RN5 - CILAOS

SECTEUR LES ALOES – ILET FURCY
RAPPORT FINAL – NOVEMBRE 2019
MISSION MC2 – ETUDE DE TRAJECTOGRAPHIE

22 novembre 2019

Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	Marc CRUCHET / Christophe DELAUNAY / Vanessa CARRIER
Volume du document	t
Version	V4
Référence	xx
Numéro CRM	xx
Chrono	xx

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
V0e	05-04-2019	MCR / CDE / VCA	ASI / RMA	Version provisoire
V1	24-05-2019	MCR / CDE / VCA	ASI / RMA	Mise à jour
V2	06-06-2019	CDE	ASI / RMA	Mise à jour
V3	01-08-2019	MCR / CDE	ASI/RMA	Mise à jour
V4	22-11-2019	CDE	ASI/RMA	Mise à jour suite avis Cerema 31/10/2019

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Stéphanie LEBRETON	Région Réunion
Philippe BOUTELET	Région Réunion

SOMMAIRE

1 - OBJET DU DOCUMENT 8
1.1 - INTRODUCTION 8
1.2 - DOCUMENTS DE REFERENCE 8
1.2.1 - Documents du marché (Annexes du CCTP) 8
1.2.1.1 - Etudes du BRGM 8
1.2.1.2 - Etude Ilet Furcy 13
1.2.2 - Autres 13
2 - PRESENTATION DU TRACE DE LA RN 5 14
2.1 - Tracé historique 14
2.2 - Les modifications récentes depuis 2000 16
3 - PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE 17
3.1 - Contexte géologique 17
3.1.1 - Contexte géologique régional 17
3.1.2 - Les coulées de lave anciennes PDN2 19
3.1.3 - Les coulées de lave différenciées 21
3.1.4 - Les alluvions anciennes 23
3.1.5 - Les dépôts gravitaires 24
3.1.6 - Les éboulis 25
3.2 - Morphologie du Bras de Cilaos et de ses remparts 26
3.2.1 - Historique du creusement 26
3.2.2 - Analyse morphologique des remparts 27
3.2.3 - Données structurales 29
3.2.4 - Morphologie des barres basaltiques récentes 30
3.3 - Contexte hydrogéologique 31
3.3.1 - Sources et émergences (points d'eau) 31
3.3.2 - Bassin versant en tête de rempart 31
3.3.3 - Résurgences occasionnelles 34
4 - EXPOSITION DE LA RN 5 AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN DES REMPARTS 35
4.1 - Evènements recensés (données historiques) 35
4.2 - Répartition des événements sur le tracé de la RN 5 37
4.3 - Volumes de matériaux mobilisés 40
4.4 - Les mouvements de terrain de grande ampleur 40
5 - DEFINITION DU NIVEAU DE RISQUES 42
5.1 - – Préambule : Définition du Risque ''chutes de masses rocheuses'' 42
5.1.1 - Documents de références 42
5.1.2 - Introduction 42
5.1.3 - Définition de l'Aléa de rupture 42
5.1.4 - Définition de l'aléa de propagation 44

5.1.5 - Définition de l'aléa résultant 45
5.1.6 - La vulnérabilité 46
5.1.7 - Définition du risque 47
5.2 - Analyse par secteur 47
5.3 - Définition de l'aléa de rupture 48
5.3.1 - Les chutes de pierres 48
5.3.1.1 - Les chutes de blocs et les éboulements en masse limitée 48
5.4 - Définition de l'aléa de propagation 50
5.5 - Définition de l'aléa résultant 51
5.6 - Nature des enjeux / Vulnérabilité 51
5.7 - Analyse des aléas résultants tracé RN5 actuel / projet – Parades 52
5.7.1 - TRACE APSIQ 2010 52
5.7.2 - ASP1 (PR6+000 à 7+200) 52
5.7.3 - VN1 (PR7+200 à 8+200) 53
5.7.4 - VN2 Grand Détour / Bas du Ruisseau (PR8+200 à 9+000) 63
5.7.5 - VN2 Aval Ilet Furcy 67
5.7.6 - VN2 Amont Ilet Furcy 69
5.7.7 - Rampe des Sables APS2 70

6 - LES EBOULEMENTS DE GRANDE AMPLEUR SUR LA RN 5 74
6.1 - Evènements historiques 74
6.2 - Zones suspectées 74

7 - ANALYSE COMPARATIVE DES VARIANTES 79
7.1 - Objet de la note 79
7.2 - Constats à l'issue des expertises initiales 79
7.2.1 - Cartographie des tracés soumis à la concertation préalable 79
7.2.2 - Actualisation des études hydrauliques – MC1 81
7.2.3 - Études de trajectographie – MC2 82
7.2.4 - Techniques routières 82
7.3 - ANALYSE DES VARIANTES 83
7.3.1 - Variantes VN1 83
7.3.1.1 - Enjeux hydrauliques 83
7.3.1.2 - Enjeux trajectographiques 87
7.3.1.3 - Comparaison multicritère 114
7.3.1.4 - Focus sur le franchissement du Bras de Cilaos par la variante VN1C 117
7.3.2 - Variantes VN2 124
7.3.2.1 - Enjeux hydrauliques 124
7.3.2.2 - Enjeux trajectographiques 128
7.3.2.3 - Comparaison multicritère 147
7.4 - Mise à jour du tracé AVP – Octobre 2019 149
7.5 - Estimatif travaux de protection niveau AVP 151

8 - CONCLUSION 155

REFERENCES

Figure 1 : Tracé de l'ancienne route de1949 (extrait de la carte IGN 1/50 000 de 1957 - feuille Saint-Pierre). 14
Figure 2 : Extrait de la carte géologique 1/50 000 – G. Billard 1974 18
Figure 3 : Découpage du rempart rive gauche selon une direction Nord-Sud entre les PR10 et 12 29
Figure 4 : Bassins déversants et ligne de crête en sommet de rempart 32
Figure 5 : Nombre d'évènements recensés par années de 1930 à 2018 entre les PR 6,8 et 12,5 36
Figure 6 : Localisation des mouvements de terrain du PR5,8 au PR9,2 (Données BRGM) 38
Figure 7 : Localisation des mouvements de terrain du PR9,2 au PR12,5 (Données BRGM) 39
Figure 8 : Aléas résultant RN5 / tracé APS ASP1 52
Figure 9 : Aléas résultant RN5 / tracé APS VN1 53
Figure 10 : Énergies et hauteurs de passages mesurées sur la route actuelle 54
Figure 11 : Énergies et hauteurs de passage à l'emplacement du projet de route-digue 55
Figure 12 : Décaissement -7m entre P9 et P20 - MNT modifié 56
Figure 13 : Énergies et hauteurs de passage avec et sans décaissement (-7m) entre P9 et P20 57
Figure 14 : Altitudes de passage des blocs et du projet de route-digue par rapport au terrain naturel (modèle LiDAR) ; énergies de passage 59
Figure 15 : P18, projet APS et hauteurs de passage des blocs 60
Figure 16 : P18, projet modifié pour répondre à la contrainte de la hauteur de passage des blocs 60
Figure 17 : Simulation avec blocs de 2m3, Aléas de propagation avec ecran dans le rempart 61
Figure 18 : P18, projet modifié pour répondre à la contrainte de la hauteur de passage des blocs 62
Figure 19 : Aléas résultant RN5 / tracé APS VN2 Grand Détour / Bas du Ruisseau 63
Figure 20 : Contournement de l'Ilet Rond - Profil type 13 selon LiDAR (en haut) et APS (en bas) 64
Figure 21 : Contournement Bas Ruisseau Ilet Rond – Ecran de protection sur le Profil type 13 selon LiDAR 65
Figure 22 : Contournement Bas Ruisseau Ilet Rond – Ecrans de protection en plan et aléa de propagation associé 65
Figure 23 : Aléas résultant RN5 / tracé APS VN2 Aval Ilet Furcy 67
Figure 24 : Aval Ilet Furcy – Ecrans de protection en plan et aléa de propagation associé 68
Figure 25 : Aléas résultant RN5 / tracé APS VN2 Amont Ilet Furcy 69
Figure 26 : Aléas résultant RN5 / tracé APS ASP2 Rampe des Sables 70
Figure 27 : Aléas résultant RN5 / tracé APS ASP2 Rampe des Sables et aléa de propagation associé 71
Figure 28 : Ecran de mesure au droit des gabions de la rampe des sables PR12+200 72
Figure 29 : Aléas résultant RN5 / tracé APS ASP2 Rampe des Sables et aléa de propagation associé 72
Figure 30 : Visualisation de la masse potentiellement instable du PR9+200 et du plan de rupture (extrait rapport GIPEA 2009) 75
Figure 31 : Zones de départ et de dépôt du potentiel éboulement en masse du PR9+200 (document GIPEA 2009) 75
Figure 32 : Tracés des Variantes 80
Figure 33 : Tracés des Variantes 83
Figure 34 : Localisation du tronçon étudié dans le cadre des variantes 88
Figure 35 : Talwegs ravinés dans le versant situés au pied du rempart brèchique (cliché IGN 1950) 93
Figure 36 : Ancienne RN5 disparue au droit du dépôt alluvionnaire et dans le coude de la rivière 94
Figure 37 : Lit engravé de la rivière au Sud d'Ilet Rond 98
Figure 38 : Banquettes basaltiques en amont de la RN 1005 (cliché IGN 1973) 98
Figure 39 Tracés Variantes VN1b (détails annexe 8) 100
Figure 40 : Estimations AVp hauteur, energie, nombre de blocs, probabilité d'atteinte 101
Figure 41 : Schéma Principe du parement raidi 102
Figure 42 : Schéma Principe merlon rencforcé amont 102

Figure 43 : Estimations AVp hauteur de passage des blocs par rapport à la hauteur Plateforme variante VN1b 103
Figure 44 : Tracés Variantes VN1c (détails annexe 8) 104
Figure 45 : Estimations AVp hauteur, energie, nombre de blocs, probabilité d'atteinte 105
Figure 46 : Estimations AVp hauteur, energie, nombre de blocs, probabilité d'atteinte 106
Figure 47 : Estimations AVp hauteur de passage des blocs par rapport à la hauteur Plateforme variante 108
Figure 48 : Ecrans de protection variante VN1c (détails en annexe 10) 109
Figure 45 : Ecrans de protection fin de la variante VN1c entre OA2 et OA3 (détails en annexe 10) 110
Figure 50 : Evolution morphologique de la terrasse d'Ilet Rond 128
Figure 51 : Tracés Variantes VN2A (Details annexe 8) 133
Figure 52 : Estimations AVp hauteur, energie, nombre de blocs, probabilité d'atteinte 134
Figure 53 : Estimations AVp hauteur de passage des blocs par rapport à la hauteur Plateforme variante 135
Figure 54 : Tracés Variantes VN2C (détails en annexe 8) 136
Figure 55 : Estimations AVp hauteur, energie, nombre de blocs, probabilité d'atteinte 137
Figure 56 : Estimations AVp hauteur de passage des blocs par rapport à la hauteur Plateforme variante 138
Figure 57 : Ecrans de protection variante VN2c (détails en annexe 10) 139
Figure 58 : Tracés Variantes VN2b (détails en annexe 8) 140
Figure 59 : Estimations AVp hauteur, energie, nombre de blocs, probabilité d'atteinte 141
Figure 60 : Estimations AVp hauteur de passage des blocs par rapport à la hauteur Plateforme variante 142
Figure 61 : Ecrans de protection variante VN2b (détails en annexe 10) 143
Figure 62 : Tracés VN2a/b du 04/06/2019 (vert) modifié le 09/10/19 (pointillés rouge) 150
Figure 63 : Tracés VN2a/b du 04/06/2019 (vert) modifié le 09/10/19 (pointillés rouge) 150
Figure 64 : carte des reconnaissances sur cordes 157

Tableau 1 : Typologie des mouvements de terrain recensés sur la zone d'étude 35
Tableau 2 : Pourcentages d'évènements recensés par tronçons 37
Tableau 3 : Exemples de volumes d'éboulements survenus entre les PR 6,8 et 12,5 40
Tableau 4 : Définition de la Classe du phénomène rocheux 42
Tableau 5 : Définition de l'occurrence de déclenchement du phénomène rocheux 43
Tableau 6 : Définition du délais dans lequel le phénomène rocheux peut se produire 43
Tableau 7 : Définition du niveau d'aléa de rupture 44
Tableau 8 : Définition de l'aléa de propagation 45
Tableau 9 : Définition de l'aléa résultant 45
Tableau 10 : Définition de la vulnérabilité 46
Tableau 11 : Définition du risque 47

Photographie 1 : Tracé de la RN5 sur les clichés IGN de 1950 (source Géoportail) 15
Photographie 2 : Evitement de l'éboulis aU PR8+300 16
Photographie 3 : Nouvelle Voie d'Evitement construite en 2018 entre les PR8+400 et PK10+400 16
Photographie 4 : Empilement de coulées de lave anciennes (PR7,5) 19
Photographie 5 : Dyke de 2 m d'épaisseur dans la berge en amont d'Ilet à Furcy (PR10,8) 20
Photographie 6 : Faisceau de sills injectés dans les laves anciennes (PR10,2) 20
Photographie 7 : Altérites affleurantes sur le chemin de Coteau Sec à l'altitude 580 m 21
Photographie 8 : Coulée de basalte massive des Aloès (PR6,6) 22
Photographie 9 : Coulées massives séparées par une couche de gratons (PR7,7) 22
Photographie 10 : Coulée massive récente au sommet du rempart rive droite (PR11,8) 22
Photographie 11 : Alluvions anciennes fluvio-torrentielles du Bras de Cilaos 23
Photographie 12 : Dépôts gravitaires de l'Ilet Rolland 24
Photographie 13 : Dépôt de coulée de débris au-dessus du village d'Ilet Furcy 24
Photographie 14 : Eboulis dans le versant amont de la descente des Aloès (PR6,7) 25
Photographie 15 : Eboulis perchés de l'ilet Cafres (Pr12) 25
Photographie 16 : Paléovallée d'Ilet Furcy 26

Photographie 17 : Coude rive droite d'ilet Furcy-PR10,2) 28
Photographie 18 : Rempart rive gauche dans le coude d'Ilet Rond 28
Photographie 19 : Exemple de pied de rempart rectiligne avec des vestiges de dyke accolés à la paroi (PR11,4 rive gauche) 29
Photographie 20 : Niche d'érosion en sommet de rempart au PR8+300 Rive Droite 30
Photographie 21 : Bassin versant au sommet du rempart d'Ilet Furcy (PR9,4- rive Gauche) 33
Photographie 22 : Incision du rempart en rive droite au droit du déversement du bassin déversant amont (PR11,2) 33
Photographie 23 : Niche d'arrachement du PR9+100 (rive droite) 34
Photographie 24 : Masses chaotiques au pied du rempart brèchique des Aloès (rive gauche) 40
Photographie 25 : Eboulement du Cap Paille en Queue en 1938 (Extrait du Mémorial de La Réunion – Tome 5) 41
Photographie 26 : Vue générale vers l'amont PR11 à 12+200 73
Photographie 27 : Vue générale vers l'amont PR11 à 12+200 73
Photographie 28 : Masse potentiellement instable repérée par GIPEA au PR9+200 74
Photographie 29 : Exemples de reins séparant des zones d'érosion concentriques 77
Photographie 30 : Rempart brèchique « déchiqueté » à l'Est du plateau de l'Ilet Roland 89
Photographie 31 : Le plateau perché d'Ilet Roland (rive gauche) 89
Photographie 32 : Masse brèchique observée sur le sentier de l'Entre-Deux, à altitude + 230 NGR 90
Photographie 33 : Masses bréchiques rencontrées sur le plateau d'Ilet Roland 90
Photographie 34 : Talus alluvionnaire en amont des bâtiments enterrés de Mr Turpin 91
Photographie 35 : Alluvions mal triées (détail de la photo ci-dessus) 91
Photographie 36 : Blocs de basalte de 2 m³ rencontrés sur le plateau d'Ilet Roland 92
Photographie 37 : Blocs de basalte de 1 à 3 m³ rencontrés sur le plateau d'Ilet Roland 92
Photographie 38 : Rempart dans le coude au Nord d'Ilet Roland 95
Photographie 39 : Dépôt d'alluvions anciennes préservées en amont du coude de la rivière 95
Photographie 40 : Epaulement basaltique en pied de rempart 96
Photographie 41 : Ancienne RN5 fondée dans les coulées basaltiques en pied de rempart 96
Photographie 42 . Dépôt d'alluvions anciennes adossé au pied du rempart 97
Photographie 43 : Piste récemment taillée dans les alluvions gravelo-sableuses 97
Photographie 44 : Escarpement basaltique 1 en bordure amont de la RN 1005 99
Photographie 45 : Ancienne RN5 implantée au pied de l'escarpement basaltique 2 99
Photographie 46 : Coulées basaltiques de la berge en amont d'ilet Rond 129
Photographie 47 : Terrasse alluvionnaire ancienne d'Ilet Rond 129
Photographie 48 : Piège à blocs (mur en gabions et fosse) construit en amont des habitations d'Ilet Rond 130
Photographie 49 : Pied du rempart en rive gauche d'Ilet Rond 131
Photographie 50 : Merlon érigé en amont de la RN 1005 132
Photographie 51 : Fosse au pied de la banquette basaltique au Sud du coude Rive gauche d'Ilet Rond (partie du méandre abandonné). 132

1 - OBJET DU DOCUMENT

1.1 - INTRODUCTION

Dans le cadre de la Mission de Maitrise d'œuvre relative à la sécurisation de la Route Nationale n°5 d'accès à Cilaos, sur le secteur les Aloès / Ilet Furcy (PR6+000 à PR12+200), le présent rapport constitue la synthèse de la Mission Complémentaire n°2 : Réalisation de l'étude de trajectographie.

L'étude effectuée comprend les différents aspects suivants :

- Analyse du contexte géologique du site,
- Recensement des évènements anciens,
- Reconnaissances de site géologiques et descentes en falaise,
- Levé topographique Lidar héliporté ayant fourni le modèle topographique utilisé pour les modélisations,
- Modélisations trajectographiques 3D relatives aux différents tracés étudiés.

Le plan de synthèse des protections pour le tracé retenu au stade AVP est présenté en Annexe 11.

1.2 - DOCUMENTS DE REFERENCE

1.2.1 - **Documents du marché (Annexes du CCTP)**

1.2.1.1 - Etudes du BRGM

- RN5, Diagnostic PR 9+500 & 18+900 du 31/01/2011, Nédellec JL.
- RN205 PR10+050, Diagnostic géologique après des purges de mise en sécurité suite à un éboulement, expertise du 19/11/2012, Rey A., RP-61746-FR.
- RN5 St Louis et Cilaos, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2012-2013, et localisation de zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 05/12/2012, Rey A., RP-61847-FR.
- RN5 PR7+600 et PR7+650 Les Aloès, Diagnostic géologique d'urgence suite à des chutes de blocs, expertise du 08/02/2013, Rey A., RP-62054-FR.
- RN5 St Louis et Cilaos, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2013-2014 et localisation de zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 04/11/2013, Rey A., RP-62884-FR.
- RN5 PR 100+500, CR inspection héliportée du 10/03/2010, Nédellec JL., NT-2010-027.
- RN5 PR7+400, Diagnostic de risques suite à un éboulement constaté le 24/01/2018.
- RN5 PR10+100 - PR10+200 - PR10+400, Synthèse des différentes observations réalisées sur site depuis le système tropical AVA (06/01/2018).
- RN5 (PR6+030 ; PR7+500 ; PR8+800 ; PR9+700 ; PR9+850 ; PR12+250 ; PR13+270 ; PR16+300 ; PR27+750), Diagnostics géologiques d'urgence suite au passage du cyclone BEJISA le 02 janvier 2014, expertise du 06/01/2014, Bès de Berc S., RP-63152-FR.
- RN5 PR9+700 (Ilet Furcy) et PR12+050, Diagnostic d'urgence, expertise du 25/02/2016, Rey A., RP-65665-FR.
- RN5 au droit de la Rampe des Sables (PR12+250 à 12+360), Diagnostic de risques, expertise du 15/06/2016, Rey A., RP-65973-FR.
- RN5 PR7+500 à 7+700, PR8+600 à 9+000, PR9+400 à 10+400, PR12+800, PR27+000 à 27+800, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2016-2017 des zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives hélitreuillées, expertise du 09/11/2016, Rey A., RP-66436-FR.
- RN5 PR12+500, Diagnostic d'urgence, expertise du 05/09/2017, Rey A., RP-67184-FR.
- RN5 PR9+970 et PR16+030, Diagnostics d'urgence, expertises des 30 et 31/12/2017, Bès de Berc S., RP-67654-FR.
- RN5 PR9+900, Diagnostic d'urgence, expertise du 20/02/2018, Bès de Berc S., RP-67741-FR.

- RN5 piste de contournement de l'Ilet Furcy entre les PR8+600 et 10+800, Diagnostic d'urgence, expertise du 23/02/2018, Rey A., RP-67745-FR.
- RN5 PR8+800, Diagnostic d'urgence, expertise du 06/03/2018, Bès de Berc S., RP-67875-FR.
- RN5 PR7+700 // PR10+700 // PR12+850, Diagnostic d'urgence post tempête Fakir, expertise du 24/04/2018, Le Moigne B., RP-68040-FR.
- RN5 Ilet Furcy ; Petite Caverne, Tunnel du Pavillon, Burel ; Petit Serré, CR diagnostics d'urgences, expertise des 10, 13 et 19/02/2013, Tardy D. et Bès de Berc S., RP-62116-FR.
- RN5 PR9+800 (Ilet Furcy) et PR27+750 (Gros Morne de Gueule Rouge), Diagnostic d'urgence, expertise du 05/11/2013, Bès de Berc S., RP-62875-FR.
- RN5 au PR9+800 et au PR10+350 (Ilet Furcy), Diagnostic d'urgence, expertise du 05/12/2013, RP-63025-FR.
- RN5 PR10+960, Diagnostic de risques géologiques, expertise du 22/08/2016, Aunay B., RP-66195-FR.
- RN5, Diagnostics de risques géologiques suite au passage de la tempête tropicale Berguitta, expertises de janvier et février 2018, Aunay B., Le Moigne B., Rey A., RP-67738-FR.
- RN5 PR7+600 Secteur les Aloès, Diagnostic de risques géologiques, expertise des 05-06/08/2015, Aunay B., RP-65016-FR.
- RN5 PR10 // PR10+350 // PR12+850, Diagnostic de risques géologiques suite au passage du système tropical Ava, expertise du 06/01/2018, Aunay B., RP-67553-FR.
- RN5 PR7+600 Secteur les Aloès, Diagnostic de risques géologiques, 05/08/2015, Aunay B.
- RN5 PR10 // PR10+350 // PR12-850, Diagnostic de risques géologiques suite à la tempête Ava, 30/01/2018, Aunay B.
- RN5 PR10 // PR10+350 // PR12-850, Diagnostic de risques géologiques, 06/01/2018, Aunay B.
- RN5 Route de Cilaos, localisation des éboulis section 1, mars 2012, DRR/DEER/SRS.
- RN5 Route de Cilaos, localisation des éboulis section 2, mars 2012, DRR/DEER/SRS.
- RN5 Route de Cilaos, localisation des éboulis section 1, octobre 2018, DRR/DEER/SRS.
- RN5 Route de Cilaos, localisation des éboulis, sections 1, 2, 3, 4 et 5.
- RN5 PR8+800, Expertise d'urgence, 06/03/2018, Bès de Berc S.
- RN5 PR9+900, Expertise d'urgence, 20/02/2018, Bès de Berc S.
- RN5 PR9+970, Expertise d'urgence, 30/12/2017, Bès de Berc S.
- RN5 entre les PR7 et 15, Diagnostic de risques, 12/01/2018.
- RN5, Expertise, 24/04/2018.
- RN5 PR 7+560, Expertise, 03/07/2018, DGAR/DAMR/PAF/20171159 - Fiche 2018-21.
- RN5 PR 12+800, Expertise, 13/02/2019, DGAR/DAMR/PAF/20171159 - Fiche 2019-04
- RN5 PR 7+350, Expertise, 03/07/2018, DGAR/DAMR/PAF/20171159 - Fiche 2018-15.
- RN5 PR10+960, Diagnostic de risques géologiques, 24/08/2016, Aunay B.
- RN5 PR 12+800 Cap Paille-en-Queue, Examen du DCE établi par Géolithe pour la protection contre les éboulements rocheux, expertise du 12/11/2010, Nédellec JL., RP-59133-FR.
- RN5, Inspection héliportée, 04/12/2014, Bès de Berc S.
- RN5 PR 7+500, Chute de blocs du 08/11/2014, Rey A.
- RN5 PR9+700 et 12+050, Compte rendu de l'inspection du 25/02/2016, Rey A.
- RN5, Expertise du 05/02/2019, Le Moigne B.
- RN5 PR 9+000, Diagnostic suite à l'éboulement du 15/04/2009, compte-rendu de l'inspection, Nédellec JL., NT 2009-035.
- RN5 PR7+500, Diagnostic post-purges suite aux éboulements des 23 et 24/10/2009, compte-rendu de la visite du 26/10/2009, Garnier C., NT 2009-94.
- RN5 PR6+400, Diagnostic de risques suite aux éboulements du 07/03/2010 et du 08/03/2010, compte rendu de l'inspection du 08/03/2010, Nédellec JL., NT 2010-023.

- RN5 PR6+550, Diagnostic de risques relatif à une écaille suspecte, compte rendu de l'inspection du 08/03/2010, Nédellec JL., NT 2010-024.
- RN5 PR10+650, Diagnostic de risques suite aux éboulements du 09/03/2010, compte rendu des inspections du 09 et du 10/032010, Nédellec JL., NT 2010-026.
- RN5 PR6+200, Diagnostic suite à l'éboulement du 28/03/2010, expertise du 28/03/2010, Nédellec JL., NT 2010-036.
- RN5 PR9+600, Diagnostic géologique suite à l'éboulement survenu le 13/09/2010 au droit d'Ilet Furcy, expertise du 13/09/2010, Garnier C., RP-58947-FR.
- RN5 PR7+500, Diagnostic géologique suite à l'éboulement survenu le 05/10/10 vers les Aloès, expertise du 05/10/2010, Garnier C., RP-59007-FR.
- RN5 PR6+040, Avis concernant la stabilité de blocs dominant la route, expertise du 30/11/2010, Garnier C., RP-59225-FR.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2010-11 et localisation de zones à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 06/12/2010, Nédellec JL., RP-59274-FR.
- RN5 PR10+200 / 15+600 / 27+350 / 27+950, Inspection Héliportée suite aux éboulements survenus au PR27+350, compte-rendu de l'inspection du 28/02/2008, Nédellec JL., NT 2008-26.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2008-09 et localisation de zones à traiter dans le cadre de purges préventives, compte-rendu de l'inspection du 25/11/2008, Nedellec JL., NT 2008-106.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2009-10 et localisation de zones à traiter dans le cadre de purges préventives, compte-rendu de l'inspection du 10/12/2009, Nédellec JL., NT 2009-107.
- RN5 PR8+800 et 8+900, Diagnostic de risques résiduels après les chutes de blocs du 12/02/2010, compte-rendu de l'inspection du 13/02/2010, Nédellec JL., NT 2010-013.
- RN5 PR6 au PR33, Visites héliportées, compte-rendu des visites du 18 et 19/11/2004, Moiriat D.
- RN5 PR6+000 à 36+000, Visite de l'itinéraire des 18 et 19/11/2004, référence n° 106 bis.
- RN5 PR7+400, Éboulement du 22/06/2000, note du 04/07/2000.
- RN5 PR8+700, Éboulement du 04/07/2000, note du 11/09/2000.
- RN5 PR10+200, Diagnostic des risques géologiques, expertise du 27/01/2018, Rey A.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2014-2015 des zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 04/12/2014, Bès de Berc S., RP-64288-FR.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2015-2016 des zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 23/11/2015, Bès de Berc S., RP-65315-FR.
- RN5 PR9+600 Ilet Furcy, Diagnostic géologique d'urgence suite à un éboulement, expertise du 01/11/2013, Rey A., RP-62870-FR.
- RN5, Risques d'éboulements, chutes de pierres et coulées boueuses, repérage aérien des secteurs sensibles, 03/1989.
- RN5 Cyclone BEJISA, Reconnaissance par vol héliporté pour expertiser les différents secteurs impactés, expertise du 06/01/2014, Bès de Berc S.
- RN5 PR9+700 et 12+050, Diagnostic de risques, compte rendu de l'inspection du 25/02/2016, Rey A.
- RN5 chute de blocs sur la piste, compte-rendu expertise du 23/02/2018, Rey A.
- RN5 PR8+800, Diagnostic de risques suite à un éboulement, expertise d'urgence du 06/03/2018, Bès de Berc S.
- RN5 PR9+900, Diagnostic de risques suite à un éboulement, expertise d'urgence du 20/02/2018, Bès de Berc S.
- RN5 PR9+970, Diagnostic de risques suite à la chute d'un bloc, expertise d'urgence du 30/12/2017, Bès de Berc S.
- RN5 PR7+500, Chute de blocs du 08/11/2014, Rey A.
- RN5 PR9+300, Tempête Berguitta, préconisations pour l'ouvrage de protection envisagé, 03/10/2018, Rey A.

- RN5, Inspection des zones affectées par des mouvements de terrain lors des fortes pluies de février et mars 2006, compte-rendu de la visite du 05/04/2006, Cruchet M.
- RN5 PR10+200 (face à Ilet Furcy) et PR12+800 (Ilet Cafres), Diagnostic suite à la reconnaissance héliportée, inspection du 19/04/2011, Garnier C.
- RN5 PR9+300, Tempête Berguitta, préconisations pour l'ouvrage de protection envisagé 03/10/2018, Rey A.
- RN5 PR 10+200 / PR 10+600 / PR 12+600 / PR 12+750, Inspection héliportée, compte-rendu de l'inspection du 11/06/2008, Nédellec JL., NT 2008-62.
- RN5 Route de Cilaos, localisation des éboulis section 1, novembre 2015, DRR/DEER/SRS.
- RN5, Secteur 1 : Les Aloès : PR 7+500 à 7+700, Secteur 2 : Sortie Zone évitement : PR 8+600 à 9+000, Secteur 3 : Ilet Furcy : PR 9+400 (arrêt bus-accès ilet) à 10+400.
- RN5 PR10+200, Suivi des travaux de purge, compte-rendu de l'inspection du 14/06/2008, Nédellec JL., NT 2008-64.
- RN5 PR10+200, Suivi des travaux de purge, compte-rendu de l'inspection du 23/06/2008, Nédellec JL., NT 2008-68.
- RN5 PR 10+200, Suivi des travaux de purge, compte-rendu des inspections des 17, 20 et 22/06/2008, Nedellec JL., NT 2008-67.
- RN5, Inspection avant saison cyclonique 2017-2018.
- RN5 PR10+400, Visite héliportée du 08/01/2004, compte-rendu de visite, Aubié S.
- RN5 PR10+500, Diagnostic suite à l'éboulement du 01/03/2007, Nédellec JL.
- RN5, Exposition aux phénomènes naturels, état des connaissances et définition des programmes des études à mener, décembre 2002, Cruchet M. Nédellec JL. Bouchut J., RP-51985-FR.
- RN5 PR 9+900, PR 10+200, PR 12+600 & PR 17+400, Diagnostic géologique suite à des éboulements, expertise du 20/04/2011, Nédellec JL., RP-59909-FR.
- RN5 PR9+100, Diagnostic d'urgence suite aux chutes de blocs survenus le 09/11/2011, expertise du 10/11/2011, Bès de Berc S., RP-60483-FR.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2011-2012 et localisation de zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 24/11/2011, Bès de Berc S., RP-60521-FR.
- RN5, Diagnostic géologique d'urgence suite à un éboulement le 26/04/2012 sur la route de Cilaos, expertise du 26/04/2012, Bès de Berc S., RP-61120-FR.
- RN5 PR7+500 (Secteur des Aloès), Diagnostic d'urgence et suivi des purges, expertise du 09/11/2014, Rey A., RP-64091-FR.
- RN5 PR10+300 (Ilet Furcy), Diagnostic géologique, expertise du 18/12/2014, Rey A., RP-64265-FR.
- RN5, Définition des priorités d'action pour améliorer la sécurisation, expertise du 20/11/2014, Rey A. Thirard G., RP-64444-FR.
- RN5 PR9+950, 10+300, 13+500, Diagnostic de risques du 8 et 16 mars 2015 suite à des éboulements, expertises des 08 et 16/03/2015, Rey A., RP-64622-FR.
- RN5, Inspection visuelle avant saison cyclonique 2017-2018 des zones prioritaires à traiter dans le cadre de purges préventives, expertise du 20/11/2017, Rey A., RP-67396-FR.
- RN1 PR2+920, RN1a PR30+550 ; PR30+780, RN5 PR7+560 ; PR7+900 ; PR9+300 ; PR9+500 ; PR27+300, Synthèse des expertises des risques géologiques menaçant les routes nationales réalisées en 2018, expertises des 08/03/2018, 03/07/2018, 24/09/2018, 20/10/2018 et 22/10/2018, Le Moigne B. Bès de Berc S. Rey A. Aunay B., RP-68572-FR.
- RN5, Inspection héliportée suite au passage du cyclone Gamède, compte-rendu de l'inspection du 02/03/2007, Nédellec JL.
- RN5, Travaux de sécurisation de la voie Inspection héliportée, compte-rendu des visites du 30/10/2006 et 02/11/2006, Nédellec JL.
- RN5, Travaux de sécurisation de la voie Inspection héliportée, compte-rendu de la visite du 30/10/2006, Nédellec JL.

- RN5, Travaux de sécurisation de la voie avant la saison cyclonique 2007-2008 Inspection héliportée, compte-rendu des visites des 19 et 20/11/2007, Nédellec JL.

1.2.1.2 - Etude Ilet Furcy

- Étude globale d'exposition aux risques d'éboulements et de chute de blocs sur le site d'ilet Furcy - phase III – solutions de sécurisation, Rapport GOELITHE, Mars 2016.
- RN5 - Avant-Projet Sommaire d'Itinéraire Qualitatif - études trajectographiques, ARCADIS / GIPEA, Rapport et Annexe indice B du 15/06/2009.

1.2.2 - **Autres**

Les documents suivants rendus publics :

- Carte géologique de la France - La Réunion du BRGM. Echelle 1/50 000 et notice associée, Billard G en collaboration avec P.M. Vincent (1974) ;
- Base de données nationales – Mouvements de terrain, BRGM, LCPC et RTM ;
- Dossiers de la Banque de données du Sous-sol, BRGM ;

2 - PRESENTATION DU TRACE DE LA RN 5

2.1 - Tracé historique

Le cirque de Cilaos a été définitivement relié à Saint-Louis, par une route carrossable, en décembre 1931. Au préalable l'accès à Cilaos se faisait exclusivement par des sentiers.

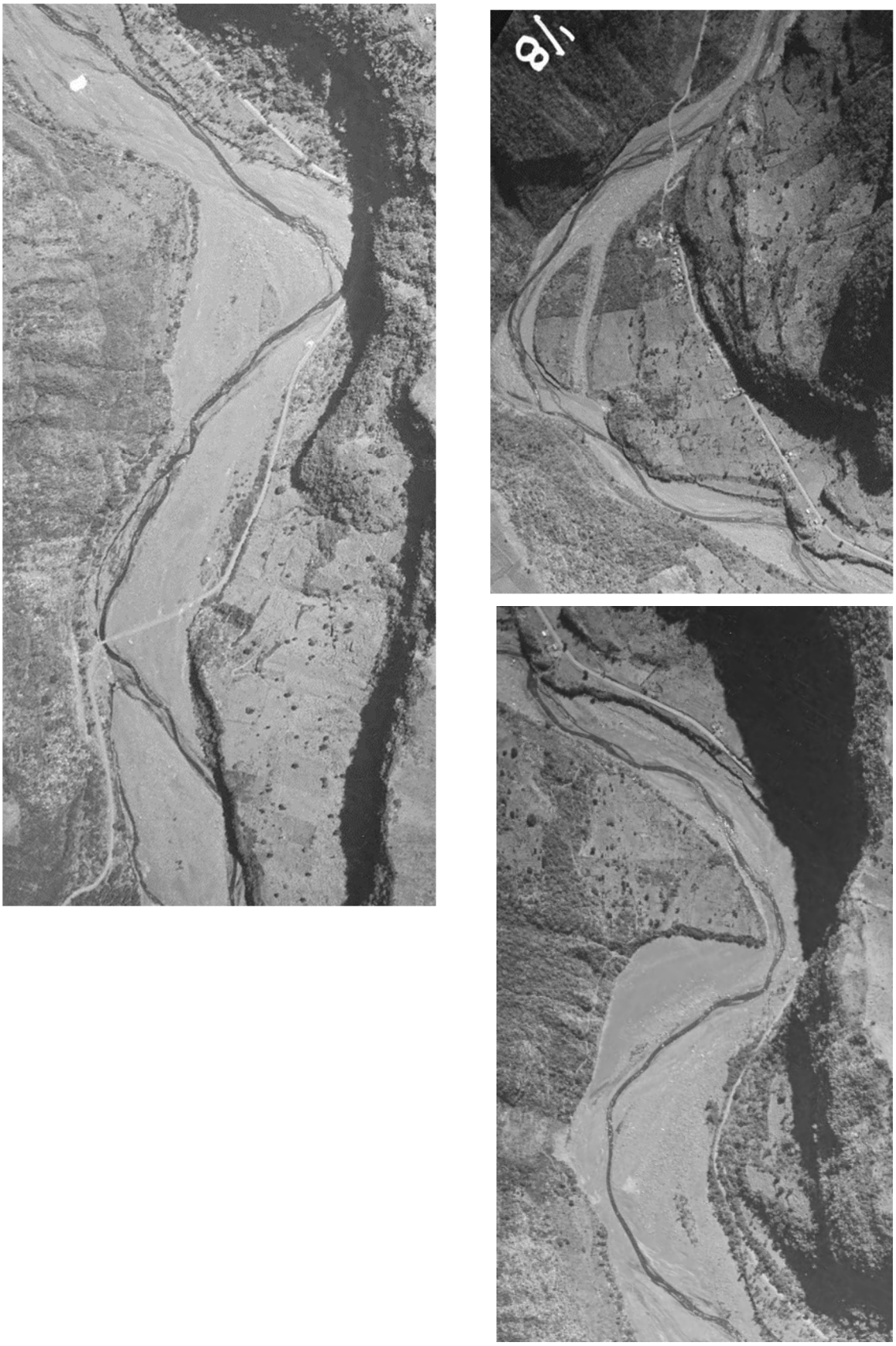
Depuis sa construction entre 1923 et 1931, la route a subi de nombreuses modifications à la suite de crues ou éboulements exceptionnels qui l'ont emportée.

Sur la zone d'étude, entre les Aloès et Ilet Furcy, le tracé de la route en 1949 passait en rive gauche du bras de Cilaos (cf. **figure 1).** Les 2 ponts de franchissement du bras de Cilaos ayant été emportés par les crues torrentielles de 1948, la route a été reconstruite au pied du rempart en rive droite.

Le pont de franchissement aval se situait vers le PR7,5.

Le pont de franchissement amont se situait vers le PR9.

