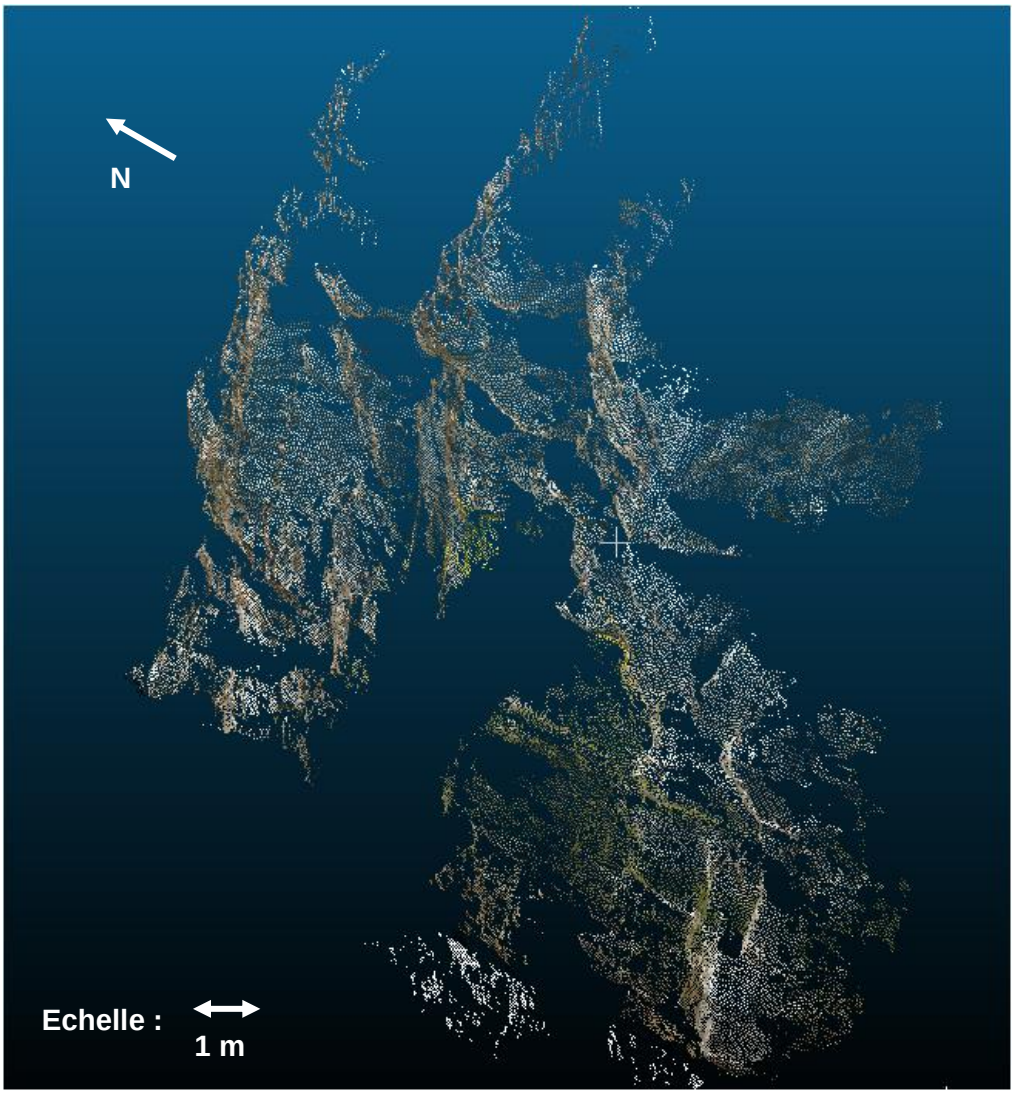


Illustration 6 – Présentation du nuage de points obtenu au niveau de la face ouest du rocher de la Vierge (Chailland) vue depuis le sud-ouest

Comme cela était prévisible étant donnée la végétation présente sur la face est du rocher tout au long de l'année, le modèle n'est pas complet à son niveau mais cela résulte d'un choix explicité au paragraphe 5.3.1.

3.3.3. Étude de la propagation des blocs

Une troisième étape consiste à déterminer jusqu'où pourraient se propager des blocs s'ils se détachaient de la paroi. Comme mentionné précédemment, concernant les affleurements du rocher de la rue des Forges et des Maisons-neuves, cette étape a été réalisée de manière naturaliste étant donné la faible hauteur des affleurements et la propagation très limitée des éventuelles chutes de pierres ou de blocs (se limitant à la parcelle concernée).

Au contraire, pour le rocher de la Vierge, cette étude a été complétée par une analyse par une méthode empirique dite des cônes (Illustration 7) réalisée sur le MNT de la zone à un pas de 5 m (MNT Intermap) acquis dans le cadre de cette étude.

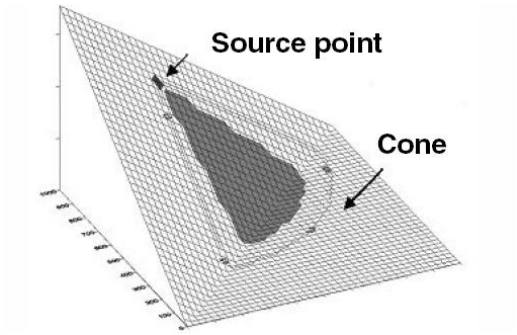


Illustration 7 – Exemple de résultat obtenu par la méthode des cônes

La méthode des cônes s'appuie sur le fait que de nombreux praticiens ont constatés que la limite de propagation de blocs se détachant d'une falaise peut être sommairement estimée en traçant depuis un point source une droite faisant un certain angle φ^P par rapport à l'horizontale et en prenant l'intersection de cette droite avec la surface topographique (Illustration 8). Cet angle, dénommé angle moyen de propagation, définit l'ampleur des pertes d'énergie par frottement, supposées constantes tout le long du versant. Deux modèles simplifiés existent selon que l'on estime la zone de propagation en traçant la droite d'énergie depuis le sommet de la falaise ou en utilisant le pied de la falaise (Illustration 9). Les auteurs du second choix argumentent que l'énergie cinétique acquise par les blocs lors de leur chute libre est largement dissipée lors des premiers impacts sur le versant et dès lors que leur distance de propagation dépend peu de la hauteur. C'est ce second modèle qui a été retenu dans le cadre de la présente étude.

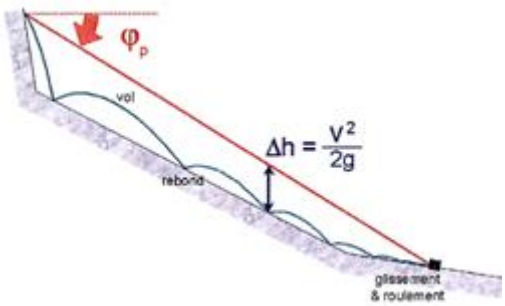


Illustration 8 – Utilisation d'un angle moyen de propagation pour déterminer le point d'arrêt d'un bloc dans une pente[6]

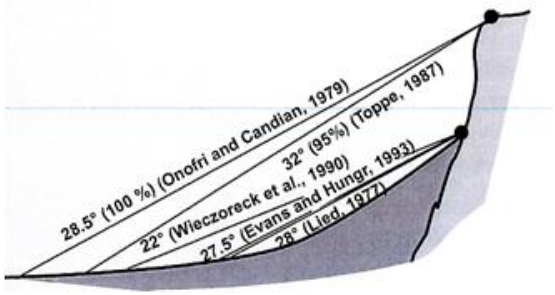


Illustration 9 – Quelques valeurs de l'angle moyen de propagation considéré par divers auteurs (Jaboyedoff et Labiouse, 2002)

[6] Le complexe mouvement réél du bloc, composé de phases de vol, rebond, glissement et roulement est représenté par du glissement uniquement (ou du roulement)

Pour les différentes zones de départ de blocs identifiés à l'aide des levers de terrain et de la photogrammétrie, le calcul a été réalisé avec une fourchette de valeurs probables de φ^P rencontrées dans la littérature (Lied, 1977 ; Hestnes, 1980 ; Evans et Hungr, 1993), à savoir 25 ° et 32°.

Les résultats issus de la méthode des cônes ont été ensuite réinterprétés au vu de la taille des blocs et des écrans présents dans la pente.

Il est à noter que des logiciels de trajectométrie plus complets permettant l'évaluation déterministe ou probabiliste des trajectoires de blocs existent mais qu'ils nécessitent un nombre important de paramètres (concernant la forme des blocs, la morphologie et la constitution de la pente). Dans la plupart des cas, ces paramètres sont évalués par des calages sur des événements s'étant déjà produits, non disponibles dans notre cas.

4. Determination du risque par levé de terrain (hors rocher de la Vierge)

Ce chapitre concerne le rocher de la rue des Forges et le lieu-dit les Maisons-neuves pour lesquelles l'aléa a été déterminé traditionnellement par une approche naturaliste. Cette partie n'inclut pas l'évaluation des événements potentiels liés au rocher de la Vierge, traités dans le chapitre suivant.

Dans cette zone, du fait de la faible hauteur des affleurements, les évènements potentiels se réduisent à des chutes de pierres ou des mouvements de blocs qui restent très locaux et dont la propagation est donc limitée. L'analyse a donc été réalisée parcelle par parcelle.

Du fait du déplacement relativement court des éléments, l'intensité du phénomène est caractérisée par la taille des éléments (pierre, blocs et gros blocs).

4.1. LES MAISONS-NEUVES

4.1.1. Présentation du secteur

Le lieu-dit les Maisons-neuves est localisé au nord du bourg de Chailland et a la particularité d'être limitrophe à une ancienne carrière de grès. Dans ce secteur, la roche est parfois en place mais souvent sous forme de blocs posés les uns sur les autres.

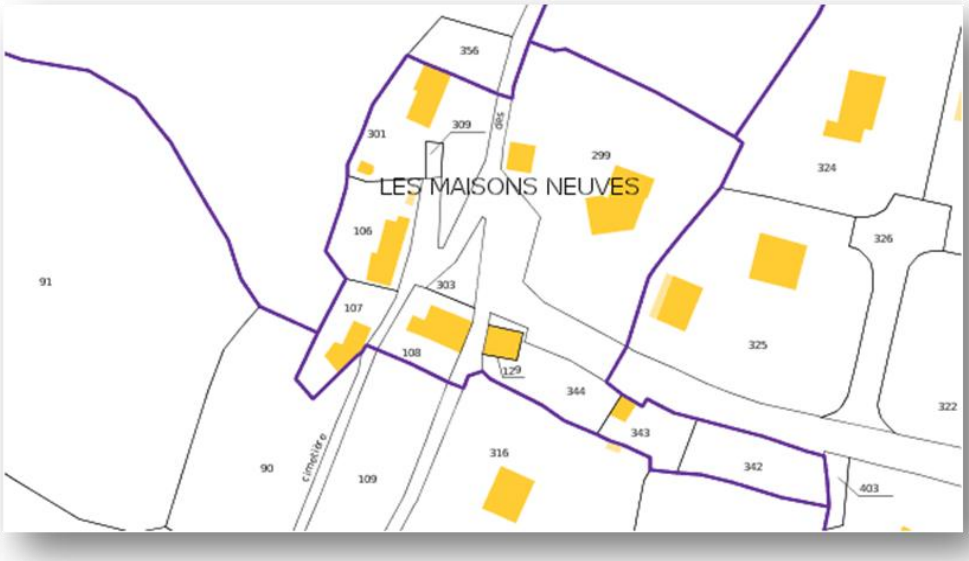


Illustration 10 - Extrait du cadastre au niveau du lieu dit les Maisons-neuves à Chailland (www.cadastre.gouv.fr)

4.1.2. Étude par parcelles cadastrales

a) *Parcelle 301*

Observations :

Dans la partie sud de la propriété, à la limite du jardin d'agrément, le rocher est globalement sain avec des fractures présentant un pendage aval. La partie centrale est une zone plus meuble, présentant quelques blocs décimétriques. Il s'agit vraisemblablement d'une zone plus altérée, siège de ruissellement.

Dans la partie nord de la propriété se présente un amoncellement de blocs métriques à plurimétriques « en provenance de la carrière située à l'arrière de la propriété » (d'après le témoignage de la propriétaire). Ces blocs, dont certains semblent avoir basculé, sont potentiellement instables mais ne devraient pas mettre en danger l'habitation. Des éboulements seraient toutefois possibles hors de la parcelle au niveau d'un terrain vierge.

Illustration 11 - Sud de la propriété de la parcelle 301

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Moyen	Personne présente à proximité de la paroi
Chutes de blocs	Très faible	Personne présente à proximité de la paroi
Chutes de gros blocs	Nul	

b) *Parcelle 106*

Observations :

Cette parcelle est concernée par un amoncellement de blocs fracturés, de taille métrique pour les plus gros. Leur origine n'a pas pu être déterminée avec précision mais ils semblent globalement en place. Certains blocs présentent un pendage qui pourrait être favorable à un glissement d'écailles épaisses vers l'aval. D'autres blocs semblent posés et retenus par des arbres matures (Illustration 12).

Illustration 12 – Vue de l'amoncellement de bloc à l'arrière de l'habitation de la parcelle 106

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Faible	Personne présente à proximité de la paroi
Chutes de blocs	Faible	Personne présente à proximité de la paroi
Chutes de gros blocs	Nul	

Il existe de plus une probabilité très faible qu'un bloc puisse atteindre l'habitation, sans toutefois, à notre avis, mettre en cause la stabilité de celle-ci.

c) *Parcelle 107*

Observations :

A moins d'un mètre de l'angle nord-est de l'habitation se tient un affleurement de taille plurimétrique relativement fracturé avec une partie en surplomb. La fracturation étant discontinue, la stabilité ne semble pas mise en cause à court terme. Par contre, une évolution de cette fracturation (altération) pourrait provoquer le détachement de blocs de taille importante.

Illustration 13 - Affleurement au niveau de l'angle nord-est de l'habitation de la parcelle 107

Illustration 14 - Affleurement surplombant l'angle nord-est de l'habitation de la parcelle 107 (vue de l'arrière de l'habitation)

A l'arrière de l'habitation se présente un empilement de blocs de taille métrique relativement important (6 à 8 m de haut). La présence de végétation rend l'accès aux blocs et leur observation très difficiles. Bien que la probabilité de départ de blocs nous paraisse faible, la probabilité qu'ils atteignent la paroi nord de l'habitation est élevée.

Illustration 15 – Vue de l'affleurement présent à l'arrière de l'habitation de la parcelle 107

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Très Faible	Personne présente à proximité de la pente
Chutes de blocs à l'arrière de l'habitation	Faible (1)	Paroi nord de l'habitation Personne présente à proximité de la pente
Chutes de blocs à l'angle NE de l'habitation	Faible (2)	Paroi nord de l'habitation Personne présente à proximité de l'affleurement
Chutes de gros blocs à l'angle NE de l'habitation	Très Faible(2)	Habitation

(1) Dans cette zone, il serait souhaitable de rendre l'accès possible pour observer de manière plus détaillée la stabilité des blocs et éventuellement proposer des mesures de remédiation ;
(2) Au vu de la localisation de l'affleurement par rapport à la maison et de la quasi-certitude, qu'en cas d'instabilité la structure de l'habitation serait mise en péril, nous recommandons *a minima* qu'un suivi des conditions de stabilité de ce bloc soit réalisé régulièrement (1 fois tous les 4 ou 5 ans)

d) *Ancienne carrière*

Bien que cela n'ait pas été précisé dans le cahier des charges, nous avons visité la carrière présente à proximité des Maisons-neuves. Cette carrière n'a pas été étudiée en détail mais il semblerait, à première vue, que des chutes de pierres voire des chutes de blocs puissent se produire dans le secteur à plus ou moins court terme. Aucune habitation n'est présente sur cette zone. Toutefois, ne connaissant pas la fréquentation sur ce secteur (fréquentation régulière ou occasionnelle, mode d'occupation de l'espace…), il est difficile d'y faire des recommandations.

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Fort	Personne présente à proximité de la paroi Autre ?
Chutes de blocs	Moyen	
Chutes de gros blocs	Faible	

4.2. LE ROCHER DE LA RUE DES FORGES

4.2.1. Présentation du secteur

Le rocher de la rue des forges est situé dans le centre de la commune à proximité de l'église, à cheval sur les parcelles cadastrales 43, 117, 118 et 384 (Illustration 16).

Illustration 16 – Extrait du cadastre au niveau du centre de Chailland (www.cadastre.gouv.fr)

4.2.2. Description générale du rocher

La roche est un grès silicifié présentant des veines de quartz. Il s'agit d'une roche massive et dure, non altérée dans la masse, présentant des fractures de dimensions et d'orientations variables qui peuvent être très localement importantes (Illustration 19). Les illustrations 17 et 18 fournissent une prise de vue de l'ouest et de l'est du rocher de la rue des forges et tentent d'en donner une vision générale.

La variabilité de la fracturation impose de faire une étude de détail. Ainsi, le lever de ce rocher a été réalisé parcelle par parcelle (cf. partie suivante) ce qui se justifie également par la faible hauteur de l'affleurement et la propagation des blocs qui serait limitée dans l'espace.

Illustration 17 – Vue sur le rocher de la rue des Forges (photographie prise depuis l'ouest)

Illustration 18 - Vue sur le rocher de la rue des Forges (photographie prise depuis l'est)

4.2.3. Étude par parcelles

Parcelle 43 (parcelle communale)

Observations :

La parcelle cadastrale 43 est une parcelle communale non construite. Sur celle-ci demeure un abri en partie démoli qui ne semble plus être utilisé. Ce terrain permet de s'approcher du rocher de la rue des forges. Dans ce secteur, le rocher a la forme d'une boule massive entrecoupée d'importantes fractures : une première fracture sub-verticale semble individualiser deux compartiments (un compartiment sud et un compartiment nord) ; la deuxième, présente un pendage beaucoup plus faible, orienté vers le sud-ouest. D'autres fractures, à ouvertures plus limitées et continuité réduite sont également observables. Malgré cette fracturation, la stabilité des blocs observés semble assurée au moins à moyen terme.

Au sol, derrière l'abri demeure un bloc décimétrique qui ne présente pas de cassure fraiche et qui semble être tombé depuis un long moment. Ce bloc témoigne toutefois de l'évolution de ce rocher mais cette évolution, compte tenu du caractère massif de la roche, peut être considérée comme très lente.

Illustration 19 – Vue sur le rocher dit de la rue des Forges depuis la parcelle communale 43

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Moyen	Personne présente à proximité de la paroi
Chutes de blocs	Très Faible	Personne présente à proximité de la paroi
Chutes de gros blocs	Nul	

Parcelles 117/118 : 1, rue des Forges

Observations :

Les parcelles cadastrales 117/118 correspondent respectivement au garage et à l'habitation du 1 rue des Forges. Directement à l'ouest du garage, le rocher est affleurant au niveau de la rue (Illustration 20). Vu depuis la chaussée, le garage est construit contre le rocher. D'autre part, le rocher est en surplomb de l'habitation et du garage (Illustration 21). Les propriétaires nous ont donné accès au garage et à la maison d'habitation.

Dans ce secteur, la roche est massive mais présente d'importantes fractures. Sur l'illustration 21, la partie gauche que l'on observe également depuis la parcelle 43, est plutôt massive avec une fracturation peu continue et plutôt subhorizontale. La partie médiane pour laquelle l'affleurement est en retrait correspond sans doute à une zone plus altérée. La partie droite, quant à elle, qui surplombe l'habitation et sa cour arrière, est plus intensément et régulièrement fracturée. Sur l'illustration 22, on observe notamment une fracturation subverticale qui découpe la masse en écailles.

Illustration 20 – Vue sur le rocher de la rue des Forges au niveau des parcelles 117 et 118

Illustration 21 – Vue sur la partie haute du rocher de la rue des Forges au niveau des parcelles 117./118

Illustration 22 – Zoom sur la partie haute du rocher de la rue des Forges surplombant l'habitation de la parcelle 118

L'observation de cette partie droite depuis la cour de l'habitation est difficile car une grande partie de la paroi est masquée par de la végétation. On note cependant que la fracturation y est intense (Illustration 22). Dans cette cour se trouve une pièce isolée du reste de l'habitation construite directement sous le rocher. Celle-ci a servi anciennement de chambre d'habitation avant d'être abandonnée de peur d'éventuelles chutes de blocs. D'après la personne présente, des chutes de pierres se sont déjà produites dans la cour.

Illustration 23 – Vue du rocher de la rue des Forges depuis la cour de l'habitation de la parcelle 118

Dans le garage, le rocher est affleurant mais a été protégé par une bâche. D'après la personne qui nous a fait visiter (famille du propriétaire), cette bâche protège des infiltrations d'eau et de petites chutes de pierres.

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Moyen (1)	Personne présente dans la cour et dans la rue des Forges Toit de l'habitation - partie arrière
Chutes de blocs	Moyen (1)	Personne présente à proximité de la paroi Toit de l'ancienne chambre et cour intérieure
Chutes de gros blocs	Très faible	

(1) Compte tenu des observations, il semble préférable de contrôler la végétation sur le rocher et d'envisager la réalisation d'une purge des pierres instables.

Pour procéder à cette purge, il serait nécessaire de protéger le toit de l'habitation. Cette purge devrait être complétée par une évaluation de la stabilité des blocs de dimension plus importante et d'une réflexion sur un éventuel traitement potentiel (purge/stabilisation) de ceux-ci. Cette action pourrait devoir être répétée à intervalle régulier (au vu de l'évolution potentielle du rocher, une répétitivité décennale semble appropriée dans notre état de connaissance).

Parcelle 384 :

Observations :

La parcelle cadastrale 384 est au niveau de la partie haute du rocher de la rue des Forges (Illustration 24). La maison a été construite à moins d'un mètre d'une partie du rocher présentant un surplomb (Illustration 25). La roche est massive, beaucoup moins fracturée que dans la partie basse du rocher (parcelle 117/118)). Il existe une fracture sub-verticale, de quelques décimètres d'ouverture, perpendiculaire à la maison, comblée par des fragments de blocs de petite dimension, qui a peu d'influence sur la stabilité du surplomb. De plus, aucun indice de chute de blocs récente n'a été observé sur le rocher.

Illustration 24 – Vue du rocher de la rue des Forges au niveau de la parcelle 384

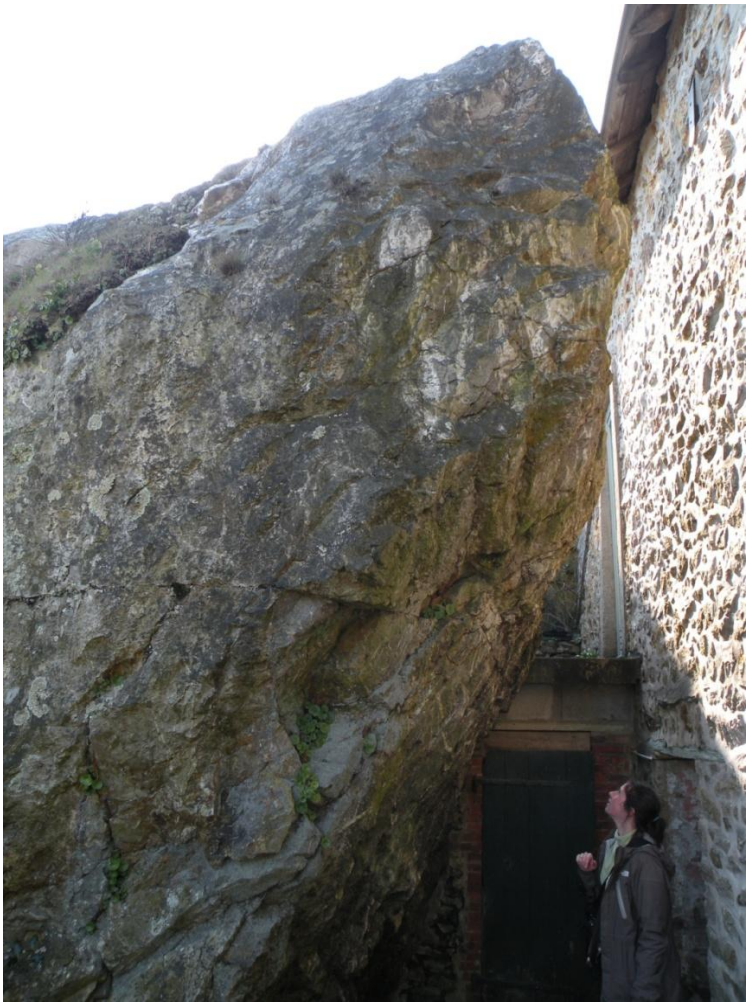


Illustration 25 – Vue de l'affleurement du rocher de la rue des Forges à proximité de l'habitation de la parcelle 384

Hiérarchisation de l'aléa et enjeux concernés :

	Aléa	**Enjeux concernés**
Chutes de pierre	Très faible	Personne présente sous le surplomb
Chutes de blocs	Nul	
Chutes de gros blocs	Très faible	Personne présente sous le surplomb Habitation

Du fait de la qualité constatée de l'affleurement dans cette zone, aucune recommandation quant à un suivi ne nous semble pertinente à court et moyen terme, l'évolution des conditions de stabilité n'étant envisagée qu'à très long terme.

5. Exposition aux risques liés au rocher de la Vierge

5.1. PRESENTATION DU SECTEUR

Le rocher de la Vierge surplombe le village de Chailland et est situé au nord-est du bourg (Illustration 26).

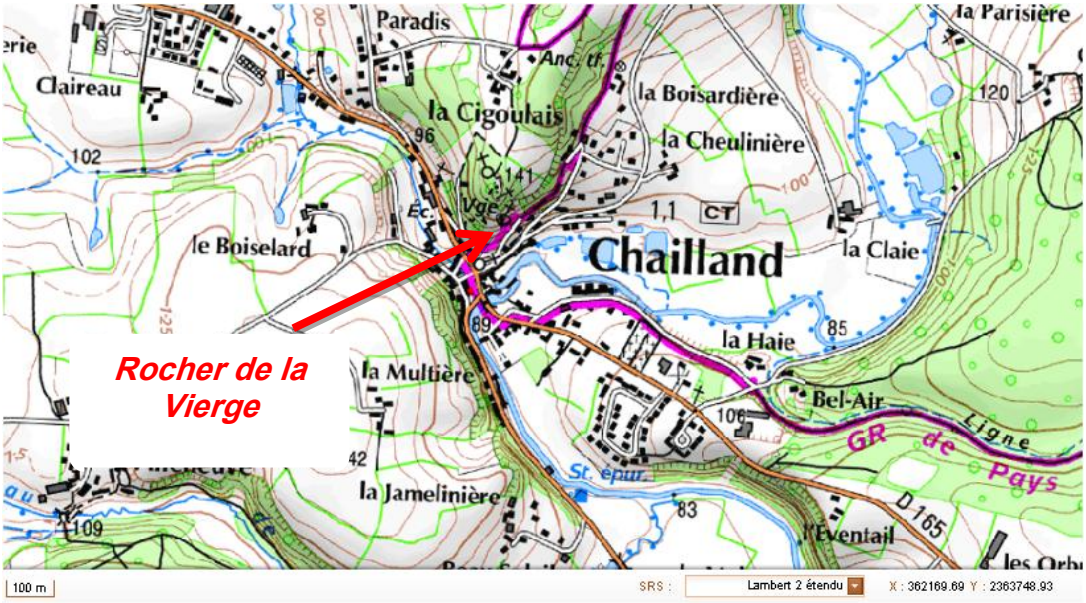


Illustration 26 – Localisation du rocher de la Vierge à Chailland

Au-dessus du rocher, sur un pied maçonné, trône une statue de la Vierge.