FIGURE 1 : TRACE DE L'ANCIENNE ROUTE DE1949 (EXTRAIT DE LA CARTE IGN 1/50 000 DE 1957 - FEUILLE SAINT-PIERRE).



PHOTOGRAPHIE 1 : TRACE DE LA RN5 SUR LES CLICHES IGN DE 1950 (SOURCE GEOPORTAIL)

2.2 - Les modifications récentes depuis 2000

Le tracé de la route a été modifié à la suite de l'éboulement de 6000 m^3 survenu le 26/04/2002, au PR8+300 ayant fait 2 victimes. La zone d'éboulis n'ayant pas pu être sécurisée, la solution d'évitement a été retenue. Le tracé de la route a alors emprunté le lit de la rivière (Cf. photo 2).

PHOTOGRAPHIE 2 : EVITEMENT DE L'EBOULIS AU PR8+300

Cliché BRGM novembre 2002

En 2018, à la suite de nouveaux éboulements dans le secteur d'Ilet Furcy, le tracé rive droite est abandonné entre les PR 8 + 300 et 10 + 700. Depuis fin 2018, une nouvelle route a été construite en rive gauche sur 2 km environ. L'ancienne route est toujours utilisée par les habitants d'Ilet Rond entre les PR 8+400 et 9+400 (Cf. photo 3).

PHOTOGRAPHIE 3 : NOUVELLE VOIE D'EVITEMENT CONSTRUITE EN 2018 ENTRE LES PR8+400 ET PK10+400

Clichés janvier 2019

3 - PRESENTATION DU MILIEU PHYSIQUE

3.1 - Contexte géologique

3.1.1 - Contexte géologique régional

Le Bras de Cilaos coule dans une vallée profonde qui incise le flanc Sud du massif du Piton des Neiges. Les deux remparts, rive gauche et rive droite, offrent ainsi une coupe géologique de 500 m de hauteur du massif du Piton des Neiges, avec les formations les plus anciennes en fond de vallée et les plus récentes en sommet de rempart.

Le massif du Dimitile à l'Est et la Chaîne du Bois de Nèfles à l'Ouest, aujourd'hui séparé par la vallée du Bras de Cilaos, appartenaient à un même massif qui constituait le contrefort Sud du cirque de Cilaos et du paléo-cirque des Makes. A ce titre, on peut observer que la hauteur des remparts est identique en rive gauche et en rive droite.

Les ensembles géologiques présents sur le secteur sont, d'après la carte géologique 1/50 000 en **figure 3** :

- Les coulées de lave anciennes de la **Série des Océanites** (âge > 350 000 ans) : **PDN2**;
- Les coulées de lave récente de la **Série différenciée** (âge < 350 000 ans) : **PDN4**;
- Les dépôts gravitaires (brèches, coulées de débris, alluvions) : **PE**.

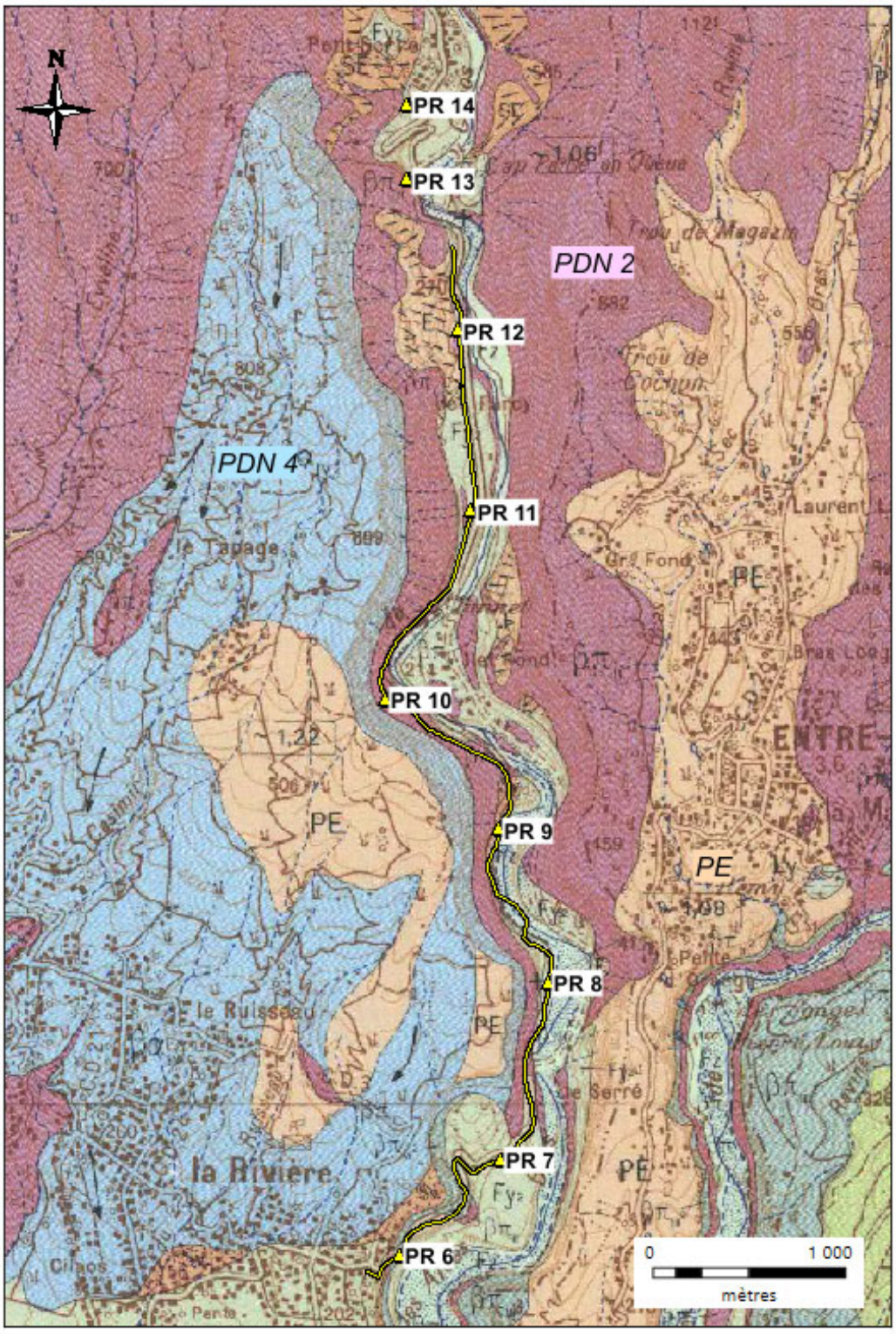


FIGURE 2 : EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE 1/50 000 – G. BILLARD 1974

3.1.2 - **Les coulées de lave anciennes PDN2**

Les laves anciennes, attribuées à la phase 2 du Piton des Neiges - **PDN 2** - sur la figure 3, affleurent dans le lit du bras de Cilaos et à la base des 2 remparts sur l'ensemble du cours du Bras de Cilaos depuis les Aloès jusqu'au Petit Serré.

Le rempart Est, en rive gauche, est en totalité constitué de laves anciennes. Elles affleurent dans la berge rive gauche du bras de Cilaos jusqu'à la crête, sur le chemin bétonné de Coteau Sec où elles sont très altérées.

Dans le rempart Ouest, les coulées anciennes ont été recouvertes par les coulées récentes du Piton des Neiges. D'après la carte géologique 1/50 000, les coulées anciennes représentent environ les 2/3 de la hauteur du rempart.

Ces coulées ont été datées entre 1,06 Ma et 1,2 Ma, par Mac Dougall en 1971.

La formation est constituée par un empilement régulier de coulées de basalte à olivine, parfois aphyriques, d'épaisseur métrique à plurimétrique voire décamétrique. Les coulées présentent un pendage de 10 ° environ vers le Sud.

L'ensemble forme un ensemble cohérent. Chaque banc de basalte est séparé par un interlit scoriacé bréchique, d'épaisseur métrique (**photographie 4**). L'épaisseur des coulées a tendance à augmenter vers le haut de La Série, avec des bancs de lave compris entre 5 à10 m.

PHOTOGRAPHIE 4 : EMPILEMENT DE COULEES DE LAVE ANCIENNES (PR7,5)

A partir d'Ilet Furcy, les coulées anciennes sont fréquemment recoupées par des intrusions de lave qui se présentent sous deux formes :

- Soit verticales (**dykes)**. La lave s'est mise en place dans une fracture verticale ou fortement inclinée. Ces dykes sont nombreux à partir d'Ilet Furcy jusqu'à la Rampe des Sables (**photographie 5**) ;
- Soit horizontales (**sills**). La lave s'est mise en place selon un plan horizontal, plus ou moins conforme à la stratification. Ces sills peuvent être observés dans le rempart rive droite au Nord d'Ilet Furcy (**photographie 6**).

PHOTOGRAPHIE 5 : DYKE DE 2 M D'EPAISSEUR DANS LA BERGE EN AMONT D'ILET A FURCY (PR10,8)

Le dyke recoupe les laves anciennes.

PHOTOGRAPHIE 6 : FAISCEAU DE SILLS INJECTES DANS LES LAVES ANCIENNES (PR10,2)

Les sills sont conformes à la stratification (même inclinaison que les coulées de lave)

Les laves anciennes exposées aux intempéries et aux conditions climatiques hydrolysantes, depuis l'édification des massifs volcaniques, se sont transformées en altérites. Ces dernières ont visibles sur le chemin bétonné de Coteau Sec, au sommet du rempart dominant le village d'Ilet Furcy. La lave s'argilise et devient friable (**photographie 7**).

Photographie 7 : Altérites affleurantes sur le chemin de Coteau Sec à l'altitude 580 m.

3.1.3 - Les coulées de lave différenciées

Elles affleurent dans le rempart Ouest, en rive droite du Bras de Cilaos, et sur la planèze La Rivière –Le Tapage (cf. carte géologique en **figure 3**).

Elles sont absentes dans le rempart Est, en rive gauche du Bras de Cilaos.

Ces coulées sont récentes, datées autour de 200 000 ans (0,2 Ma) dans le secteur de Saint-Louis.

Elles se sont mises en place sur le massif ancien de la Chaîne du Bois de Nèfles, sur les océanites anciennes et altérées.

Elles affleurent dans le talus de la RN 5 dans la descente des Aloès. La lave est un basalte aphyrique, de teinte claire (**photographies 8, 9 et 10**).

Les coulées sont massives, saines, avec un pendage parfois élevé de 10 à 30 °. Les coulées sont très épaisses dans le secteur des Aloès, entre 10 et 30 m. Leur épaisseur diminue vers le Nord, au sommet des remparts rive droite du PR8 au PR12,2, où elle varie entre 5 et 20 m.

Les coulées sont également irrégulières, caractérisées par une semelle de laves « en gratons » épaisse (semelle de progression de la coulée). Elles présentent localement un pseudo litage (figures d'écoulement).

Si le contact entre coulées anciennes et coulées récentes est probant dans le rempart vers les Aloès, du PR 6 au PR 8, il est, en revanche, plus difficile à cerner au-delà du PR8 jusqu'au PR12. D'après la carte géologique au 1/50 000, l'épaisseur totale des coulées récentes est constante sur l'ensemble du secteur de 100 m environ. Au vu du mode de mise en place des coulées sur une surface topographique évoluée (anciens talwegs), des variations d'épaisseur sont probables (50 m à 150 m).

Des vérifications géologiques détaillées du rempart, pétrographiques en particulier, seraient nécessaires pour préciser la puissance réelle de cette Série différenciée récente.

PHOTOGRAPHIE 8 : COULEE DE BASALTE MASSIVE DES ALOES (PR6,6)

PHOTOGRAPHIE 9 : COULEES MASSIVES SEPAREES PAR UNE COUCHE DE GRATONS (PR7,7)

PHOTOGRAPHIE 10 : COULEE MASSIVE RECENTE AU SOMMET DU REMPART RIVE DROITE (PR11,8)

3.1.4 - **Les alluvions anciennes**

Elles apparaissent sporadiquement dans le talus amont de la RN5, en pied de rempart, sur tout l'itinéraire, des Aloès jusqu'au Petit Serré. Elles forment également des terrasses altimétriquement surélevées par rapport au Bras de Cilaos, entre 80 et 100 m au-dessus du lit actuel vers les Aloès (PR6 à PR7).

Les alluvions anciennes sont également présentes dans les paléovallées creusées par le bras de Cilaos. Au niveau de la Rampe des Sables, vers le PR12, elles affleurent sur une cinquantaine de mètres de hauteur dans le versant raviné dominant la RN 5.

Nous retrouvons ces alluvions dans la paléovallée Est d'Ilet Furcy en rive gauche et dans le talus de la nouvelle bretelle d'accès au village. En rive droite, vers Ilet Rond, elles apparaissent en placage sur la paroi basaltique au pied de rempart du PR7,6 au PR9.

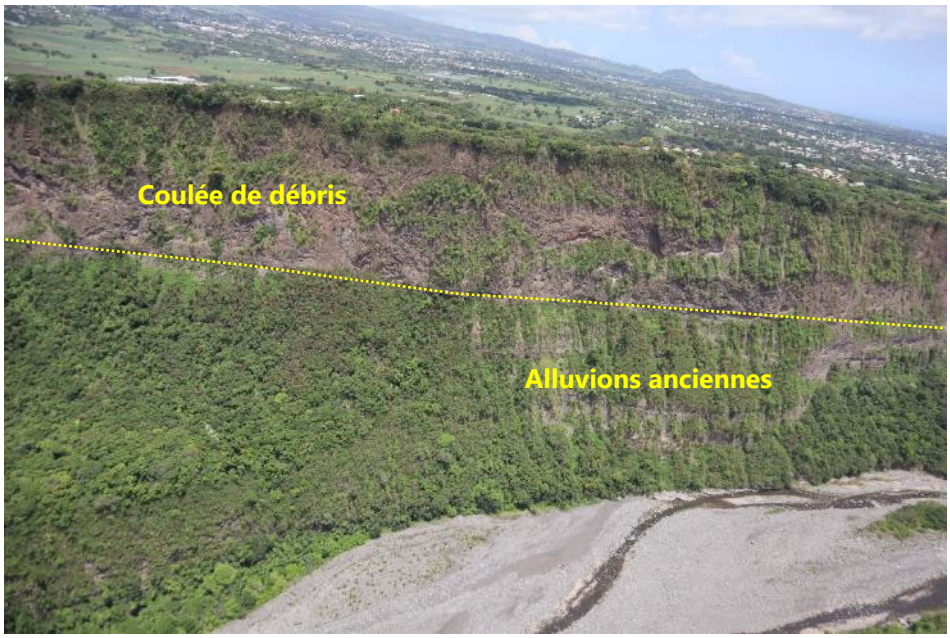
Les alluvions sont de type fluvio torrentiel, tantôt sableuses, tantôt de nature gravelo-sableuses, litées. Localement, le faciès est grossier de type torrentiel.

Friables, elles s'érodent très facilement et génèrent de nombreuses chutes de pierres sur la route actuelle. Des écrans bois ou murs en gabions ont été disposés sur ces tronçons alluvionnaires.

PHOTOGRAPHIE 11 : ALLUVIONS ANCIENNES FLUVIO-TORRENTIELLES DU BRAS DE CILAOS

3.1.5 - **Les dépôts gravitaires**

Ces dépôts gravitaires sont des brèches sédimentaires provenant de la déstabilisation du massif du Piton des Neiges. Ces avalanches de débris se sont propagées dans le bras de Cilaos depuis le cirque de Cilaos. Ils sont largement représentés dans le bras de Cilaos, notamment dans le rempart rive gauche entre les PR 8 et 9, au-dessus d'Ilet Rolland où ils surmontent les alluvions anciennes. Leur épaisseur est de l'ordre de 50 m.



PHOTOGRAPHIE 12 : DEPOTS GRAVITAIRES DE L'ILET ROLLAND

Des reliques de ces dépôts, plaquées au pied du rempart, peuvent être observés dans le coude rive gauche vers le PR8,2, en placage au PR9 vers Ilet Rond, dans les versants dominant le village d'ilet Furcy, en rive gauche et en rive droite de la Rampe des Sables.

PHOTOGRAPHIE 13 : DEPOT DE COULEE DE DEBRIS AU-DESSUS DU VILLAGE D'ILET FURCY

Nous retrouvons des dépôts de coulées de débris dans le lit actuel du bras de Cilaos, dans le talus de la déviation d'Ilet Furcy.

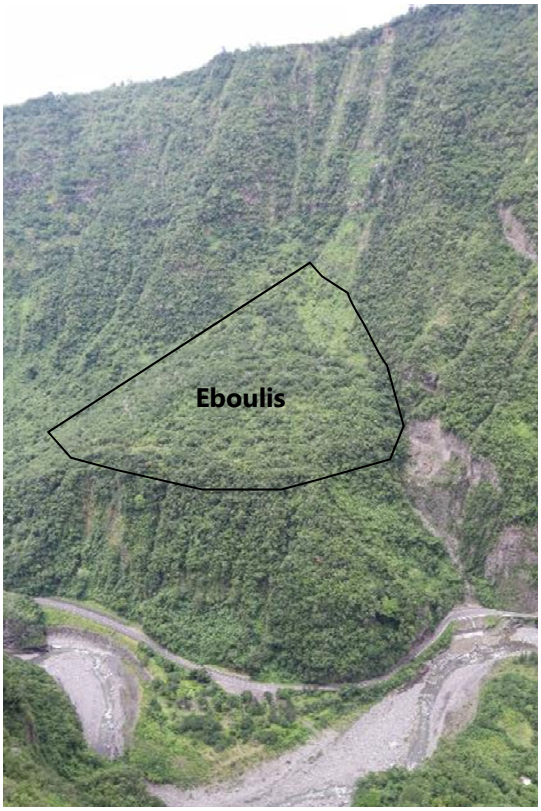
D'autres dépôts gravitaires issus d'avalanches de débris sont signalés sur la planèze du Tapage et sur le plateau de l'Entre Deux. Annotés PE sur la carte géologique, ces dépôts sont vraisemblablement contemporains des phases ignimbritiques, déposés avant le creusement du Bras de Cilaos.

3.1.6 - **Les éboulis**

Les éboulis sont disséminés dans les remparts sous forme de placages au pied des barres rocheuses, dans les versants moins abrupts. Ils peuvent être observés au PR6,6 (secteur des Aloès). Les blocs sont de taille décimétrique à métrique.

PHOTOGRAPHIE 14 : EBOULIS DANS LE VERSANT AMONT DE LA DESCENTE DES ALOES (PR6,7)

Les éboulis recouvrent tous les « ilets banquettes » adossés au pied des remparts à Ilet Cafres, Ilet Furcy, ilet Rolland, … Bien qu'anciens, ils sont toujours actifs et sont alimentés par le démantèlement des remparts.



De par leur position topographique surélevée, sur les hautes terrasses alluvionnaires, ils ont été épargnés de l'érosion du bras de Cilaos.

PHOTOGRAPHIE 15 : EBOULIS PERCHES DE L'ILET CAFRES (PR12)

3.2 - Morphologie du Bras de Cilaos et de ses remparts

3.2.1 - Historique du creusement

Le bras de Cilaos correspond à une profonde entaille du flanc Sud du massif du Piton des Neiges. Il est bordé par deux remparts dont la hauteur croit progressivement de l'aval vers l'amont. Vers les Aloès (PR6), le dénivelé entre le sommet du rempart et le bras de Cilaos, est de 100 m. Il atteint 350 m à Ilet Furcy, vers le PR10. Au Cap Paille en Queue, au PR12,8, il atteint 610 m.

La formation du bras de Cilaos a débuté après la mise en place des dernières coulées de lave datées de 200 000 ans sur le secteur. Le bras a creusé son lit entre le massif du Dimitile et la chaine de bois de Nèfles, dans les coulées anciennes altérées. L'absence de tufs de nature ignimbritique dans les gorges laisse penser que le creusement a commencé bien après la période ignimbritique du Piton des Neiges datée de 180 000 ans. **Le creusement du Bras de Cilaos a commencé tardivement dans l'histoire géologique du Piton des Neiges, et serait antérieur à 100 000 ans.**

La première phase d'incision a donné naissance à une paléovallée qui rejoignait l'ancien bras de la Plaine vers Ilet Rolland. La confluence entre les 2 bras se situait à cette époque 3 km plus en amont de l'actuelle.

Le réseau de paléovallées profondes et anciennes que l'on observe sur tout le cours du bras de Cilaos, depuis les Aloès jusqu'au Pavillon, a été comblé par des alluvions anciennes puis des dépôts gravitaires sur plus de 100 m d'épaisseur.

PHOTOGRAPHIE 16 : PALEOVALLEE D'ILET FURCY

La présence de reliquats de dépôts (couches de débris et d'alluvions) au pied des remparts actuels, depuis les Aloès jusqu'au Petit Serré, confirme que **ces remparts sont anciens et se sont formés il y a plusieurs milliers voire dizaines de milliers d'années.**

Après cette phase de comblement sur plus de 100 m de hauteur, le bras de La plaine recreuse un nouveau lit, déblayant la plus grande partie des dépôts alluvionnaires et bréchiques, sauf vers Ilet Rolland, en rive gauche du Bras de Cilaos, où ils sont parfaitement préservés.

La nouvelle incision présente un tracé différent et provoque de nouvelles entailles des reliefs isolant ainsi des buttes de basalte dans le fond de vallée. Ces buttes sont observables dans le village d'Ilet Furcy, à la Rampe des Sables (PR12,3).

On doit retenir que le creusement du bras de Cilaos s'est fait en plusieurs phases, au moins 2 périodes.

3.2.2 - Analyse morphologique des remparts

Si le tracé du bras de Cilaos est relativement rectiligne « en grand », avec une orientation Nord-Sud, le tracé des remparts est plus complexe dans le détail.

D'un point de vue morphologique, les remparts présentent souvent un découpage en « coudes » à rayon de courbure hectométrique (250 m à 350 m). Ces morphologies semi-circulaires, en forme d'amphithéâtre (méandres), résultent des processus d'érosion torrentielle par le bras de Cilaos.

La formation de certaines morphologies semi-circulaires, est liée de l'activité érosive actuelle des méandres du bras de Cilaos ; elles sont situées :

En rive droite :

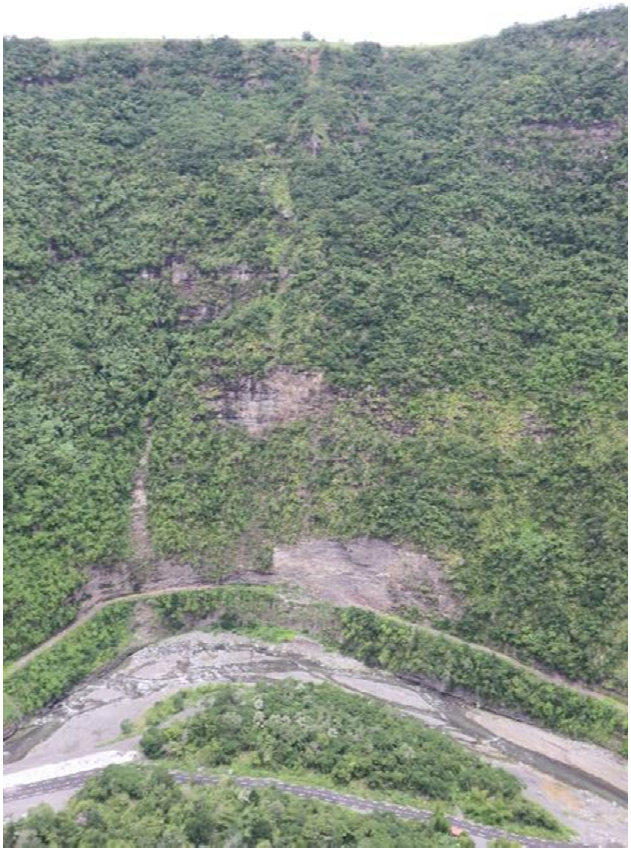
- Du PR5,85 au PR6,15 au tout début de la descente des Aloès ;
- Du PR8,2 au PR9,0 au Grand Détour ;
- Du PR9,5 au PR10,7, en face d'Ilet Furcy (**photographie 17**);

En rive gauche :

- Du PR 9,0 au PR9,4, en face d'Ilet Rond (**photographie 18**) ;
- Du PR10,7 au PR11, au Nord d'Ilet Furcy.

Sur ces secteurs, le rempart est abrupt, avec une pente moyenne comprise entre 55° et 75 °. Le bras de Cilaos coule au pied du rempart. Le rempart se présente comme un plan incliné régulier depuis le lit de la rivière jusqu'à son sommet. **La morphologie peut être qualifiée de récente voire d'actuelle**, provoquée par l'érosion de pied. Une reprise de l'érosion de la berge du bras de Cilaos peut réactiver les phénomènes de déstabilisation du rempart (sape du pied).

Sur d'autres secteurs, les « coudes » sont déconnectés du lit du bras de Cilaos. Nous retrouvons ces formes semi-circulaires au-dessus d'Ilet Furcy. Les formes y sont anciennes et se sont formées lors des phases d'érosion anciennes du bras de Cilaos.



PHOTOGRAPHIE 17 : COUDE RIVE DROITE D'ILET FURCY PR10,2)

La morphologie en méandre du bras de Cilaos s'est propagée au rempart.

Noter l'écaillage de la paroi en pied, en panneaux verticaux. Le terrassement du pied du rempart lors de la construction de la route en 1950 a accéléré sa déstabilisation.

Sur ce secteur, le bras érode le pied du relief.

PHOTOGRAPHIE 18 : REMPART RIVE GAUCHE DANS LE COUDE D'ILET ROND

3.2.3 - **Données structurales**

D'Ilet Furcy à la Rampe des Sables, le rempart rive gauche présente un tracé rectiligne en pied (**figure 4**). Il est découpé par un réseau de « fractures Nord-Sud », direction que l'on retrouve dans les deux massifs anciens limitrophes, le Dimitile à l'Est (commune de l'Entre-Deux) et le massif de Bois Nèfles à l'Ouest.

Le rempart rive droite en face d'Ilet Furcy se découpe également selon des plans orientés N20 E.

Ce découpage est à rattacher au réseau de fractures d'origine tectono-volcanique (« rift zone »). Sur ce tronçon, les coulées anciennes sont recoupées par de nombreuses intrusions de lave (dykes et sills).

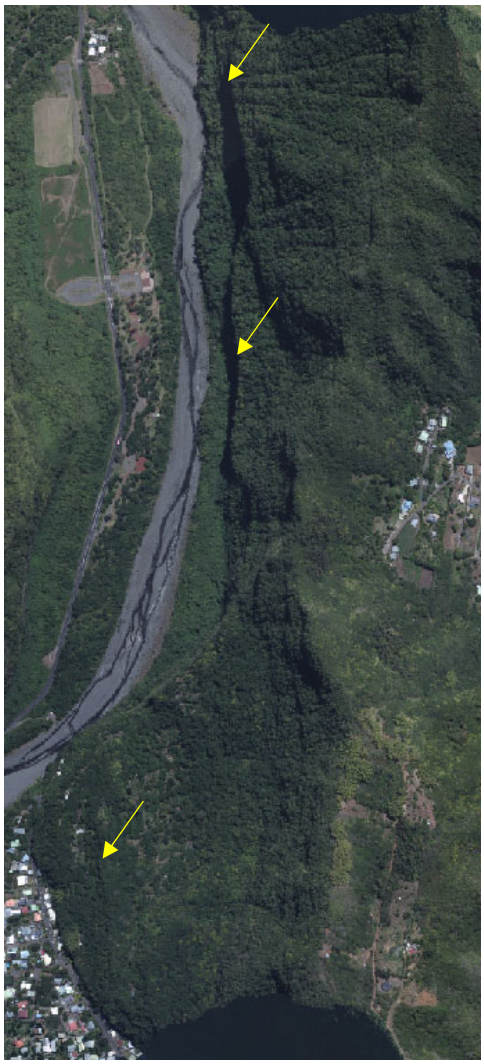


FIGURE 3 : DECOUPAGE DU REMPART RIVE GAUCHE SELON UNE DIRECTION NORD-SUD ENTRE LES PR10 ET 12

Les intrusions basaltiques constituent des points durs résistants à l'érosion. Le rempart se découpe en panneaux parallèlement aux intrusions (**photographie 19**).

PHOTOGRAPHIE 19 : EXEMPLE DE PIED DE REMPART RECTILIGNE AVEC DES VESTIGES DE DYKE ACCOLES A LA PAROI (PR11,4 RIVE GAUCHE)

3.2.4 - **Morphologie des barres basaltiques récentes**

Les coulées de basalte récentes qui arment le sommet du rempart rive droite ont un découpage moins régulier que celui observé en pied, plus sinueux.

Des niches d'érosion apparaissent en plusieurs points du rempart au pied et au sein ces barres. Les niches, peu nombreuses et de dimension pluri décamétrique à hectométrique sont localisées par exemple aux :

- PR8,4 au droit d'éboulement d'avril 2002 ;
- PR9,1 en amont d'Ilet Rond.

Les niches d'érosion hautes sont généralement centrées sur une incision du rempart qui se développe en contrebas, provoquée par les écoulements d'eau et la propagation des blocs. Très souvent, l'éboulement des barres hautes résulte de la rupture de leur assise constituée de brèches scoriacées saturées en eau. Les eaux peuvent avoir une origine souterraine (infiltrations dans les coulées massives sommitales), superficielles (déversement depuis le sommet du rempart ou concentration du ruissellement dans le rempart lui-même).

On retiendra que la morphologie des barres hautes résulte de processus indépendants de l'activité érosive du Bras de Cilaos.

PHOTOGRAPHIE 20 : NICHE D'EROSION EN SOMMET DE REMPART AU PR8+300 RIVE DROITE

La concentration des eaux provenant des barres rocheuses sommitales a incisé le rempart en contrebas de la niche d'érosion.

3.3 - Contexte hydrogéologique

L'eau est un des facteurs aggravants dans le processus de démantèlement des remparts. Ces eaux potentiellement déstabilisatrices proviennent soit de circulations souterraines soit de ruissellements.

3.3.1 - Sources et émergences (points d'eau)

Une seule source est recensée en BSS sur le secteur d 'étude. Il s'agit de la source d'Ilet Furcy (N° BSS002PJGH -12284X0018/HY). Elle était autrefois captée pour l'alimentation en eau du village d'Ilet Rond. Cette source présente un débit très faible, de quelques litres par minute. L'eau provient de suintements dans les alluvions anciennes du plateau amont au-dessus du village d'Ilet Furcy.

D'autres petites sources, non recensées, existent probablement à proximité de chaque îlet habité.

Quoiqu'il en soit, aucun écoulement pérenne (source ou ravine) en provenance des remparts n'a été observé lors des différentes inspections de janvier 2019.

3.3.2 - Bassin versant en tête de rempart

La ligne de partage des eaux en rive droite comme en rive gauche du bras de Cilaos, se confond pratiquement avec le sommet du rempart (**figure 5**).

Les bassins se déversant en sommet de remparts ont des superficies extrêmement réduites, inférieures à 0,26 km^2.

En rive gauche, les bassins déversants sur le rempart se situent au PR suivants :

- PR9,4, à l'entrée du village d'Ilet Furcy : superficie 0,05 km^2 ;
- PR12,0 : superficie de 0,09 km^2 ;
- PR12,5 : hors zone d'étude superficie de 0,03 km^2.

En rive droite, les bassins déversants sur le rempart se situent au :

- Du PR5,8 au PR 6,6 : superficie de 0,06 km^2 ;
- PR11,1 : superficie de 0,26 km^2.

A chaque point de déversement, une petite incision apparait dans le rempart (**photographies 21 et 22**).

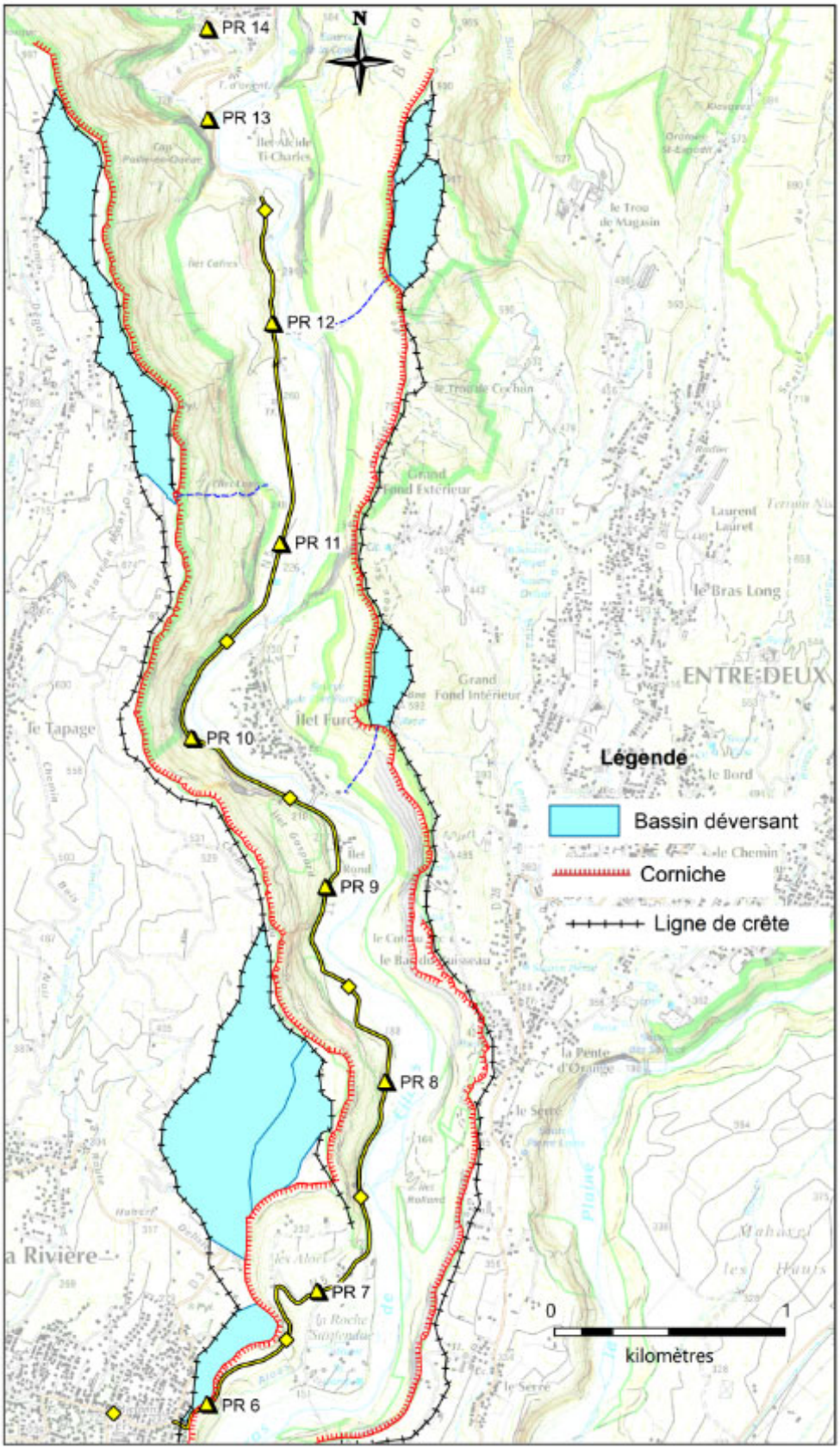
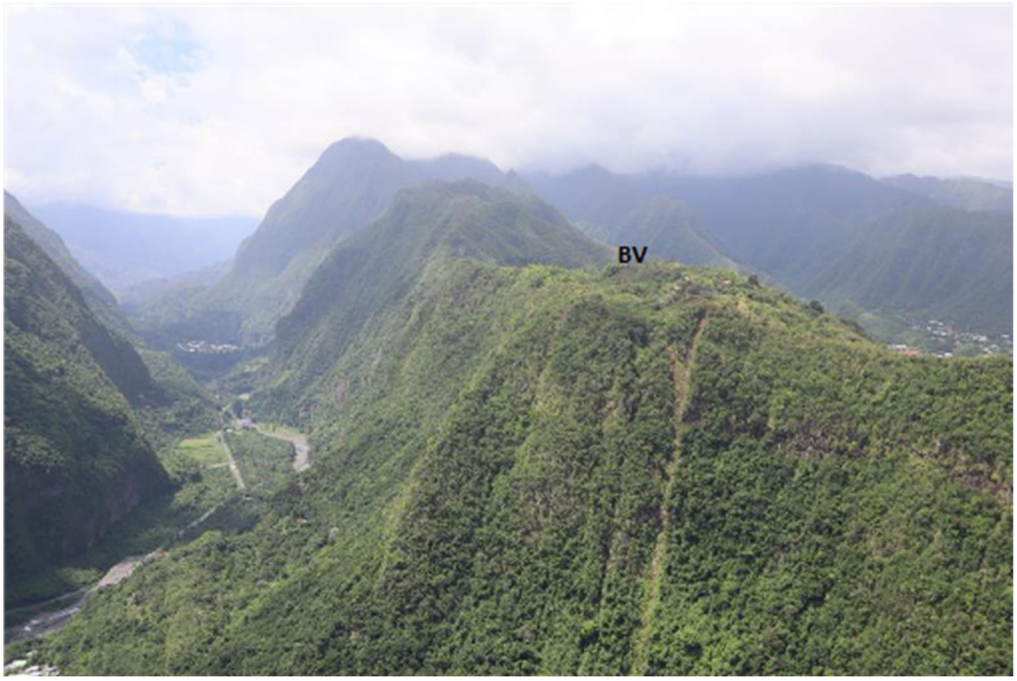
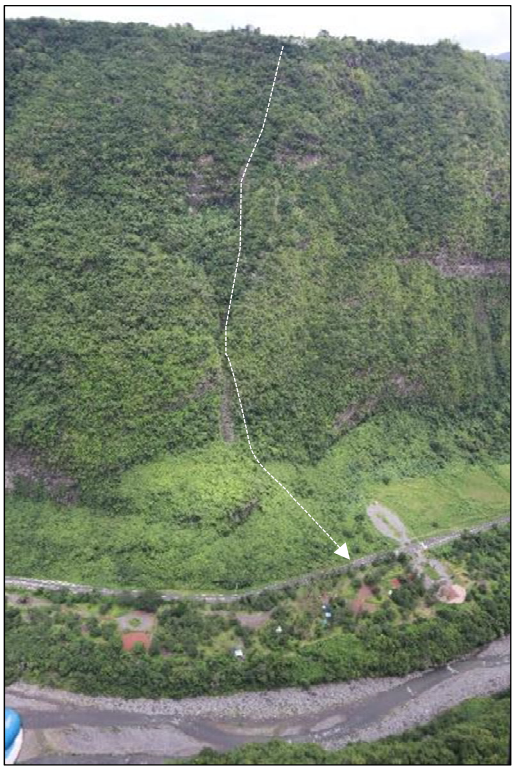


FIGURE 4 : BASSINS DEVERSANTS ET LIGNE DE CRETE EN SOMMET DE REMPART



PHOTOGRAPHIE 21 : BASSIN VERSANT AU SOMMET DU REMPART D'ILET FURCY (PR9,4- RIVE GAUCHE)



PHOTOGRAPHIE 22 : INCISION DU REMPART EN RIVE DROITE AU DROIT DU DEVERSEMENT DU BASSIN DEVERSANT AMONT (PR11,2)

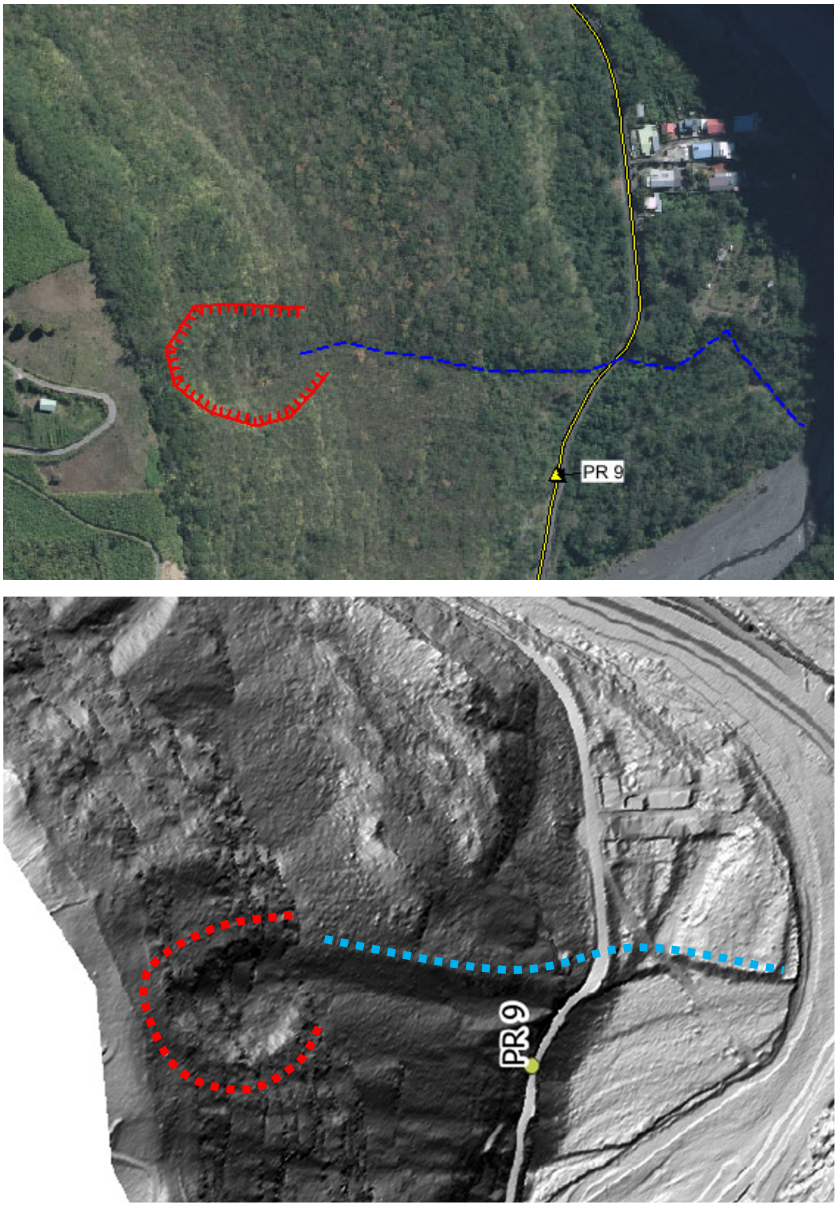
3.3.3 - **Résurgences occasionnelles**

Ces résurgences, diffuses ou ponctuelles, se signalent par des goulottes (axes d'écoulement) dans le rempart, en contrebas de niches d'érosion, au pied des barres rocheuses sommitales, en rive droite comme en rive gauche.