5.2. DESCRIPTION GEOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE DU ROCHER

La roche est un grès silicifié présentant des veines de quartz. Il s'agit d'une roche massive, non altérée, présentant des fractures de dimensions et d'orientations variables qui peuvent être localement relativement importantes.

Illustration 27 - Vue d'ensemble de la partie supérieure du rocher de la Vierge – face ouest (photo prise le 25/03/2011)

Le rocher de la Vierge présente, vue du dessus, une forme ovoïde dont la plus grande longueur a une dimension NNW-SSE.

D'après les mesures réalisées sur le terrain et confortées par celles réalisées à partir du modèle 3D, le rocher présente les dimensions suivantes :

- Direction nord-sud (plus grande longueur) : 22,5 m
- Direction est-ouest : 13 m
- Hauteur (jusqu'au pied de la vierge, hors éperon de l'extrémité sud) : 14 m

Le volume total du rocher de la Vierge peut donc être estimé à un peu moins de 5 000 m^3.

Dans la direction NNW-SSE, trois grands secteurs peuvent être distingués : une partie arrière sur laquelle il est possible d'accéder, une zone centrale présentant, en son sommet, la statue, et une zone avant au sud, d'altitude plus réduite.

5.3. DETERMINATION DES ZONES DE DEPART POTENTIELLES

Une inspection visuelle du rocher de la Vierge a été réalisée pour mettre en évidence les zones de départ potentielles. Celle-ci n'a pas pu être réalisée sur l'ensemble du rocher car certains secteurs n'étaient pas accessibles sans matériel spécialisé (notamment des points d'amarrage dans le rocher), non prévu dans le cadre de la présente étude. L'observation des secteurs les plus hauts n'a ainsi pu être réalisée qu'à partir de la base du rocher ou depuis la partie supérieure localisée au nord

(accessible sans matériel spécialisé) ; il est ainsi possible qu'il existe davantage de zones de départ potentielles que décrites ici.

Il est à noter qu'aucune trace de chute de blocs ou de pierres récente n'a pu être constatée mais quelques témoignages ont mentionné la connaissance de chutes de pierres (jamais de manière importantes). Toutefois, ces témoignages n'ont pas pu être utilisés dans le cadre de la présente étude.

Trois types d'aléa ont été considérés : les chutes de pierres, de blocs, et les éboulements en masse. Sur chacune des faces, nous avons étudié ces différents types d'aléa, en donnant d'abord une vision d'ensemble de la face puis en fournissant des éléments de détails pour les différents secteurs nous semblant pouvoir engendrer des chutes de blocs potentielles. Le découpage par face est bien sûr arbitraire : un bloc présent sur une face peut également être visible depuis une autre face.

5.3.1. Étude de la face est

Vue d'ensemble

Les illustrations 28 et 29 présentent des vues d'ensemble de la face est prises depuis le nord-est et depuis l'est. Ces vues ont été utilisées pour la photogrammétrie (intégration dans Photomodeller). Depuis la face est, on peut accéder à l'avant du rocher de la Vierge par un petit sentier et au sommet de la partie arrière du rocher de la Vierge.

Cette face apparait comme irrégulière, fracturée et altérée dans certains secteurs, notamment en partie centrale, siège de végétation. La végétation masque le rocher en quelques endroits et limite la vue de la zone centrale de cette face pour la photogrammétrie. Malgré cela, et afin de limiter au maximum l'impact de notre étude sur le site, il a été décidé de ne pas demander aux services techniques de couper la végétation car il était possible d'étudier cette zone de manière naturaliste.

Illustration 28 – Vue sur la face est du rocher de la Vierge depuis le nord-est

Illustration 29 – Vue sur la face est du rocher de la Vierge depuis l'est

Plusieurs secteurs de la face est peuvent être l'objet de chutes de pierres notamment les parties basses qui apparaissent moins massives, plus altérées (Illustration 30).

Illustration 30 - Vue de détail de la partie basse du rocher au niveau de l'arrière de la face est

La partie arrière présente d'importantes fractures ouvertes à pendage subvertical. Elle fait l'objet d'une description plus détaillée dans les paragraphes suivants.

Au sommet de cette partie arrière, un bloc semble posé sur le rocher. Ce bloc présente sur le dessous une importante fracture avec un miroir de faille. Etant donnée sa géométrie et la nature du contact subhorizontal en forme de cuvette, (cf. illustrations 33 et 34), sa stabilité ne peut pas, à notre avis, être mise en cause à l'heure actuelle.

Illustration 31 – Vue sur la partie sommitale à l'arrière du rocher de la Vierge depuis le nord-est

Illustration 32 – Vue du dessous du bloc reposant au sommet à l'arrière du rocher de la Vierge (miroir de faille)

Illustration 33 - Vue sur la partie sommitale à l'arrière du rocher de la Vierge depuis le nord

Illustration 34 - Vue sur la partie sommitale à l'arrière du rocher de la Vierge depuis l'ouest

La partie avant du rocher (au sud) est composée d'un empilement de blocs métriques à plurimétriques semblant entreposés les uns sur les autres. Quelques blocs de taille inférieure (décimétriques) sont imbriqués dans l'ensemble. L'accès à ses blocs était rendu difficile par la hauteur de ceux-ci. Toutefois, étant données nos observations, la stabilité de l'ensemble ne semble pas pouvoir être mise en cause à court et moyen terme, ce secteur pourrait uniquement être à l'origine de chutes de pierres.

Illustration 35 – Vue sur l'empilement de blocs de la face est du rocher de la Vierge (côté sud)

La partie avant haute du rocher de la Vierge a été détaillée dans le paragraphe dédié à la description de la face sud.

Zone de départ potentielle au nord-est

Au nord-est du rocher de la Vierge, le rocher présente d'importantes fractures ouvertes non remplies individualisant des blocs décimétriques à métriques empilés les uns contre les autres (Illustrations 36 et 37). Les fractures principales présentent une orientation N18-85E, soit un pendage subvertical et une direction NNE. De nombreuses racines de lierre voire de chêne (des chênes sont présents au-dessus des blocs étudiés) pourraient contribuer à poursuivre l'ouverture des fractures. Cependant,

ces blocs semblent reposer sur un bloc en pied qui semble relativement peu fracturé et stable. Cette zone n'étant pas visible sur le modèle 3D (cf. annexe 1), les volumes n'ont pas pu être calculés à partir de ce modèle. Toutefois, d'après les observations réalisées dans ce secteur, les différents blocs parallèles présentent un volume unitaire d'environ 2 m^3.

Sur le versant est, plusieurs diaclases[7] perpendiculaires à celles déjà mentionnées ont été relevées. Elles présentent des orientations N115-85 E, N120-75 W et N165-85 E. Ces fractures sont toutes des fractures millimétriques fermées mais il se peut qu'elles communiquent avec la fracture précédente (Illustration 38). Ces directions mesurées in situ ont été intégrées au modèle 3D pour estimer les volumes qui s'individualisent (Illustration 38).

Illustration 36 – Vue sur les blocs et les fractures à l'arrière du rocher de la Vierge (NE)

[7] Fracture sans déplacement relatif des parties séparées (plutôt perpendiculaires à la stratigraphie)

Il est à noter qu'aucune venue d'eau n'a été constatée au niveau des fissures lors de nos différentes visites de terrain qui ont eu lieu en hiver et au printemps.

Par ailleurs, la zone située en dessous de la cible 22 (Illustration 37) présente une roche altérée et plus fragmentée. Des chutes de pierre ou de petits blocs de quelques dm^3 de volume pourraient se produire à moyen voire long terme.

Illustration 37 – Vue sur le secteur NE du rocher de la Vierge (photo prise du NE)

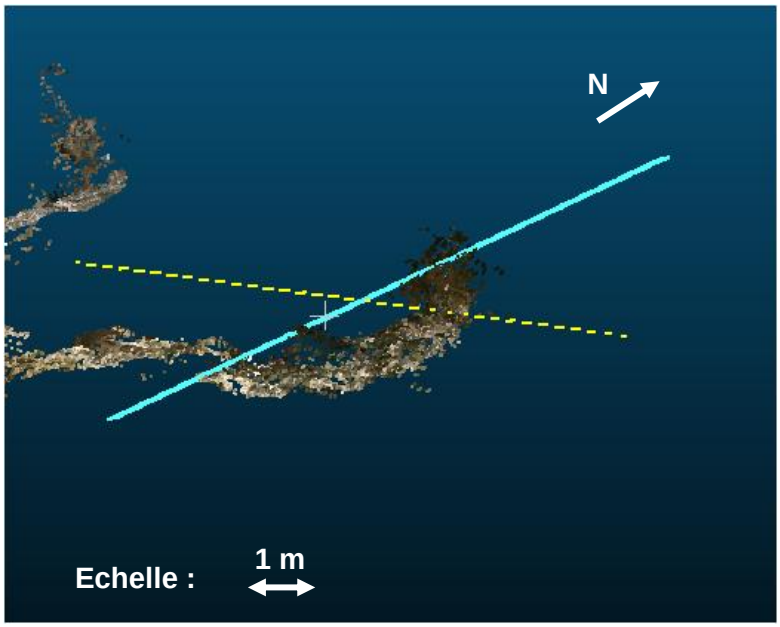


Illustration 38 – Direction probable des fractures au sein du rocher dans le secteur NE (en jaune : fracture principale d'orientation N18 85^{E}, en bleu : fracture fermée d'orientation N165 85E)

D'après les observations réalisées dans ce secteur, les chutes de blocs pourraient être de quelques dm^3 à plusieurs m^3.

La probabilité associée à la zone de départ dans le secteur nord-est est la suivante :

	Départ potentiel
Chute de pierres	Moyen
Chute de blocs ou de gros blocs	Faible

5.3.2. Étude de la face ouest

a) Description

La partie ouest semble plus homogène bien que fracturée également. Plusieurs plans de fractures préférentiels ont pu être mis en évidence sur le terrain et/ou à partir du modèle 3D : une première famille de fractures d'orientation N49°-69°N à N69°-56°N (orientation des facettes estimées à partir du modèle 3D pour les plans extrêmes localisés de part et d'autre de la statue) et une famille plus ou moins orthogonale à ce premier plan, d'orientation N60°-60°S.

Illustration 39 – Vue générale de la face ouest du rocher de la Vierge

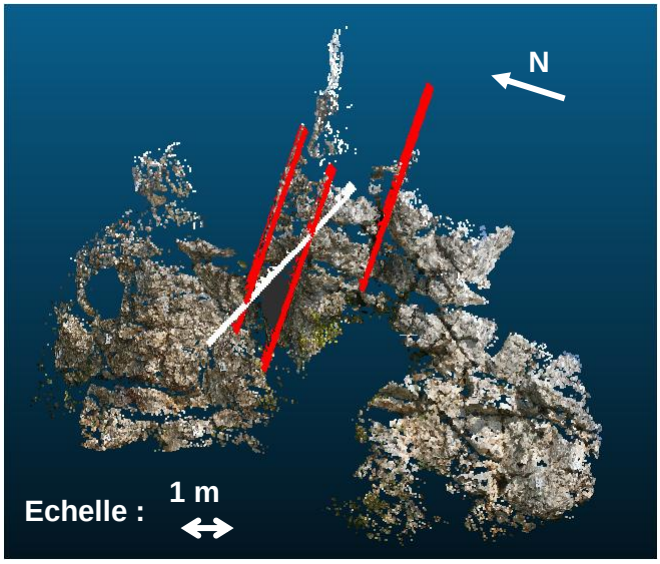


Illustration 40 – Reconstitution de la famille de fracture orientée N49°-69°N au niveau de la face ouest du rocher de la Vierge

A l'exception de chutes de pierres qui ne peuvent pas être écartées dans ce secteur mais qui ne semblent pas présenter une forte probabilité d'occurrence, un bloc a retenu notre attention à l'avant du massif (cf. paragraphe ci-dessous).

La partie sud de cette face est traitée dans le paragraphe relatif à la face sud.

b) Zone de départ potentielle au sud-ouest

Au sud-ouest du rocher de la Vierge, un bloc est saillant en partie basse (Illustration 41). Ses dimensions, estimées à partir du modèle 3D, sont de l'ordre de 1 m de longueur sur 0,5 m de largeur et 0,5 m de hauteur, soit un volume d'environ 0,25 m^3.

Illustration 41 – Mise en évidence d'une zone de départ potentielle d'un bloc au niveau de la face ouest (bloc SW)

Ce bloc comporte, à sa base, des fractures fermées d'orientation variables mais dont certaines présentent une direction parallèle à la direction de rupture potentielle (N170°).

Illustration 42 – Vue de détail du bloc SW prise depuis le sud-ouest

Illustration 43 – Vue de détail du bloc SW prise depuis le nord-ouest

La probabilité associée à la zone de départ dans le secteur sud-ouest est la suivante :

	Départ potentiel
Chute de Pierre	Faible
Chute de blocs (0,25 m^3 environ)	Faible

5.3.3. Étude de la face sud

a) Description

La face sud est la face la plus spectaculaire puisqu'elle domine le bourg et en particulier la parcelle 46. Deux secteurs s'individualisent nettement : le rocher de la vierge à proprement parlé et l'éperon rocheux situé en zone plus basse (à droite sur l'illustration 45).

Illustration 44 - La face sud vue depuis la parcelle cadastrale 46

Sur cette face, la roche apparait très massive par endroit (facette supérieure orientée N69°-56°N d'après le modèle 3D) et beaucoup moins dure et fracturée dans d'autre (cf. Illustration 45). Ainsi, d'éventuelles chutes de pierres ne peuvent pas être écartées dans ce secteur. Par ailleurs, la roche présente d'importantes fractures à pendage aval qui nécessitent de s'interroger sur la survenue d'écroulement en masse (cf. paragraphe ci-dessous).