Nous ne disposons pas d'informations précises sur ces points de résurgences hormis les traces d'écoulement et d'érosion en contrebas des barres basaltiques sommitales.

Ces eaux proviennent d'infiltrations d'eau sur la planèze amont et dans le rempart, dans les coulées de basalte fissurées et dans les interlits scoriacés. Ces eaux infiltrées peuvent être bloquées dans leur infiltration par des horizons étanches tels que les altérites (toit des océanites), les sills, les bancs massifs non fissurés.

Les coulées massives récentes de la Série différenciée, inclinées vers le rempart, favorisent le risque de résurgences des eaux infiltrées sur le plateau du Tapage. La présence de dépôts d'épandage (PE) limite l'infiltration dans le massif.



PHOTOGRAPHIE 23 : NICHE D'ARRACHEMENT DU PR9+100 (RIVE DROITE)

4 - EXPOSITION DE LA RN 5 AUX MOUVEMENTS DE TERRAIN DES REMPARTS

4.1 - Evènements recensés (données historiques)

Les mouvements de terrain sont recensés par le BRGM dans sa base de données MVT, consultable sur le site « Infoterre ».

Cette base de données nationale sur les mouvements de terrain est gérée par le BRGM (BDMVT, http://www.georisques.gouv.fr/). Elle rassemble tous les évènements recensés par le BRGM dans le cadre de ses expertises pour la Direction des Routes de La Réunion mais également lors d'études scientifiques ou techniques pour d'autres organismes. Ainsi, le BRGM a réalisé récemment l'inventaire des mouvements de terrain sur tout le territoire communal de la commune de Saint-Louis dans le cadre de l'élaboration du Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles « Inondation et mouvements de terrain » - Rapport BRGM de Novembre 2016. La zone d'étude, comprenant les 2 remparts rive droite et rive gauche du bras de Cilaos, est en totalité sur la commune de Saint-Louis.

Nous présentons en Annexe 7 un exemple de tableaux de données issus de la base BDMVT du BRGM concernant la RN5 sur la commune de Saint Louis.

Par ailleurs, les 165 documents BRGM (expertise d'urgence, diagnostics de risque, suivi pré/post saison cyclonique, tableaux de suivi) transmis en Annexe du CCTP ont été consultés dans le cadre de l'étude.

Les données présentées sur les figures 7 et 8 ont été mises à jour à fin 2017. Les évènements du premier semestre 2018 signalés dans les rapports du BRGM et transmis en cours d'étude ont été rajoutés.

88 évènements sont ainsi recensés sur le secteur d'étude du PR6,8 au PR12,5. La typologie de ces mouvements de terrain est présentée dans le tableau ci-après. Les chutes de blocs / éboulements sont les plus fréquents, avec 85 % des évènements. Les glissements de terrain et coulées de boue représentent 10 % des évènements.

Type de mouvement	Nombre	Pourcentage
Chute de blocs / Eboulement	75	**85 %**
Glissement	7	8 %
Erosion de berges	2	2 %
Coulée de boue	4	5 %

TABLEAU 1 : TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN RECENSES SUR LA ZONE D'ETUDE

Il est évident que le recensement ne concerne que les mouvements de moyenne à grande ampleur, visibles depuis la RN 5 et les mouvements ayant créé des dommages à la chaussée et à ses abords (destruction d'un parapet, recouvrement de la chaussée, dégradation de la chaussée…) ou à des personnes. Les phénomènes d'érosion de berges, pourtant fréquents dans le bras de Cilaos, ne sont pratiquement pas recensés.

Par ailleurs, il convient de noter que les mouvements recensés ne concernent que le rempart rive droite et la RN5. Les événements qui se produisent dans le rempart rive gauche et dans le lit du bras de Cilaos sont rarement inventoriés.

Bien que non exhaustif, cet inventaire des mouvements effectués sur la RN 5 fournit un échantillon représentatif des phénomènes dangereux menaçant la RN 5.

Le graphe présenté **figure 5** montre, qu'au cours des dernières années, le nombre d'évènements recensés a augmenté, probablement du fait d'une surveillance renforcée de la route. Toutefois, la comparaison de ce graphe avec les évènements climatiques de la région, met en évidence le rôle des précipitations sur les processus de déstabilisation des remparts. Ainsi, le nombre d'évènements par an est le plus fort en 1989 (14 évènements), année du passage de la dépression tropicale Firinga. En 2018, le nombre élevé de mouvements de terrain (12 évènements) est la conséquence des fortes pluies de janvier 2018, liées au passage de la tempête tropicale Berguitta le 18/01/2018.

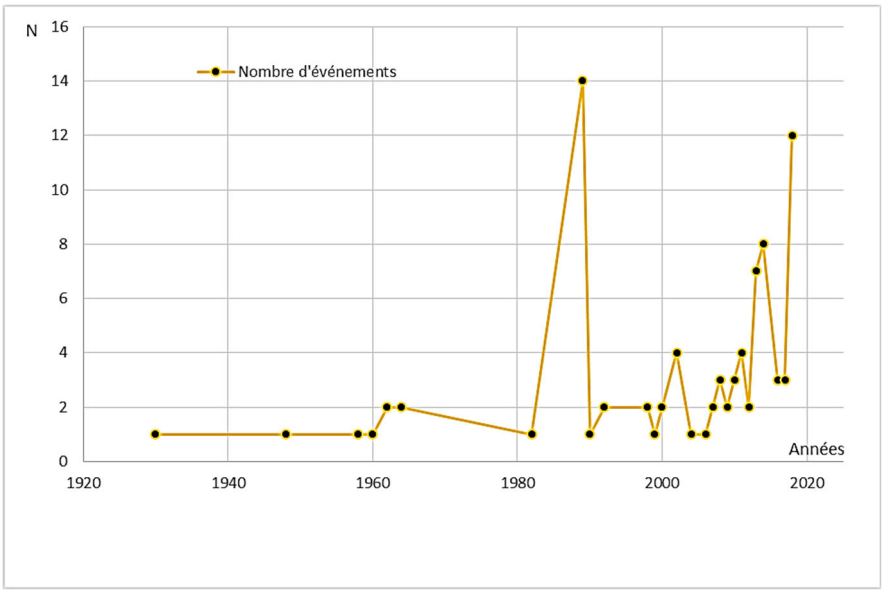


FIGURE 5 : NOMBRE D'EVENEMENTS RECENSES PAR ANNEES DE 1930 A 2018 ENTRE LES PR 6,8 ET 12,5

4.2 - Répartition des événements sur le tracé de la RN 5

La réparation des mouvements recensés est présentée sur les **figures 7 et 8**. Elles montrent que certains tronçons sont plus actifs.

Le pourcentage d'évènements a été calculé par tronçon homogène (tableau 2) tenant compte des options considérées dans le projet d'amélioration de la route.

Les évènements sur les zones à aménager sur place (ASP) représentent 25 % du nombre total.

Les tronçons le plus exposés aux mouvements de terrain (75 % des évènements) correspondent aux voies nouvelles VN. Ces tronçons seront abandonnés.

L'analyse du **nombre d'évènements recensés par hectomètre (N/hm)** montre que :

- Le secteur compris entre les PR 7,3 et 8,2 (projet route digue) est le plus actif (**2,1 N/hm**) ;
- Les « deux coudes » du Grand Détour et Ilet Furcy sont très actifs (**1,9 et 1,5 N/hm)** ;
- Le secteur de la Rampe des Sables est actif (**1,7 N/hm**) ;
- La descente des Aloès est peu active (0,5).

Tronçon	Projet	PR	Linéaire	Nombre	N /hm	Pourcentage
Descente des Aloès	ASP 1	5,8 – 6,9	1,1	6	**0,5**	**7 %**
Les Aloès	ASP 1	6,9 – 7,3	0,4	0	0	0 %
Route digue	VN 1	7,3 - 8,2	0,9	19	**2,1**	**22 %**
Grand Détour	VN 2	8,2 - 9,2	1,0	15	**1,5**	17 %
Ilet Furcy	VN 2	9,2 - 10,8	1,6	30	**1,9**	**35 %**
Ilet Long	ASP 2	10,8 - 11,7	0,9	1	0,1	1 %
Rampe des Sables	ASP 2	11,7 - 12,6	0,9	15	**1,7**	**17 %**

TABLEAU 2 : POURCENTAGES D'EVENEMENTS RECENSES PAR TRONÇONS

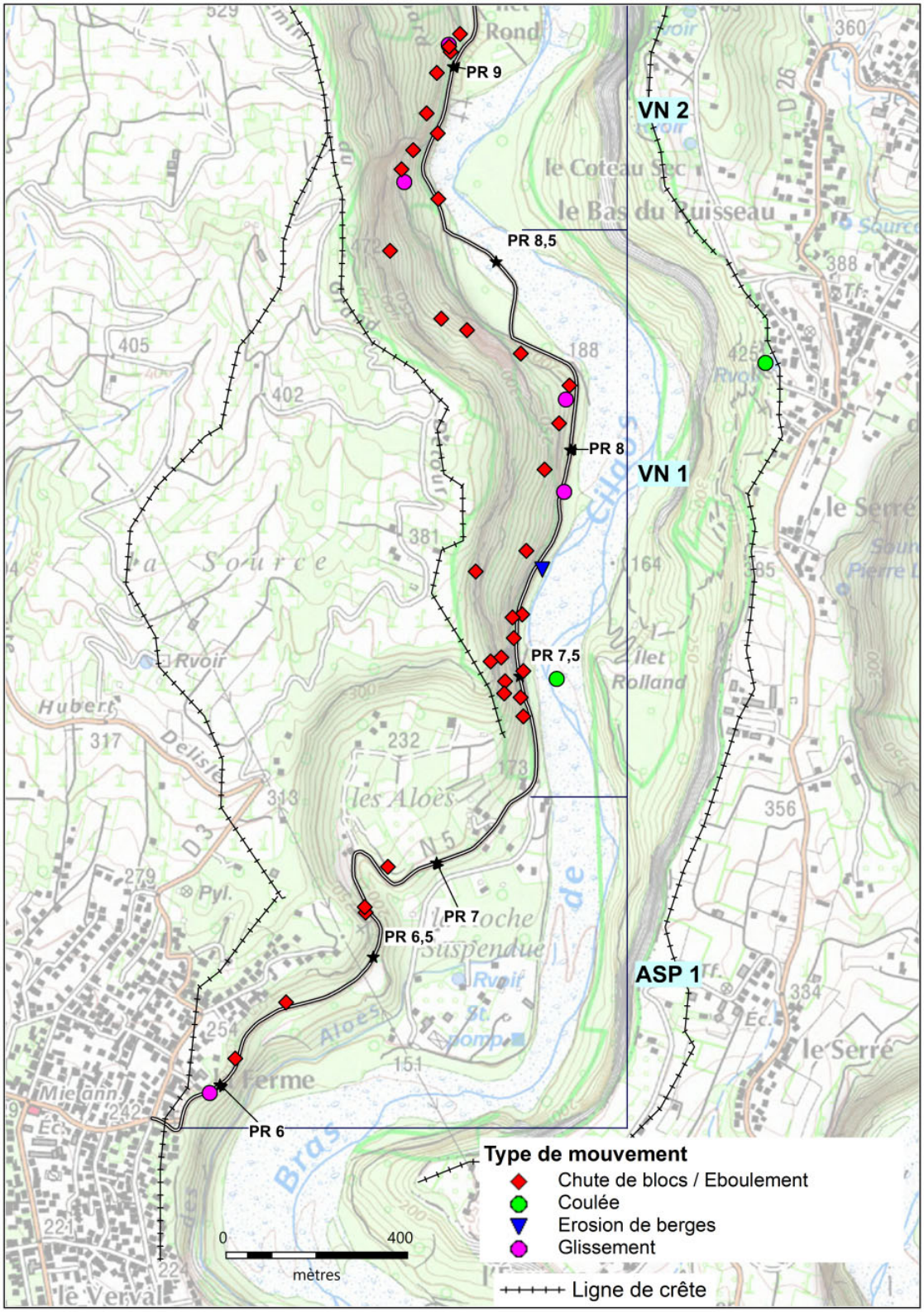


FIGURE 6 : LOCALISATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DU PR5,8 AU PR9,2 (DONNEES BRGM)

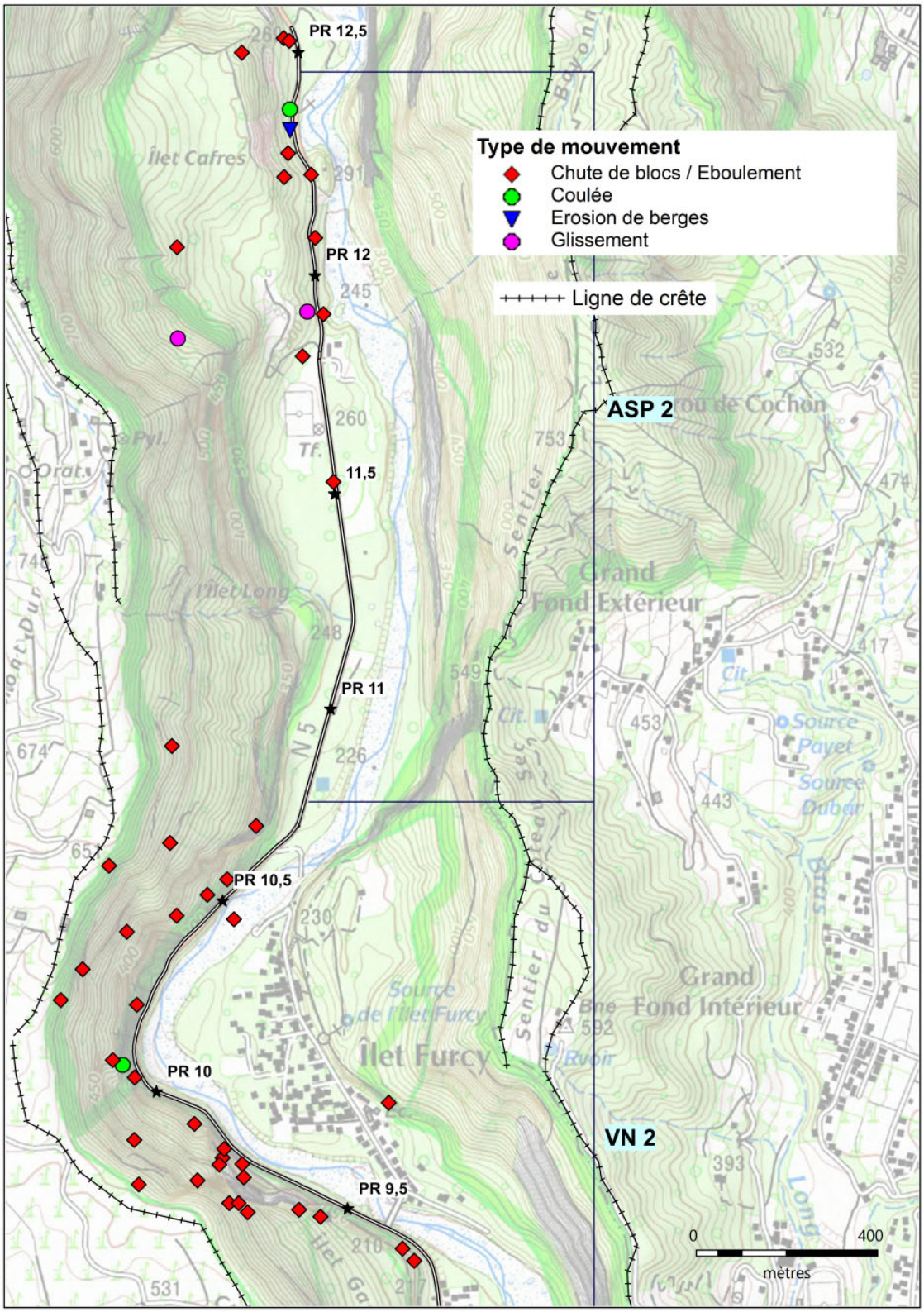


FIGURE 7 : LOCALISATION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DU PR9,2 AU PR12,5 (DONNEES BRGM)

4.3 - Volumes de matériaux mobilisés

Le volume de matériaux mis en mouvement est une donnée importante pour évaluer la menace et les parades à mettre en œuvre. Elle figure dans les rapports d'expertise du BRGM, sous forme d'estimation. En effet, les volumes mobilisés par les mouvements de terrain sont, la plupart du temps, difficile à appréhender. Hormis les éboulements en masse supérieure à plusieurs dizaines de m3 qui recouvrent la chaussée, la plupart du temps, il ne reste que quelques blocs sur la chaussée. La plus grande partie du volume déstabilisé rejoint le bras de Cilaos ou reste piégé dans le rempart.

Quant aux dégâts occasionnés par les chutes de blocs et éboulements, ils concernent principalement la chaussée (« trou » au point d'impact) et le parapet aval de la route s'il existe. Plus récemment, ils détruisent les dispositifs de protection mis en place en amont de la route (écran bois, barrière grillagée). Cette information n'est que peu recensée dans la base de données MVT.

Généralement, on classe les mouvements terrain en fonction du volume mis en jeu, allant du litre à plusieurs milliers de m^3 mais également en fonction de leur mode de propagation, en blocs isolés (chutes de blocs) ou en masse avec des interactions entre blocs (éboulement).

Parmi tous les évènements recensés sur le secteur d'étude, du PR6,8 au PR12,5, l'évènement de plus ampleur connu est l'éboulement survenu au PR8+300, le 26 avril 2002 avec 6 000 m^3.

Date	PR	Volume en m^3	Hauteur de la niche au-dessus de la RN5
24/01/2018	7+400	1000	Ecaille rocheuse ; H = 70 m
10/01/2018	7+700	1000	Eboulement & coulée boue ; H = 200 m
04/07/2000	8+700	1000	Eboulement ; H = 150 m
20/02/2018	9+900	150	Corniche sommitale H = 400 m
27/01/2018	10+200	800	Eboulement ; H = 400 m
26/04/2002	8+300	6000	Eboulement ; H = 170 m

TABLEAU 3 : EXEMPLES DE VOLUMES D'EBOULEMENTS SURVENUS ENTRE LES PR 6,8 ET 12,5

4.4 - Les mouvements de terrain de grande ampleur

La masse effondrée dans le coude rive gauche du bras de Cilaos, en face des Aloès, est le seul vestige de phénomène de grande ampleur sur le secteur d'étude. Ce chaos, situé en dehors de la zone d'étude, met en évidence l'impact de l'érosion du bras de Cilaos sur la stabilité des remparts. Le volume de matériau en jeu lors d'un éboulement en masse peut atteindre 50 000 m^3 (la hauteur du rempart est de 150 m).

PHOTOGRAPHIE 24 : MASSES CHAOTIQUES AU PIED DU REMPART BRECHIQUE DES ALOES (RIVE GAUCHE)

L'éboulement du rempart du Cap Paille en Queue, survenu en 1938, au PR12+850 hors de la zone d'étude, est un évènement historique de référence dans le bras de Cilaos.

Les matériaux éboulés avaient barré le bras de Cilaos, formant une retenue naturelle (**photographie 26**). La route était complètement ensevelie. Les tentatives de déblaiement de la route ont dû être abandonnées à cause de la dangerosité du site. Les travaux ont été stoppés après le 4ème éboulement. Une nouvelle route fut alors construite en rive gauche, sur l'Ilet Alcide, nécessitant la construction de 2 ponts. Mais, les 2 ouvrages furent emportés en 1948 par les crues du bras de Cilaos. En 1950, l'ancienne route fut reconstruite au pied du Paille en Queue dans sa configuration actuelle.

Le volume éboulé a été estimé à partir des dimensions du cône éboulé qui a barré la rivière sur 80 ml de largeur. L'estimation a donné un volume de masse rocheuse de 80 000 m^3 environ, soit un pan rocheux de 8 000 m^2 de surface (100 m de hauteur x 80 m de largeur) sur 10 m d'épaisseur. La niche de l'arrachement intéressait l'escarpement basaltique en pied de rempart qui surplombe la route.

PHOTOGRAPHIE 25 : EBOULEMENT DU CAP PAILLE EN QUEUE EN 1938 (EXTRAIT DU MEMORIAL DE LA REUNION – TOME 5)

5 - DEFINITION DU NIVEAU DE RISQUES

5.1 - – Préambule : Définition du Risque ‘’chutes de masses rocheuses’’

5.1.1 - Documents de références

- Les études spécifiques d’aléas liés aux éboulements rocheux – LCPC, juin 2004,
- Plans de prévention des risques naturels, Risques de mouvements de terrains – Guide méthodologique, 1999,
- Parades contre les instabilités rocheuses – LCPC, mai 2001.

5.1.2 - Introduction

Un risque naturel est issu du croisement de deux composantes :

Aléa résultant X Vulnérabilité = Risque

Le niveau d’aléa résultant est obtenu à partir du croisement entre :

- Un **aléa de rupture** qui est qualifié en paroi et caractérise un compartiment rocheux en place lors de l’étude,
- Un **aléa de propagation** qui caractérise les conditions de propagation des blocs vers l’enjeu.

La vulnérabilité est fonction de la nature de l’enjeu et des dommages potentiels qui pourraient lui être causé en cas d’atteinte par une trajectoire de blocs.

5.1.3 - Définition de l’Aléa de rupture

Le niveau **d’aléa de rupture** concerne ici un phénomène naturel rocheux répertorié par **classe**. On le définit à partir de la conjonction entre **l’occurrence** de déclenchement du phénomène et le **délai** dans lequel le phénomène peut se produire. Il est défini à la date de l’étude.

La classe du phénomène rocheux est représentée par des familles d’instabilités caractérisant les volumes des matériaux mis en jeux lors du départ du compartiment rocheux, ainsi que le volume unitaire des blocs produits. Les classes sont définies conformément à la grille suivante :

Classe	Description
Les chutes de pierres	Concernent des volumes unitaires inférieurs à 10 litres
Les chutes de blocs	Concernent des éléments isolés d’un volume variant de quelques fractions de mètre cube à plusieurs mètres cube. Dans le cas de formations massives, on peut avoir des blocs dépassant des volumes de 50 m³
Les éboulements en masse limitée	Le volume total de la masse en cause est inférieur à quelques centaines de mètres cube
Les éboulements en masse	Le volume total de la masse en cause peut atteindre et dépasser le millier de mètres cube

TABLEAU 4 : DEFINITION DE LA CLASSE DU PHENOMENE ROCHEUX

L'occurrence est définie à la date de l'étude et concerne une probabilité de déclenchement du phénomène considéré, induit par les facteurs déterminants mesurés sur site. On distingue :

Occurrence	Facteurs déterminants	
Très faible	Aucun facteur déterminant n'est formellement reconnu sur site	Occurrence du phénomène exceptionnelle, non-occurrence du phénomène normale
Faible	Les facteurs déterminants reconnus sur le site sont soit diffus, soit minoritaires	La non-occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence
Moyenne	Tous les facteurs déterminants, sauf un, sont reconnus sur le site. Le facteur non répertorié peut apparaître dans le temps.	L'occurrence du phénomène est équivalente à sa non-occurrence
Elevé	Tous les facteurs déterminants sont reconnus sur le site	L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non-occurrence
Très élevé	Tous les facteurs déterminants sont reconnus sur site avec des signes d'évolution active	La non-occurrence est exceptionnelle, l'occurrence du phénomène normale

TABLEAU 5 : DEFINITION DE L'OCCURRENCE DE DECLENCHEMENT DU PHENOMENE ROCHEUX

Les facteurs déterminants, pour l'étude d'un compartiment rocheux particulier, concernent sa géométrie (et notamment la position de son centre de gravité par rapport au point de basculement), son niveau de fracturation, des données structurales telles que le pendage de la surface de décollement potentielle, le mécanisme de rupture envisagé mais aussi l'exposition aux intempéries de la zone étudiée, la présence de végétation déstabilisante.

Le délai à l'intérieur duquel le phénomène a une probabilité considérée de se produire est définit ainsi :

Délai	Notation	Description
Long terme	**lt**	Supérieur à 30 ans
Moyen terme	**mt**	De l'ordre de 10 à 30 ans
Court terme	**ct**	De l'ordre de 1 à 10 ans
Imminent	**i**	Le délai est suffisamment court pour imposer des mesures immédiates

TABLEAU 6 : DEFINITION DU DELAIS DANS LEQUEL LE PHENOMENE ROCHEUX PEUT SE PRODUIRE

Nb : le délai à long terme caractérise la dérive maximale pour laquelle l'aléa est qualifiable. Les délais sont des appréciations qui peuvent être sensiblement modifiées par des phénomènes naturels imprévisibles (événement climatiques, incendies, séismes…).

Le niveau d'aléa de rupture pour une classe de phénomène rocheux est exprimé suivant cinq niveaux issus des combinaisons des tableaux détaillés ci-avant :

		OCCURENCE				
		Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible	Très faible
	Imminent	Aléa très élevé	Aléa très élevé			
	Court terme	Aléa très élevé	Aléa élevé	Aléa moyen	Aléa moyen	Aléa faible
	Moyen terme	Aléa élevé	Aléa moyen	Aléa moyen	Aléa faible	Aléa très faible
	Long terme	Aléa moyen	Aléa moyen	Aléa faible	Aléa très faible	

TABLEAU 7 : DEFINITION DU NIVEAU D'ALEA DE RUPTURE

5.1.4 - Définition de l'aléa de propagation

L'aléa de propagation caractérise la probabilité d'atteinte de l'enjeu lors de la propagation des éléments rocheux. Il tient compte de la topographie du site et de la proximité de l'enjeu par rapport à la zone de départ de blocs. Sa définition est la conséquence des résultats de la trajectographie ou d'un dire d'expert, sans trajectographie :

	Aléa de propagation ''à dire d'expert''
Très faible	L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire semble quasiment exclue
Faible	L'atteindre l'enjeu par une trajectoire serait considérée comme exceptionnelle
Moyen	L'atteinte de l'enjeu est envisageable
Elevé	L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire est très probable
Très élevé	L'atteinte de l'enjeu par une trajectoire est quasiment garantie

	Aléa de propagation par trajectographie Rockyfor3D[1]
Très faible	Reach Probability de 1 à 1,5 %
Faible	Reach Probability de 1,5 à 2 %
Moyen	Reach Probability de 2 à 5 %
Elevé	Reach Probability de 5 à 10 %
Très élevé	Reach Probability supérieure à 10 %

TABLEAU 8 : DEFINITION DE L'ALEA DE PROPAGATION

La définition des zones d'aléa par trajectographie est valable pour des trajectoires ponctuelles (bloc isolé dont la propagation est indépendante d'autres blocs = pas de contact ni d'interactions entre les blocs). Cette définition des aléas de propagation ne prend pas usuellement en compte les phénomènes d'éboulements en masse qui modifient les conditions de propagation des blocs.

Les niveaux d'aléas résultants des calculs de trajectographie sont en générale appliqués de façon synthétique à un secteur d'étude et sont donc représentatifs du comportement de partie de versant ou de falaises vis-à-vis des enjeux situés à l'aval.

5.1.5 - Définition de l'aléa résultant

Issu du croisement entre l'aléa de rupture et l'aléa de propagation, il sera caractérisé par cinq niveaux d'intensité :

		Aléa de propagation				
		Très élevé	Elevé	Moyen	Faible	Très faible
Aléa au de rupture	Très élevé	**Aléa très élevé**	**Aléa très élevé**	**Aléa élevé**	**Aléa moyen**	**Aléa très faible**
	Elevé	**Aléa très élevé**	**Aléa élevé**	**Aléa élevé**	**Aléa moyen**	**Aléa très faible**
	Moyen	**Aléa élevé**	**Aléa élevé**	**Aléa moyen**	**Aléa faible**	**Aléa très faible**
	Faible	**Aléa moyen**	**Aléa moyen**	**Aléa faible**	**Aléa faible**	**Aléa très faible**
	Très faible	**Aléa moyen**	**Aléa faible**	**Aléa faible**	**Aléa très faible**	

TABLEAU 9 : DEFINITION DE L'ALEA RESULTANT

---

[1] Sources spécifiques liées à l'utilisation du logiciel RockyFor3D :
Comparaison des simulations de chutes de blocs de type Monte-Carlo avec des témoins silencieux récents pour déterminer des zones de propagation réalistes, Dorren 2018
Rockyfor3D – FAQ explained, Dorren 2013
Comparing the 3D rockfall simulation models Rockyfor3D and RAMMS

5.1.6 - La vulnérabilité

Le niveau de **vulnérabilité** exprime le niveau de conséquences prévisibles du phénomène naturel sur les enjeux. La vulnérabilité concerne ici les dommages potentiels subis par les enjeux en cas d'atteinte par un bloc, en fonction de la classe de l'instabilité. Les enjeux susceptibles d'être touchés par des trajectoires de blocs sont de natures différentes, on distingue :

- les bâtiments et les infrastructures diverses (maisons individuels, lotissement, immeubles, réseaux divers…),
- les routes (la chaussée et les véhicules),
- les personnes (ce cas de figure est pris en compte quand des personnes peuvent être directement exposées aux trajectoires, dépendant donc du positionnement au sol du cheminement et de la durée d'exposition allant d'un passage ponctuel à un stationnement permanent).

Inspirée des pratiques de pays Anglo-Saxons et Européens et adaptée selon l'expérience IMSRN la vulnérabilité peut être exprimée suivant quatre niveaux d'intensité :

Conséquences sur les enjeux			Vulnérabilité
Routes	**Bâtiments et infrastructures**	**Personnes**	
Le phénomène conduirait à des dégâts limités (endommagement léger de la structure de la route, impact de faible intensité sur une partie d'un véhicule). Pas des coupures de route à prévoir.	Endommagement de toitures, impact de mur ou d'une partie de la structure sans perforation.	Passage ponctuel **à fréquence annuelle** sous une zone concernée par des phénomènes de chutes de pierres et de blocs, **sans stationnement**	**Limitée**
Le phénomène conduirait à l'endommagement partiel du véhicule par percussion sans destruction : cas d'un impact latéral par exemple. Il peut conduire à la coupure ponctuelle d'un axe routier par dégradation de la chaussée.	Percussion avec destruction d'une petite partie du bâtiment ou de l'infrastructure (perforation du toit ou du mur par exemple). Il peut conduire à la mise hors service ponctuelle d'une infrastructure.	Passage ponctuel **à fréquence mensuelle ou hebdomadaire** sous une zone concernée par des phénomènes de chutes de pierres et de blocs, **sans stationnement**	**Modérée**
Mêmes caractéristiques que précédemment, mais cas de figure d'un impact vertical sur un véhicule avec des dommages plus importants. Endommagement grave de la chaussée avec fermeture temporaire de la route.	Destruction ou écrasement complet ou en grande partie de bâtiments, impacts multiples de pierres ou de blocs sur un mur avec perforation certaine. Mise hors service temporaire d'une infrastructure.	**Stationnement** sous une zone exposée à des chutes de pierres et de blocs durant une période de l'ordre du mois = cas de figure d'un chantier	**Importante**
Le phénomène conduirait à la destruction de l'enjeu (destruction ou écrasement complet du véhicule, impacts multiples de blocs ou destruction complète de la structure de la route). Le phénomène implique une fermeture totale sur une longue période.	Le phénomène conduirait à la destruction de l'enjeu ou de l'infrastructure et concerne plusieurs bâtiments (plusieurs parcelles) ou des constructions à forte densité de population (immeubles…).	**Stationnement permanent** sous une zone exposée à des chutes de pierres et de blocs = cas de figure d'un site touristique, d'un passage urbain …	**Très importante**

TABLEAU 10 : DEFINITION DE LA VULNERABILITE

La définition de la vulnérabilité relève traditionnellement de la Maitrise d'Ouvrage (ou de la Maitrise d'Œuvre générale) qui maitrise l'ensemble des contraintes liées au projet (intérêt économique, fréquentation, autres risques à prendre en compte…).

A ce stade, la vulnérabilité n'a pas été prise en compte dans cette étude spécifique MC2. Elle sera intégrée à l'avancement des études de maitrise d'œuvre générale.

L'analyse s'arrête ici à la définition de l'aléa résultant.

5.1.7 - **Définition du risque**

Le niveau de risque est déterminé par croisement entre la vulnérabilité et le niveau d'aléa résultant et exprimé suivant cinq niveaux d'intensité :

		Aléa résultant				
		Très élevé	Elevé	Moyen	Faible	Très faible
Vulnérabilité	Très Importante	Risque très élevé	Risque très élevé	Risque élevé	Risque moyen	Risque faible
	Importante	Risque élevé	Risque élevé	Risque moyen	Risque moyen	Risque faible
	Modérée	Risque élevé	Risque moyen	Risque moyen	Risque faible	Risque très faible
	Limitée	Risque moyen	Risque moyen	Risque faible	Risque très faible	

TABLEAU 11 : DEFINITION DU RISQUE

5.2 - Analyse par secteur

On présente en **Annexe 1** les fiches détaillées d'analyse par secteur, qui définissent pour chaque zone homogène :

- Morphologie,
- Géologie,
- Historique des mouvements de terrains,
- Planches photographiques.

Le tracé est découpé en 7 secteurs, répartis en 7 Annexes au présent rapport :

- ASP1 : Descente des Aloès – PR 6+000 à PR 7+200 : **Annexe 1-1**
- VN1 : Route Digue – PR 7+200 à 8+200 : **Annexe 1-2**
- VN2 : Grand détour / Bas du ruisseau – PR8+200 à 9+000 : **Annexe 1-3**
- VN2 : Ilet Rond – PR9+000 à 9+500 : **Annexe 1-4**
- VN2 : Ilet Furcy – PR9+500 à 11+200 : **Annexe 1-5**
- ASP2 : Ilet Long – PR10+800 à 11+800 : **Annexe 1-6**
- ASP2 : Ilet Cafres et Rampe des sables – PR11+800 à 12+200 : **Annexe 1-7.**

5.3 - Définition de l'aléa de rupture

Les phénomènes étudiés ici sont les chutes de pierres, les chutes de blocs et les éboulements en masse limitée.

Les éboulements de grande ampleur sont discutés spécifiquement au chapitre 6.

Dans une approche traditionnelle, telle que celle proposée par le LCPC (2004), un l'aléa de rupture est estimé pour chaque source potentielle d'instabilité. Cependant, compte tenu du très grand nombre de sources potentielles sur chaque secteur et du recouvrement des zones d'influence de chaque source potentielle, un aléa de rupture global est estimé pour chaque secteur. Celui-ci tient compte du nombre de sources potentielles présentes dans le secteur, de leur taille et de leur niveau d'activité.

5.3.1 - Les chutes de pierres

Le phénomène **de chutes de pierres** est généralisé à l'ensemble du versant. On observe assez régulièrement des pierres isolées et des zones de départ dispersées dans le versant. Les volumes mis en jeu sont très variables ; il peut s'agir de pierres isolées de quelques litres à des amas de petits blocs pouvant atteindre plusieurs centaines de litres.

Compte tenu de l'importance de la végétation dans les talus, cet aléa passe quasi-inaperçu dans les parties courantes (VN2 Grand Détour photographies 11, 12, VN2 Ilet Long photographies 17, 18, 20, 22). Par contre, il est jugé **Très Elevé** (occurrence très élevé à court terme)**,** particulièrement sur les portions où les éperons rocheux se trouvent directement en amont de la route, car les falaises y sont raides et parfois peu végétalisées (ASP1 photographies 10, 11).

Il ne s'agit pas de la classe de phénomène représentative du phénomène de chute de masse rocheuse à l'échelle du secteur d'étude.

5.3.1.1 - Les chutes de blocs et les éboulements en masse limitée

A l'échelle du tracé, l'aléa **chute de blocs et l'éboulement en masse limitée** sera considéré comme l'évènement dimensionnant. On parlera ici de compartiments rocheux pouvant produire des blocs isolés atteignant quelques mètres cubes, pour le volume se propageant vers les enjeux. Il peut s'agir aussi de masses rocheuses plus importantes pouvant, après rupture et fragmentation, produire une quantité limitée de blocs de tailles variables.