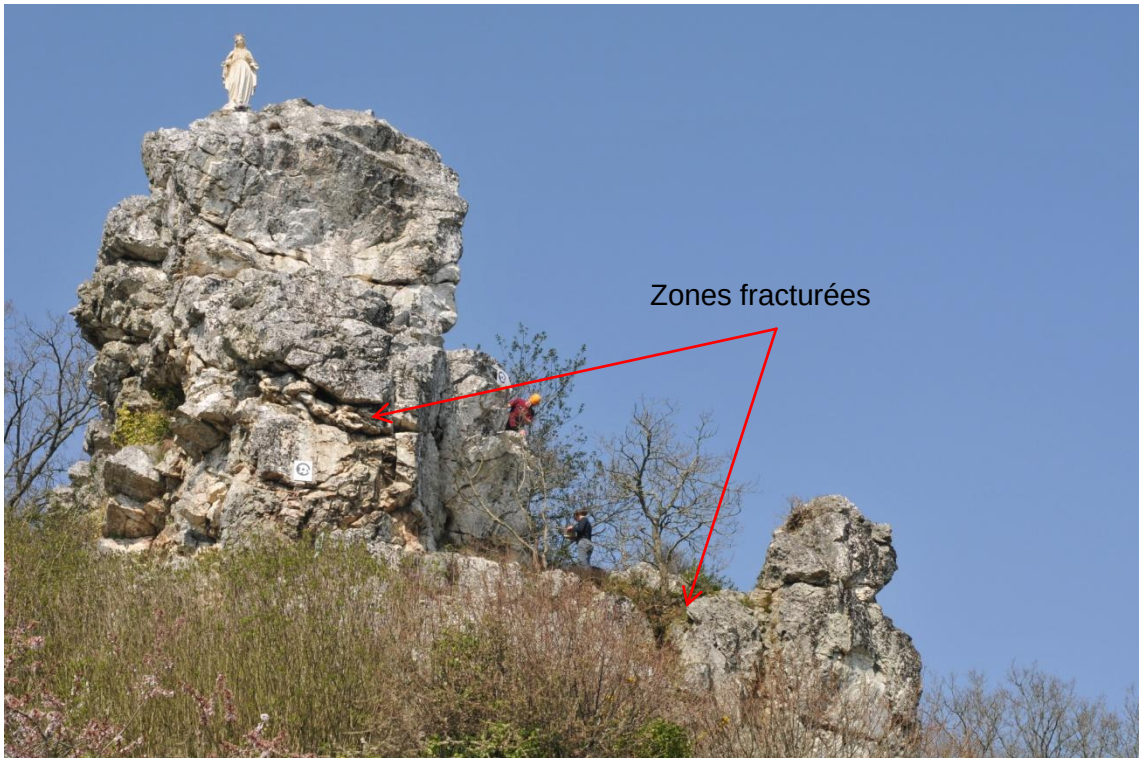


Illustration 45 – Vue de la face sud prise du sud

En partie basse du rocher de la Vierge, en surplomb de l'habitation de la parcelle 46 se trouve un important éperon d'environ 8 m de hauteur, 2 m de largeur (sens est-ouest) et 3 m de profondeur (soit un volume estimé à environ 50 m3). Comme le reste du rocher de la Vierge, cet éperon présente des fractures relativement importantes. Il semble notamment se détacher de l'ensemble du massif rocheux par une fracture subverticale orientée N70 ouverte de plusieurs dizaines de centimètres en partie supérieure. Cette partie est étudiée plus en détail dans le paragraphe c).

Sa partie supérieure constituée d'un bloc de dimension métrique a été cimentée.

Illustration 46 – Eperon rocheux située sur la face sud, en partie basse (vue du sud)

Illustration 47 – Eperon rocheux située sur la face sud, en partie basse (vue de l'est)

Dans sa partie ouest, se rencontre une zone plus fracturée et altérée : plusieurs blocs de taille décimétrique s'individualisent nettement du reste du massif. Pour des raisons

d'accessibilité, les fractures n'ont pas pu être observées, ni les blocs mesurés avec précision.

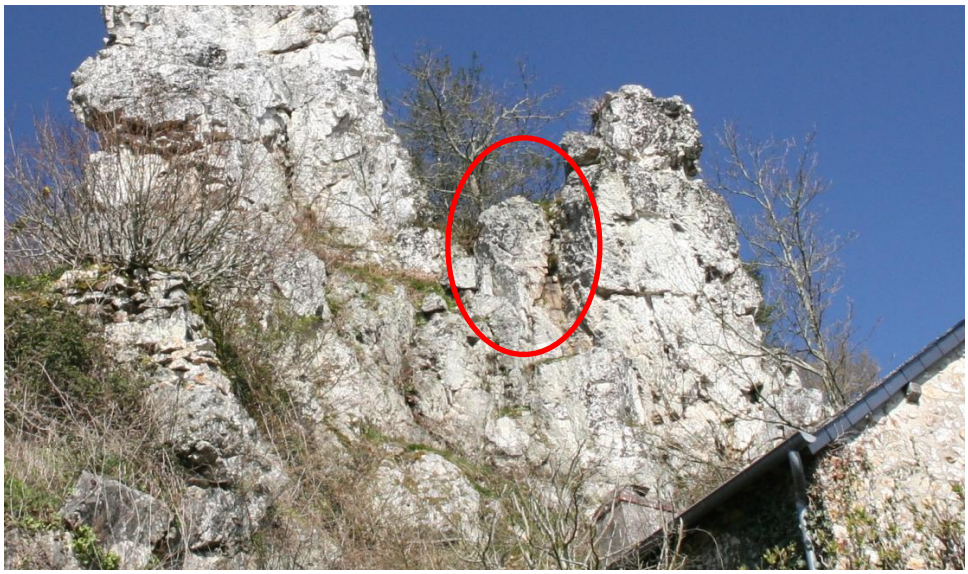


Illustration 48 - Zone fracturée et altérée à l'ouest de l'éperon

b) Chute de blocs potentielle au sud en partie haute

A la pointe sud du rocher de la Vierge, à 11 m sous le niveau de la base de la Vierge (sous la cible 21 présentée sur l'illustration 50) se présentent plusieurs blocs décimétriques à métriques fracturés sous forme de plusieurs rangées d'écailles à pendage inverse (Illustration 51) ; la mesure de pendage de la pointe donne l'orientation globale des fractures : N33-60°W. Certaines écailles sont décollées des autres blocs par des fractures d'une vingtaine de centimètres environ. Un des blocs de la partie inférieure est largement fragmenté et pourrait être à l'origine à court terme de chutes de blocs de taille décimétrique pour les plus gros (Illustration 52).

Illustration 49 – Localisation des écailles présentes au niveau de la face sud (partie haute)

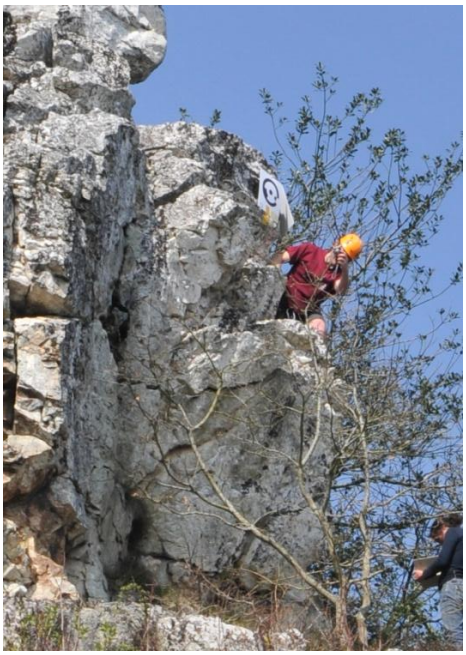


Illustration 50 – Zoom sur le secteur présentant les écailles au niveau de la face sud (partie haute)

L'observation de cette zone à partir de la plateforme au sud a permis de mettre en évidence que certains blocs ont été cimentés. Il est probable que cette cimentation ne soit pas récente étant donnée la présence de mousse sur le ciment (Illustration 53). L'état de la cimentation ne montre pas de signe d'évolution importante de la fissure (une légère fracturation du ciment a pu être constatée qui a été interprétée plutôt comme une fente de retrait lors du séchage que comme un signe d'évolution de la fissure).

Dans ce secteur, le modèle 3D ne permet pas d'évaluer avec précision la dimension des blocs susceptibles de se détacher. L'évaluation de la dimension des blocs a donc été réalisée sommairement à partir des données relevées sur le terrain. Ainsi, le volume de chaque écaille a été évalué à environ un demi-m^3. De plus, bien qu'il ne soit pas aisé de connaître les conséquences sur les autres écailles de la rupture d'une écaille (risque d'entrainement ?), un éboulement en masse dans ce secteur nous semble peu probable.

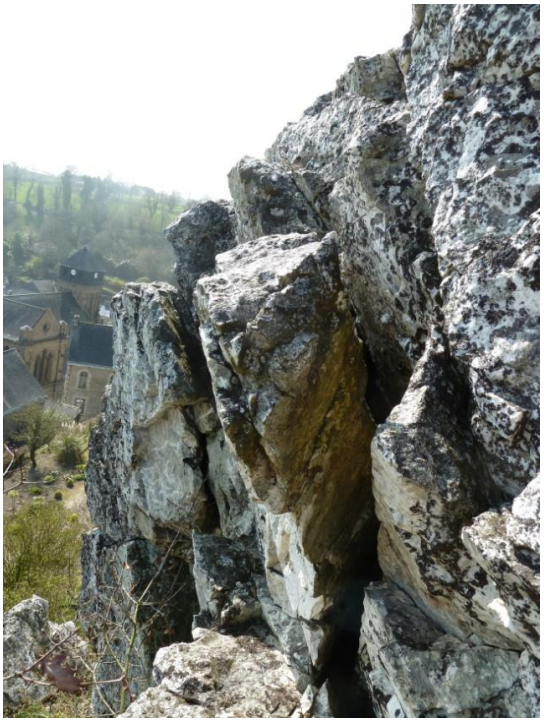


Illustration 51 – Vue des écailles de la face sud (partie haute)

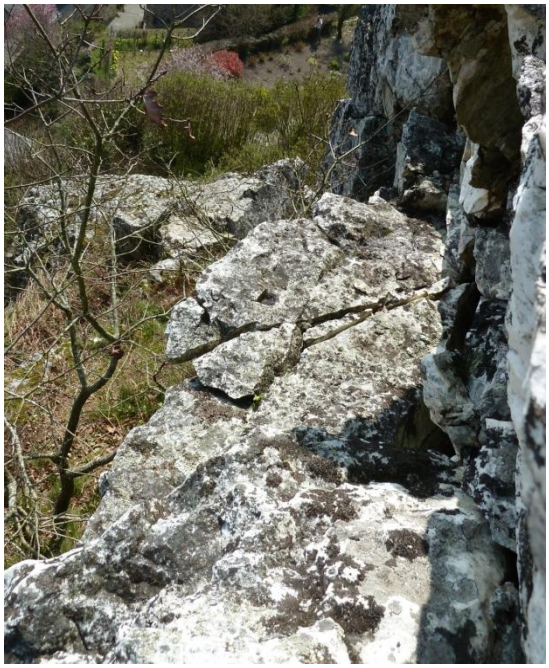


Illustration 52 – Fragmentation d'une écaille au niveau de la face sud (partie haute)

Illustration 53 – Rocher cimenté au niveau des écailles de la face sud (partie haute)

La probabilité associée à la zone de départ dans le secteur sud (partie haute) est la suivante :

	Départ potentiel
Chute de pierre	Faible à moyen
Chute de blocs (0,5 m^3 environ)	Faible à moyen

c) Éboulement en masse côté sud

Le secteur sud présente plusieurs failles à pendage aval semblant individualiser de grands volumes de roches. Il nous a semblé nécessaire de nous interroger sur la possibilité d'un éboulement en masse.

Comme il n'a pas été possible d'accéder à cette partie du rocher, l'analyse a été réalisée principalement à partir du modèle 3D. Celui-ci nous a permis de déterminer les volumes et de préciser les caractéristiques des fractures principales (orientations, rugosité…). La partie sommitale de l'avant du rocher présente deux fractures quasiment parallèles d'orientation N60 et de pendage 60°N. Les blocs individualisés par ces fractures semblent toutefois retenus en pied. L'enchevêtrement important des blocs nous semble permettre de définir l'aléa d'éboulement en masse à un niveau très faible dans des conditions statiques. Toutefois, nous rappelons que nous n'avons pu accéder à cette partie du rocher dans le cadre de la présente étude.

	Départ potentiel
Chute de pierres	Faible
Éboulement en masse (> 10 m^3)	Très faible

5.3.4. Étude de la face nord

Outre les évènements potentiels déjà étudiés dans les paragraphes dédiés aux descriptions des autres faces (bloc posé en partie sommitale à l'arrière du rocher, fractures orientées N165 au nord-est) et d'éventuelles chutes de pierre qui ne peuvent pas être complètement écartées sur l'ensemble du massif de la Vierge (avec une probabilité faible de survenance), un bloc nous a semblé nécessiter une attention particulière.

Illustration 54 – Vue d'ensemble de la face nord du rocher de la Vierge

Ce bloc est localisé dans la partie basse au niveau de la face nord à 2 m au-dessus de la surface du sol. Comme le montre l'illustration 55, ce bloc présente dans sa partie postérieure une fracture ouverte à pendage inverse (estimée à N40 60°N d'après le modèle 3D) et dans sa partie inférieure une fracture présentant un léger pendage aval (estimée à N10 20°N d'après le modèle 3D). Ce bloc dont le volume a été évalué à près de 3 m^3 à partir du modèle 3D pourrait être à l'origine d'une chute de bloc à long terme.

Illustration 55 – Vue sur le bloc potentiellement instable de la face nord

La probabilité associée à la zone de départ dans le secteur nord est la suivante :

	Départ potentiel
Chute de pierres	Faible
Chute de blocs (3 m^3 environ)	Faible

5.3.5. Partie sommitale

La partie sommitale n'a pas pu être étudiée en détail compte tenu des conditions d'accès. Cependant, nous n'avons pas constaté a priori de zone d'instabilité potentielle. Les illustrations fournissent deux vues prises de cette partie sommitale.

Illustration 56 – Vue sur le sommet du rocher de la Vierge

5.3.6. Récapitulatif

L'ensemble des faces semble concerné par des chutes de pierres (< 1 dm3) avec, à notre avis, une probabilité faible à moyenne d'occurrence compte tenu du très faible nombre d'évènements qui nous a été signalé et de la qualité générale du rocher.

Par ailleurs, compte tenu des observations mentionnées dans les paragraphes précédents, plusieurs secteurs pourraient être affectés par des chutes de blocs de dimensions variables inférieures à 3 m^3. Un niveau d'aléa a été attribué à l'ensemble des évènements chutes de blocs mis en évidence (Illustration 57).

Type d'éboulement	Volume	Aléa
Chutes de blocs à partir du nord est	quelques dm^3 à 2 m^3	Faible
Chutes de blocs à partir de la pointe sud (partie haute)	quelques dm3 à 0,5 m^3 environ	Faible à moyen
Chutes de bloc face au sud-ouest	0,25 m^3 environ	Modéré
Chutes de blocs à partir de la pointe sud (partie basse)	quelques dm^3	Faible à modéré

Illustration 57 – Récapitulatif des zones de départ et des niveaux d'aléa estimés sur le site

Par ailleurs, si l'éboulement en masse du côté sud ne peut pas être complètement écarté pour du long terme, il nous parait à l'heure actuelle très peu probable. Par contre, les dommages qui seraient associés à ce type d'évènement seraient bien entendu beaucoup plus importants.

5.4. ETUDE DE LA PROPAGATION DES BLOCS

La probabilité d'arrivée d'un bloc dans un secteur donné résulte à la fois de la probabilité de départ du bloc et de la propagation de ce bloc dans le secteur étudié. Comme cela a déjà été mentionné, en l'absence d'évènements connus à partir de l'affleurement du rocher de la Vierge, il n'est pas possible de faire une rétroanalyse des évènements passés.

Comme mentionné au paragraphe 3.3.3, la méthode mise en œuvre afin d'étudier la propagation des blocs à partir du rocher de la Vierge est une méthode composite qui s'appuie (i) sur la méthode empirique dite des cônes qui a été mise en œuvre en 3D sous le logiciel ArcView à partir du MNT d'InterMap au pas de 5 m et (ii) sur l'observation de terrain (notamment la prise en compte des éléments pouvant réduire la propagation des blocs, à savoir les habitations dans notre cas). De plus, étant donné que la méthode des cônes a tendance à surestimer l'extension latérale des chutes de blocs, les trajectoires probables des blocs ont été modifiées afin de tenir compte au mieux de la configuration connue du site. En effet, l'expérience montre que les trajectoires des blocs s'écartent rarement de plus de 15° par rapport à la ligne de plus grande pente, à moins que la topographie ait une forte composante tridimensionnelle.

Ainsi, la propagation à partir des différentes zones de départ potentielles retenues dans le paragraphe 5.3 (cf. Illustration 57) a été étudiée. L'analyse par la méthode des cônes a été réalisée en considérant une chute de bloc à partir du nord-est du rocher (Illustration 58) et une chute de bloc à partir du sud-ouest. Pour la pointe sud du rocher, la méthode des cônes n'est pas appropriée compte tenu de la configuration de la paroi (falaise subverticale surplombant les terrains). Dans ce secteur, il a été considéré que les blocs iraient directement se ficher dans le terrain situé sous la falaise. De même, le bloc présent sur la face nord en partie basse n'a pas été considéré puisqu'il irait se poser sur le sol sous-jacent.

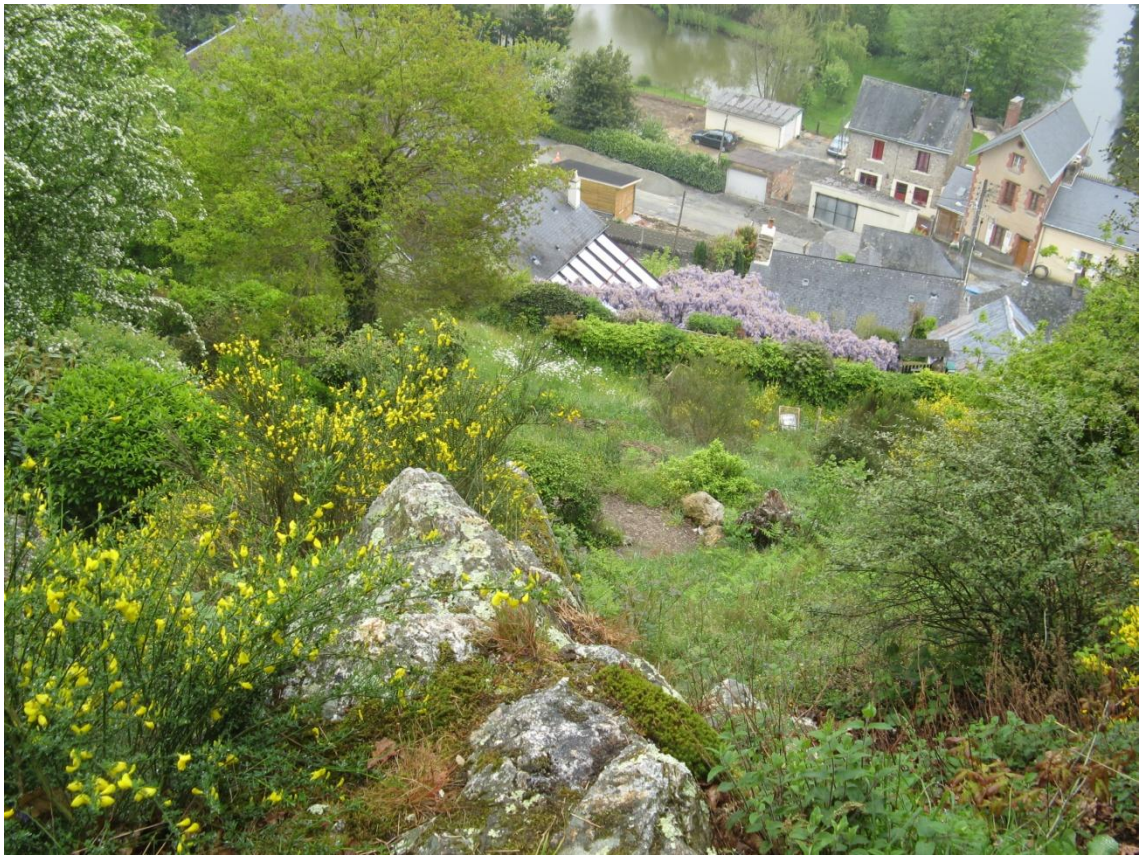


Illustration 58 – Vue dans la direction de plus grande pente à partir du secteur NE du rocher de la Vierge

Les résultats des deux simulations et de l'interprétation d'éventuelles chutes de blocs au sud ont ensuite été agrégés de manière à fournir le zonage ci-dessous (Illustration 59). Trois zones distinctes ont été mises en évidence, une zone de propagation jugée forte, une zone de propagation jugée moyenne et une zone de propagation jugée faible. Il est à noter que la propagation de pierres n'est pas présentée sur la présente illustration mais qu'elle peut se produire partout à proximité du rocher de la Vierge.

D'après cette illustration, les parcelles 46, 115 et 114 se retrouvent avec une probabilité de propagation jugée forte et les parcelles 259, 122 et 384 se retrouvent dans une zone à probabilité de propagation dite moyenne.

De plus, une grande partie du jardin public se trouve également avec une probabilité de propagation jugée forte. Toutefois, cette zone présente un niveau d'exposition des personnes largement inférieure à une habitation et le niveau d'aléa associée aux chutes de pierres ou de blocs est jugé relativement faible (au pire faible à moyen).

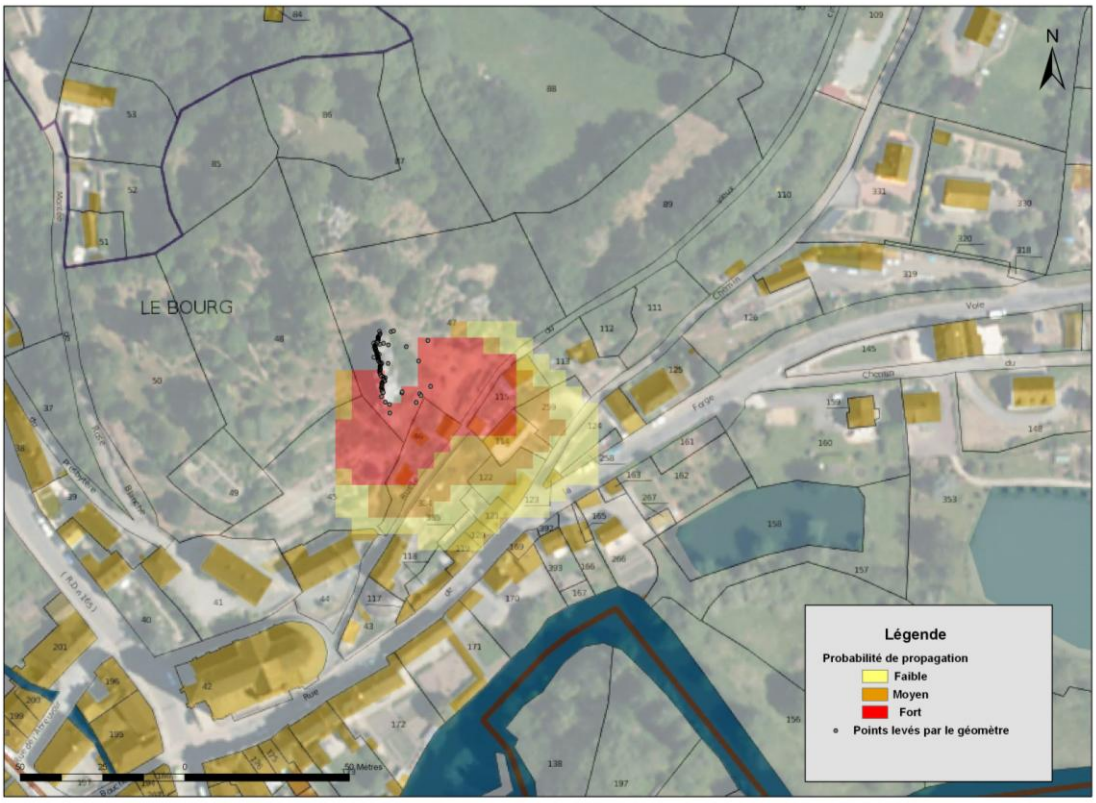


Illustration 59 – Résultats issus de l'étude de la propagation des blocs présentés sur fond cadastral (www.cadastre.gouv.fr) et sur l'orthophotographie de l'IGN

Nous rappelons que l'aléa chute de bloc reste faible (voire faible à moyen pour la zone de départ du SW) étant donné que la probabilité de départ a été jugée faible pour la quasi-totalité des blocs.

5.5. NIVEAUX D'ALEA

Ainsi, trois types d'aléa ont pu être identifiés au niveau du rocher de la Vierge ;

- un aléa chute de pierre (<1 dm^3) concernant l'ensemble du rocher de la Vierge, jugé globalement faible (voire faible à moyen) ;
- un aléa chute de blocs jugé faible pour les parcelles 115 et 114 et faible à moyen pour la parcelle 46 résultant d'une probabilité faible à moyenne de départ dans le secteur SW et d'une probabilité de propagation forte ;
- un aléa éboulement en masse jugé très faible au vu de l'orientation et des conditions de fracturation du rocher, ce qui a été conforté par l'observation du modèle 3D.

6. Récapitulatif à la parcelle des niveaux d'aléa et définition des travaux et mesures de sécurisation

Cette étude a permis de mettre en évidence les niveaux d'aléa des différentes parcelles du secteur étudié.

Sur le secteur des Maisons-neuves :

- pour la parcelle 301 où l'aléa chute de pierres est moyen vis-à-vis de personnes présentes à proximité de la paroi, nous préconisons d'effectuer une vérification voire un entretien régulier de la paroi par le propriétaire (provoquer notamment la chute des pierres susceptibles de se détacher) ;

- pour la parcelle 106 où l'aléa chutes de pierres et de blocs est faible vis-à-vis de personne à proximité de la paroi, nous n'avons aucune recommandation particulière à donner ;

- pour la parcelle 107 où l'aléa chute de blocs est faible vis-à-vis de l'habitation ainsi que des personnes présentes à proximité des affleurements, il conviendrait d'une part de rendre l'accès possible pour observer de manière plus détaillée la stabilité des blocs et éventuellement proposer des mesures de remédiation à l'arrière de l'habitation et, d'autre part, de suivre régulièrement (à raison d'une fois tous les 4 ou 5 ans) les conditions de stabilité du bloc situé à l'angle nord-est de l'habitation en suivant l'évolution des fractures… En effet, en cas d'instabilité de ce bloc, la structure de l'habitation serait très vraisemblablement mise en péril.

- Sur cette zone, il est important cependant de noter que la végétation semble assurer localement un effet stabilisant temporaire (plusieurs blocs stabilisés à l'encontre d'un basculement par des arbres). La disparition (naturelle ou anthropique) de ces arbres pourrait conduire à des instabilités, cependant à notre avis très locales.