L'analyse de l'historique et les reconnaissances de terrain révèlent une portion globalement très active. On observe tout le long du linéaire de nombreuses cicatrices d'éboulement en falaise et couloirs de propagation au sein de la végétation, à la fois en Rive Droite et en Rive Gauche (VN1 photographies 14, 15, VN2 Ilet Furcy photographie 5, 8, 11, 14, ASP2 Ilet Long photographie 8, 9, 10, 11).

Certains blocs métriques sont arrêtés dans la pente (ASP1 photographies 14, VN2 Grand Détour photographies 11, 12, VN2 Ilet Long photographies 14, 16, 17, 20) et pourraient être remis en mouvement à la faveur de la chute de blocs provenant de l'amont (cas d'un sur-éboulement).

A l'affleurement, le rocher présente des fractures ouvertes qui isolent des blocs métrique (ASP2 Ilet Long photographies 8, 9, 14, 15, 16, 17, 20). Des blocs pluri-métriques sont également observés en tête de rempart Rive Droite au niveau des coulées massives épaisses de la **Série différenciée** (âge < 350 000 ans) : **PDN4** (ASP1 photographies 10, 11, 20, 22, VN1 photographies 4, 13, 17, 18, 20 à 29, VN2 Grand Détour photographies 1, 4, 9, 13,16, VN2 Ilet Long photographies 21, 23, ASP2 Rampe des Sables photographies 5, 6, 7, 8, 9, 10).

On trouve localement des blocs affouillés en pied au niveau des brèches inter-coulées plus tendre (ASP1 photographies 15, 16, VN1 photographies 23, 24).

Les zones présentant les aléas de rupture les plus élevé sont associées aux bancs de basaltes en forte pente (cas des blocs arrêtés dans la pente mis à part). L'analyse de la carte des pentes issue du relevé LiDAR effectué par Sintégra fin 2018 permet de faire correspondre ces zones avec les secteurs présentant une pente supérieure à 60° (Cf. carte jointe en annexe 2).

L'aléa de rupture en Rive Droite est qualifié de **Très Elevé** des PR7+200 au 12+200. Entre le PR6+000 et 7+200, la hauteur des falaises surplombant la RN5 en Rive Droite est moindre, l'aléa de rupture y est qualifié d'**Elevé** (ASP1 photographies 1, 2, 4, 5, 6, 13).

La taille unitaire des blocs indiquée le plus couramment dans les données historiques transmises est de l'ordre de 1 à 3m^3.

La valeur maximale enregistrée est de l'ordre de 8m^3 au PR10+960 le 22 août 2016 (voir Annexe 1.5 VN2 Ilet Furcy paragraphe 1.3). D'après les informations transmises par les services de la Région et l'entreprise en charge du marché de travaux, ce bloc avait été purgé manuellement par les cordistes intervenant pour la sécurisation de la niche d'arrachement après un premier éboulement d'une centaine de m^3.

Il correspond au volume unitaire après fragmentation estimé au niveau des coulées massives épaisses.

En rive gauche, peu de données historiques sont disponibles sur l'activité du rempart.

D'un point de vue géologique, on ne trouve pas les formations de la **Série différenciée** (âge < 350 000 ans) : **PDN4** et ses coulées massives épaisses particulièrement actives sur le haut du rempart rive droite.

L'aléa de rupture sera considéré **Elevé** au niveau des zones présentant une pente supérieure à 60° sur l'ensemble de la Rive Gauche.

La blocométrie des masses pouvant y être mise en mouvement est également inférieure à celle observée en Rive Droite. Elle est estimée en Rive Gauche à 2m^3 (VN2 Ilet Rond photographies 1, 2, 10, VN2 Ilet Furcy photographies 7, 8, 14, 16 à 19).

De manière synthétique, on retiendra :

Sections		**Observations**	**Classification**
ASP1	Rive Droite	Fracturation / Affouillement / Blocs dans la pente	Elevé
	Rive Gauche	-	-
VN1	Rive Droite	Cicatrices d'évènements anciens / Fracturation / Affouillement / Blocs dans la pente	Très Elevé
	Rive Gauche	Cicatrices d'évènements anciens / Fracturation / Blocs dans la pente	Elevé
VN2	Rive Droite	Cicatrices d'évènements anciens / Fracturation / Affouillement / Blocs dans la pente	Très Elevé
	Rive Gauche	Cicatrices d'évènements anciens / Fracturation / Affouillement	Elevé
ASP2	Rive Droite	Cicatrices d'évènements anciens / Fracturation / Affouillement / Blocs dans la pente	Très Elevé
	Rive Gauche	Cicatrices d'évènements anciens / Fracturation / Affouillement	Elevé

5.4 - Définition de l'aléa de propagation

Les modélisations sont effectuées avec le logiciel Rockyfor3D (RF3D) Version 5.2.

La description complète du modèle 3D de chutes de blocs est disponible au téléchargement :

- https://www.ecorisq.org/docs/Rf3D_v5_1_FR.pdf.
- https://www.ecorisq.org/docs/Rockyfor3D_v5_2_EN.pdf.

Les hypothèses retenues pour les modélisations sont les suivantes :

- 4 catégories de sol, auxquels correspondent les paramètres donnés dans le tableau ci-dessous (la carte des types de sol est placée en **Annexe 3**).

	Gamme de variation de Rn	Rugosité			Photo type
		Rg70	Rg20	Rg10	
1 - Roche mère **(pente supérieure à 60°)**	0.48-0.58	0 cm	0 cm	5 cm	
2 - Roche mère avec couvert fin de matériaux **(pente comprise entre 30° et 60°)**	0.39-0.47	0 cm	5 cm	20 cm	
3 - Eboulis grossier ou sol compacté avec présence de pierres **(pente comprise entre 0° et 30°)**	0.34-0.42	5 cm	10 cm	30 cm	
4 - Alluvions **(lit majeur du Bras de Cilaos)**	0.25-0.31	3 cm	5 cm	5 cm	

- Fond de plan utilisé : Relevé LiDAR des remparts rive droite et rive gauche entre les PR6 et 12+200, SINTEGRA Novembre 2018.
- Résolution du MNT : 2 m (conformément aux recommandations du manuel d'utilisation du logiciel version française page 2).
- Nombre de trajectoires modélisées : 100 par cellule de départ
- Volume du bloc type : 8 m^3 en rive droite, 2 m^3 en rive gauche ; densité 3 000 $kg.m^{-3}$; bloc parallélépipédique.
- Hauteur de départ : 0 m, Pas de vitesse initiale,
- Variation de volume des blocs : interdite.

Nombre de simulations : 16 623 300.

L'effet de la végétation n'est pas pris en compte. L'évènement caractéristique pris en compte est le cas d'un éboulement de blocs isolés successifs ou provenant d'éboulement en masse limité de plusieurs dizaines de m3, la végétation étant détruite lors de la propagation.

Le choix des paramètres a été réalisé après une étude de sensibilité et par comparaison aux évènements historique au PR7+700, PR8+800 le 03/01/2014, PR9+600 le 13/09/2010, PR10+690 le 22/08/2016 en Rive Droite et PR9+200 le 23/02/2018, PR9+600 en Rive Gauche.

Les catégories de sol prises en compte pour les modélisations sont basées sur des caractéristiques de surfaces et sont réalisées à l'échelle de la zone de propagation. Aussi, elles peuvent être localement différentes des cartes géologiques et ne pas prendre en compte de caractéristiques locale relevant de la microtopographie. L'Annexe 3 présente la carte des types de sol pris en compte pour les modélisations.

L'Annexe 4 présente la carte des Probabilités d'atteintes calculées sur l'ensemble du secteur d'étude (rive droite et rive gauche).

Remarque 1 : Des calculs préalables ont été menés l'ensemble du linéaire en traitant séparément la propagation depuis la rive droite et depuis la rive gauche. Ces calculs préliminaires ne révèlent que quelques zones de superposition ponctuelles dans des zones de reach probability Très Faible. L'effet lié au recouvrement des zones de propagation est donc marginal et peut être négligé (il y a une distinction entre des protections à mettre en œuvre à gauche et les protections à mettre à droite). Les calculs de la carte finale présentée en Annexe 4 ont ensuite été réalisés sur l'ensemble du secteur, rive droite et rive gauche en même temps.

Remarque 2 : Sur le mode de prise en compte des écrans de protections dans les calculs trajectographiques :
Lorsque les blocs dépassent la hauteur de l'écran de protection : les blocs simulés le lob et continuent leur trajectoire au-delà de l'écran vers l'aval.
Lorsque les blocs dépassent la capacité énergétique de l'écran : ils continuent leur trajectoire au-delà de l'écran vers l'aval avec une énergie diminuée de la capacité de l'écran.

5.5 - Définition de l'aléa résultant

L'aléa résultant retenu est issu du croisement de l'aléa de rupture et de l'aléa de propagation.

On obtient le long du tracé un niveau d'aléa pour des blocs provenant de la rive droite ou de la rive gauche.

Les résultats présentés en **Annexe 5 – Atlas des aléas résultants**.

5.6 - Nature des enjeux / Vulnérabilité

Le niveau de risque est déterminé par croisement entre le niveau d'aléa résultant et la vulnérabilité.

Il convient de rappeler que la définition de la vulnérabilité relève traditionnellement de la Maitrise d'ouvrage (ou de la Maitrise d'œuvre générale) qui maitrise l'ensemble des contraintes liées au projet (intérêt économique, fréquentation, autres risques à prendre en compte…).

A ce stade, la vulnérabilité n'a pas été prise en compte dans cette étude spécifique MC2. Elle sera intégrée à l'avancement des études de maitrise d'œuvre générale. L'analyse s'arrête ici à la définition de l'aléa résultant.

5.7 - Analyse des aléas résultants tracé RN5 actuel / projet – Parades

5.7.1 - TRACE APSIQ 2010

Le tracé étudié ici est le tracé issu des études antérieures APSIQ de 2010. Les pièces graphiques l'illustrant sont placées en Annexe 6.

5.7.2 - ASP1 (PR6+000 à 7+200)

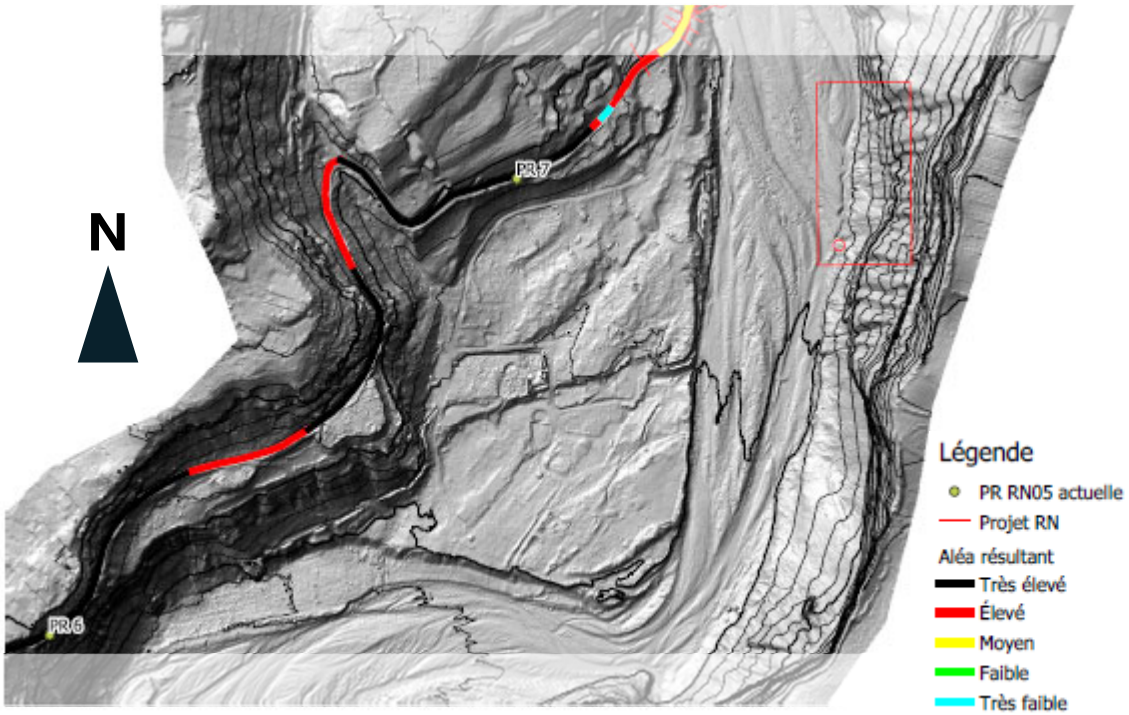


FIGURE 8 : ALÉAS RÉSULTANT RN5 / TRACÉ APS ASP1

Au niveau de l'ASP1 (PR6+000 à 7+200), l'aléa résultant est Elevé à Très Elevé.

Des confortements actifs en falaise étaient prévus au niveau APSI pour abaisser le niveau de risque.

Ils consistaient principalement :

- en la réalisation de confortement actifs en paroi avec la mise en place de grillage de protection de falaise: 1500 m2 au PR6, 4500m2 au PR6+400,
- des travaux de déblais et remblai dans le cadre de l'aménagement de la plateforme routière. Ils ne seront pas traités ici.

La fracturation des masses rocheuses au niveau des ressauts rocheux qui surplombent directement la chaussée au PR6 et 6+400 libère des masses métriques. De telles masses sans confortements complémentaires dépasseraient très probablement la capacité des nappes de grillage double torsion traditionnelle et arriveraient sur la route. Nous préconiserons donc ici l'emploi de filet métallique plaqué, de type ASM ou équivalent, associé à des ancrages de confortement.

La dévégétalisation des portions verticales de falaises avec un retrait de quelques mètres en crête sera requis au préalable.

5.7.3 - **VN1 (PR7+200 à 8+200)**

Au niveau de la VN1, l'aléa résultant passe de globalement Très Elevé (il est variable entre Elevé à Très Elevé) selon le PR) à globalement Elevé (variable de Moyen à Elevé selon le PR considéré).

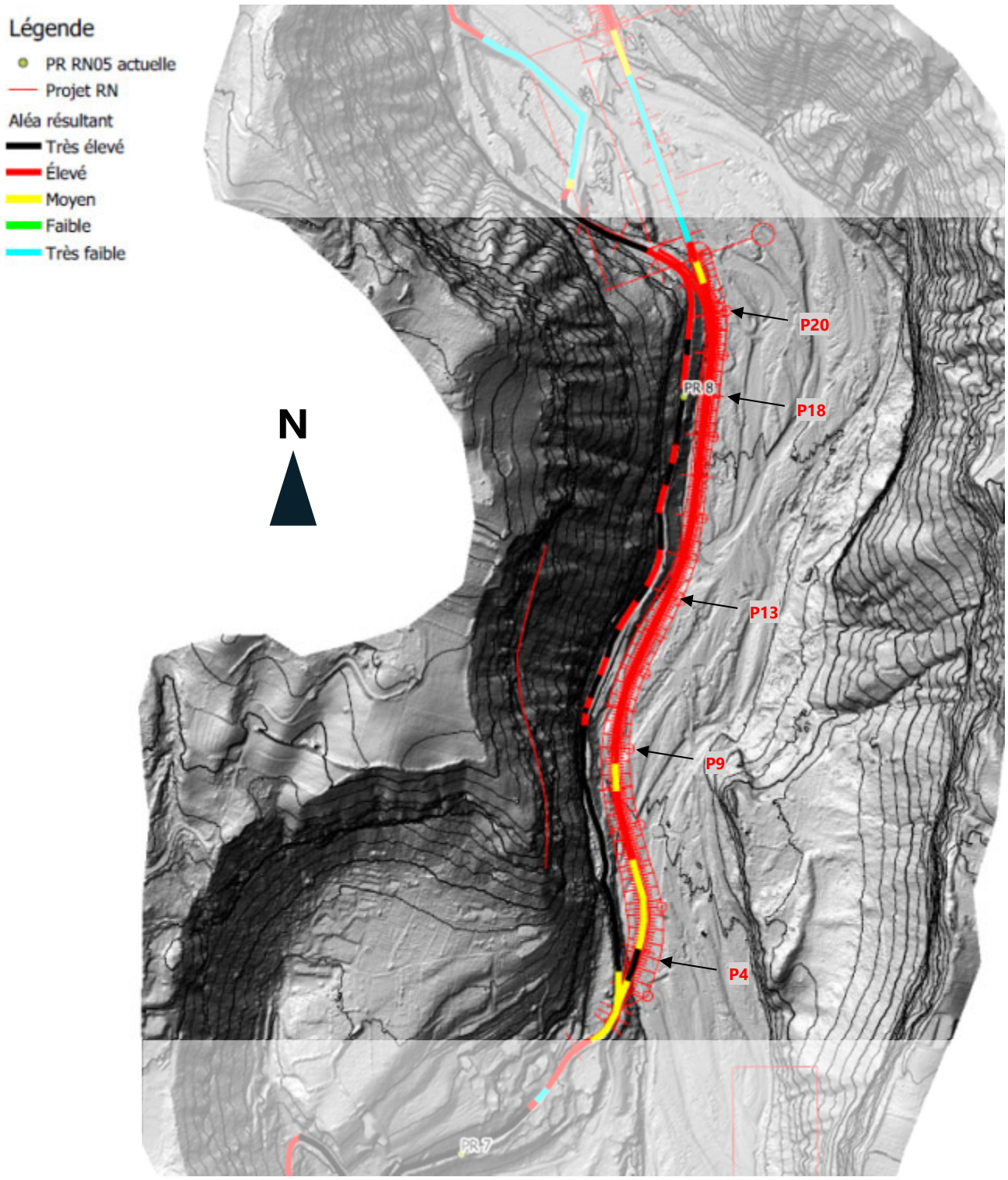


FIGURE 9 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS VN1

Les modélisations faites au niveau du tracé de la RN5 actuelle révèlent des énergies et hauteurs de passages importantes.

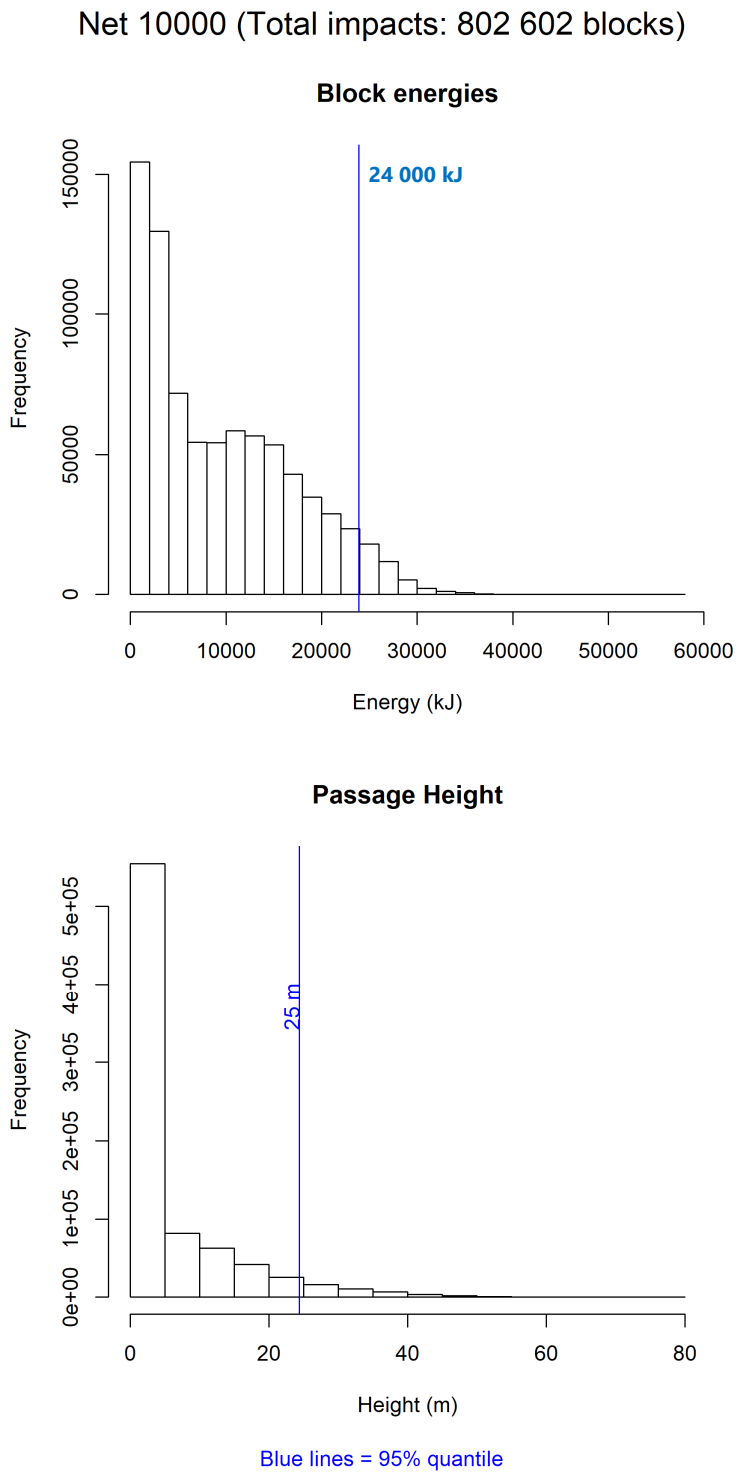


FIGURE 10 : ÉNERGIES ET HAUTEURS DE PASSAGES MESUREES SUR LA ROUTE ACTUELLE

L'éloignement du pied de falaise prévu au stade APS permet de largement diminuer ces valeurs au niveau du tracé projet (voir ci-dessous les hauteurs de passage (/TN issu du LIDAR) et les énergies au droit du tracé projet).

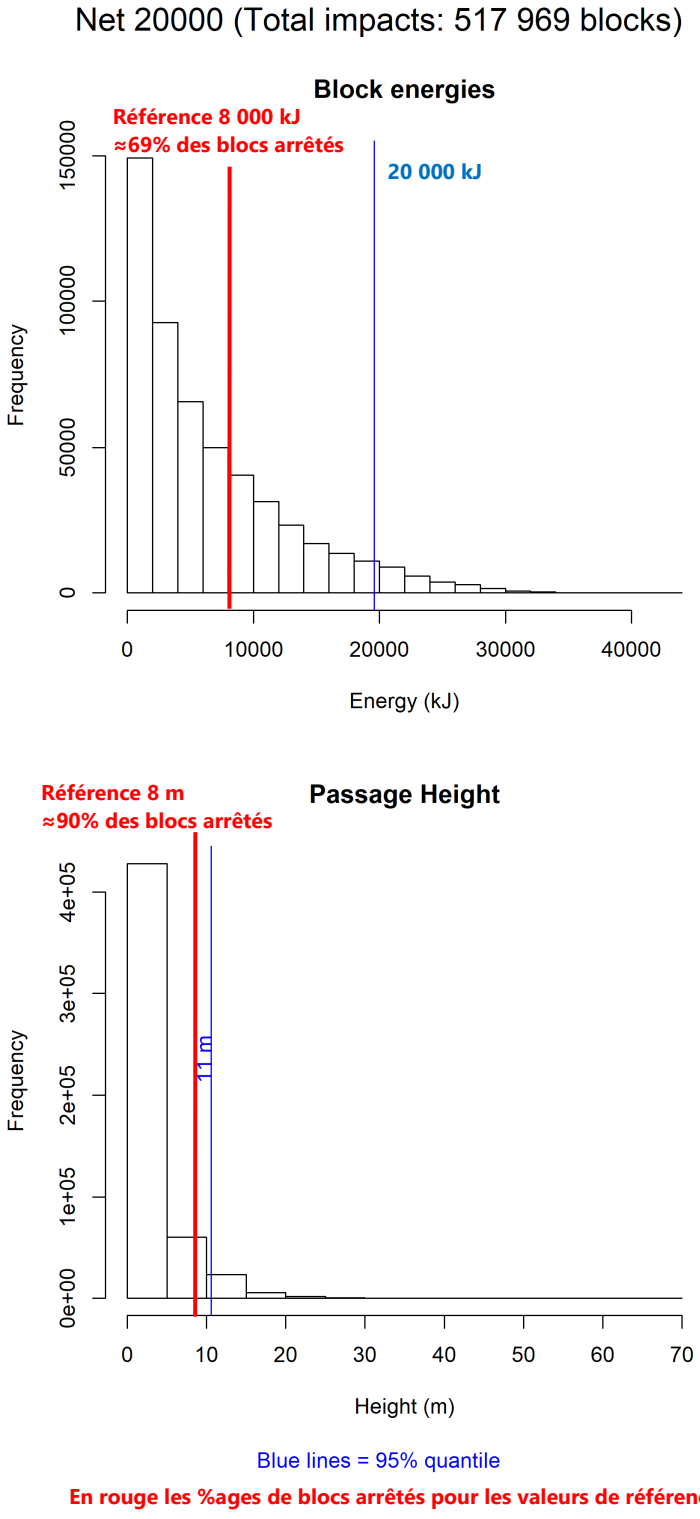


FIGURE 11 : ÉNERGIES ET HAUTEURS DE PASSAGE A L'EMPLACEMENT DU PROJET DE ROUTE-DIGUE

Le tracé APS prévoit également sur la portion amont rive droite du projet, le déblaiement de la route actuelle entre les P9 et P20 (notation APS) sur une hauteur comprise entre 4 et 7 m afin de créer un piège à caillou (les pièces graphiques APS et les profils de références sont placés en Annexe 6).

La modélisation de la propagation des blocs après la création d'un déblai de 7 m de hauteur entre les P9 et P20 a été réalisée afin d'évaluer l'effet du décaissement amont.

Compte tenu de l'incertitude liée au type de sol qui seront mis à nu lors du terrassement (alluvions, éboulis rocher altéré, roche mère…). L'hypothèse « intermédiaire » avec un sol type 2 Roche mère avec couvert fin de matériaux dans le talus de déblais et un sol type 3 Eboulis grossier ou sol compacté dans le piège à caillou a été retenu. L'effet favorable des alluvions n'est donc localement plus pris compte.

Ces paramètres pourront être affinés à l'aide de sondage lors des études ultérieures ou à l'avancement des travaux de terrassement en cours de chantier.

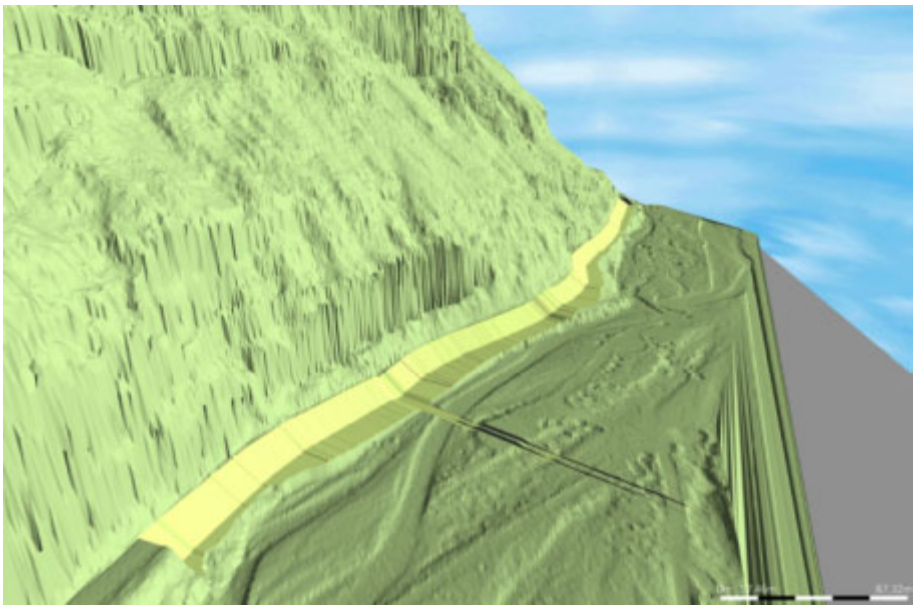


FIGURE 12 : DECAISSEMENT -7M ENTRE P9 ET P20 - MNT MODIFIE

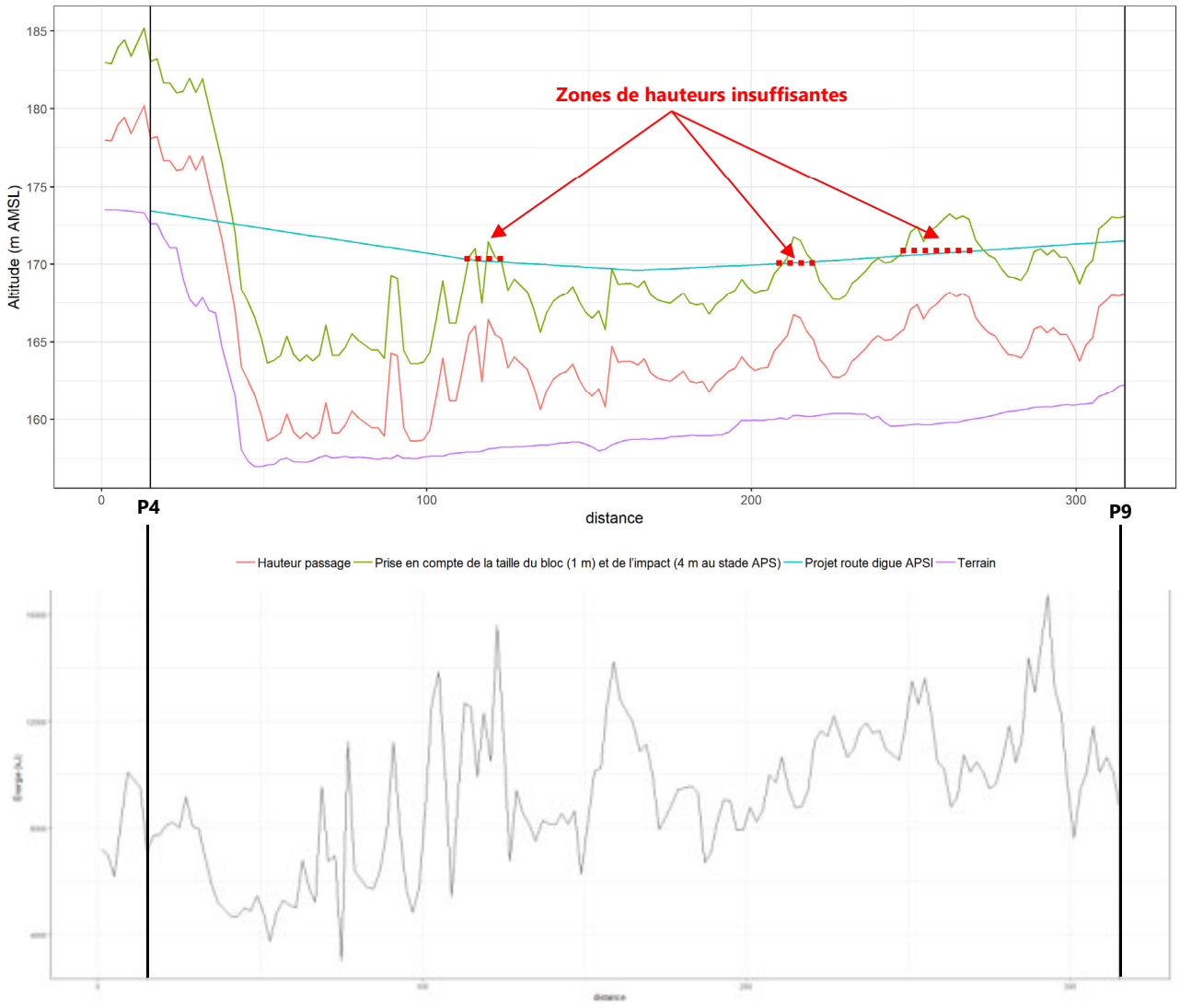
L'impact d'un tel terrassement sur la hauteur et l'énergie des blocs se propageant jusqu'au tracé projet est globalement favorable. Il est présenté sur la Figure 13.

On notera localement quelques zones ponctuelles où les hauteurs avec décaissement sont plus importantes, comme au PR18 par exemple.

FIGURE 13 : ÉNERGIES ET HAUTEURS DE PASSAGE AVEC ET SANS DECAISSEMENT (-7M) ENTRE P9 ET P20

La Figure 14 présente ensuite, le long du bord amont du tracé en long projeté, le détail des altitudes de passage des blocs et de l'altitude de la plateforme projeté en APS (avec prise en compte d'un déblai de 7 m des P9 au P20).

La hauteur de passage déterminée par le logiciel RF3D considère le centre de gravité bloc, cette valeur devra être majorée de 1 m pour prendre en compte un bloc de référence de 8 m^3. En première approche, une majoration de 4 m est également prise en compte pour la stabilité du remblai à l'impact. **Cette valeur devra être précisée dans le cadre des phases ultérieures du projet.**



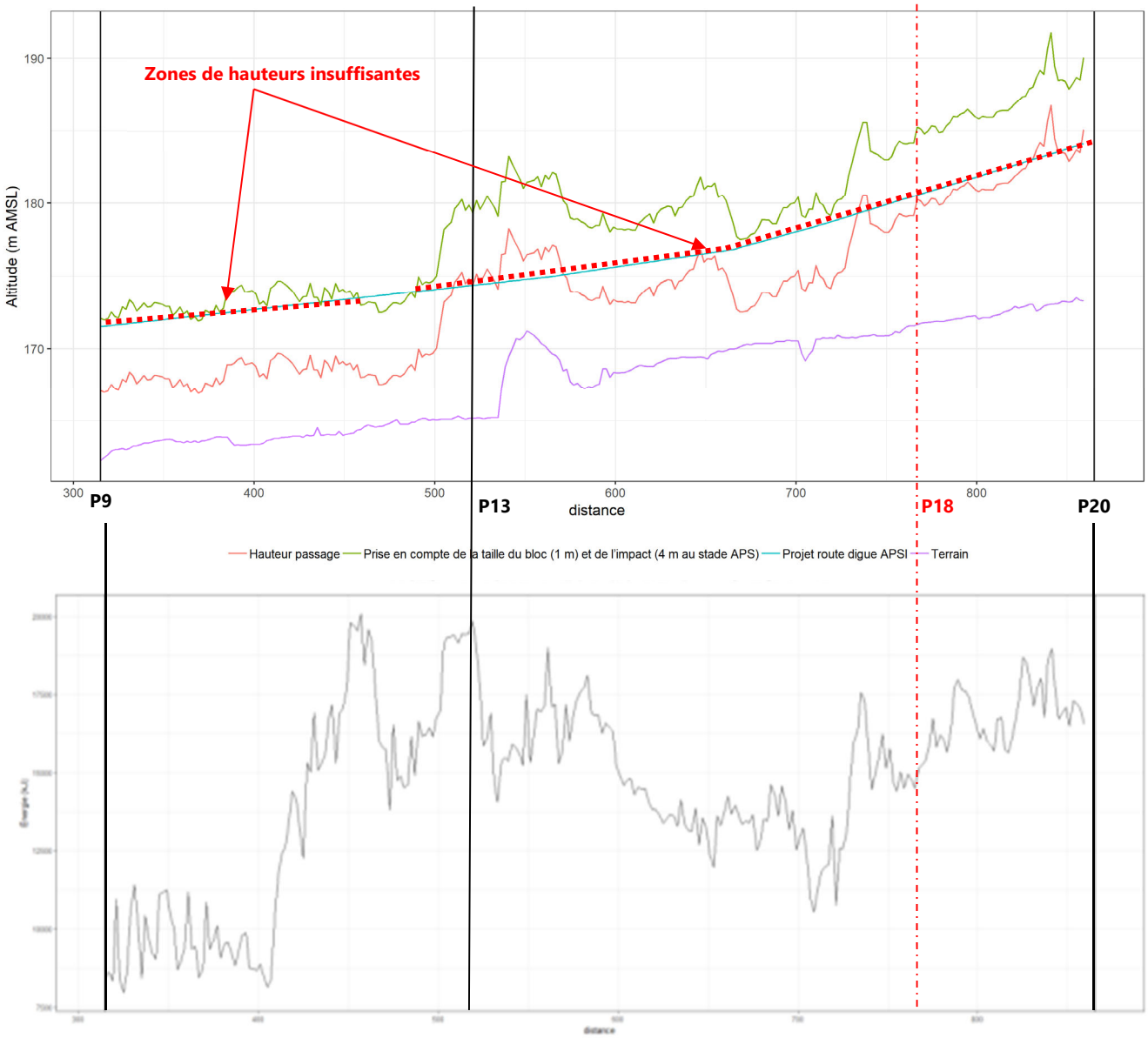


FIGURE 14 : ALTITUDES DE PASSAGE DES BLOCS ET DU PROJET DE ROUTE-DIGUE PAR RAPPORT AU TERRAIN NATUREL (MODELE LIDAR) ; ENERGIES DE PASSAGE

On peut donc conclure que l'éloignement du pied de falaise, la surélévation de la plateforme et la réalisation d'un déblai de 4 à 7 m entre les P9 et P20 tels que prévus au stade APS sont insuffisants.

Pour ce tracé en long, la plateforme devrait être rehaussée de l'ordre de :

- 3 m entre les P4 et P13,
- 7 m entre les P13 et P20.

La coupe de principe Figure 15 présente ces résultats sur le profil type P18 qui était présenté en APSIQ.

Le cas particulier du profil P18 révèle une hauteur de passage plus importante avec décaissement que sans décaissement amont. Ce cas de figure s'explique par le choix de paramètres de sol conservatifs dans la zone de déblais.

Des calculs complémentaires en G2 PRO devront être réalisés pour optimiser cette solution de décaissement. La conformité des paramètres devra également être contrôlée en cours d'exécution.

Nous présentons sur la coupe de principe Figure 16 une coupe type rehaussée.

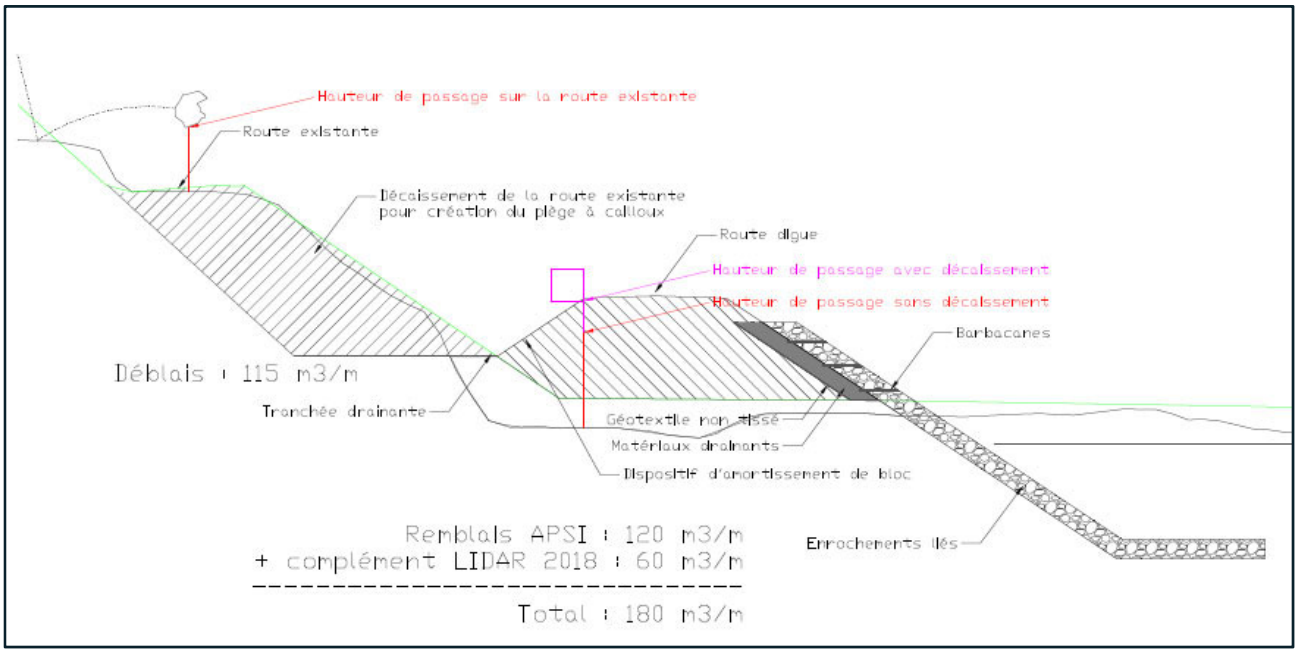


FIGURE 15 : P18, PROJET APS ET HAUTEURS DE PASSAGE DES BLOCS

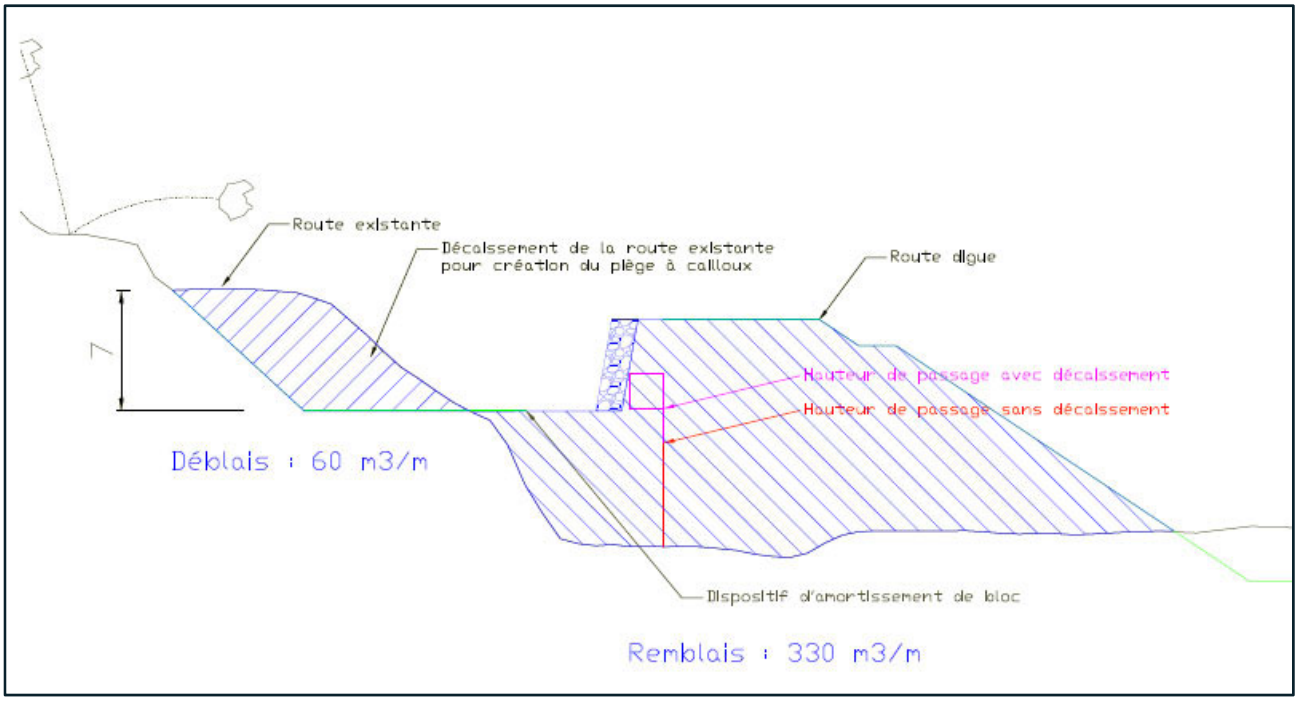


FIGURE 16 : P18, PROJET MODIFIE POUR REPONDRE A LA CONTRAINTE DE LA HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS

En plus de la rehausse du profil en long, les autres options envisageables sont :

- Le décalage du profil en long vers l'axe du cours d'eau. La carte des aléas résultants indique les niveaux d'aléa par rapport à la distance au rempart. Un objectif d'aléa résultant Très Faible conduit à Décalage supplémentaire du profil en plan de 20 m en P9, 35 m en P14 et 40 m en P18 vers l'Est.
- Le décalage du tracé en rive gauche afin d'éviter la géologie défavorable du rempart rive droite sur ce secteur (coulées massives épaisses en falaise sommitale déportée).
- La mise en place d'écran sur la vire en partie intermédiaire du rempart. Le décalage projet actuel permet de se protéger significativement de chute de masse provenant de la partie basse du rempart. Les écrans seront destinés à protéger des masses provenant de l'amont.
- Les énergies et hauteurs de passage mises en jeu pour des blocs de 8 m³ ne peuvent être absorbées par les écrans **standards** disponibles sur le marché. **La prise en compte des vitesses associées (>40m/s), bien supérieures aux vitesses de test des ouvrages, nécessiterait des développements spécifiques et reviendrait probablement** à doubler voire tripler les protections, ce qui ne parait pas économiquement et techniquement envisageable sur un tel linéaire.
- Pour fixer les idées, une en première approche a été réalisée avec une modélisation prenant en compte des blocs de 2 m³ (figure 17). Elle nécessite la mise en place de plus de 1000 ml d'écran de forte capacité en falaise (soit environ 2,5 plus que prévu au stade APS) pour intercepter les blocs provenant des falaises amont.

Compte tenu de la lacune en terme de sécurité (pas dimensionné pour les blocs de 8 m³), des difficultés de mise en œuvre et d'entretien qu'implique cette solution, elle ne sera pas approfondie ici.

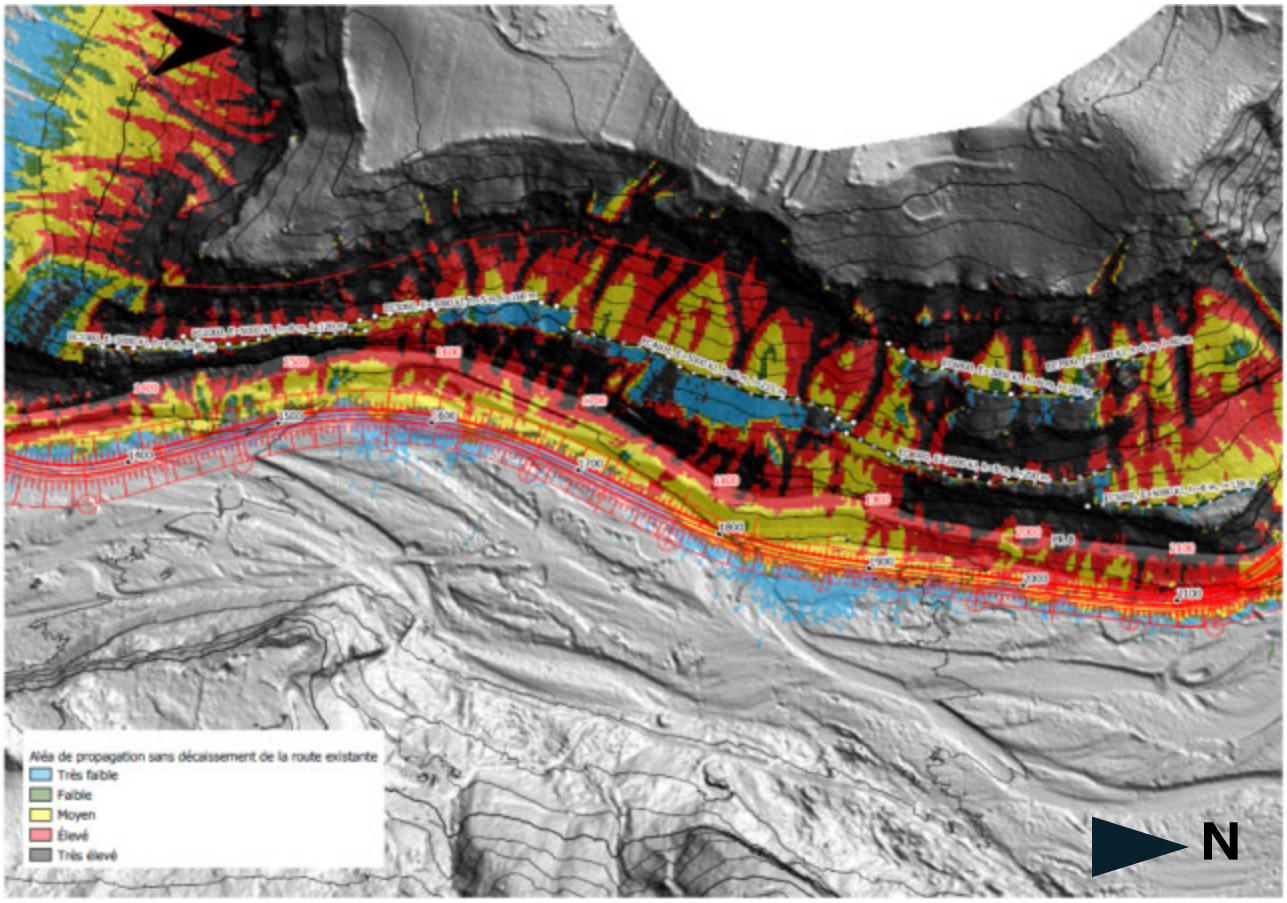


FIGURE 17 : SIMULATION AVEC BLOCS DE 2M3, ALEAS DE PROPAGATION AVEC ECRAN DANS LE REMPART

NB : pour information, on notera figure 17 le biais occasionné par la mise en place des écrans. La probabilité d'atteinte rapportée aux nombre de cellules sources («reach probability» du logiciel RF3D) apparait désormais plus importante dans la zone située à l'aval des écrans que dans la configuration sans écrans. Cet effet est lié à la non prise en compte des zones de départ n'atteignant plus l'enjeu et doit être pondéré par un aléa de rupture moindre puisqu'il concerne des zones de départ moins importantes, localisées uniquement au niveau des falaises en aval. Cette approche correspond à l'approche traditionnelle de la profession qui consiste à séparer aléa de propagation et aléa de rupture. Ce biais peut être supprimé en travaillant sur le nombre de blocs atteignant l'enjeu.

- Une solution mixte, avec l'emploi d'un dispositif de protection compact côté amont visant à réduire le décalage peut être également envisagée. Une ébauche dimensionnelle a été réalisée sur le P18, le décalage de 5 m vers l'Est nécessiterait la réalisation d'un protection amont (type merlon en sol renforcé) de 7 m de hauteur.

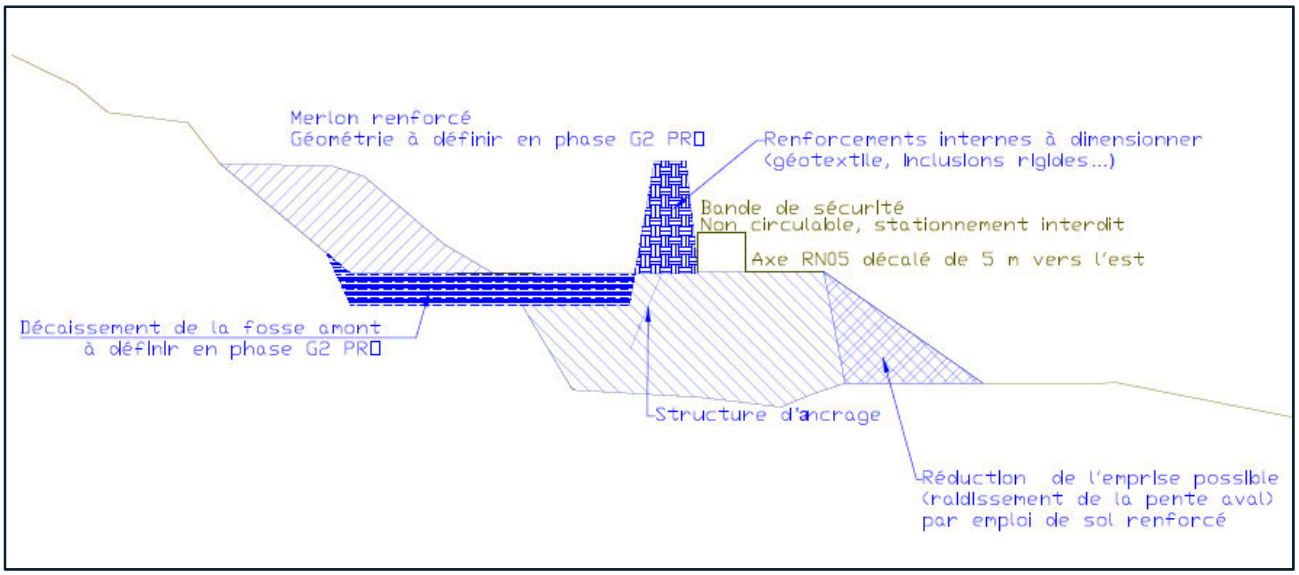


FIGURE 18 : P18, PROJET MODIFIE POUR REPONDRE A LA CONTRAINTE DE LA HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS

On considère dans la coupe de principe figure 18 une bande de sécurité non circulable de 3 m de large afin prendre en compte la déformation de l'ouvrage sous impact (dimensionnement nécessaire à réaliser en G2 PRO).

5.7.4 - VN2 Grand Détour / Bas du Ruisseau (PR8+200 à 9+000)

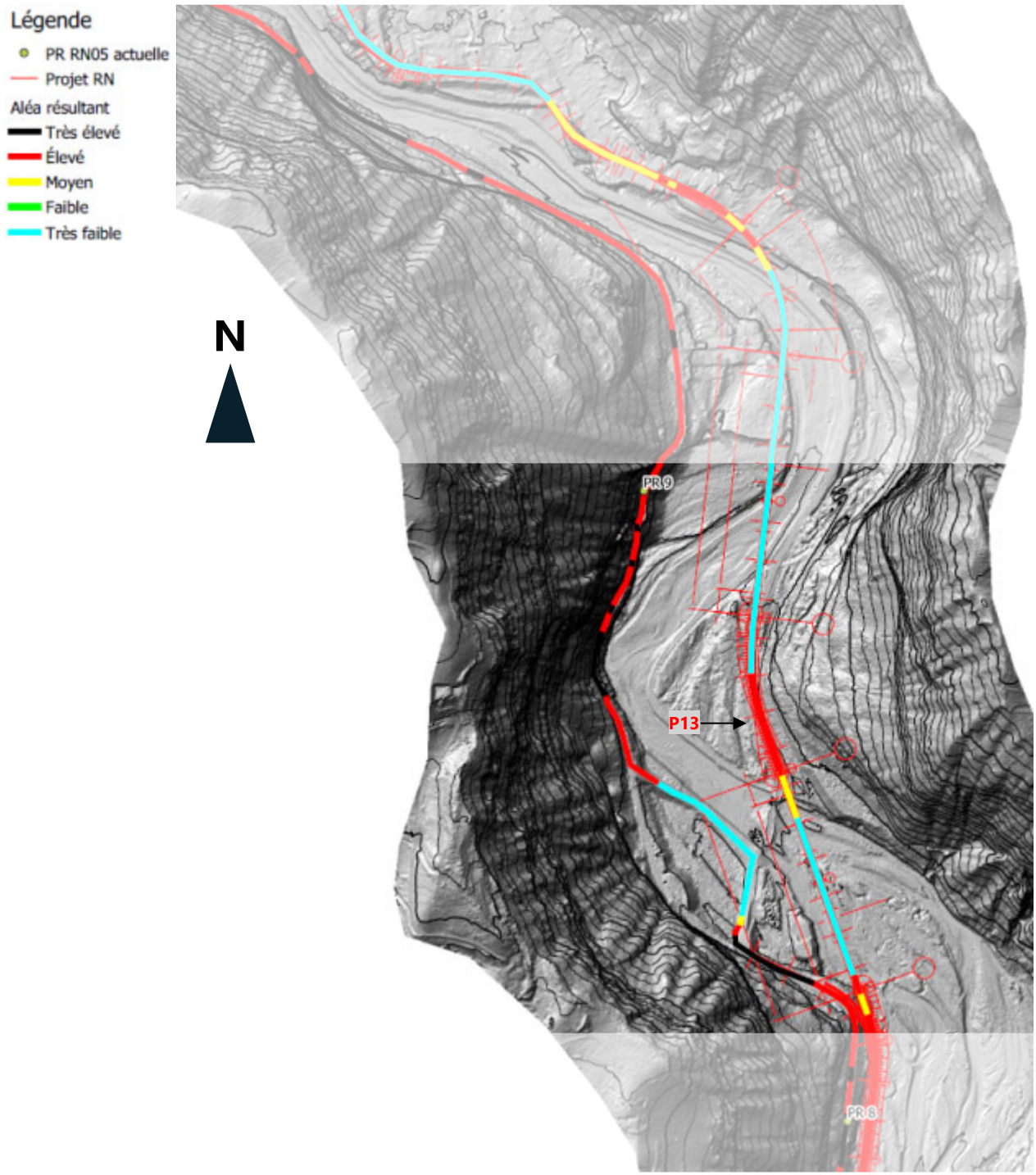


FIGURE 19 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS VN2 GRAND DETOUR / BAS DU RUISSEAU

Il est prévu au stade APS des gabions de 3 à 5 m de hauteur entre les OA1 et OA2.

Au niveau du tracé en long, les modélisations effectuées sur la base de la topographie actuelle confirment des aléas moyens à élevés sur ce secteur.

La comparaison des altitudes de passage et de l'altitude de la plateforme le long du profil révèle que **les masses n'atteignent pas l'altitude de la chaussée APS**.

On notera toutefois que le profil type du terrain naturel sur ce secteur en APS est sensiblement différent de celui extrait du relevé LiDAR. Elle en résulte des modifications non négligeables des quantités de remblais si l'on conserve l'altitude projet APS.

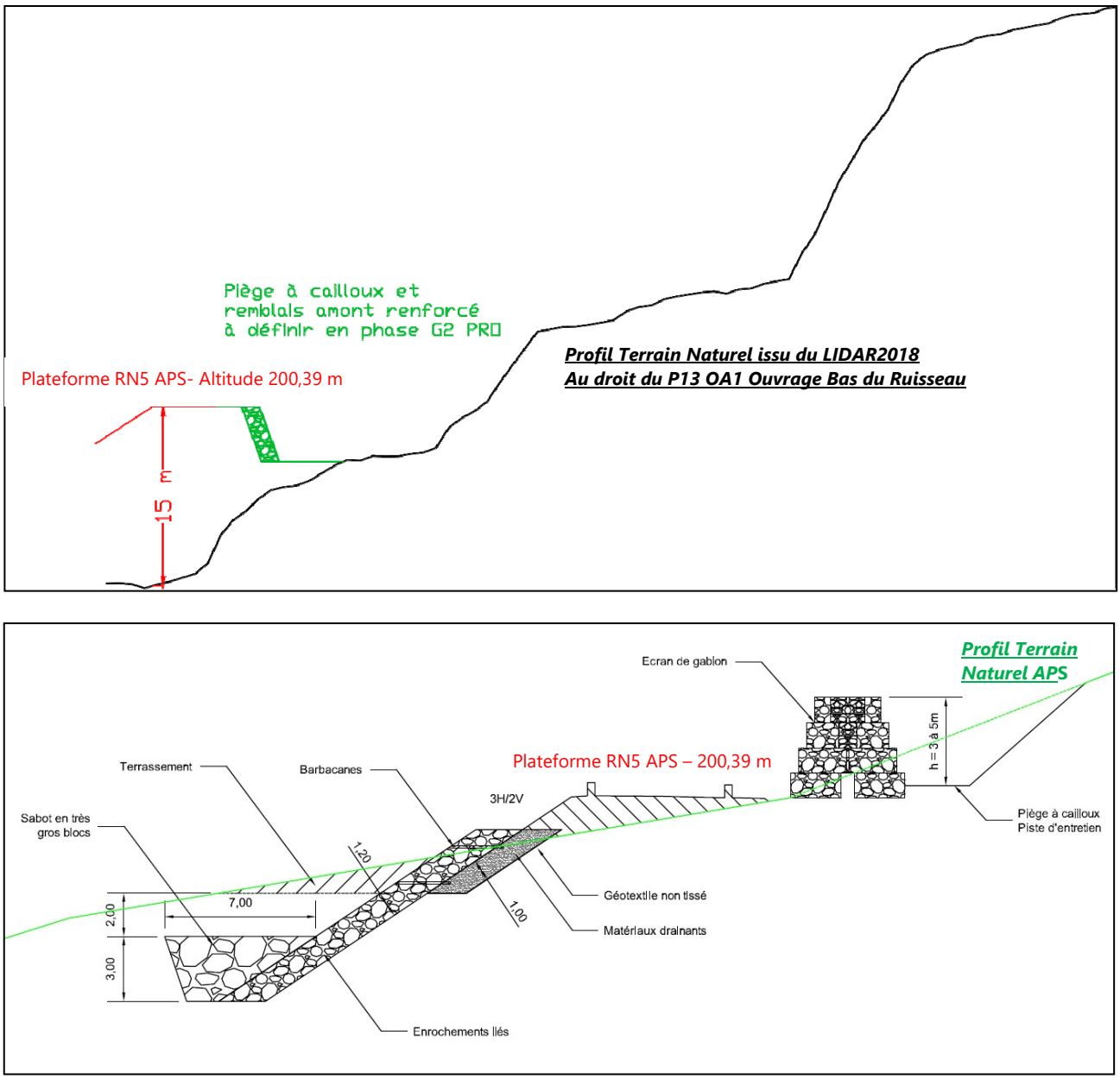


FIGURE 20 : CONTOURNEMENT DE L'ILET ROND - PROFIL TYPE 13 SELON LIDAR (EN HAUT) ET APS (EN BAS)

La mise en place de protections dans les talus amont a été évaluée dans l'hypothèse où l'on souhaite baisser les hauteurs de remblais :

- sur la partie aval du secteur (80 m), on pourra envisager une protection en bord chaussée. Il pourra s'agir soit d'un écran pare bloc, soit d'un ouvrage type merlon, de capacité 5000 kJ et 5 m de hauteur nominale.
- sur la partie amont du secteur (150 m), le peu de place disponible impose une solution de type écran pare-bloc dans le talus amont (capacité 5000 kJ et 7 m de hauteur nominale).

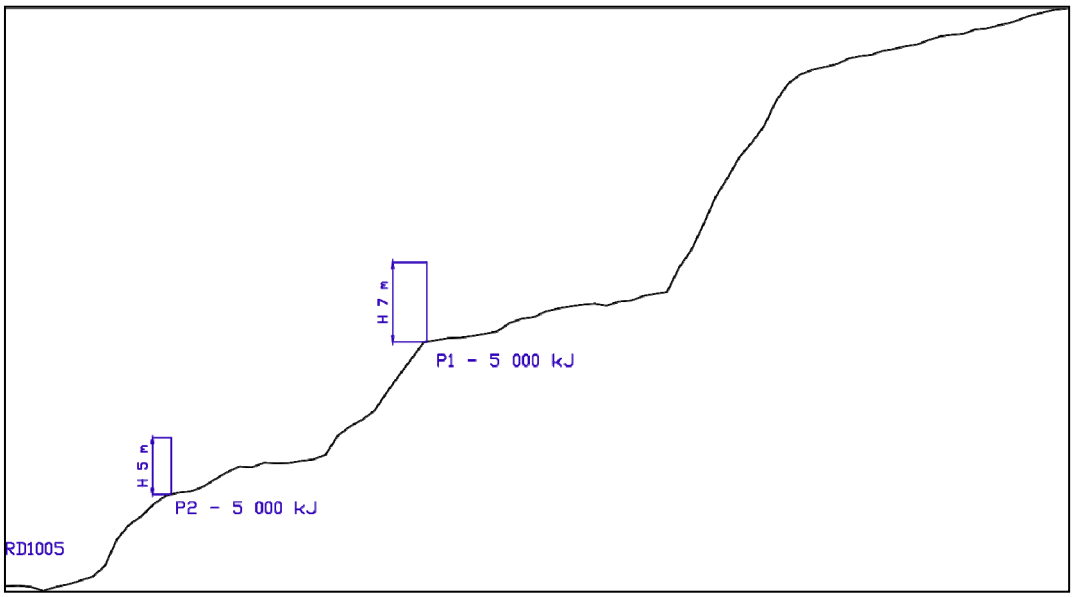


FIGURE 21 : CONTOURNEMENT BAS RUISSEAU ILET ROND – ECRAN DE PROTECTION SUR LE PROFIL TYPE 13 SELON LIDAR

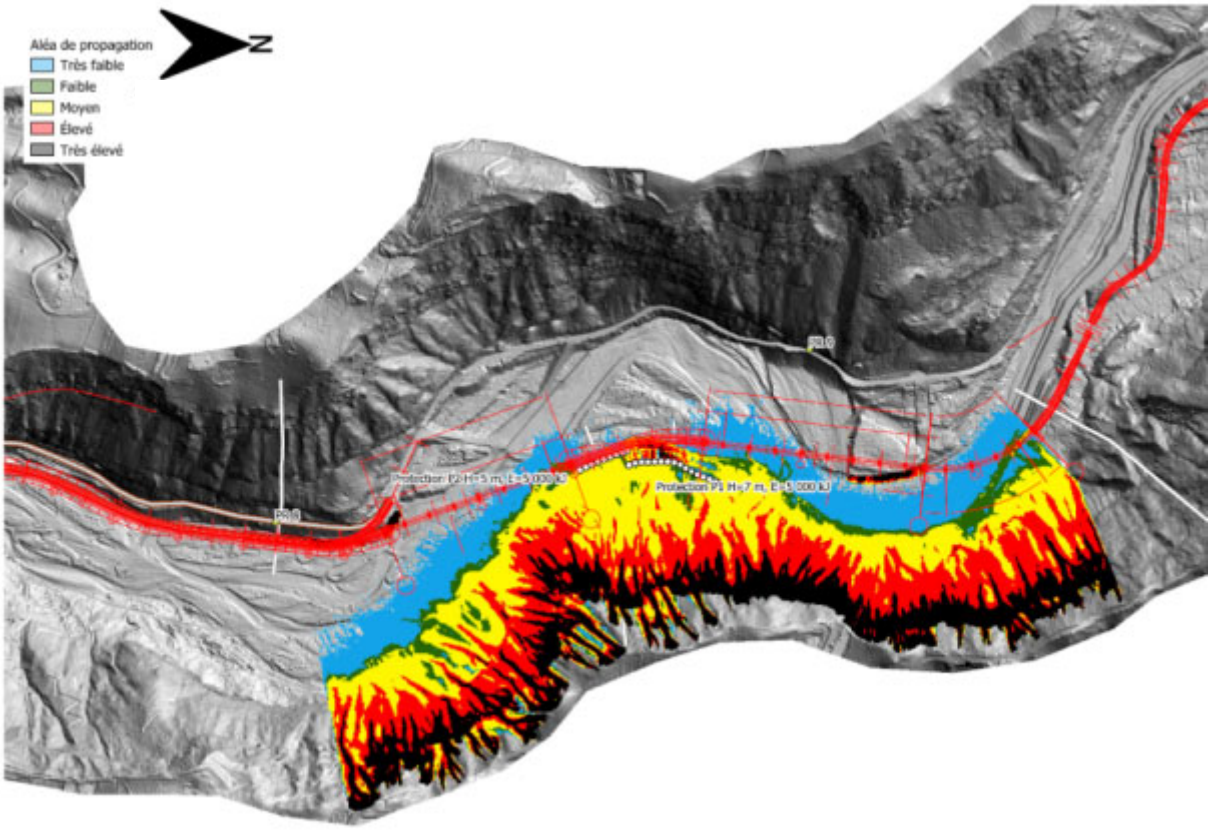


FIGURE 22 : CONTOURNEMENT BAS RUISSEAU ILET ROND – ECRANS DE PROTECTION EN PLAN ET ALEA DE PROPAGATION ASSOCIE

Du point des vues des emprises, une bande de sécurité côté aval de l'ordre de 10 à 20 m doit être prise en compte en aval des écrans pare-blocs pour prendre en compte la déformation sous impact (tirant d'air). Côté amont les ancrages de fixation des haubans s'étendent sur une distance de l'ordre 10 m environ en amont des poteaux support. Ces valeurs diffèrent selon les modèles d'écrans mis en œuvre.

On notera également ici que les piles des ouvrages d'art ne présentent pas toutes un aléa résultant très faible sur ce secteur :

Ouvrage (ref APS)	**Pile ou Profil** (ref APS)	**Énergie (kJ)**	**Altitude passage du centre de gravité du blocs (m)**	**Altitude Plateforme Tablier (m)**
OA2	P2	3 300	200	202,08
OA2	P3	2 710	193	≈203

5.7.5 - **VN2 Aval Ilet Furcy**

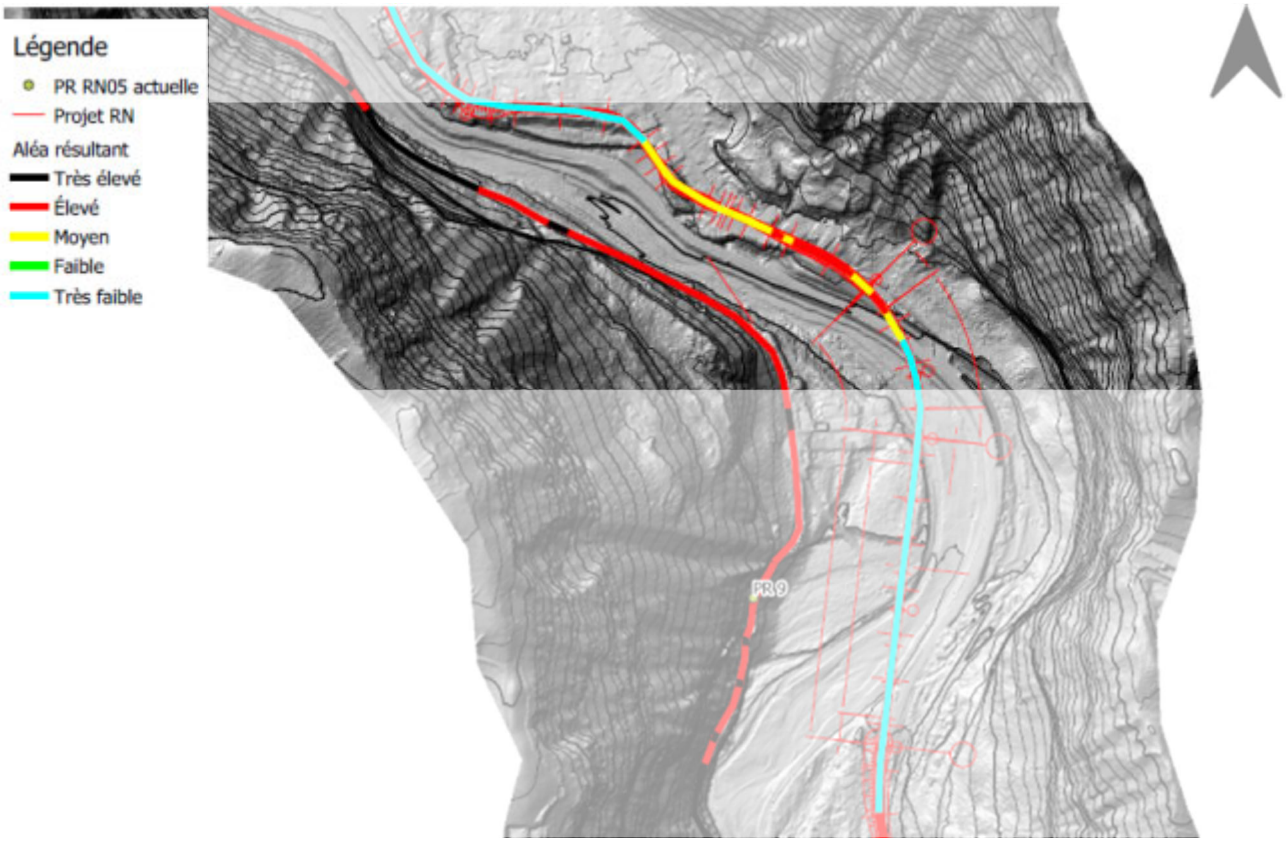


FIGURE 23 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS VN2 AVAL ILET FURCY

Il n'y a pas de protection de prévu au stade APS sur cette section.

Au niveau du tracé en long, les modélisations effectuées sur la base de la topographie actuelle indiquent des aléas résultants moyens à élevés sur ce secteur.

Les protections envisagées pour protéger cette portion sont :

- P.1 : 80 m, capacité 5 000 kJ et 8 m de hauteur nominale.
- P.2 : 50 m, capacité 8 000 kJ et 8 m de hauteur nominale.
- P.3 : 70 m, capacité 5 000 kJ et 8 m de hauteur nominale.
- P.4 : 30 m, capacité 8 000 kJ et 8 m de hauteur nominale.

P.1, P.2 et P.3 peuvent être réalisés d'un seul tenant (merlon…) pour autant que l'ouvrage résultant ait une capacité de 8 000 kJ et 8 m de hauteur nominale.

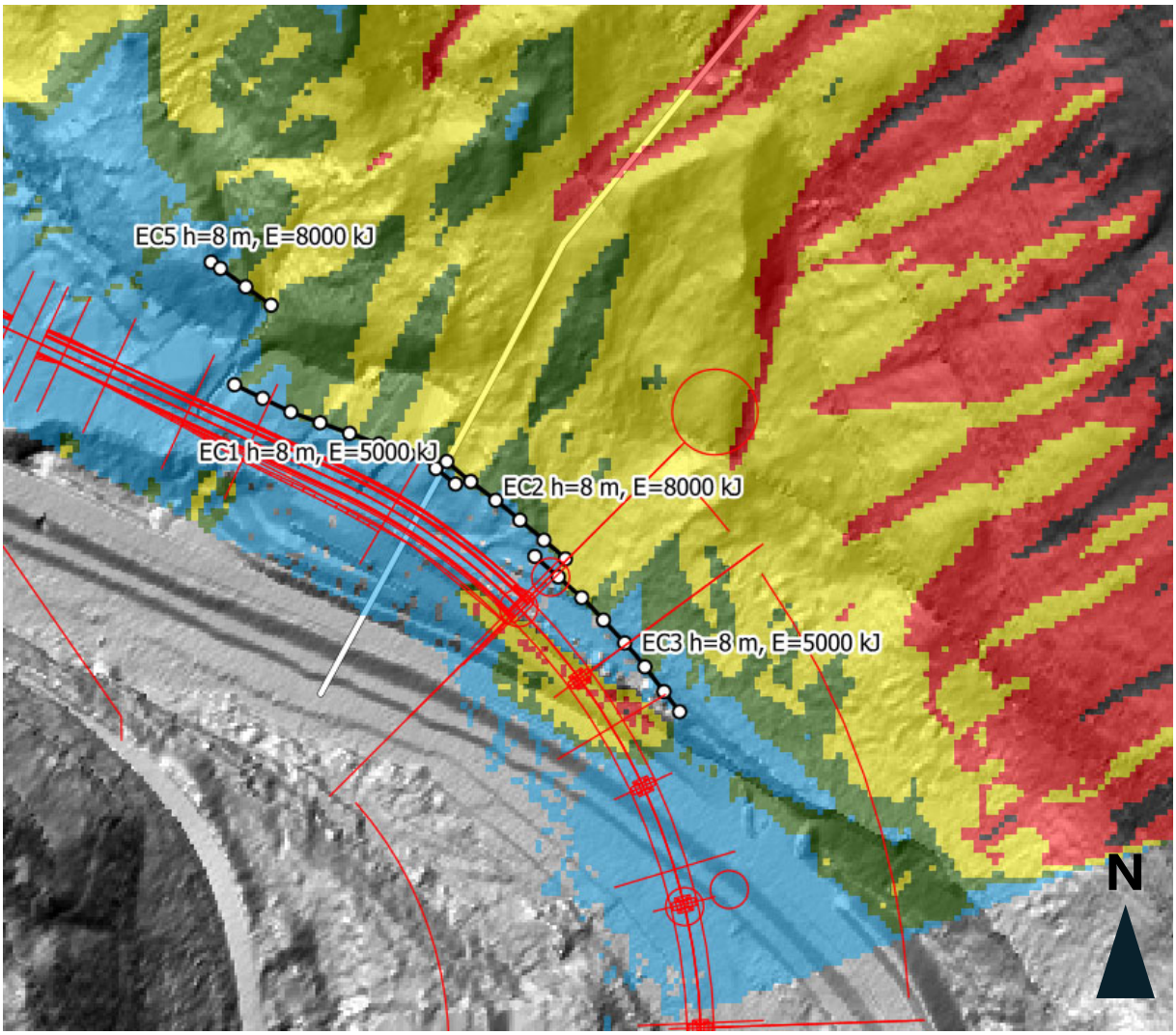


FIGURE 24 : AVAL ILET FURCY – ECRANS DE PROTECTION EN PLAN ET ALEA DE PROPAGATION ASSOCIE

Du point des vues des emprises, les contraintes seront du même ordre : une bande de sécurité côté aval de l'ordre de 10 à 20 m est requise en aval des écrans pare-blocs pour prendre en compte la déformation sous impact (tirant d'air). Côté amont les ancrages de fixation des haubans s'étendent sur une distance de l'ordre 10 m environ en amont des poteaux support.

Remarque : Les aléas Elevé visibles sur la figure 24 ne concernent pas l'ouvrage (ils sont situés topographiquement sous l'ouvrage au niveau de l'actuel rampe d'accès à l'Ilet Furcy qui devra être modifiée).