Sur le secteur du rocher de la rue des Forges :

- pour la parcelle 43, étant donné l'absence d'enjeu sur ce secteur, nous n'avons aucune recommandation particulière à donner ;

- les parcelles 117/118 semblent concernées toutes deux par un aléa chute de pierres et de blocs moyen vis-à-vis des personnes se trouvant dans la cour voire dans la rue des Forges et vis-à-vis de certaines parties de toit de l'habitation principale et de l'ancienne chambre ; compte tenu des observations, il semble préférable de contrôler la végétation sur le rocher et d'envisager la réalisation d'une purge des pierres qui devrait être répétée tous les dix ans.

Cette purge devrait être complétée par une évaluation de la stabilité des blocs de dimension plus importante et d'une réflexion sur le traitement potentiel (purge/stabilisation) de ceux-ci qui n'ont pas pu être effectuées en raison de la végétation ;

- pour la parcelle 384, du fait de la qualité constatée de l'affleurement dans cette zone, aucune recommandation quant à un suivi ne nous semble pertinente à court et moyen terme, l'évolution des conditions de stabilité n'étant envisagée qu'à très long terme.

Au niveau du rocher de la Vierge, étant donné le niveau d'aléa chute de pierres et de blocs faibles (voire faible à moyen pour la parcelle 46), aucun travaux à court terme ne nous semble pertinent. En revanche, nous recommandons de surveiller régulièrement (tous les 4 à 5 ans) les conditions de stabilité du rocher. A cette fin, la présente étude (photographies, modèle 3D et résultats) pourrait servir d'état initial pour une éventuelle comparaison. De plus, il pourrait être utile de disposer quelques fissuromètres afin de suivre l'évolution des fissures notamment au niveau des écailles identifiées au SW.

Par ailleurs, les haies déjà présentes au niveau du chemin d'accès au rocher de la Vierge nous semblent pouvoir limiter la propagation d'éventuelles chutes de pierres, étant entendu que cette remarque n'est pas valable pour des blocs de plus grande dimension. Nous conseillons donc de continuer à maintenir et entretenir ces haies. Pour lutter efficacement contre d'éventuelles chutes de blocs, un merlon pourrait être réalisé dans ce secteur (en amont des parcelles 115 et 114) mais cela ne nous semble pas prioritaire étant donné le niveau d'aléa chutes de blocs jugé faible.

Enfin, nous avons mentionné qu'il nous semble peu probable qu'un éboulement en masse au niveau de la partie avant du rocher de la Vierge (au sud) puisse se produire ; toutefois, nous rappelons que nous n'avons pu accéder à cette partie du rocher dans le cadre de la présente étude.

Les coûts associés aux travaux de sécurisation sont relativement faibles puisqu'ils ne concernent que les parcelles 117/118 où une purge est préconisée. Le coût de cette purge devrait être de l'ordre de 2 000 à 3 000 euros. De plus, un certain nombre de recommandation peut être directement exécuté par le particulier pour un coût modeste (entretien régulier de la paroi sur la parcelle 301).

7. Conclusion

A la demande de la Direction départementale des territoires de la Mayenne, le BRGM est intervenu sur la commune de Chailland afin de fournir un avis sur les risques de chutes de blocs rocheux au niveau de trois zones d'affleurement, à savoir, le rocher de la rue des Forges, le lieu-dit les Maisons-neuves ainsi que le rocher de la Vierge.

L'examen des différents affleurements a révélé une roche massive et dure présentant parfois une fracturation importante qui peut être sujette à des instabilités (chutes de pierres et de blocs) relativement peu fréquentes à moyen et long terme mais potentiellement dommageables aux personnes et aux biens.

Sur les différentes parcelles visitées dans les secteurs de la rue des Forges et des Maisons-neuves (si l'on excepte la parcelle communale 43 ne présentant aucun enjeu) :

- Trois parcelles (301 et 117/118) présentent un aléa de chutes de pierres ou de blocs moyen ;
- Une parcelle (107) présente un aléa chutes de pierres et de blocs faible associé à des enjeux ;
- Une parcelle (384) présente un aléa chute de bloc très faible.

Concernant le rocher de la Vierge, la probabilité de chutes de blocs a été jugée faible (parcelles 114 et 115) ou faible à moyenne (parcelles 46) ; celle-ci est associée à une probabilité de propagation jugée faible à forte (forte pour les parcelles 46, 114 et 115). L'aléa chutes de pierre a été quant à lui jugé faible (voire faible à moyen). Par ailleurs, nous avons estimé qu'il semble peu probable qu'un éboulement en masse puisse se produire.

Les préconisations réalisées à l'issue de cette étude sont de trois types :

- Des travaux de sécurisation (purge du rocher et contrôle de la végétation) devraient être mis en place au niveau des parcelles 117/118 ;
- Plusieurs parcelles ou affleurements devraient faire l'objet d'un suivi voire d'un entretien régulier : la parcelle 107 (bloc de l'angle nord-est), la parcelle 301 (pour éliminer notamment les pierres susceptibles de se détacher), le rocher de la Vierge ;
- Sur les parcelles 117/118 et 107, l'ensemble des affleurements n'a pas pu être étudié du fait de la présence de végétation. Concernant la parcelle 117/118, la purge du rocher et le contrôle de la végétation devrait être complétée par une évaluation de la stabilité des blocs de dimension plus importante et d'une réflexion sur le traitement potentiel (purge/stabilisation) de ceux-ci. Pour la parcelle 107, il conviendrait de rendre l'accès aux blocs présents à l'arrière de l'habitation possible pour observer de manière plus détaillée la stabilité des blocs et éventuellement proposer des mesures de remédiation à l'arrière de l'habitation.

8. Bibliographie

Evans S. et Hungr O. (1993) - The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. Canadian Geotechnical Journal, 30 : 620–636.

Hestnes et Lied (1980) - Natural Hazard maps for Land-use planning in Norway. Journal of Glaciology. Vol.26, No. 94.

Jaboyedoff M. et Labiouse V. (2002) - Etablissement d'une méthodologie de mise en oeuvre des cartes de dangers naturels du Canton de Vaud CADANAV - Méthodologie instabilités rocheuses. Rapport pour le canton de Vaud. Rapport technique, LMR-EPFL.

Lied K. (1977) - Rockfall problems in norway. ISMES Publication, 90 : 51–53.

Onofri R. et Candian C. (1979) - Indagine sui limiti di massima invasione di blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Reg. Aut. Friuli - Venezia Giulia, CLUET, 42 pp.

Toppe R. (1987) - Avalanche formation, movement and effects, chapitre Terrain models - a tool for natural hazard mapping, pages 629–638. IAHS Publication n. 162.

Wieczorek G.F., Morrissey M.M., Iovine G. and Godt J. (1998) - Rockfall hazards in the Yosemite Valley. U.S. Geol. Survey Open-File Report 98/467, 8 pp.

Annexe 1

Principe et réalisation de la photogrammétrie

- **Mise en place des cibles sur le rocher**

Afin de servir de points homologues pour l'orientation des photos, 24 cibles ont été réparties sur le rocher dans les zones suffisamment accessibles et de manière à être le plus visible possible du plus grand nombre de stations. Compte tenu du matériel à notre disposition et de l'absence de points d'ancrage solide sur le rocher, il n'a pas pu être disposé de cibles sur la face sud supérieure du rocher. En fonction de l'accessibilité et de la rugosité du rocher, deux types de fixation ont été utilisées pour mettre en place des cibles, à savoir, du scotch double face et des chevilles et des clous.

Photo d'une cible chevillée dans le rocher

- **Implantation des stations**

Les positions des 7 stations ont été préalablement identifiées sur le terrain en prenant en compte leur distance et leur orientation par rapport au rocher, la visibilité et la distance entre elles. Une fois les cibles positionnées sur le rocher, certaines stations ont été repositionnées de manière à avoir la meilleure visibilité du rocher et des cibles.

- **Levé topographique par le cabinet Harry Langevin**

Le levé topographique des stations et des cibles a été sous-traitée au cabinet Harry LANGEVIN implanté en Mayenne. Afin d'avoir une bonne précision sur le lever des stations, une polygonale a été réalisée. Les cibles ont été levées par visées laser multiples avec une précision de plus ou moins 5 mm.

Mise en place du tachéomètre sur la station de photogrammétrie

Les résultats du lever topographique ont été fournis sous forme de plans papiers mais aussi sous forme de fichier excel permettant de les intégrer aussi bien dans le logiciel de traitement des images en vue de la photogrammétrie que sous ArcView (Système d'information géographique).

- **Traitement des images à l'aide de Photomodeler**

Le traitement des images est réalisé à l'aide du logiciel photomodeler®[8] dédié à la photogrammétrie pour différentes applications. Ce logiciel permet de réaliser les différentes étapes suivantes :

- Chargement des photos qui seront exploitées ;
- Idéalisation des photos (suppression de la distorsion due à l'objectif) ;
- Orientation relative par identification des points analogues contenus dans les différentes photos prises deux à deux ou « marking » (l'ensemble des cibles ont été considérées ; à défaut de cibles en nombre suffisant, quelques points ont dû être définis sur le rocher ce qui est beaucoup plus long et moins précis) ;

8

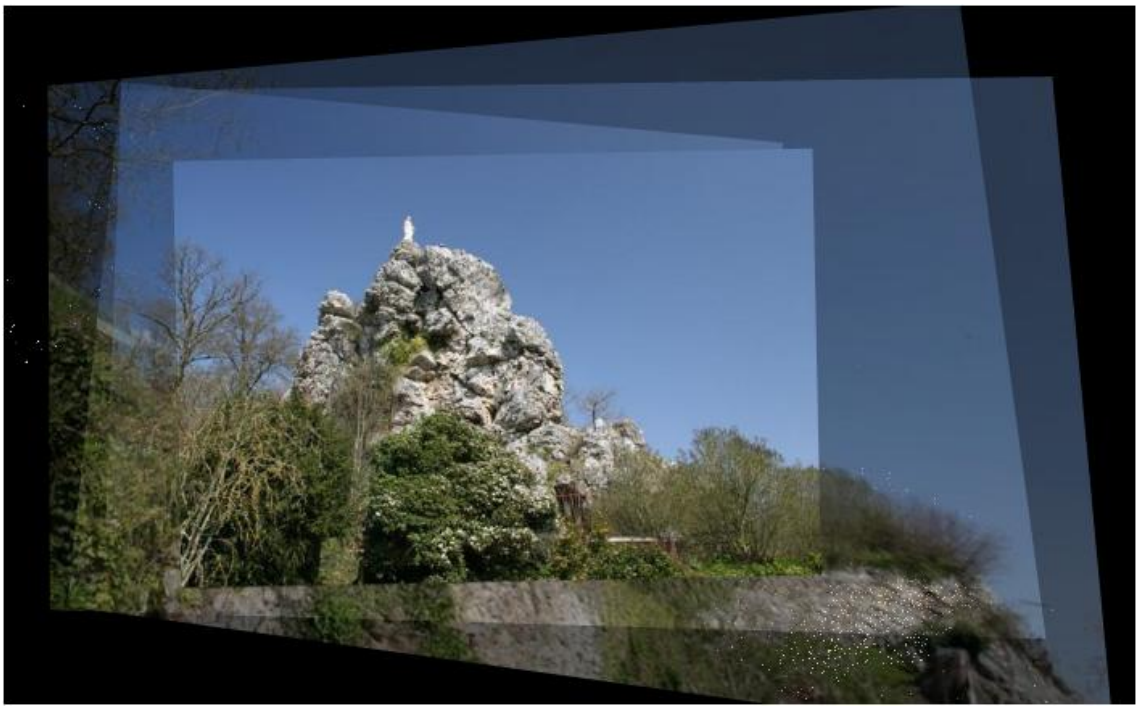
- Orientation absolue par importation des données du géomètre relatives à la localisation des cibles ;
- Définition des zones d'intérêt sur les différentes photos correspondant aux zones où le modèle 3D sera créé (exclusion des zones de végétation…) ;
- Création d'un nuage de points.

Afin de ne pas saturer le logiciel et de faciliter le traitement, le modèle 3D a été réalisé en trois morceaux : on s'est d'abord intéressée à la face est, puis à la face ouest puis à la face nord. Les différents « morceaux » ont ensuite été concaténés sous Cloudcompare®.

Le nuage de points 3D obtenus est exporté de photomodeler® et traité à l'aide du logiciel libre CloudCompare® (http://www.danielgm.net/cc/) qui a été initialement créé pour comparer des nuages de points et qui est plus souple pour la manipulation de ces nuages que photomodeler et présente des fonctionnalités intéressantes comme la réalisation de maillages. Pour les besoins de cette étude, quelques développements ont été réalisés sous Cloudcompare par son développeur permettant notamment de donner l'inclinaison des facettes. De plus, un programme permettant l'affichage de plans sous Cloudcompare à également été développé pour les besoins de cette étude.