5.7.6 - **VN2 Amont Ilet Furcy**

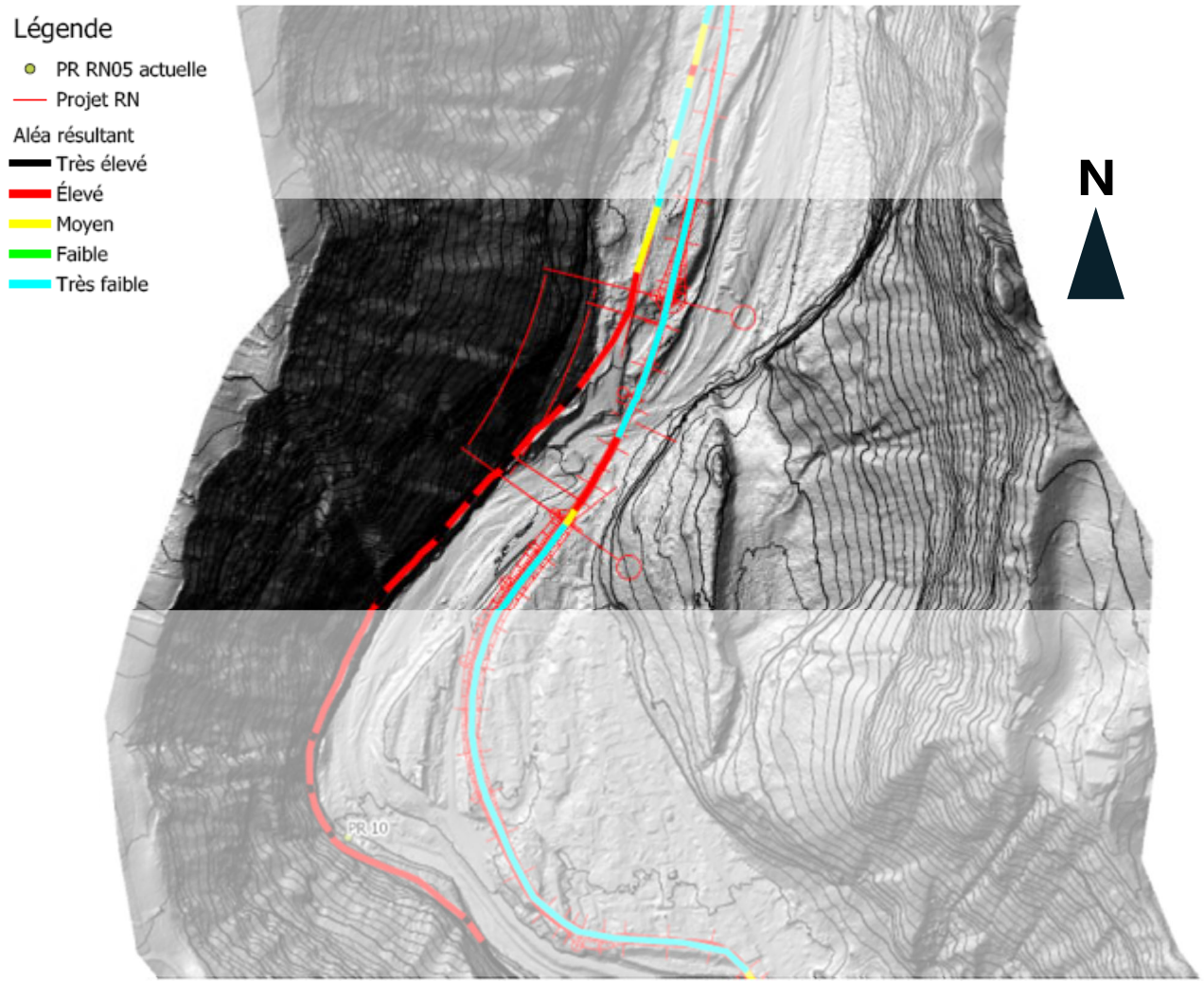


FIGURE 25 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS VN2 AMONT ILET FURCY

Il est prévu au stade APS des gabions sur le secteur correspondant à l'amont de l'actuelle passerelle Bailey. Les modélisations que nous avons effectuées indiquent des aléas très faibles au niveau de ce secteur. La mise en place des dispositifs de protections ne parait donc pas prioritaire.

Les aléas en aval de l'actuelle passerelle Bailey sont plus importants. Les protections envisagées pour protéger ce secteur sont de type confortements dans le talus amont de bord de route. Il s'agira de travaux de type purge et clouage ponctuel de masses instables associé à la mise en place de filets plaqués sur la falaise sub-verticale en bordure de chaussée.

5.7.7 - **Rampe des Sables APS2**

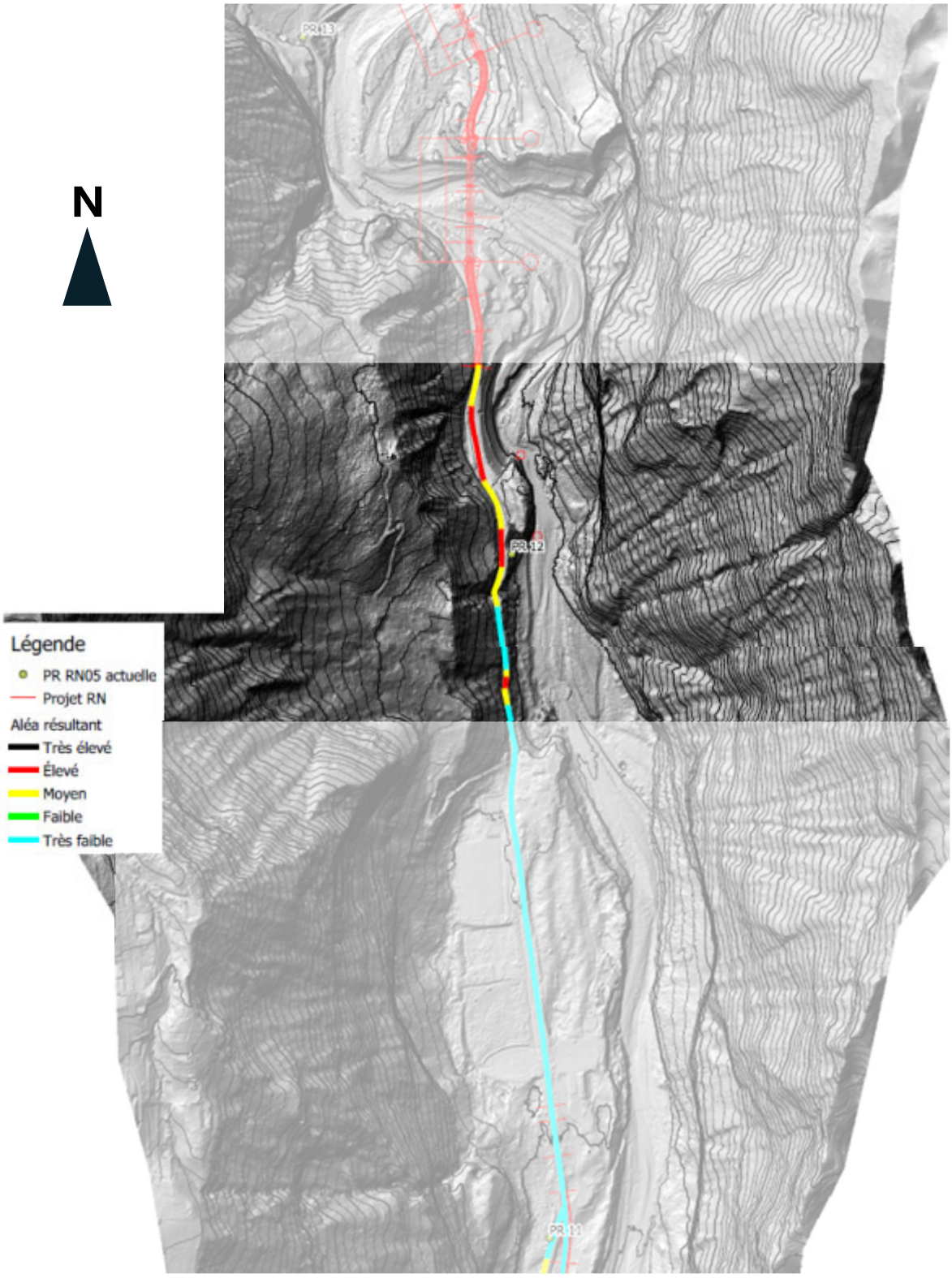


FIGURE 26 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS ASP2 RAMPE DES SABLES

Il est prévu au stade APS des travaux de terrassement sur ce secteur.

Les modélisations que nous avons effectuées indiquent que les aléas résultants affectant ce secteur sont de deux ordres :

- Des masses provenant de la partie haute du versant au PR12 et PR12+500. Les aléas affectant le PR12+500 sortent du cadre de cette étude, ils devront être traités dans le cadre des études relatives au reste du tracé.
- Les aléas impactant le PR12 depuis les falaises amont pourront être traités par une double protection de type déflecteur amont et écran pare blocs aval de 110 m, de capacité 20 000 kJ et 10 m de hauteur nominale.

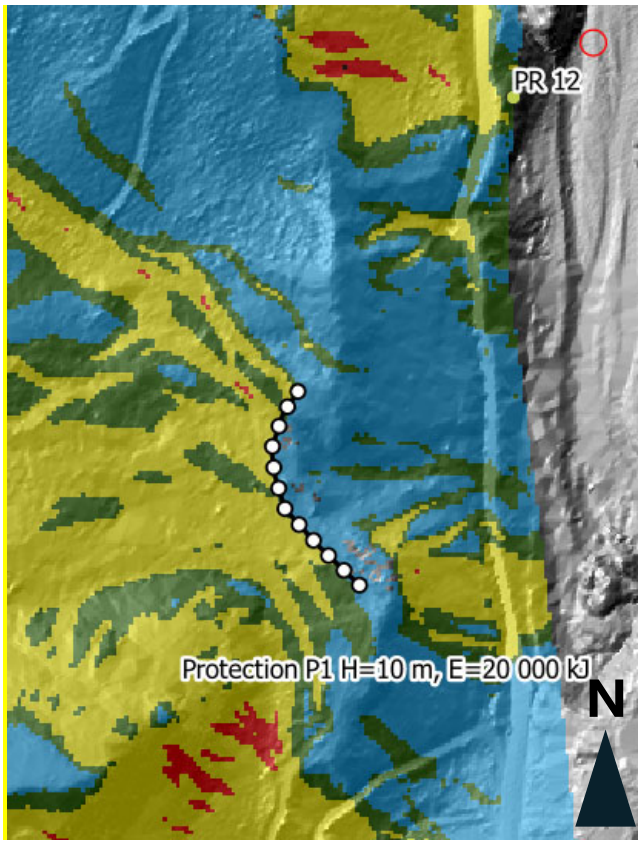


FIGURE 27 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS ASP2 RAMPE DES SABLES ET ALEA DE PROPAGATION ASSOCIE

Une solution mettant en œuvre uniquement une ligne d'écran de 8 000 kJ de 8 m de hauteur a été testé. Elle n'intercepte que 60 % de blocs.

Des confortements dans le talus amont de bord de route seront également à réaliser entre les PR11+800 à 12+000. Il s'agira de travaux de type purge et clouage ponctuel de masses instables associé à la mise en place de grillage pare pierre plaqué en falaise sur la zone directement en bordure de chaussée.

Des masses provenant de la partie inférieure du versant au PR12 à 12+200. Des protections de type gabions sont actuellement en place sur ce secteur.

Les mesures réalisées au niveau de cette zone indiquent que les gabions actuellement en place sur cette zone (hauteur 3 m, largeur 2m) paraissent insuffisant en hauteur et en capacité (3 m de hauteur nominale, 4500 kJ).

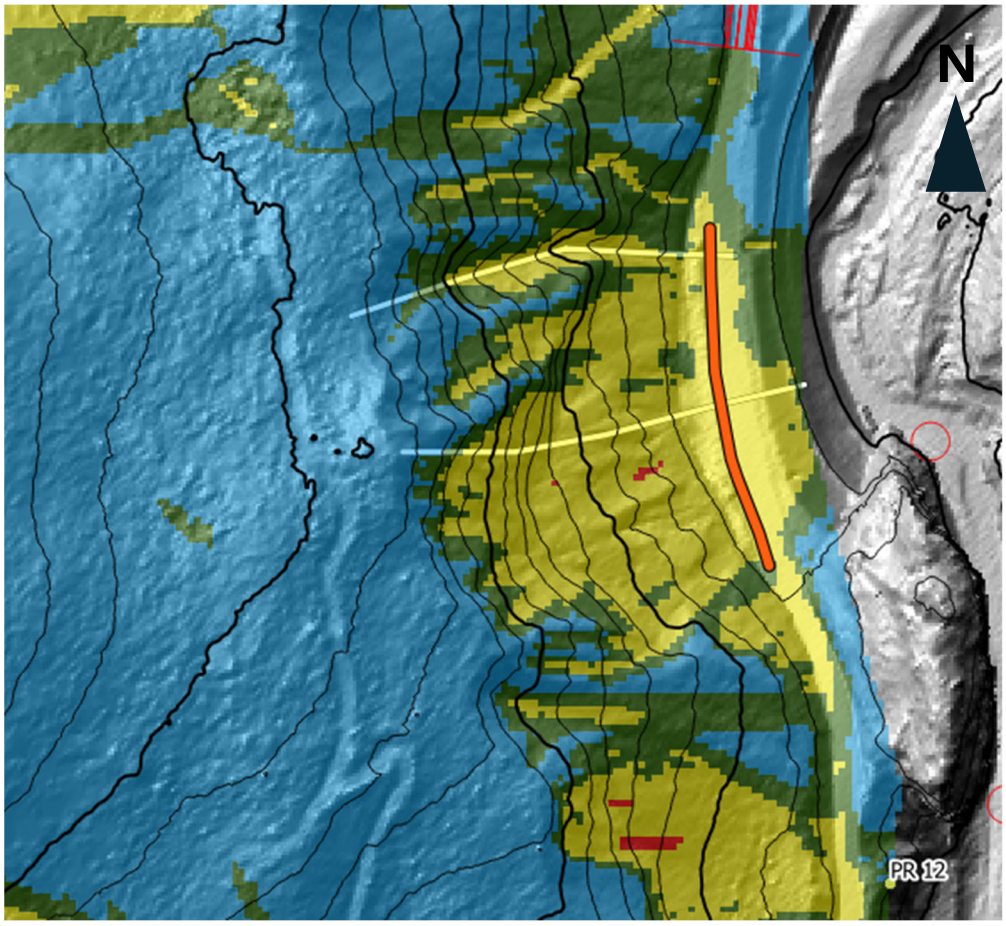


FIGURE 28 : ECRAN DE MESURE AU DROIT DES GABIONS DE LA RAMPE DES SABLES PR12+200

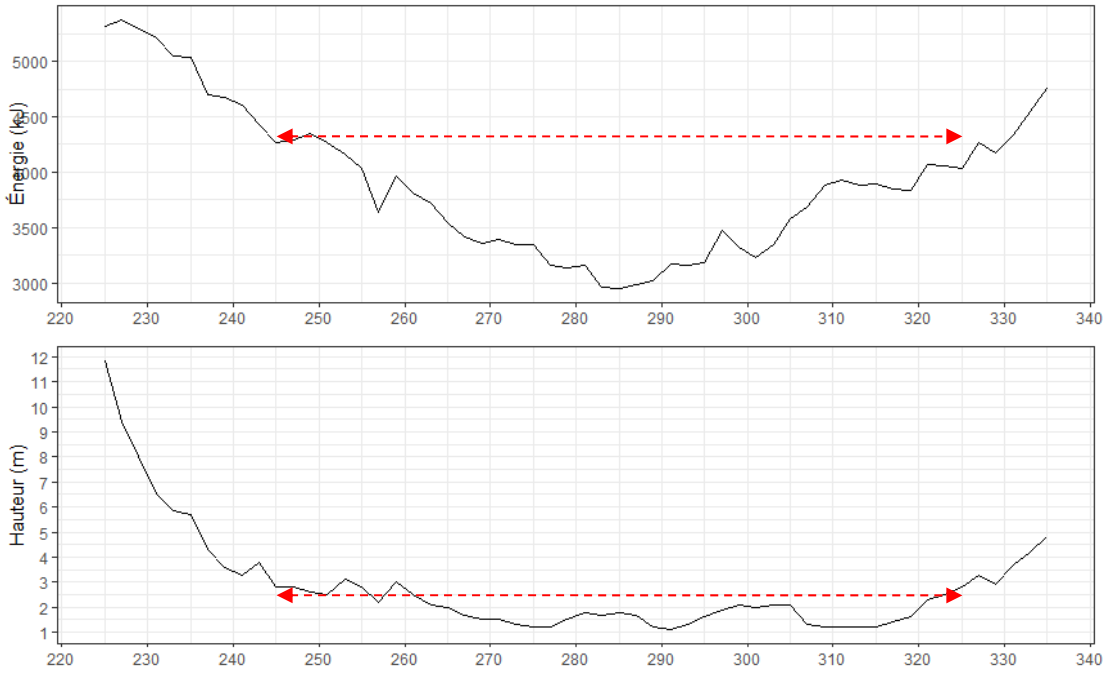


FIGURE 29 : ALEAS RESULTANT RN5 / TRACE APS ASP2 RAMPE DES SABLES ET ALEA DE PROPAGATION ASSOCIE

Les données relatives à l'exécution des gabions devront être vérifiées et son renforcement à prévoir.

PHOTOGRAPHIE 26 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11 A 12+200

PHOTOGRAPHIE 27 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11 A 12+200

6 - LES EBOULEMENTS DE GRANDE AMPLEUR SUR LA RN 5

6.1 - Evènements historiques

Les éboulements de plus grande ampleur sur ou à proximité de la zone d'étude se sont produits en rive droite :

- Au PR12+800, au Cap Paille en Queue, avec un volume évalué à 80 000 m^3. Il s'est déclenché en pied de rempart dans un escarpement vertical au droit d'un coude actif du bras de Cilaos ;
- Au PR8+800 en 2002, avec un volume de 6 000 m^3, au pied des barres rocheuses en partie haute du rempart.

Ces deux phénomènes relèvent de mécanismes de rupture différents, rupture d'une écaille verticale pour le Cap Paille en Queue (mvt de type 1) et rupture d'une masse rocheuse décomprimée en surplomb au PR10+800 (mvt de type 2).

6.2 - Zones suspectées

Les études et inspections conduites sur le secteur ont mis en avant deux autre zones suspectées instables :

- La première par GIPEA lors des reconnaissances en 2009 - Etude ARCADIS – APSI,
- La seconde par le BRGM en 2018.

Ecroulement potentiel au PR9+200 rive droite

La zone instable repérée par GIPEA en 2009 est située au PR9+200, dans le haut du rempart dominant le village d'Ilet Rond (photographie 1). Elle est délimitée en rouge sur la figure 2.

Le volume de la masse potentiellement instable a été estimé par GIPEA de l'ordre de 70 000 m^3. Le volume du dépôt est de 78 000 m^3.

Sur le plan géomorphologique, la masse potentiellement instable jouxte une niche d'arrachement interprétée comme un arrachement ancien (figure 1).

PHOTOGRAPHIE 28 : MASSE POTENTIELLEMENT INSTABLE REPEREE PAR GIPEA AU PR9+200

Cliché 2019

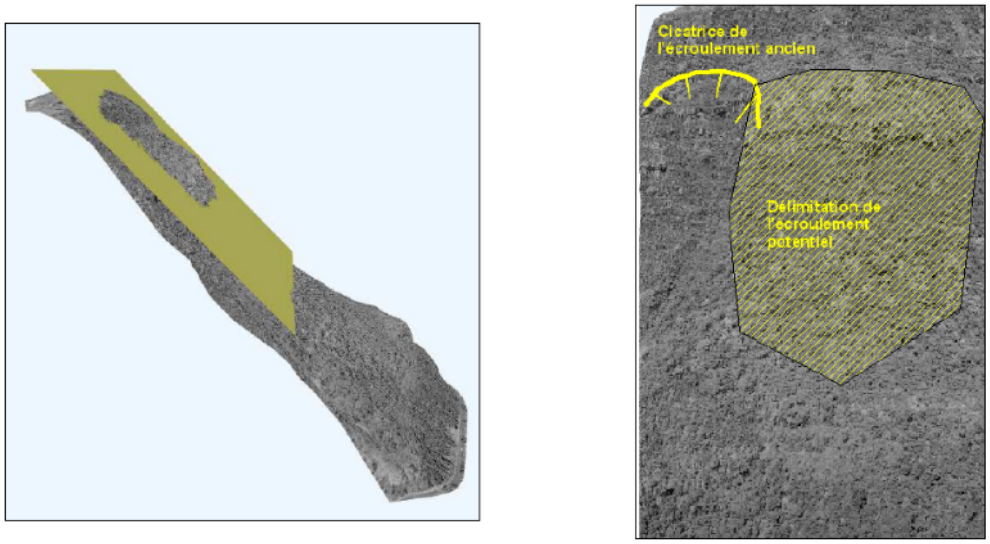


FIGURE 30 : VISUALISATION DE LA MASSE POTENTIELLEMENT INSTABLE DU PR9+200 ET DU PLAN DE RUPTURE (EXTRAIT RAPPORT GIPEA 2009)

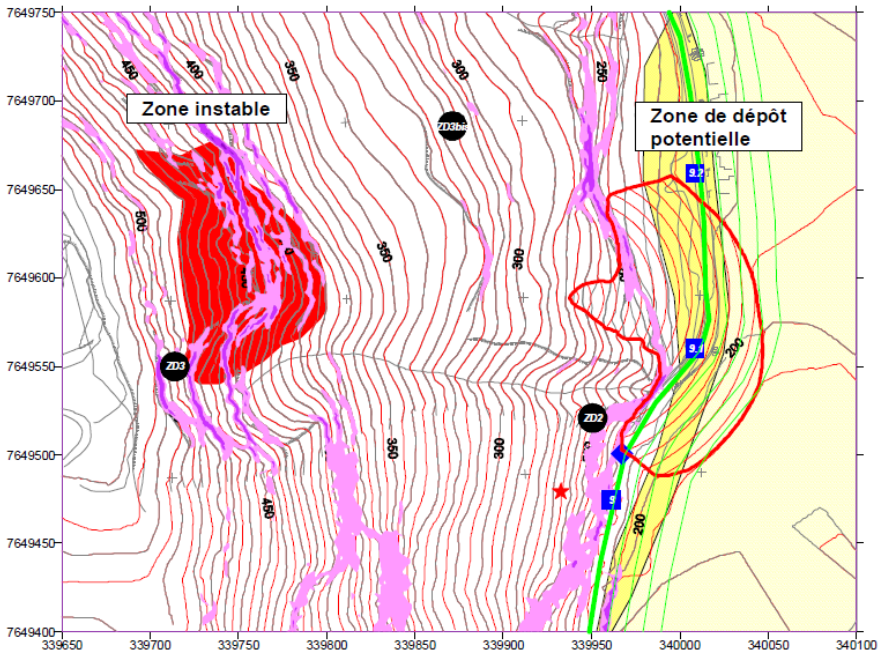


FIGURE 31 : ZONES DE DEPART ET DE DEPOT DU POTENTIEL EBOULEMENT EN MASSE DU PR9+200 (DOCUMENT GIPEA 2009)

Eboulements volumineux potentiels vers les PR10+000 à PR10+700

Ce tronçon est exposé aux chutes de blocs et éboulements de plusieurs centaines de m^3. Dans ses rapports d'expertises de 2018, le BRGM signale à plusieurs reprises que «… *les versants qui dominent la RN5 sur tout leur itinéraire, notamment dans le secteur aux abords de l'Ilet Furcy, présente un risque permanent très élevé de chutes de blocs voire d'éboulements volumineux* ». Le volume des masses et leur localisation n'est pas précisé.

Le risque d'éboulements en grande masse sur ce secteur repose sur l'observation de fissures ouvertes depuis le pied du rempart (communication orale d'Anthony REY du BRGM). Ce risque a été pris en compte par la DRR (Direction des Routes de la Région) qui a fermé la RN5 en rive droite et créé une nouvelle voie en rive gauche en 2018.

La configuration de ce site est assez semblable à celui du Paille en Queue. La survenance d'éboulement en masse de même ampleur (80 000 m^3) est probable. Le mécanisme de rupture est de type 1.

Analyse morphologique des remparts

Les zones potentiellement instables susceptibles de se détacher en grande masse concernent toutes les parois verticales situées :

- Dans les grands coudes actifs du bras de Cilaos tant en rive droite qu'en rive gauche. Des écailles de grande hauteur peuvent se détacher. Elles sont délimitées par des fissures de décompression verticales ouvertes, souvent non visibles du fait qu'elles affectent la partie interne de la paroi ;
- Dans les parties hautes des remparts. Ces masses en surplomb peuvent rompre à la suite de déformations lentes et progressives. Ces zones de rupture potentielle en grande masse concernent tout le linéaire en rive gauche et rive droite.

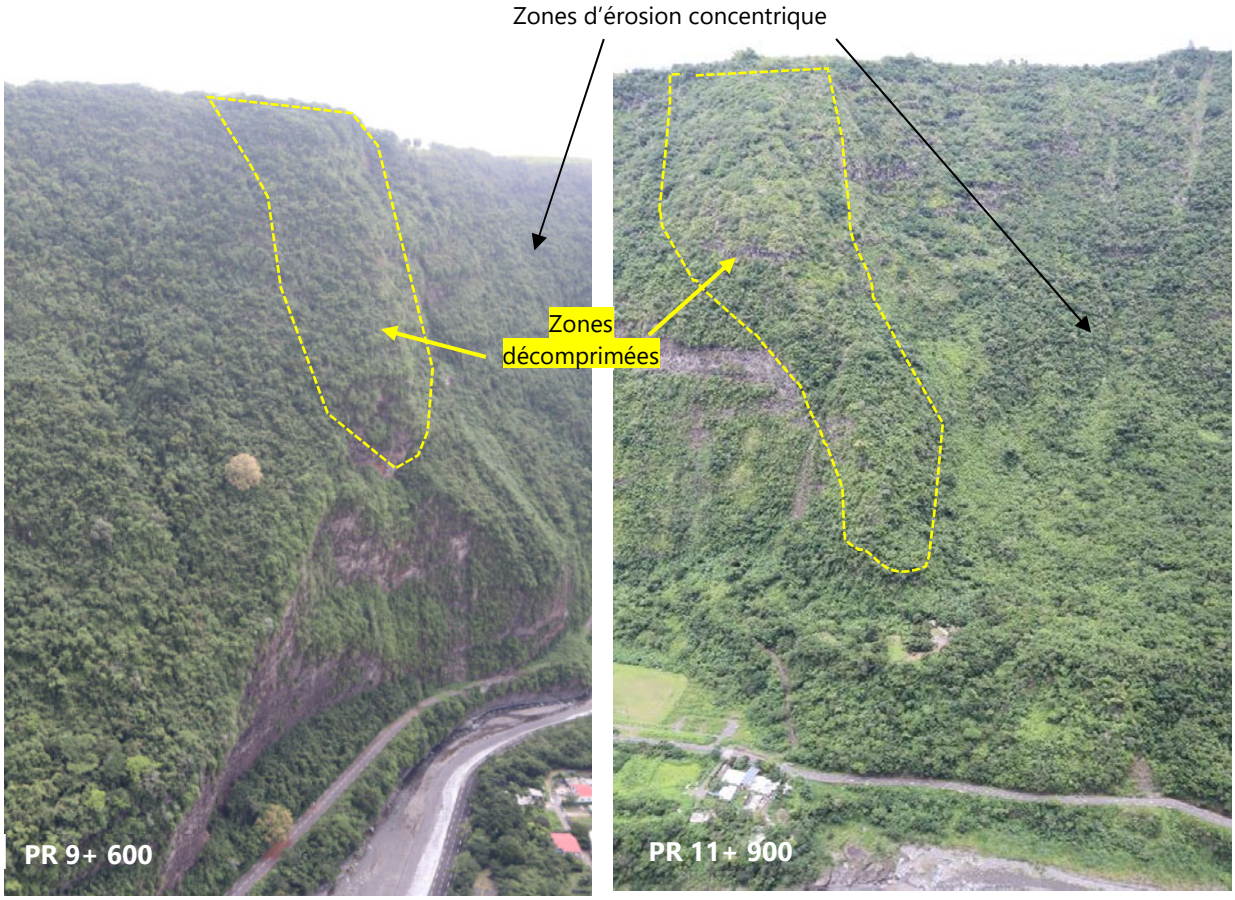
Parmi toutes ces zones verticales, certaines montrent des signes de décompression avancée (masse rocheuse disloquée en surface). Ce sont les « reins » délimitant les zones d'érosion concentrique dans le rempart. Nous retrouvons ce type de morphologie :

- En rive droite vers les PR 7,5 ; 8,2 ; 8,8 ; 9,2 ; 9,5 ; 9,75 ; 10,7 ; 11,3 ; 11,9 ;
- En rive gauche vers les PR 8,4 ; 9,0 ; 9,6 ; 11 ; 11,4 ; 12,3.

Ces zones décomprimées sont délimitées par les zones d'érosion concentrique, en forme d'amphithéâtre, qui se développent au droit des grands coudes mais également dans d'autres secteurs perchés sans lien avec la morphologie actuelle du bras de Cilaos (cf. photographies 2).

La zone potentiellement instable repérée par GIPEA en 2009 correspond à l'une de ces zones en relief, décomprimées, située au PR9+200.

Le démantèlement de ces masses rocheuses se fait généralement en plusieurs temps au fur et mesure de l'évolution de l'état de décompression. Au vu des volumes en jeu, des éboulements de plusieurs dizaines de milliers de m^3 sont probables.



PHOTOGRAPHIE 29 : EXEMPLES DE REINS SEPARANT DES ZONES D'EROSION CONCENTRIQUES

Analyse structurale des phénomènes

Si l'on considère les évènements historiques et les zones d'éboulement potentielles, des mouvements de terrain de volume pouvant atteindre 50 000 à 100 000 m^3 sont probables sur la zone d'étude.

Quant à la possibilité d'instabilités d'ampleur significativement plus grande, de plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par exemple, sachant que ce type d'évènement n'a pas été observé sur le secteur, seule une approche structurale pourrait fournir des réponses.

La déstabilisation de tels volumes ne peut intervenir que s'il existe des discontinuités de grande extension, des plans inclinés à pendage élevé ou la présence formations géologiques mécaniquement fragiles.

La surface de discordance entre les océanites anciennes et les coulées différenciées récentes constitue un facteur défavorable. Cette surface inclinée vers l'Est de 20° environ a été observée entre les PR 7,4 et 8,2. Sur ce secteur, une déstabilisation en plus grande masse doit donc être prise en compte, pouvant dépasser le volume de 100 000 m^3.

Les intrusions volcaniques observées dans l'étude sont soit verticales (dykes), soit horizontales (sills), et ne constituent pas des facteurs aggravants.

Quant aux formations mécaniquement fragiles rencontrées sur le secteur, elles sont constituées par :

- Les couches scoriacées des coulées différenciées récentes ;
- Les altérites argilisées développées au toit des océanites ;
- Les alluvions sablo-graveleuses rencontrées à la base des dépôts gravitaires.

Ces terrains « fragiles » se retrouvent à la base de la Série volcanique différenciée récentes (couche de gratons et altérations du toit des océanites) c'est-à-dire au sommet du rempart rive droite. Cette approche structurale confirme que les barres rocheuses en sommet du rempart rive droite sont donc des zones potentiellement instables.

Les observations conduites sur le haut des remparts et héliportées n'ont pas mis en évidence de fissures ouvertes actives à l'instar de celles que l'on peut observer sur le sommet des remparts des cirques du Piton des Neiges ou des grandes ravines de la Fournaise.

Malgré l'absence d'événement de très grande ampleur sur le secteur d'étude ou à proximité et l'absence d'indices probants précurseurs de stabilisation du rempart sur plusieurs centaines de mètres de hauteur, ce type d'évènement ne peut être écarté, il affecterait la nouvelle route et les îlets habités.

L'estimation des volumes en jeu de tels éboulements nécessiterait une analyse structurale détaillée (profils, levé de fissures, mesures de pendage, modélisation, ...), qui pourrait être menée au droit des zones à fort enjeux (zones habitées et tronçons routiers potentiellement exposés) si des signes précurseurs d'instabilité apparaissaient. Dans cette démarche de prise en compte de ce type de risque, il conviendra de poursuivre les inspections périodiques, en particulier après les périodes pluvieuses exceptionnelles, afin de déceler toute évolution des remparts. Les zones à surveiller sont :

- Les secteurs affectés par des éboulements en s'assurant qu'ils ne sont pas précurseurs de processus de déstabilisation en très grande masses ;
- Les sommets des 2 remparts afin de déceler d'éventuelles fissures dans les parcelles, chemins et routes logeant la bordure amont ;
- Les zones décomprimées (masses rocheuses en relief évoquées ci-dessus, parois très abruptes).

La mise en place d'un suivi topographique pluri-annuel de précision, par relevés Lidar successifs tous les 3 à 5 ans par exemple, permettrait par comparaison des relevés successifs d'orienter les recherches vers les zones de déplacements avérés (crêtes, zones décomprimées, etc...).

7 - ANALYSE COMPARATIVE DES VARIANTES

7.1 - Objet de la note

Dans le cadre de la Mission de Maitrise d'œuvre partielle relative à la sécurisation de la Route Nationale n°5 entre Saint-Louis et Cilaos, sur le secteur les Aloès / Ilet Furcy (PR6+000 à PR12+200), le présent document constitue un point d'avancement à l'issue de la production des rapports provisoires des deux missions d'expertise hydraulique (MC1) et trajectographique (MC2).

Dans notre devoir de conseil, cette note vise à présenter une proposition d'orientations à retenir par le Maître d'Ouvrage pour la conduite de l'opération, suite aux conclusions de ces deux études étant susceptibles de remettre en cause le tracé dit APSIQ, notamment pour des aspects relatifs à l'acceptation des enjeux environnementaux.

7.2 - Constats à l'issue des expertises initiales

Suite à la notification du marché en décembre 2018, trois missions complémentaires (MC1/2/3) ont permis de réaliser la production d'études d'expertises sur le 1er semestre 2019, et d'organiser la phase de concertation préalable.

7.2.1 - Cartographie des tracés soumis à la concertation préalable

Dans le cadre de la préparation de la concertation préalable L103-2 réalisée en juin-juillet 2019, plusieurs variantes de tracé étudiées lors de l'APSIQ ont été présentées afin d'ouvrir totalement les options de tracé pouvant être retenues ensuite lors de l'Avant-Projet.

Cette approche vise à ce que la population puisse s'exprimer sur le champ des possibles, et à être pleinement compatible avec la prochaine étude d'impact au sein de laquelle les services de l'État attendront une comparaison des variantes de tracés, établie selon la démarche Éviter / Réduire / Compenser (ERC).

Au-delà des secteurs d'Aménagements Sur Place (ASP) 1 et 2 situés aux extrémités de l'aire d'étude, il existe trois fuseaux de tracé sur le secteur de Voie Nouvelle (VN) 1 : VN1A/VN1B/VN1C, et trois fuseaux de tracé sur le secteur de l'Ilet Rond, pour le tronçon VN2 : VN2A/VN2B/VN2C.

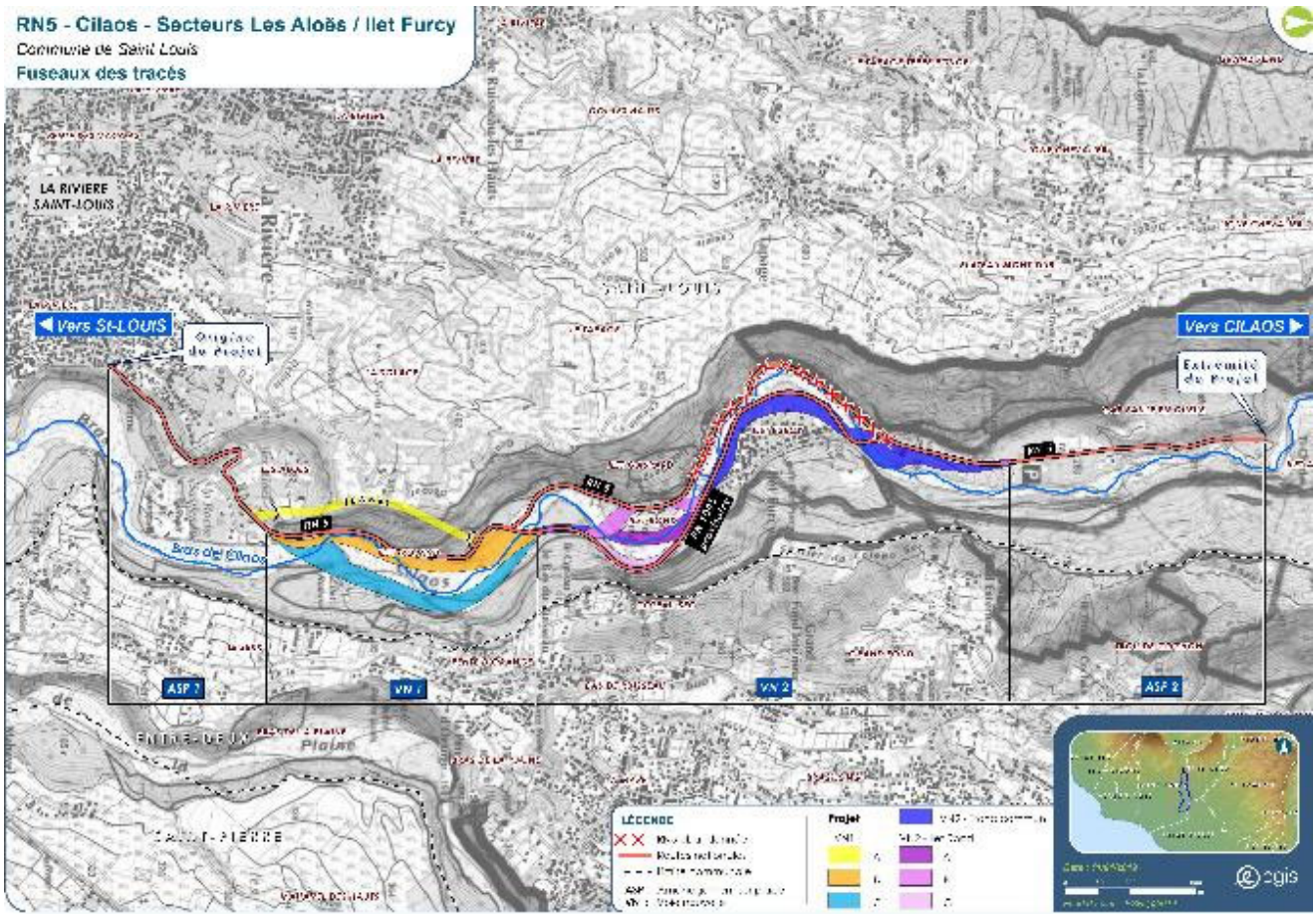


FIGURE 32 : TRACES DES VARIANTES

7.2.2 - **Actualisation des études hydrauliques – MC1**

Nos hydrauliciens ont mené une analyse du tracé d'APSIQ avant de conclure sur la nécessité d'étudier d'autres variantes. La synthèse de ces conclusions est rappelée ci-après :

L'analyse de l'APSIQ de 2010 met en évidence un certain nombre de contraintes fortes du point de vue hydraulique.

En premier lieu, **la route digue entre les Aloès et Bas du Ruisseau** se situe dans le lit actif du Bras de Cilaos et réduit la section d'écoulement existante. Les modélisations hydrauliques mettent en évidence une augmentation des niveaux de crue centennale de 1 m sur tout le linéaire de l'ouvrage, ainsi qu'une augmentation des vitesses d'écoulement a l'aval de la zone de travaux.

Du fait des vitesses d'écoulement constatées (7 à 8 m/s) et des risques d'affouillement afférents, cet ouvrage sera extrêmement difficile à protéger.

De manière générale **les ouvrages de franchissement** présentent un fort biais par rapport à l'axe d'écoulement du Bras de Cilaos, ce qui augmente le nombre de travées et le nombre d'appui en lit mineur du cours d'eau :

- Les axes de franchissement sont à redresser de manière à diminuer la longueur des ouvrages de franchissement et le nombre d'appuis.
- **Le nombre de piles est à diminuer drastiquement** : ces appuis constituent le principal risque de ruine des ouvrages de franchissement.

De manière générale :

- La présence de piles va influer fortement l'écoulement en augmentant la ligne d'eau et le dépôt de sédiments en amont du franchissement.
- Le nombre de piles augmente le risque d'attaque directe des appuis par **des bras vifs** tels que constatés sur la rivière Saint Etienne, même pour des crues courantes.
- Le biais du franchissement par rapport à l'écoulement associé au nombre de piles dans le lit, risque avec une très forte probabilité de générer un phénomène d'embâcles mettant en péril l'ouvrage.

La modélisation hydraulique a mis en évidence que la localisation de l'extrémité de la route digue au niveau du lit majeur du cours d'eau scinde l'écoulement en deux et provoque **une inondation de l'Ilet Furcy**. Cette problématique sera à corriger par une prolongation de la route digue en amont de l'accès à l'ilet.

Afin d'améliorer hydrauliquement la proposition établie dans l'APSIQ de 2010, plusieurs variantes sont à l'étude au stade de la concertation. Elles sont analysées dans le chapitre suivant.

7.2.3 - **Études de trajectographie – MC2**

Lors de la phase de diagnostic, les géotechniciens et géologues ont pris connaissance des enjeux relatifs aux mouvements de terrain et aux chutes de blocs sur les remparts de rive gauche et rive droite. Après modélisation du tracé de l'APSIQ, il s'avère que l'aléa résultant demeure Élevé sur la route-digue projetée (VN1B), voir page suivante :

> **5.6 Analyse des aléas résultants tracé RN5 actuel / projet - Parades**
>
> Au niveau de l'ASP1 (PR6+000 à 7+200), l'aléa résultant est Elevé à Très Elevé. Des confortements actifs en falaise sont prévus pour abaisser le niveau de risque (pré-dimensionnement AVP à venir).
>
> Au niveau de la VN1 (Route digue), l'aléa résultant passe de globalement Très Elevé (il est variable entre Elevé à Très Elevé selon le PR) à globalement Elevé (variable de Très Faible à Elevé selon le PR).
>
> Les énergies et hauteur de passage modélisées pour le cas exceptionnel (bloc de 8m3 en provenance de la rive droite) sont très importantes (95 percentiles à 11m de hauteur et 20 000kJ).
>
> Dès lors plusieurs solutions doivent être envisagées :
>
> - Passage du tracé projet en rive gauche.
> - Décalage supplémentaire du profil en plan de 20m en P9, 35m en P14 et 40m en P18 vers l'Est.
> - Rehausse du profil en long de 5 à 10 m par rapport au projet actuel ou mise en place d'un merlon de protection.
> - Dimensionnement du nouveau tracé selon le cas « courant » avec un bloc à 2m3 et non prise en compte du cas exceptionnel (8m3). Le dimensionnement selon le cas « courant » et un bloc moyen de 2m3 nécessite la mise en place de plus de 1000 ml d'écran de forte capacité en falaise

7.2.4 - **Techniques routières**

L'expertise routière du groupement a identifié les enjeux suivants au regard du tracé de l'APSIQ :

- Ressource en matériaux de remblai : L'APSIQ a été étudié sur un linéaire de près de 30km, intégrant notamment la réalisation de tunnels. Cette étude n'a pas mis en exergue le phasage de l'opération, indispensable pour un projet de cette ampleur, impliquant la nécessité d'intervenir par secteurs, à l'image de la présente opération entre les PR6 et PR12. Or, les enjeux de ressource en matériaux de remblai et de protections des berges de routes-digues, nécessaires pour réaliser les ouvrages, n'ont pas été suffisamment pris en considération, alors que le mouvement des terres sera ici fortement déficitaire. Le contexte insulaire réunionnais et le positionnement de l'opération sur une secteur difficile d'accès, complexifient la possibilité d'obtenir une ressource en matériaux proche de la zone de travaux.
- Géométrie du projet : le référentiel retenu pour l'APSIQ dérogeant peu à la catégorie R60 (ARP) implique de grands rayons en plan pouvant générer les effets négatifs suivants :
  - Augmentation de la vitesse de circulation, alors que la RN5 est actuellement peu accidentogène, notamment par son tracé sinueux limitant les vitesses ;
  - Positionnement des ouvrages de franchissement du Bras de Cilaos selon un tracé trop fluide, impliquant un phénomène de peigne avec les piles des ouvrages, pouvant générer des risques importants liés aux embâcles.
- Enjeux environnementaux et réglementaires : l'impact de la route-digue prévue au tracé de l'APSIQ sur le lit mineur (modification sur 200m) et sur le lit majeur du Bras de Cilaos est important. L'emprise des travaux empiètera sur une largeur particulièrement importante du lit majeur au niveau des Aloès. Si les enjeux sur la faune piscicole doivent être appréhendés, il est par contre évident que les enjeux hydrauliques sont forts en raison du resserrement du lit majeur qui impliquera une élévation de la ligne d'eau et des vitesses d'écoulement. D'un point de vue réglementaire, les services de l'État risquent d'émettre un avis défavorable au regard de cet impact qui ne pourra pas être compensé.

- Économie du projet : les travaux en rivière impliquent un certain nombre de dispositifs nécessaires à la sécurisation des travaux : enjeux de rabattement de nappes pour la réalisation de la bêche, stabilité des fouilles, etc. Au vu du linéaire important de routes-digues, l'enjeu relatif à la réalisation des travaux en saison humide n'a pas été appréhendé, ce point étant générateur de surcoûts importants.

7.3 - ANALYSE DES VARIANTES

Un travail de recherche de tracés a été effectué afin de répondre aux différents enjeux présentés ci-avant. Ce plan des tracés alternatifs est joint en annexe à cette note. Nous présentons dans la suite de cette note une synthèse de l'analyse de ces variantes de tracés afin d'en réaliser une analyse multicritère. La présentation détaillée des différents enjeux est présentée dans chacun des rapports relatifs aux MC1/2/3.

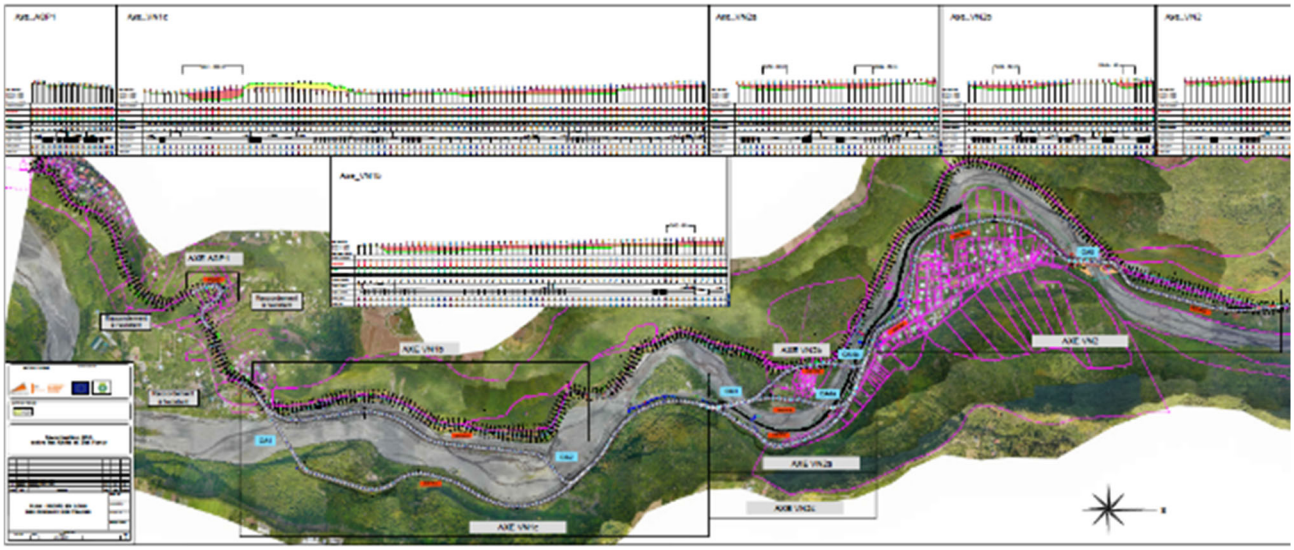


FIGURE 33 : TRACES DES VARIANTES

7.3.1 - Variantes VN1

Trois tracés sont à l'étude sur la VN1 :

- **VN1 A** : Tunnel.
- **VN1 B** : Route digue sur la rive droite.
- **VN1 C** : Passage sur la rive gauche.

Ces tracés sont comparés selon les enjeux majeurs que sont l'hydraulique, la trajectographie, l'écologie et l'économie générale.

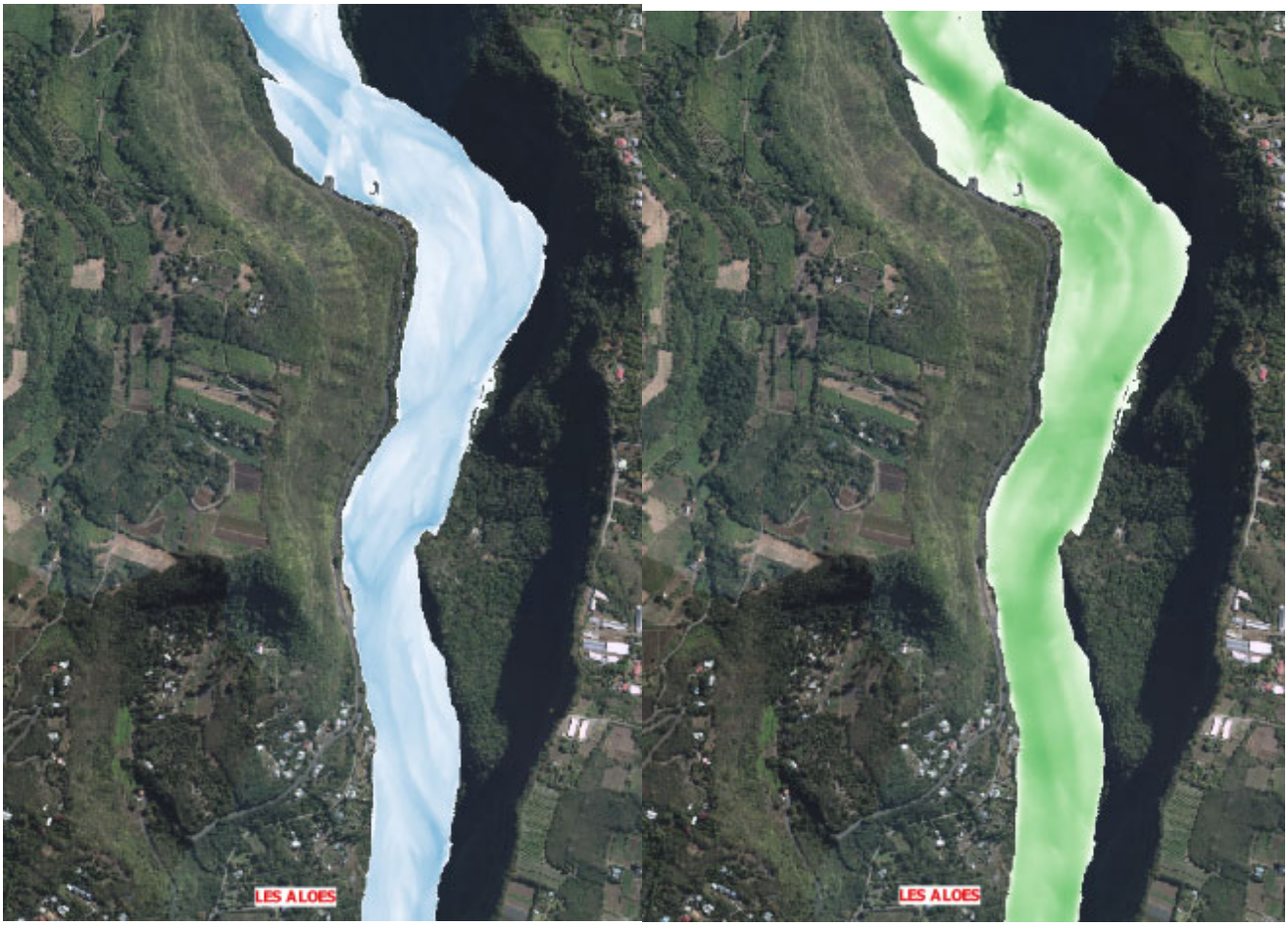
Pour les variantes VN1B et VN1C, un focus est fait ci-après sur les enjeux hydrauliques et trajectographique, ces points étant moins sensibles pour la solution VN1A.

7.3.1.1 - Enjeux hydrauliques

Les variantes sont comparées selon les critères suivants :

- Caractéristiques de l'écoulement pour une crue centennale : hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement.
- Impact sur les ouvrages de franchissement (portée, localisation…).
- Nécessité de protection en fonction de la nature des berges.
- Impact sur les modifications de la section d'écoulement.

- **Caractéristiques de l'écoulement pour une crue centennale : hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement**

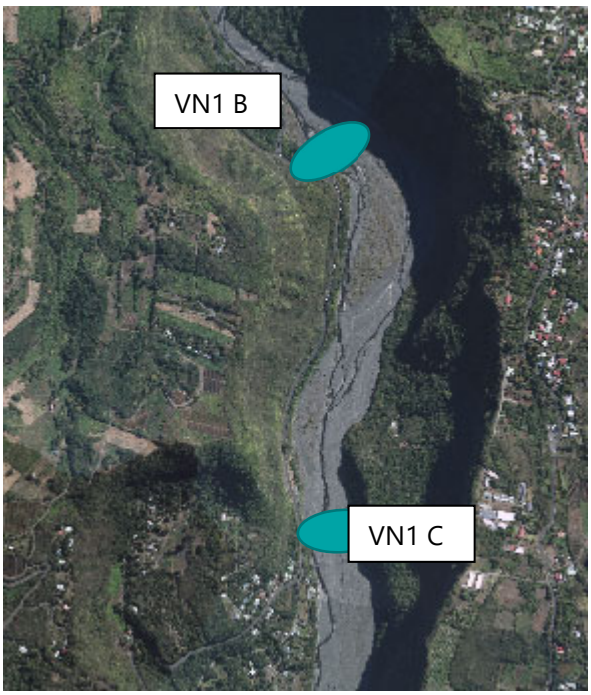


Représentation des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement sur le linéaire du tracé VN1 (crue centennale)

Sur ce secteur, les vitesses d'écoulement varient entre 3 m/s et 9 m/s et les hauteurs d'eau peuvent atteindre 7 m de hauteur.

- Au sortir de la Rampe des Aloès et sur un linéaire de 200m : la rive droite est plus exposée que la rive gauche : il est observé des vitesses de l'ordre de 7 m/s en rive droite, de 4 à 5 m/s en rive gauche du fait de la protection opérée par l'éperon rocheux situé en amont. L'effet de l'éperon se traduit également par des cotes de crue supérieures en rive droite de 1.20 m par rapport de la rive gauche.
- Au droit de l'éperon rocheux situé en rive gauche, il est observé une surcote évaluée à près de 3 m. Ce point devra faire l'objet d'une analyse particulière pour le tracé retenu.
- En amont de l'éperon, la situation s'inverse et c'est la rive gauche qui est le plus exposée aux courants (avec des vitesses de l'ordre de 6-7 m/s) sur 380m.
- Dans le coude, en rive droite, les vitesses sont fortes, comprises entre 5 à 8 m/s.

- **Impact sur les ouvrages de franchissement**



La longueur des différents ouvrages de franchissement pour les deux variantes étudiées est relativement importante (de l'ordre de 150 à 200 m). Ils présenteront ainsi probablement une pile dans le lit mineur avec des vitesses relativement conséquentes (7 à 8 m/s).
Concernant l'ouvrage de la variante VN1 C, les culées se situeront sur du rocher massif. Pour l'ouvrage de la variante VN1 B, la culée de la rive droite est localisée sur un encaissant meuble. Cette configuration sera donc plus complexe à traiter pour la protection contre les affouillements.

- **Nécessité de protection en fonction de la nature des berges**

La variante VN1 B intègre la construction d'une route digue sur la rive droite dans le lit actif du cours d'eau. Cette solution nécessite de protéger les talus de l'infrastructure routière sur un linéaire de 1 km contre le risque d'affouillement.

La variante VN1 C intègre un tracé sur la rive gauche passant par deux secteurs présentant des terrains meubles, facilement affouillables. Ces tronçons sont évalués à un linéaire de 700 à 800 m.

VARIANTE VN1 B

VARIANTE VN1 C

Localisation des protections contre le risque de l'affouillement

A noter que positionner la route sur la terrasse située en surplomb du bras de Cilaos en rive gauche permet de se prémunir contre les risques hydrauliques et constitue donc une solution intéressante.

- **Impact sur les modifications de la section d'écoulement**

La variante VN1 B intègre une solution de route digue construite dans le lit mineur sur un linéaire de 1 km. Cette construction réduirait une section déjà étroite pour un cours d'eau du type du bras de Cilaos et modifierait l'écoulement en lit mineur ainsi qu'en lit majeur.

La variante VN1 C dispose d'un tracé permettant de limiter les réductions de sections d'écoulement et les modifications morphologiques en découlant.

- **Résumé de l'analyse des variantes VN1**

Légende de la comparaison des variantes :

Option la plus avantageuse, ne présentant que des points positifs

Option avantageuse pouvant présenter quelques contraintes

Option présentant des points contraignants mais acceptables

Option présentant un certain nombre de points contraignants

Option contraignante, rédhibitoire

Solution		Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
Impact hydraulique	Hauteurs d'eau / Vitesses d'écoulement	Section en tunnel permettant de s'éloigner du Bras de Cilaos	Rive droite soumise à de forte vitesse sur un linéaire de 200 m	Rive gauche soumise à de forte vitesse sur un linéaire de 700 m
	Ouvrages de franchissement	Ouvrage nécessitant une pile dans le lit mineur ou mise en place d'un ouvrage exceptionnel sans appui dans le cours d'eau	Ouvrage nécessitant une pile dans le lit mineur ou mise en place d'un ouvrage exceptionnel sans appui dans le cours d'eau Configuration complexe pour la protection contre l'affouillement	Ouvrage nécessitant une pile dans le lit mineur ou mise en place d'un ouvrage exceptionnel sans appui dans le cours d'eau

Solution		Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
Impact hydraulique	Risque d'affouillement	Eloignement des berges du cours d'eau	Protection du risque d'affouillement sur un linéaire de 1 km	Protection du risque d'affouillement sur un linéaire de 700 m
	Modifications de la section d'écoulement	Aucune modification de la section d'écoulement	Modification du lit mineur sur la section route digue	Plus faible empiètement des ouvrages dans le lit mineur du cours d'eau.

D'un point de vue strictement hydraulique la variante VN1C est préférable à la variante VN1B. Cette variante permet de minimiser les linéaires de route digue à mettre en œuvre. Nous préconisons de plus les éléments suivants :

- Positionner l'ouvrage de franchissement à l'aval de l'éperon rocheux situé face à l'ilet Rolland, de manière à éviter les surcotes et les accélérations de vitesses d'écoulement observées dans le modèle hydraulique. Etant donnés les risques existants, il est préconisé de ne pas mettre de piles dans le lit du cours d'eau. Dans le cas où la construction d'une pile serait inévitable, la pile de l'ouvrage de franchissement devra être situé le plus possible vers la rive gauche de manière à limiter son exposition aux bras actifs concentrant les écoulements formés en période de crue.
- Le tracé devra éviter au maximum une implantation dans le lit de la rivière en s'inscrivant sur la terrasse de l'ilet Rolland, puis les terrasses existantes jusqu'à la jonction avec la route actuelle. Ceci dans l'objectif de profiter le plus possible des berges rocheuses existantes sur ce parcours.
- Afin de réduire le risque, le tracé VN1C devra donc être repoussé coté rempart sur un linéaire de 500m de 20 mètres en moyenne par rapport à l'implantation proposée.

7.3.1.2 - Enjeux trajectographiques

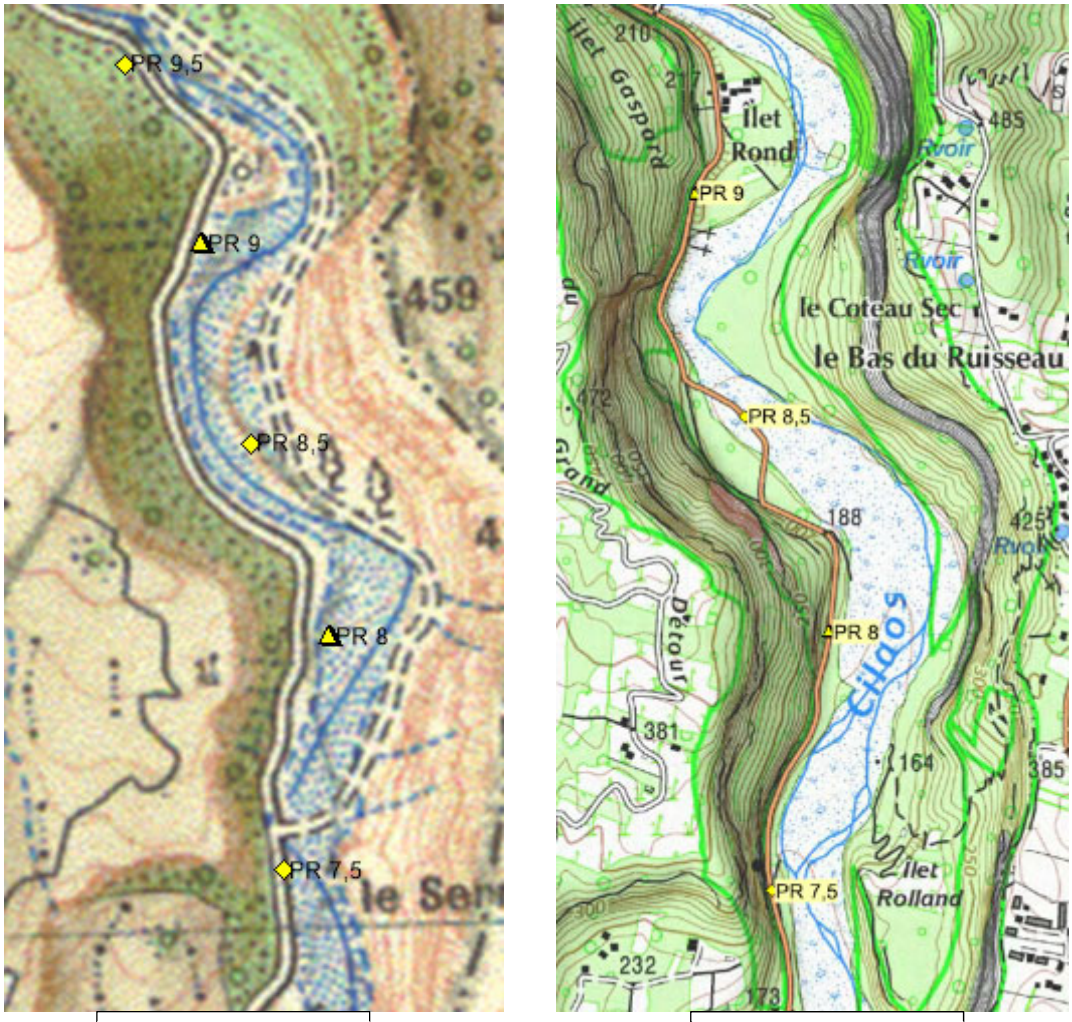
Les variantes sont comparées selon les critères suivants :

- Risque actuel et risque résiduel (après mise en place des protections).
- Gain en sécurité.
- Faisabilité technique.

7.3.1.2.1 - Contexte géologique

Tronçon concerné

Les variantes étudiées concernent principalement la rive gauche du bras de Cilaos entre Aloès et Ilet Rond, c'est à dire le tracé de la première route de Cilaos construite entre 1923 et 1935, puis abandonnée en 1948, lorsque les ponts ont été emportés par les crues du Bras de Cilaos. La nouvelle voie construite en rive droite a été en partie, de nouveau abandonnée en 2002 et 2018. Elle a été remplacée par la nouvelle RN 1005 avec un tracé rive gauche.



Carte IGN 1957

Carte IGN 2010

FIGURE 34 : LOCALISATION DU TRONÇON ETUDIE DANS LE CADRE DES VARIANTES

Le plateau d'Ilet Roland

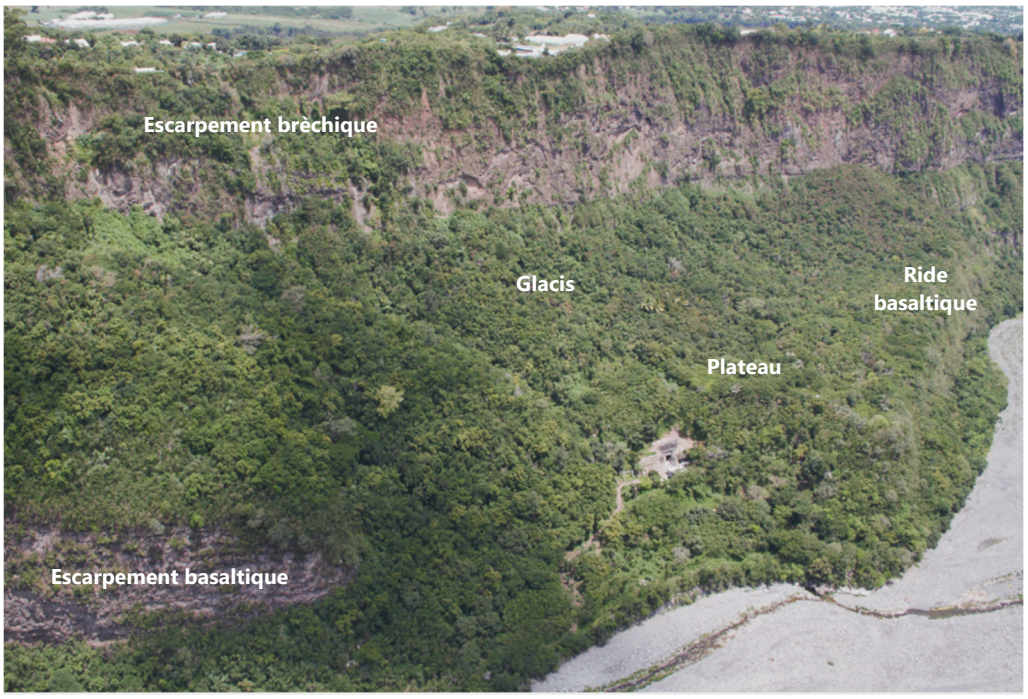
Le plateau d'Ilet Roland est perché de 50 m au-dessus du bras de Cilaos, à l'altitude + 200 NGR.

Il est délimité à l'Ouest par une ride basaltique orientée Nord-Sud, relief rocheux qui constitue la berge verticale rive gauche du bras de Cilaos, haute de 40/50 m.

Le plateau d'Ilet Roland faiblement incliné vers le Nord et vers l'Ouest se raccorde à l'Est au rempart brèchique de 150 m de hauteur (+230 NGR et + 380 NGR). Ce rempart de direction NNE SSW (N 10 E) et rectiligne sur 1,5 km, présente un aspect « déchiqueté » dans le détail (photographie 30).

PHOTOGRAPHIE 30 : REMPART BRECHIQUE « DECHIQUETE » A L'EST DU PLATEAU DE L'ILET ROLAND

Le plateau se raccorde au rempart par un glacis incliné à 66 % environ (34 °) (cf. photographie 31).



PHOTOGRAPHIE 31 : LE PLATEAU PERCHE D'ILET ROLAND (RIVE GAUCHE)

La barre verticale sommitale du rempart Est, de 100 m d'épaisseur, est constituée de brèches de couleur claire contenant des blocs de taille métrique et des mégablocs de taille décamétrique.

Ces brèches « soudées » ont également été observées en plusieurs endroits :

- Sur le sentier au-dessus des bâtiments d'Ilet Roland, dans la pente (altitude +230 NGR) au pied du glacis où elles forment un petit escarpement vraisemblablement en place (photographie 32) ;
- Sur la partie basse du plateau à 250m au Sud des bâtiments (photographie 33). Leur présence éloignée du pied du rempart semble indiquer que les plus gros éléments peuvent se propager très loin du rempart (éboulement en masse, coulée boueuse...).

La partie basse du rempart et le plateau sont constitués d'alluvions et de brèches. Les alluvions affleurent dans les talus décaissés à l'arrière des bâtiments semi-enterrés (photographies 34 et 35) où elles sont recouvertes par des colluvions à blocs.

PHOTOGRAPHIE 32 : MASSE BRECHIQUE OBSERVEE SUR LE SENTIER DE L'ENTRE-DEUX, A ALTITUDE + 230 NGR

PHOTOGRAPHIE 33 : MASSES BRECHIQUES RENCONTREES SUR LE PLATEAU D'ILET ROLAND

PHOTOGRAPHIE 34 : TALUS ALLUVIONNAIRE EN AMONT DES BATIMENTS ENTERRES DE MR TURPIN

PHOTOGRAPHIE 35 : ALLUVIONS MAL TRIEES (DETAIL DE LA PHOTO CI-DESSUS)

Les chutes de blocs sur le plateau d'ilet Roland

Sur ce secteur, nous n'avons aucune information sur les événements historiques. D'après les riverains, les chutes de blocs en provenance du rempart brèchique amont sont fréquentes mais les blocs s'arrêtent dans le glacis en amont du plateau.

D'après les observations de terrains, seuls les plus gros (basalte et brèche) peuvent se propager sur le glacis et atteindre les parties basses du plateau.

PHOTOGRAPHIE 36 : BLOCS DE BASALTE DE 2 M³ RENCONTRES SUR LE PLATEAU D'ILET ROLAND

PHOTOGRAPHIE 37 : BLOCS DE BASALTE DE 1 A 3 M³ RENCONTRES SUR LE PLATEAU D'ILET ROLAND

Les éboulements en masse

Les clichés aériens montrent des niches d'arrachement dans la partie sommitale du relief. Les mouvements de terrain potentiels susceptibles de se produire dans le rempart sont le détachement de pans bréchiques de volume de plusieurs milliers de m^3 contenant des blocs de grande dimension. Ces phénomènes restent probables dans ce type de relief brèchique. L'effritement des brèches tendres constituant la matrice, conduit à la mise en surplomb de mégablocs et de masses soudées de grand volume qui finissent par se détacher de la paroi.

Le ravinement du versant et les coulées boueuses

Les pentes constituées de colluvions, d'éboulis et d'alluvions sont sensibles au ravinement par les eaux. L'érosion se manifeste essentiellement au droit des talwegs, au droit du sentier notamment. Des coulées de boues sont susceptibles de se former lors des épisodes pluvieux exceptionnels dans ces talwegs où se concentrent les eaux. Une coulée de boue s'est produite en 2018 lors des fortes pluies, d'un volume de plusieurs centaines de m^3, sur le plateau en amont des bâtiments, dans un talweg au pied du glacis.

L'incision des talwegs est marquée au pied du rempart et s'atténue en pied de versant où les matériaux s'accumulent sous forme de colluvions.

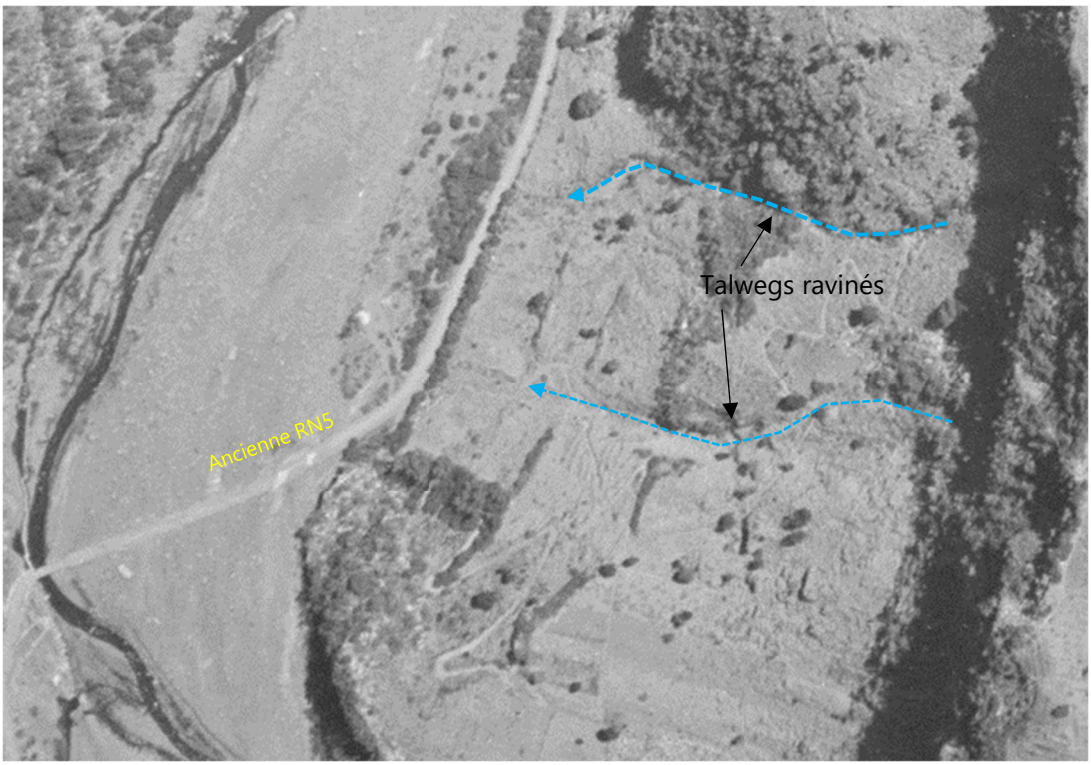


FIGURE 35 : TALWEGS RAVINES DANS LE VERSANT SITUES AU PIED DU REMPART BRECHIQUE (CLICHE IGN 1950)

Le rempart au Nord d'Ilet Roland

La morphologie du rempart Nord d'Ilet Roland est déterminée par plusieurs éléments distincts :

- Un rempart de pied basaltique, haut de 100 à 150 m, très abrupt (pente supérieure à 70 °, constitué en totalité de coulées basaltiques anciennes (Série des Océanites) ;
- Un versant de tête moins incliné, constitué soit de brèches soit de coulées de basalte anciennes altérées ;
- Un épaulement basaltique de pied (banquette) qui disparait au Nord dans le coude de la rivière ;
- Un dépôt localisé d'alluvions anciennes plaqué contre le pied du rempart.

Ce rempart est le siège de nombreuses chutes de blocs qui se détachent périodiquement des parois verticales et du versant amont.

Le dépôt alluvionnaire de pied est extrêmement raviné. L'érosion y est très active avec la formation de petits cônes en pied du relief, dans la berge. Le terrassement récent d'une piste réactive ces phénomènes d'érosion.

Une particularité de cette berge rive gauche est la présence d'épaulements basaltiques en pied de rempart, formant des banquettes boisées. Le tracé de l'ancienne RN5 emprunte cette banquette plus au Sud (vers Ilet Roland) et plus au Nord. Elle est fondée sur les coulées de basaltes, formant un plateau surélevé de 3 à 6 m au-dessus du lit de la rivière (photographies 40 et 41).

Dans le coude de la rivière, au droit du dépôt alluvionnaire, la banquette basaltique est quasi absente. La rivière coule pratiquement contre le pied du rempart.

A noter que l'ancienne RN5 a disparu au droit du dépôt alluvionnaire. En 1950, la route avait été implantée sur une basse terrasse alluvionnaire qui a été complètement érodée depuis.

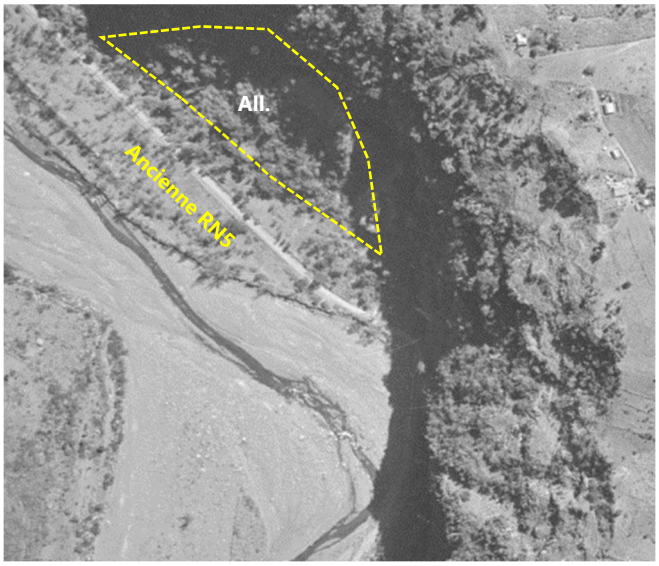
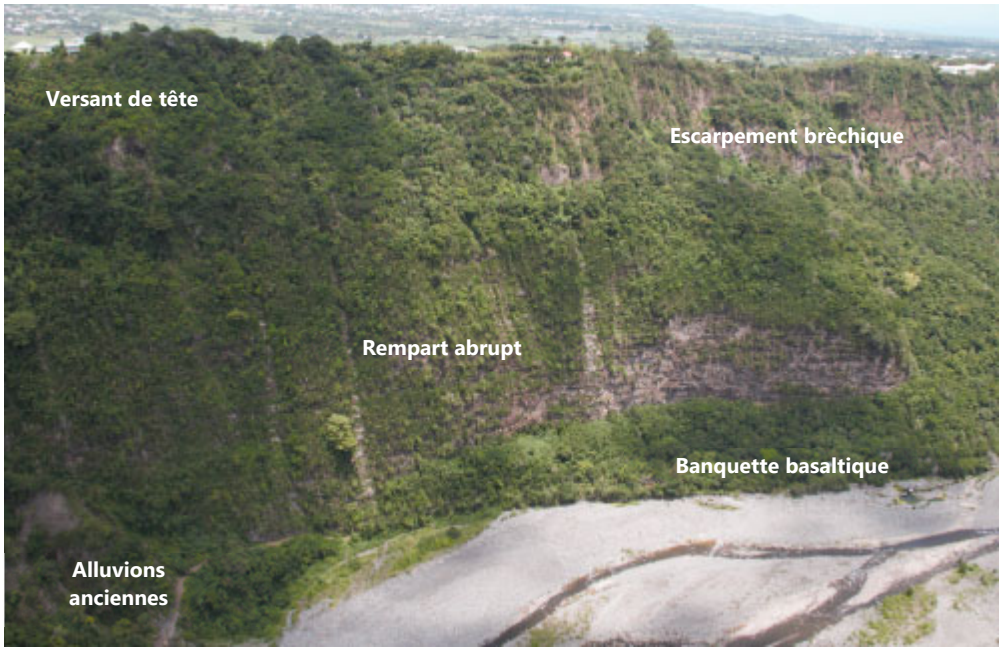


FIGURE 36 : ANCIENNE RN5 DISPARUE AU DROIT DU DEPOT ALLUVIONNAIRE ET DANS LE COUDE DE LA RIVIERE

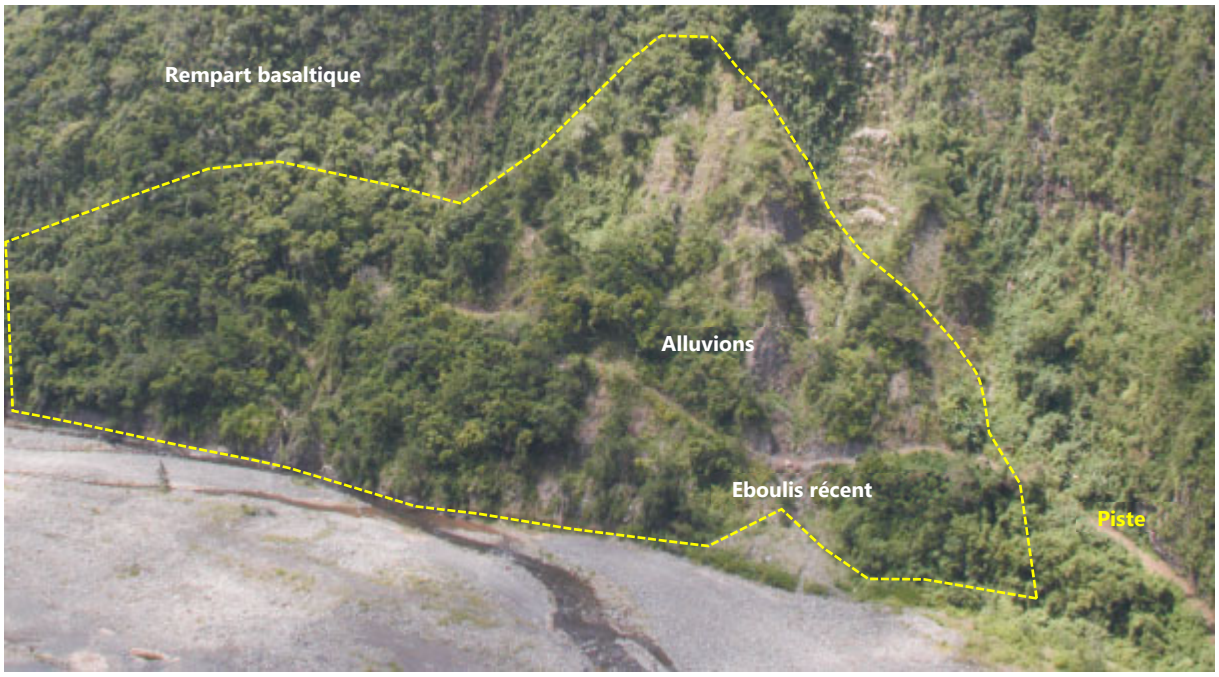


PHOTOGRAPHIE 38 : REMPART DANS LE COUDE AU NORD D'ILET ROLAND

PHOTOGRAPHIE 39 : DEPOT D'ALLUVIONS ANCIENNES PRESERVEES EN AMONT DU COUDE DE LA RIVIERE

PHOTOGRAPHIE 40 : EPAULEMENT BASALTIQUE EN PIED DE REMPART

PHOTOGRAPHIE 41 : ANCIENNE RN5 FONDEE DANS LES COULEES BASALTIQUES EN PIED DE REMPART



PHOTOGRAPHIE 42 . DEPOT D'ALLUVIONS ANCIENNES ADOSSE AU PIED DU REMPART

PHOTOGRAPHIE 43 : PISTE RECEMMENT TAILLEE DANS LES ALLUVIONS GRAVELO-SABLEUSES

Pied du rempart au niveau du Bas de Ruisseau (RN 1005)

Sur ce tronçon, le pied du versant présente une morphologie en « marches d'escalier » ou banquettes.