- **Test réalisé avec Photosynth**

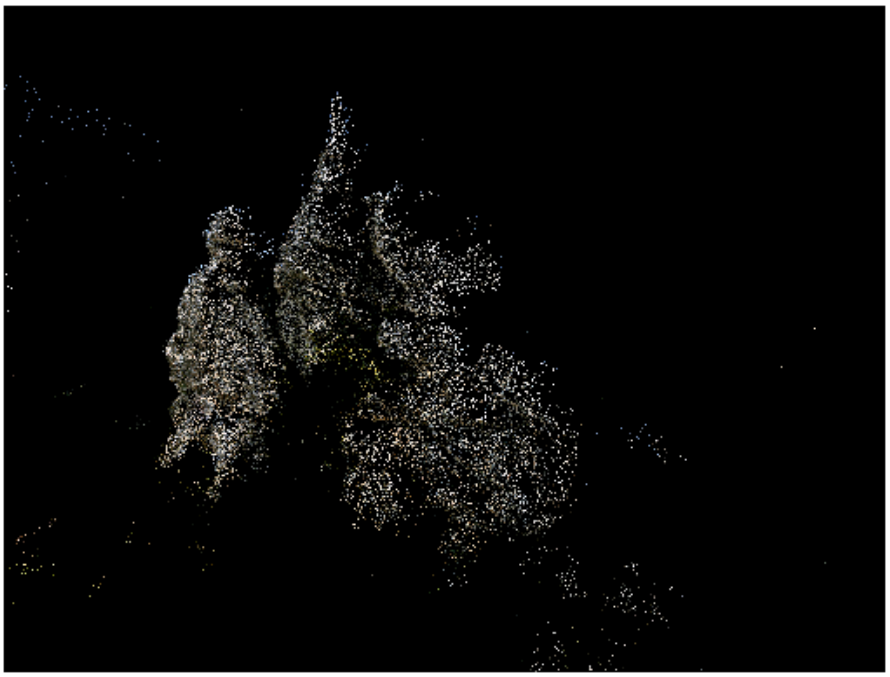
Le logiciel Photosynth, disponible gratuitement en ligne (http://photosynth.net/), permet de réaliser un nuage de points en 3D à partir des différentes photos réalisées sans lui fournir d'élément de repère. Il suffit pour cela de lui fournir le chemin d'accès du dossier comprenant les photographies du même objet à traiter. L'ensemble des photographies du rocher de la Vierge ont donc été fournies au logiciel Photosynth qui se charge d'effectuer l'orientation relative des photos (cf. illustration suivante).



Orientation des images sous Photosynth

Le nuage de point obtenu au niveau de la face ouest du rocher de la Vierge à l'aide du logiciel libre Photosynth est présenté sur l'illustration ci-dessous.

En l'état, ce logiciel ne peut toutefois pas être utilisé pour une telle étude puisqu'il ne permet pas (i) de faire le calage absolu, (ii) de vérifier le nuage de point obtenu, (iii) de manipuler le nuage de point réalisé.

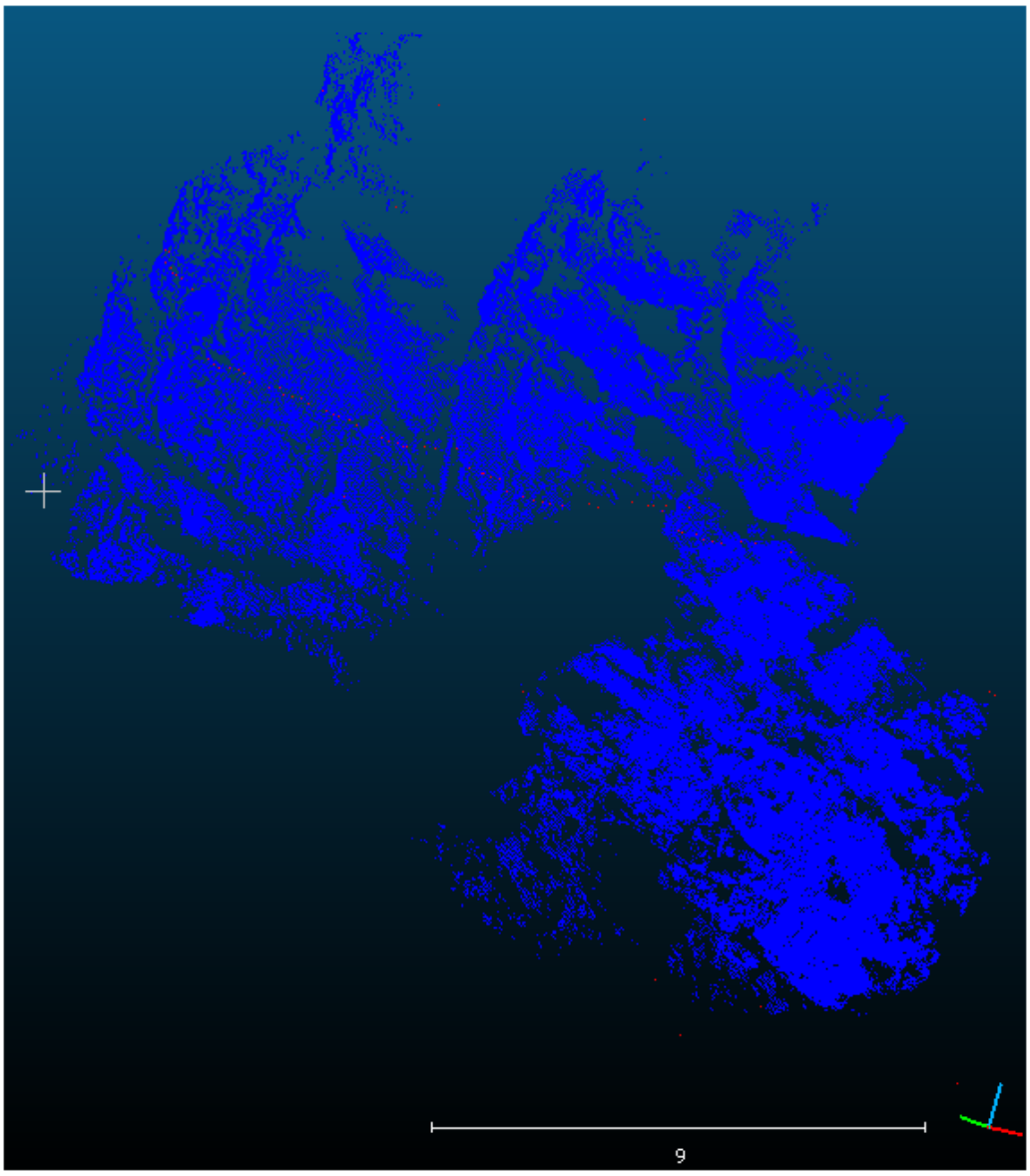


Résultat obtenu au niveau de la face ouest avec Photosynth

- **Vérification du nuage de point obtenu (sous CloudComapre)**

Afin de consolider ce modèle (ainsi que les mesures topo réalisées), une centaine de points alignés selon une ligne nord-sud a été levée par le géomètre sur le côté ouest du rocher. Ces mesures n'ont pas du tout été utilisées pour la réalisation du modèle 3D mais ont simplement été superposées à celui-ci afin de vérifier celui-ci (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). La distance moyenne obtenue est de 1,3 cm (avec un écart type de 5,7 cm) ce qui confirme à la fois la validité des mesures du géomètre et du nuage de points obtenus pour le modèle 3D[9].

[9] Il est à noter que 7 points du géomètres présents au niveau d'une zone végétalisée ont été supprimés

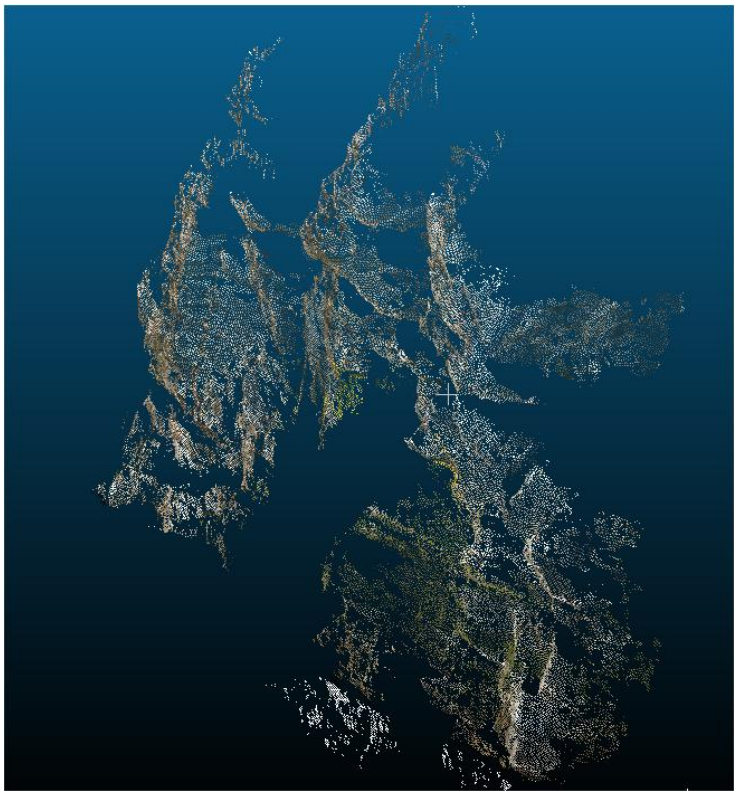


Vérification du modèle 3D à l'aide des points levés par le géomètre

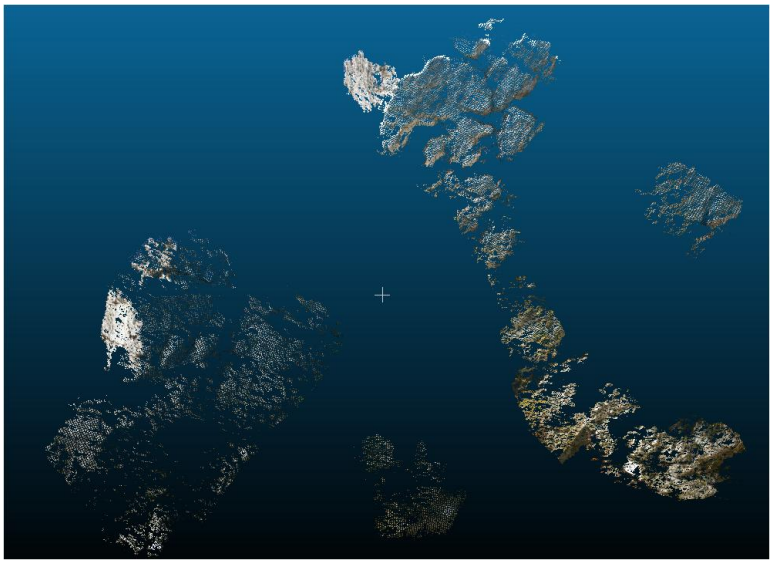
- **Présentation du nuage de points**

Les illustrations suivantes présentent respectivement les faces ouest et est du modèle. Comme cela était prévisible étant donné la végétation présente sur la face est du rocher tout au long de l'année, le modèle n'est pas complet à son niveau.

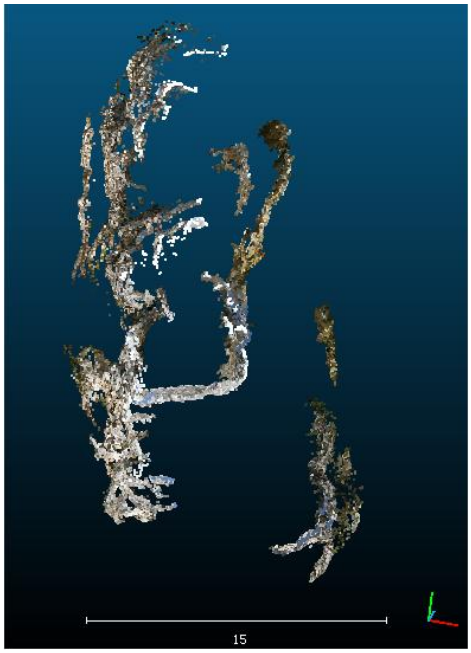
Le nuage de points complet présente 279 595 points, le modèle ayant été maillé avec un pas de 5 cm.



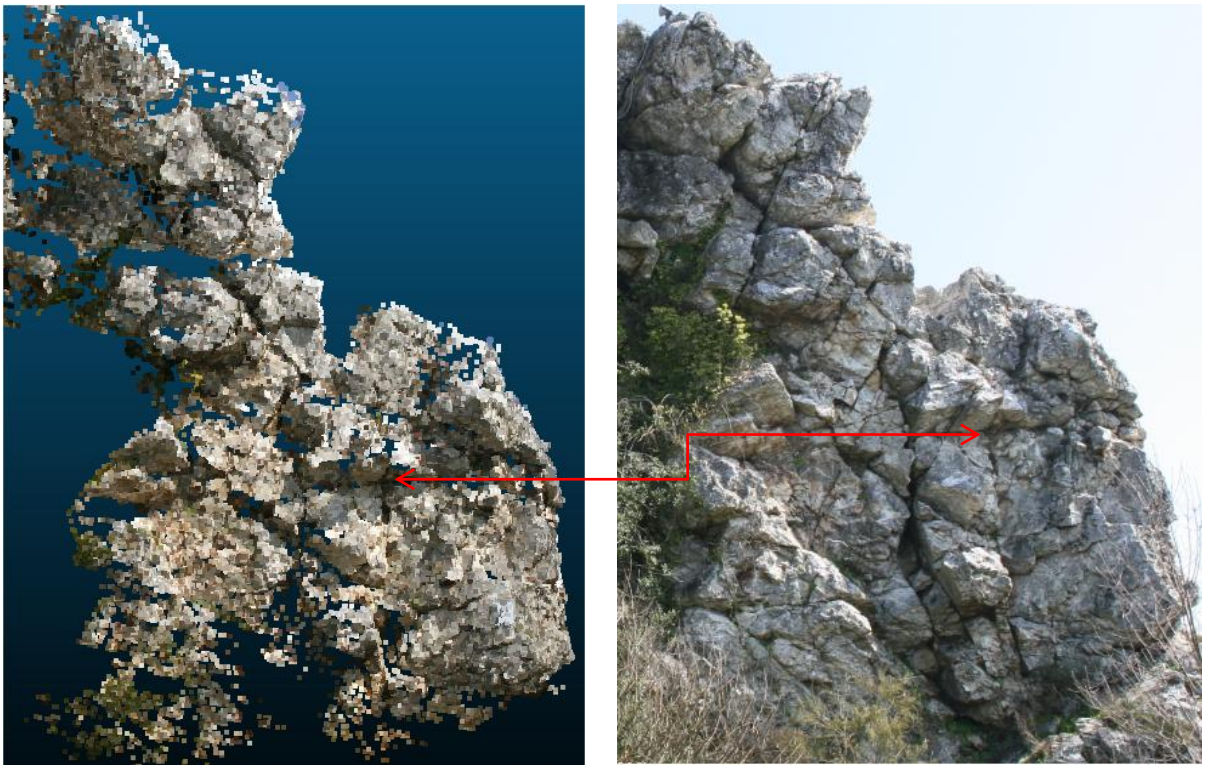
Présentation du nuage de point obtenu au niveau de la face ouest du rocher de la Vierge (Chailland)



Présentation du nuage de point obtenu au niveau de la face est du rocher de la Vierge (Chailland)



Vue du dessus du modèle 3D complet



Vue de détail du modèle 3D et comparaison avec une photographie pour le secteur sud-ouest

Il est à noter que ce modèle aurait pu être complété à partir de photographies de détail réalisées lors des campagnes de terrain mais cela n'a pas pu être réalisé dans le cadre de cette étude.

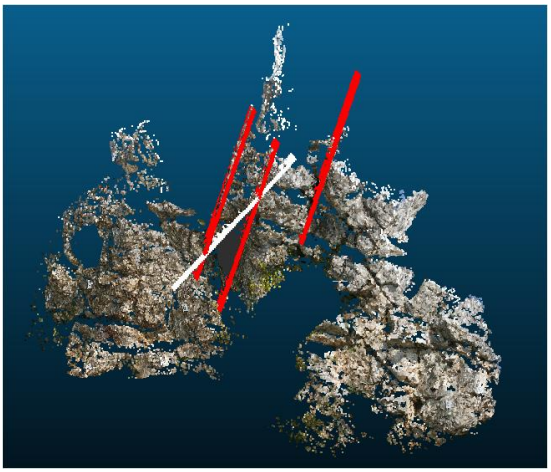
- **Mesure des hauteurs, calcul de la dimension des blocs, mesure de pendage, visualisation des plans de fractures sous CloudCompare**

Le nuage 3D obtenu permet la réalisation de différents calculs pour le calcul de la taille de bloc qui n'ont pas pu être mesurés sur site, la visualisation de plans de fractures… Le logiciel CloudCompare présente un certains nombres d'outils utiles à cette étude comme le calcul de distance (cf. illustration ci-dessous), l'extraction de facettes ou de sous-nuages de points.

Mesure des distances par l'outil intégré de CloudCompare

L'extraction de nuage de point permet de ne travailler que sur une petite partie du nuage de points mais peut également servir à réaliser un maillage local d'un élément.

Pour les besoins de cette étude, un outil de calcul de l'orientation des plans a été intégré au logiciel par son développeur à la demande du BRGM. A partir de l'extraction d'une facette, la fonction retourne l'azimut et le pendage d'un plan. Cela permet notamment d'identifier des orientations de plans dans des secteurs non accessibles sur le rocher et de comparer ces plans aux autres fractures mesurées sur le terrain. Un autre outil a été réalisé sous Python qui, à partir d'une mesure d'azimut et pendage et d'une coordonnée, créé un fichier texte comprenant le nuage de point correspondant. L'utilisation de ces deux outils permet de retrouver notamment les familles de fractures (cf. illustration ci-dessous)…



Reconstitution d'un plan à partir d'un azimut, d'un pendage et des coordonnées géographiques d'un point pour son intégration sous CloudCompare

Annexe 2

Résultats des levés du géomètre

Le tableau suivant présente les résultats des mesures réalisées par le cabinet de géomètre Harry Langevin. Les données ont été fournies en RGF93 - CC48 et transformées pour les besoins de l'étude en Lambert 93.

ID	X_RGF93 - CC48 (m)	Y_RGF93 - CC48 (m)	X_L93 (m)	Y_L93 (m)	Altitude (m)
1	1412414,45	7232295,488	412530,955	6798733,625	134,22
2	1412411,023	7232291,707	412527,534	6798729,841	136,62
3	1412415,24	7232295,741	412531,745	6798733,879	129,75
8	1412409,634	7232292,196	412526,145	6798730,328	131,02
10	1412413,462	7232285,792	412529,979	6798723,932	137,93
11	1412412,119	7232291,95	412528,63	6798730,086	137,01
12	1412413,568	7232291,41	412530,078	6798729,547	136,85
13	1412417,527	7232276,776	412534,053	6798714,924	129,81
14	1412409,22	7232287,725	412525,737	6798725,86	127,55
15	1412412,537	7232274,061	412529,068	6798712,205	125,24
16	1412411,418	7232275,68	412527,948	6798713,821	122,61
17	1412410,742	7232288,632	412527,257	6798726,767	135,13
18	1412422,709	7232286,415	412539,221	6798724,566	122,47
19	1412422,963	7232276,385	412539,488	6798714,54	125,35
20	1412409,127	7232291,993	412525,639	6798730,126	127,3
21	1412417,655	7232277,104	412534,181	6798715,252	129,84
22	1412418,998	7232290,876	412535,507	6798729,02	126,76
23	1412425,667	7232292,695	412542,171	6798730,846	121,99
24	1412421,893	7232273,795	412538,421	6798711,95	121,48
25	1412426,332	7232278,699	412542,852	6798716,857	116,64
26	1412413,783	7232270,686	412530,318	6798708,833	123,28
27	1412413,731	7232273,262	412530,263	6798711,408	125,85
28	1412410,303	7232287,297	412526,82	6798725,433	129,86
29	1412410,936	7232295,673	412527,443	6798733,806	130,52
30	1412423,361	7232275,892	412539,885	6798714,048	125,41
50	1412411,136	7232294,929	412527,644	6798733,062	133,21
51	1412411,113	7232294,841	412527,62	6798732,974	133,18
52	1412411,031	7232294,698	412527,539	6798732,831	133,11
53	1412410,785	7232294,397	412527,294	6798732,53	132,93
54	1412410,798	7232294,327	412527,306	6798732,46	132,91
55	1412410,521	7232294,01	412527,03	6798732,143	132,72
56	1412410,537	7232293,942	412527,046	6798732,075	132,7
57	1412410,55	7232293,865	412527,058	6798731,998	132,69
58	1412410,477	7232293,716	412526,986	6798731,849	132,61
59	1412410,487	7232293,624	412526,997	6798731,757	132,59
60	1412410,549	7232293,597	412527,058	6798731,73	132,61
61	1412410,49	7232293,462	412526,999	6798731,595	132,55
62	1412410,506	7232293,393	412527,016	6798731,526	132,53

ID	X_RGF93 - CC48 (m)	Y_RGF93 - CC48 (m)	X_L93 (m)	Y_L93 (m)	Altitude (m)
63	1412410,487	7232293,292	412526,997	6798731,425	132,49
64	1412410,472	7232293,178	412526,982	6798731,312	132,46
65	1412410,505	7232293,093	412527,015	6798731,226	132,44
66	1412410,577	7232293,025	412527,087	6798731,159	132,45
67	1412410,498	7232292,838	412527,008	6798730,972	132,37
68	1412410,426	7232292,61	412526,936	6798730,743	132,28
69	1412410,386	7232292,439	412526,897	6798730,573	132,22
70	1412410,197	7232292,15	412526,708	6798730,284	132,07
71	1412409,826	7232291,7	412526,338	6798729,833	131,8
72	1412409,56	7232291,323	412526,072	6798729,456	131,6
73	1412409,569	7232291,145	412526,082	6798729,278	131,56
74	1412409,416	7232290,908	412525,929	6798729,041	131,44
75	1412409,416	7232290,749	412525,929	6798728,882	131,4
76	1412409,447	7232290,607	412525,96	6798728,74	131,37
77	1412409,577	7232290,499	412526,09	6798728,633	131,4
78	1412409,732	7232290,419	412526,246	6798728,553	131,44
79	1412409,729	7232290,236	412526,242	6798728,37	131,39
80	1412409,639	7232289,927	412526,153	6798728,061	131,28
81	1412409,78	7232289,794	412526,295	6798727,928	131,31
82	1412409,845	7232289,611	412526,359	6798727,745	131,29
83	1412410,03	7232289,516	412526,544	6798727,651	131,35
84	1412409,94	7232289,295	412526,454	6798727,43	131,26
85	1412410,04	7232289,149	412526,555	6798727,284	131,27
86	1412410,142	7232289,019	412526,657	6798727,154	131,29
87	1412410,167	7232288,788	412526,682	6798726,923	131,25
88	1412410,282	7232288,609	412526,797	6798726,744	131,26
89	1412410,273	7232288,395	412526,789	6798726,53	131,22
90	1412410,285	7232288,214	412526,801	6798726,349	131,19
91	1412410,339	7232288,104	412526,855	6798726,239	131,19
92	1412410,407	7232287,875	412526,923	6798726,011	131,18
93	1412410,443	7232287,682	412526,96	6798725,818	131,16
94	1412410,541	7232287,486	412527,057	6798725,622	131,17
95	1412410,511	7232287,267	412527,027	6798725,403	131,12
96	1412410,492	7232287,11	412527,009	6798725,246	131,09
97	1412410,514	7232287,021	412527,031	6798725,157	131,09
98	1412410,507	7232286,782	412527,024	6798724,918	131,05
99	1412410,613	7232286,646	412527,13	6798724,782	131,08
100	1412410,628	7232286,488	412527,146	6798724,625	131,06
101	1412410,645	7232286,407	412527,163	6798724,544	131,06
102	1412410,916	7232286,275	412527,434	6798724,412	131,16
103	1412411,019	7232286,083	412527,537	6798724,22	131,19
104	1412411,331	7232285,874	412527,849	6798724,011	131,3
105	1412411,512	7232285,793	412528,031	6798723,931	131,38
106	1412411,266	7232285,56	412527,785	6798723,697	131,24

ID	X_RGF93 - CC48 (m)	Y_RGF93 - CC48 (m)	X_L93 (m)	Y_L93 (m)	Altitude (m)
107	1412411,115	7232285,295	412527,634	6798723,433	131,14
108	1412410,996	7232285,035	412527,516	6798723,173	131,06
109	1412411,048	7232284,898	412527,567	6798723,035	131,08
110	1412411,032	7232284,711	412527,552	6798722,849	131,05
111	1412411,04	7232284,622	412527,559	6798722,76	131,05
112	1412411,075	7232284,469	412527,595	6798722,606	131,05
113	1412411,118	7232284,285	412527,638	6798722,423	131,06
114	1412411,105	7232284,143	412527,625	6798722,28	131,05
115	1412410,869	7232283,945	412527,39	6798722,082	130,93
116	1412410,891	7232283,732	412527,412	6798721,869	130,92
117	1412410,975	7232283,481	412527,496	6798721,619	130,95
118	1412410,899	7232283,264	412527,42	6798721,402	130,91
119	1412410,946	7232283,035	412527,467	6798721,173	130,92
120	1412410,998	7232282,812	412527,519	6798720,95	130,94
121	1412411,038	7232282,683	412527,56	6798720,821	130,96
122	1412411,089	7232282,381	412527,612	6798720,52	130,98
123	1412411,457	7232282,087	412527,979	6798720,226	131,15
124	1412411,435	7232281,827	412527,958	6798719,966	131,14
125	1412412,008	7232281,615	412528,531	6798719,755	131,41
126	1412412,611	7232281,417	412529,134	6798719,558	131,69
127	1412412,059	7232281,211	412528,583	6798719,351	131,44
128	1412412,107	7232281,124	412528,631	6798719,264	131,47
129	1412412,23	7232280,941	412528,753	6798719,081	131,53
130	1412412,031	7232280,756	412528,555	6798718,896	131,44
131	1412412,406	7232280,51	412528,93	6798718,651	131,63
132	1412412,129	7232280,293	412528,653	6798718,434	131,51
133	1412411,634	7232279,969	412528,159	6798718,109	131,3
134	1412411,47	7232279,814	412527,995	6798717,954	131,24
135	1412411,484	7232279,602	412528,01	6798717,742	131,26
136	1412411,462	7232279,443	412527,987	6798717,584	131,26
137	1412411,498	7232279,119	412528,024	6798717,259	131,3
138	1412411,395	7232278,813	412527,921	6798716,954	131,29
139	1412411,345	7232278,719	412527,872	6798716,859	131,27
140	1412411,325	7232278,417	412527,852	6798716,557	131,3
141	1412411,358	7232278,238	412527,886	6798716,378	131,33
142	1412411,531	7232277,904	412528,059	6798716,045	131,45
143	1412411,663	7232277,793	412528,191	6798715,934	131,52
144	1412411,673	7232277,716	412528,2	6798715,857	131,54
145	1412411,53	7232277,501	412528,057	6798715,642	131,51
146	1412411,676	7232277,214	412528,204	6798715,355	131,61
147	1412411,889	7232276,911	412528,417	6798715,053	131,57
1000	1412442,922	7232280,53	412559,433	6798718,707	108,93
1001	1412437,528	7232263,603	412554,061	6798701,781	104,68
1002	1412435,232	7232308,867	412551,712	6798747,023	123,59

ID	X_RGF93 - CC48 (m)	Y_RGF93 - CC48 (m)	X_L93 (m)	Y_L93 (m)	Altitude (m)
1003	1412417,266	7232306,39	412533,757	6798744,526	128,27
1004	1412396,298	7232282,137	412512,826	6798720,258	122,54
1005	1412400,819	7232297,395	412517,328	6798735,515	127,65
1006	1412336,514	7232048,094	412453,346	6798486,244	86,93
1007	1412424,708	7232247,77	412541,265	6798685,939	102,71
1010	1412345,182	7232090,155	412461,96	6798528,297	86,6
1011	1412368,086	7232127,918	412484,81	6798566,071	87,37
2000	1412381,213	7232233,647	412497,806	6798671,771	107,59
2001	1412388,843	7232254,115	412505,408	6798692,239	113,09

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional “des Pays de la Loire
1, rue des Saumonières
BP 92342
44323 - Nantes Cedex3 - France
Tél. : 02 51 86 01 51