La RN 1005, nouvelle voie d'évitement en rive gauche, longe un escarpement basaltique de 5 à 10 m de hauteur qui délimite un plateau basaltique surélevé de 10 m environ par rapport au lit de la rivière actuelle. En 1950, le lit de la rivière s'étendait jusqu'à ce premier escarpement basaltique. Cela signifie que l'actuel tracé de la RN 1005 se situe dans les alluvions récentes du bras de Cilaos. En 1950, le lit était engravé et plus haut que le lit actuel.

FIGURE 37 : LIT ENGRAVE DE LA RIVIERE AU SUD D'ILET ROND

L'ancienne RN5, toujours présente et parfaitement conservée, a été implantée sur la première banquette au pied d'un second escarpement basaltique de 10 à15 m de hauteur au-dessus de la RN 1005.

FIGURE 38 : BANQUETTES BASALTIQUES EN AMONT DE LA RN 1005 (CLICHE IGN 1973)

Un troisième escarpement basaltique délimite le plateau amont qui se raccorde au rempart.

Ces banquettes basaltiques sont recouvertes de colluvions à blocs. Vers le Sud, elles s'ennoient sous les alluvions anciennes.

Dans les années 1950 à 1973, ces terrasses (banquettes et plateau amont) étaient cultivées.

PHOTOGRAPHIE 44 : ESCARPEMENT BASALTIQUE 1 EN BORDURE AMONT DE LA RN 1005

PHOTOGRAPHIE 45 : ANCIENNE RN5 IMPLANTEE AU PIED DE L'ESCARPEMENT BASALTIQUE 2

7.3.1.2.2 - Enjeux trajectographiques – Préambule

Les analyses trajectographiques ont été réalisées sur la base du dossier de plan VRU180007 RN5 CILAOS du 04/06/19.

Le tracé AVP établi en octobre 2019 présente plusieurs modifications développées au chapitre 7.4 :

- Baisse de quelques mètres de l'altitude de la plateforme VN1c,
- Modification de quelques dizaines de mètres de la position des appuis des 2 ouvrages d'art (OA2 et OA3) de part et d'autres de l'Ilet Rond (VN2b/c) et de l'ouvrage en amont de l'Ilet Furcy (OA4)

7.3.1.2.3 - Enjeux trajectographiques pour VN1b (PR7+200 à 8+200) rive droite

VN1b reprend le principe de la route digue VN1 avec un décalage supplémentaire de la chaussée vers le lit du cours d'eau à l'Est.

Les blocs qui atteignent le projet proviennent de la rive droite, sauf à l'extrémité amont au niveau de l'ouvrage de franchissement OA2 où des blocs proviennent de la rive gauche.

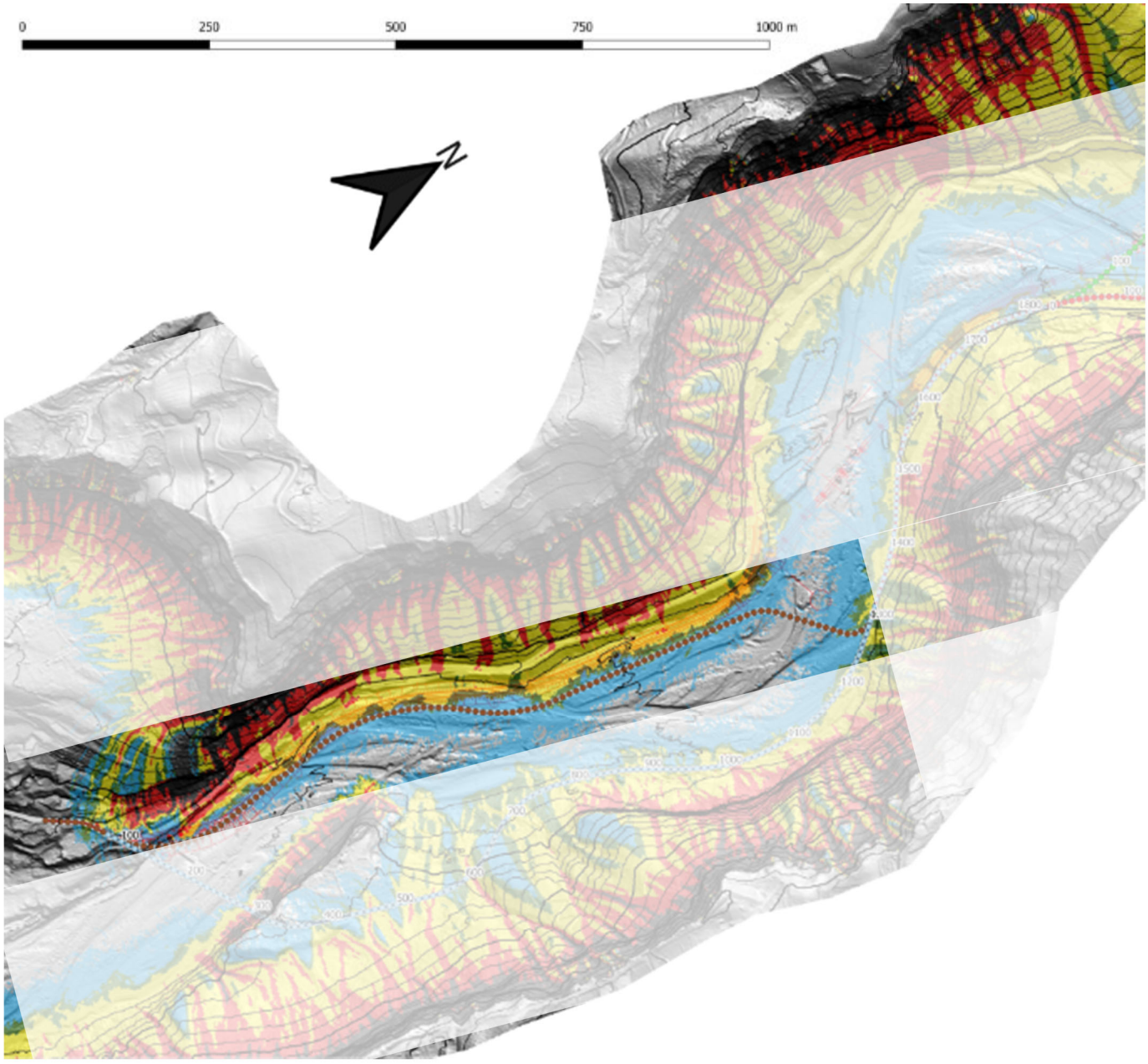


FIGURE 39 TRACES VARIANTES VN1B (DETAILS ANNEXE 8)

Avec la topographie actuelle (sans modélisation du piège à caillou ou du remblai projeté), 126 646 blocs se propagent jusqu'à l'axe de la chaussée projetée (sur 588 100 blocs simulés soit 21%).

Le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability associés est présenté dans la figure ci-dessous et page suivante :

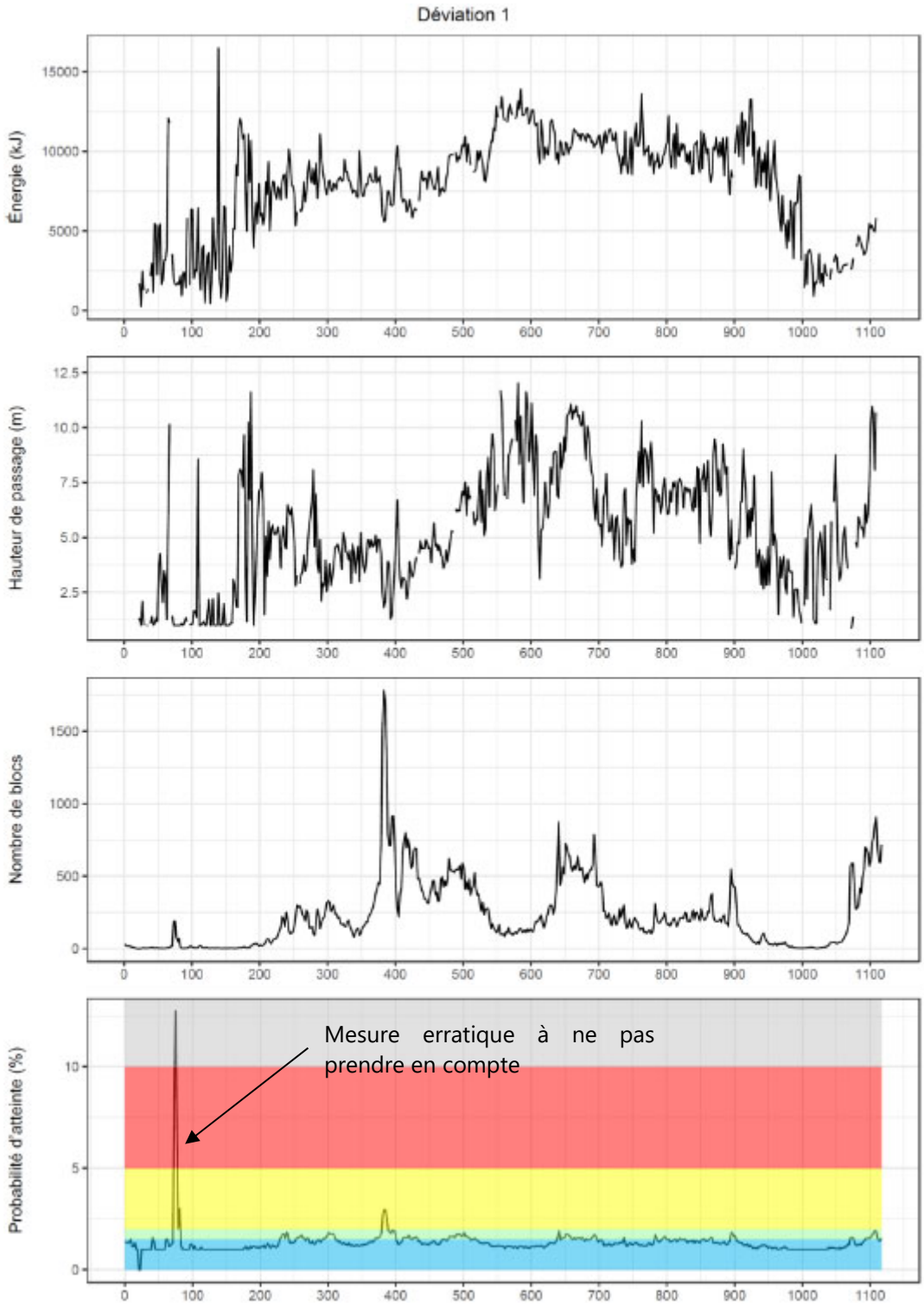


FIGURE 40 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITE D'ATTEINTE VARIANTE VN1B

La comparaison des hauteurs de passage et des probabilités d'atteinte montre deux secteurs d'environ 200 m où l'aléa résultant alterne entre Très Faible et Moyen et où les blocs passent au-delà de la hauteur de la plateforme.

Outre le parement amont qui devra être raidi pour former un piège à caillou le long du linéaire (sur le principe présenté figure 16 et repris ci-dessous figure 41).

Une protection amont de type merlon pare blocs de 3 à 5 m de hauteur sera à étudier sur le premier tronçon (PRK60 à PK780) (sur le principe présenté figure 18 page 61 et repris ci-dessous figure 42).

Une protection amont de type merlon pare blocs de 1 m de hauteur sera à étudier sur le second tronçon (PK840 à PK1040).

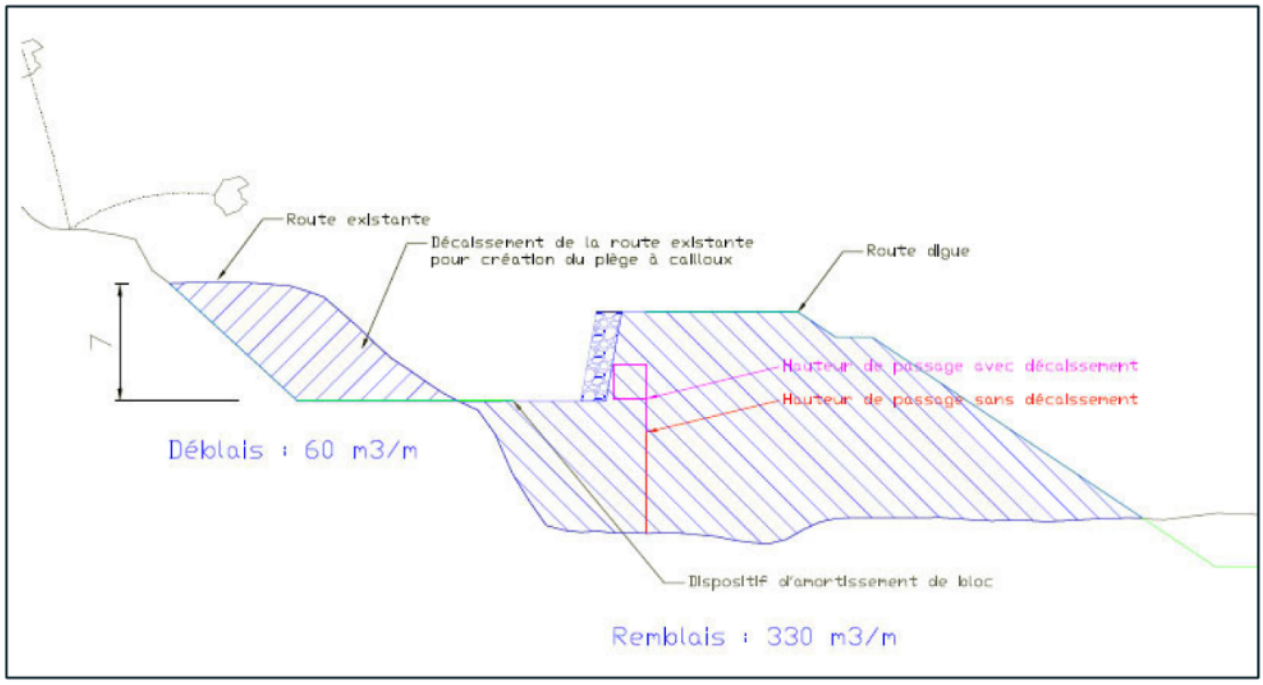


FIGURE 41 : SCHEMA PRINCIPE DU PAREMENT RAIDI

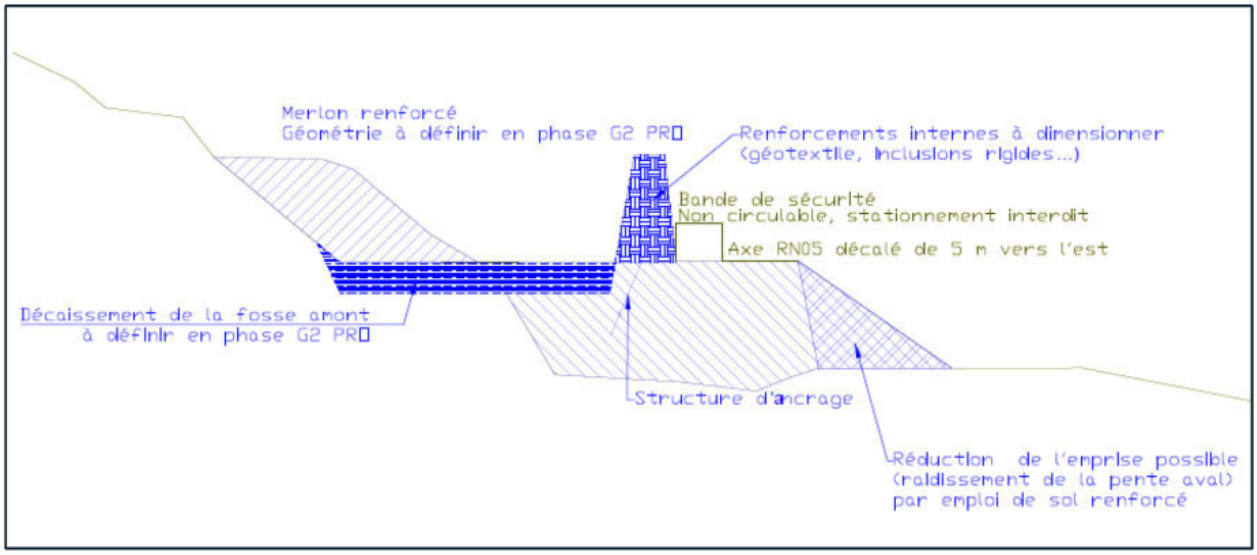


FIGURE 42 : SCHEMA PRINCIPE MERLON RENCFORCE AMONT

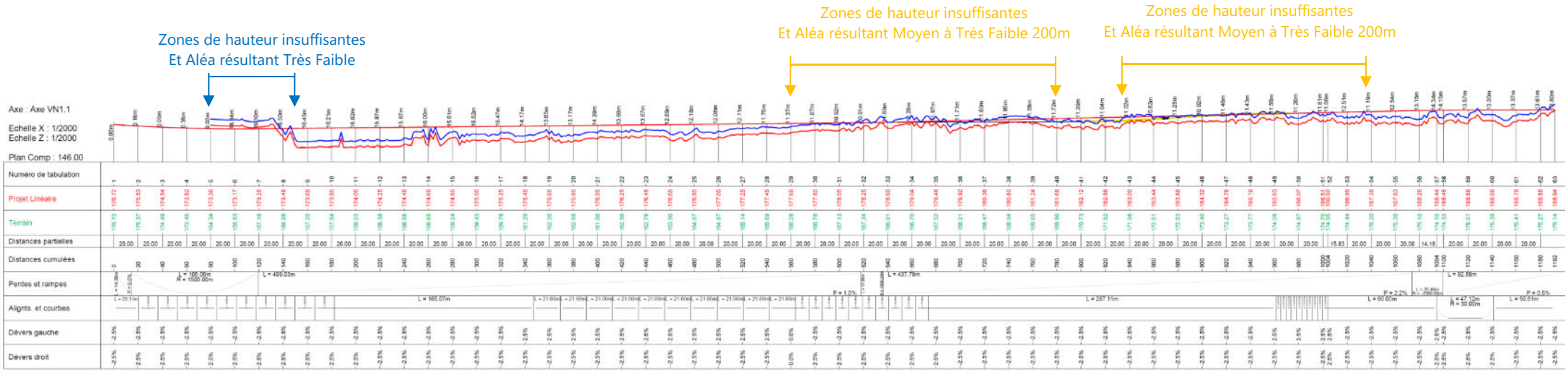


FIGURE 43 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT A LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE VN1B

7.3.1.2.4 - Enjeux trajectographiques pour VN1c (PR7+200 à 9)

Après un ouvrage d'art OA1, VN1c passe en rive gauche au sein d'une tranchée de déblais sur 350 m environ puis est édifié en remblai en pied de rempart.

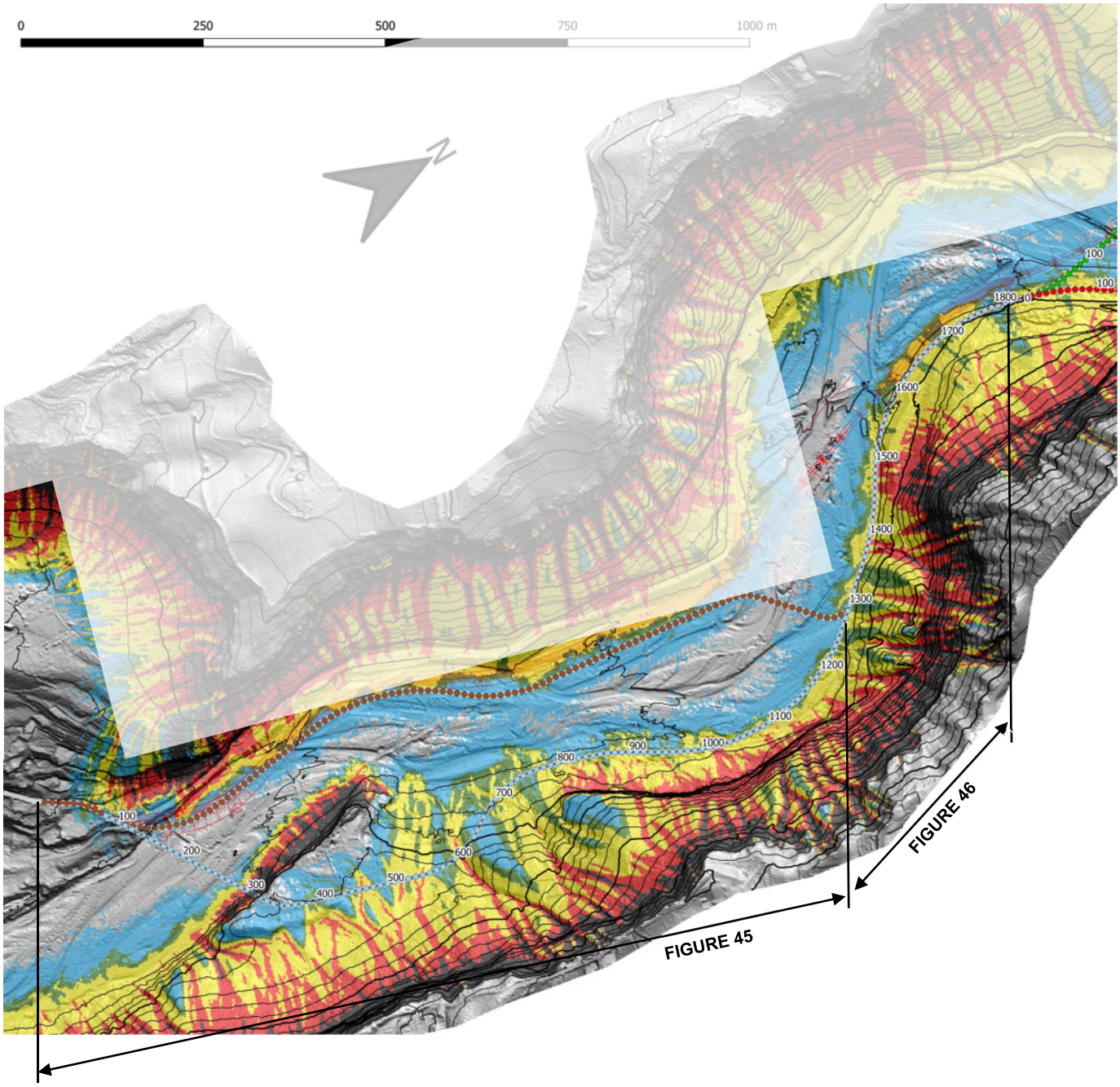


FIGURE 44 : TRACES VARIANTES VN1C (DETAILS ANNEXE 8)

Avec la topographie actuelle (sans modélisation du piège à caillou ou du remblai projeté), 607 258 blocs se propagent jusqu'à l'axe de la chaussée projetée (sur 932 700 blocs simulés soit 65%).

Ce tracé est donc potentiellement plus exposé aux chutes de blocs (entre 3x plus en relatif et 5 x plus en valeur absolue).

Le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability associés est présenté dans la figure ci-dessous et page suivante.

Les énergies de passage sont globalement moins fortes ici, avec des blocs de 2m3 et 2500kJ en moyenne, qu'en VN1b (8 m^3 et 7 500 kJ).

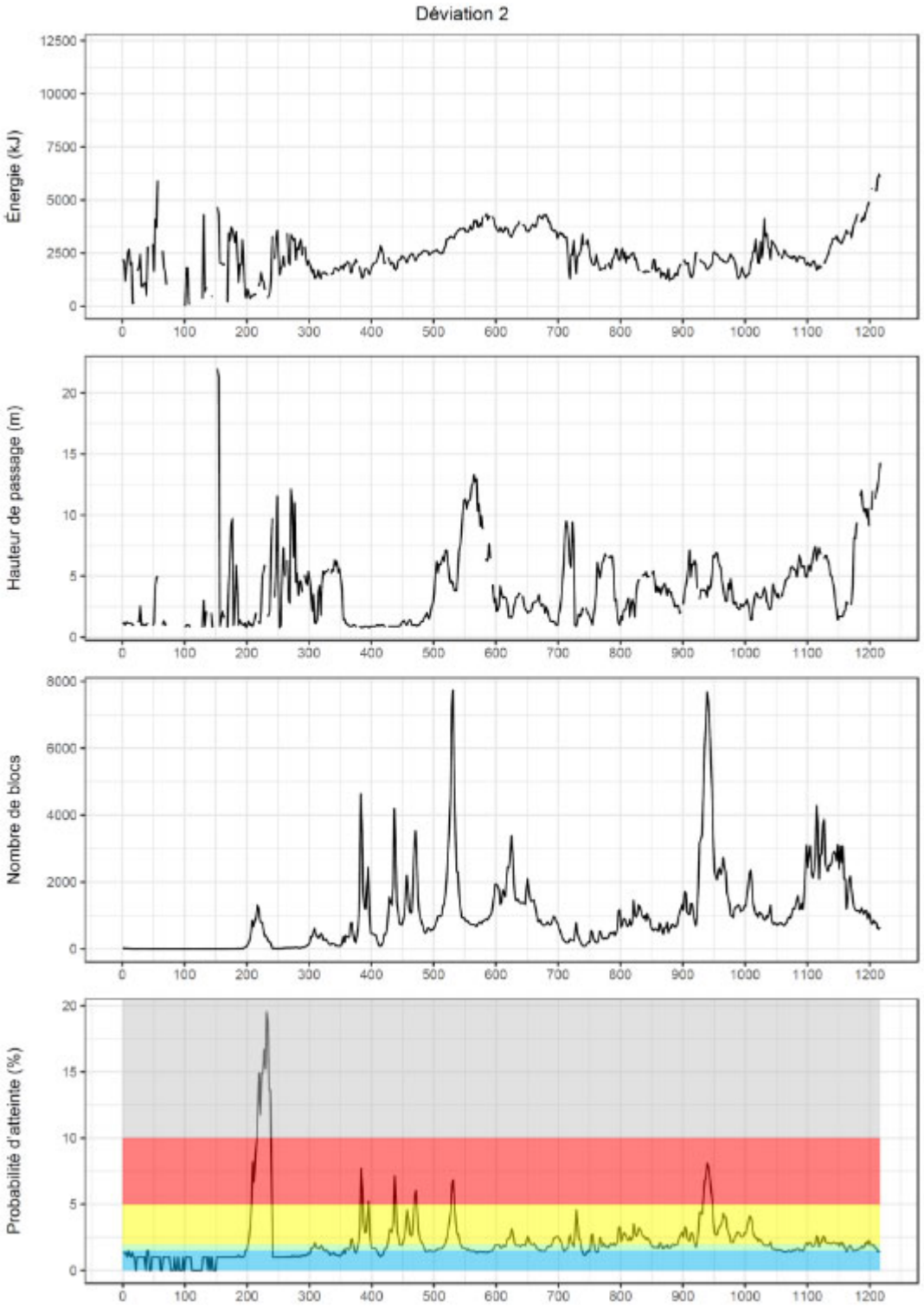


FIGURE 45 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITE D'ATTEINTE VARIANTE VN1C

La figure ci-dessous présente le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability au niveau de la zone située entre AO2 et OA3.

On remarque que cette zone est plus exposée, la reach probability est Faible à Moyen soit un aléa résultant Moyen à Elevé sur cette portion.

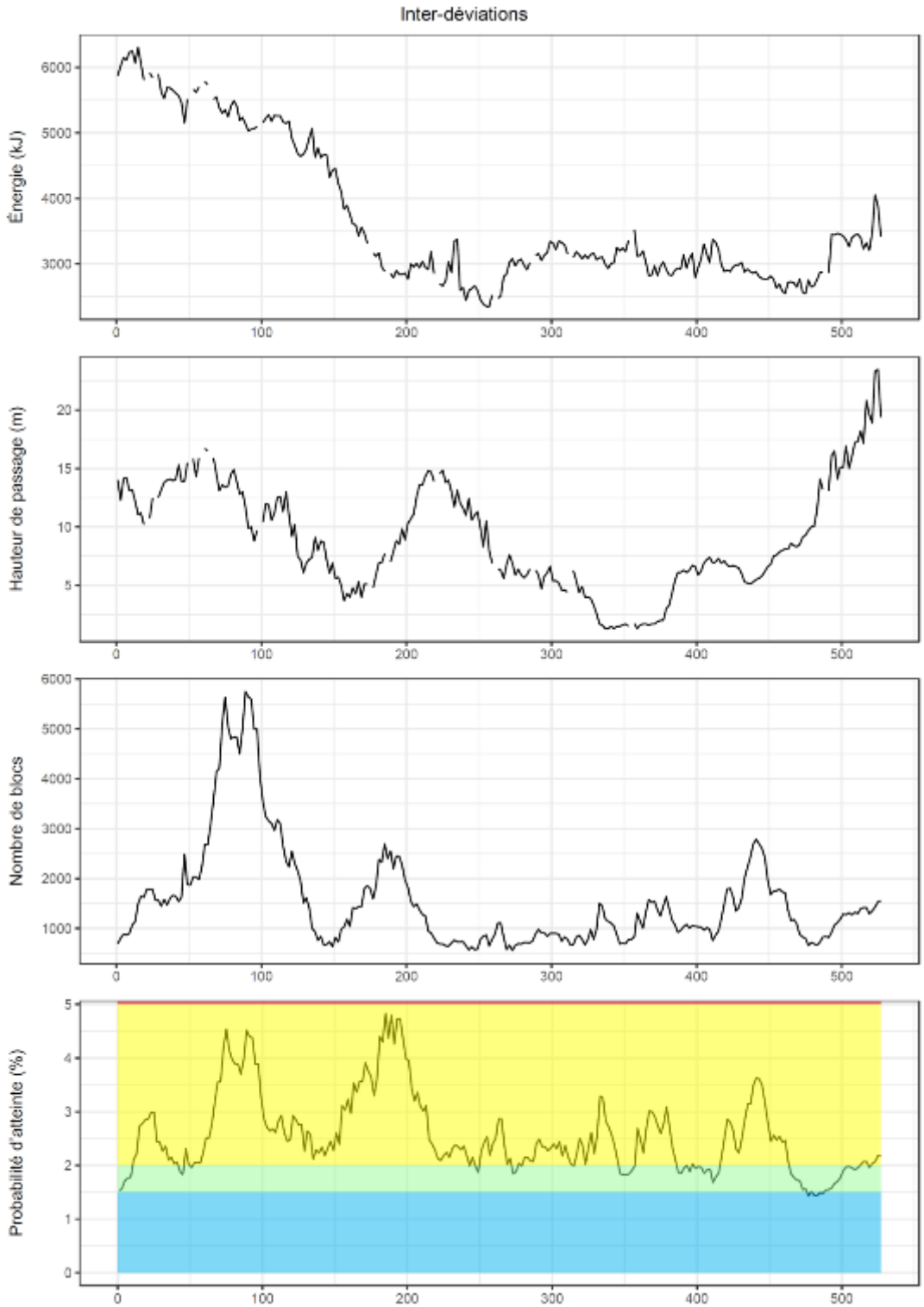


FIGURE 46 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITE D'ATTEINTE VARIANTE VN1C ENTRE OA2 ET OA3

La comparaison des hauteurs de passage et des probabilités d'atteinte montre un l'aléa résultant alterne entre Très Faible et Elevé et où les blocs passent au-delà de la hauteur de la plateforme sur la quasi-totalité du linéaire.

Seul environ 300 m, entre PK1000 et PK1300, présente une hauteur de plateforme suffisante et sur laquelle un parement amont raidi / piège à caillou pourrait suffire (cf. figure 16 page 60 du rapport initial)

La figure présente page suivante présente les protections amont à mettre en œuvre pour abaisser l'aléa résiduel (= après travaux) à Très Faible.

Il s'agira d'écran pare-blocs de forte capacité sur la partie aval entre les PK300 et 1100.

Au-delà, la mise en place de merlon ou d'écran pare-blocs pourra être envisagée des PK100 à 1800.

La partie de VN1c (commune à VN1b) entre les OA2 et OA3 nécessitera également la mise en place de protection linéaire.

Les quantités arrondies sont :

VN1c aval = 600 m d'écrans forte capacité + confortement des talus de la tranchée de déblais

VN1c amont = 600 m d'écran forte capacité ou de merlon

VN1 entre OA2 et OA3 = 300 m d'écrans forte capacité + 600 m d'écrans forte capacité ou de merlon

Les dispositions de confortement des talus du déblai sur la VN1c (pentes du talus, confortement actifs/passifs, etc…) nécessiteront des compléments d'études géotechniques dans le cadre des phases ultérieures du projet.

Les écrans de fortes capacités ont été prédimensionnés avec une capacité énergétique de 5000 à 8000 kj et des hauteurs nominales comprises entre 7 et 9 m. Le détail est présenté ci-dessous et l'implantation de principe en Annexe 8.

Conformément à la norme NF P 94-500 précisant l'enchaînement des missions géotechniques, ces prédimensionnements ne sont pas bon pour éxécution en l'état. La conformité des hypothèses devra être contrôlées et adaptées tout au long de la phase de conception et de réalisation. Ces résultats devront donc être complétés et validés lors des phases d'étude (G2) et des phases dédiées à l'exécution (G3/4).

Voie	Hauteur du centre de gravité des blocs (m)	Hauteur nominale de l'écran (m)	Énergie (kJ)	Nom	Écran obligatoire (pas de merlon possible)	Longueur (m)	PR début	PR fin
VN1C	6	7 à 8	5000	EC-VN1c-1	Oui	230	350	580
	6	7 à 8	5000	EC-VN1c-2	Oui	140	550	640
	7	8 à 9	5000	EC-VN1c-3	Oui	170	610	800
	7	8 à 9	8000	EC-VN1c-4	Non	250	700	960
	6	7 à 8	5000	EC-VN1c-5	Non	110	950	1060
	7	8 à 9	8000	EC-VN1c-6	Non	210	1050	1270
	7	8 à 9	8000	EC-I-3	Oui	50	1300	1360
	7	8 à 9	8000	EC-I-0	A préciser	60	1250	1300
	7	8 à 9	8000	EC-I-2	Oui	30	1280	1300
	7	8 à 9	8000	EC-I-1	Oui	50	1290	1330
	6	7 à 8	5000	EC-I-4	Oui	60	1370	1420
	6	7 à 8	5000	EC-I-5	Oui	50	1420	1470
	6	7 à 8	5000	EC-I-6	Non	430	1330	1780
	6	7 à 8	5000	EC-I-7	A préciser	70 +100	1760	Fin VN1C +100 dans VN2

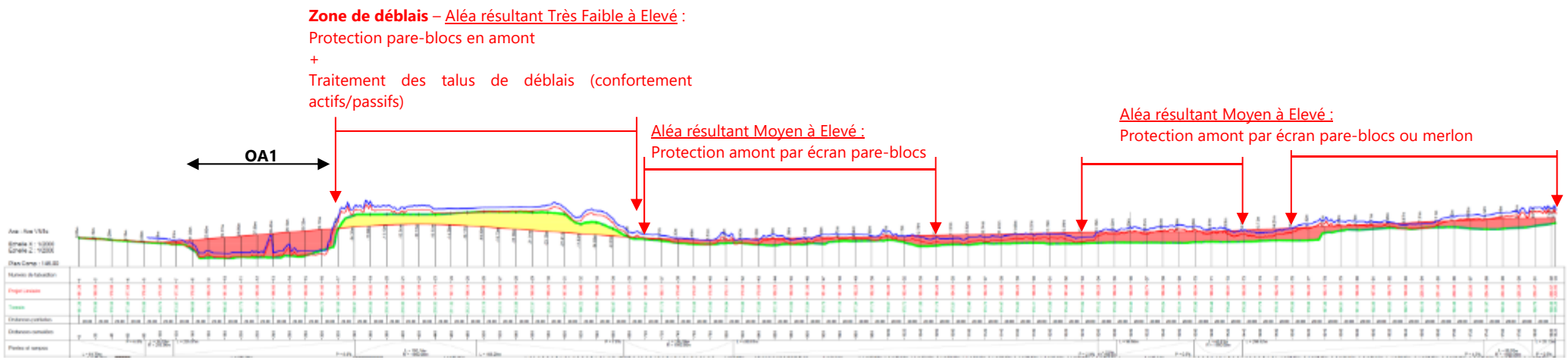


FIGURE 47 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT A LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE

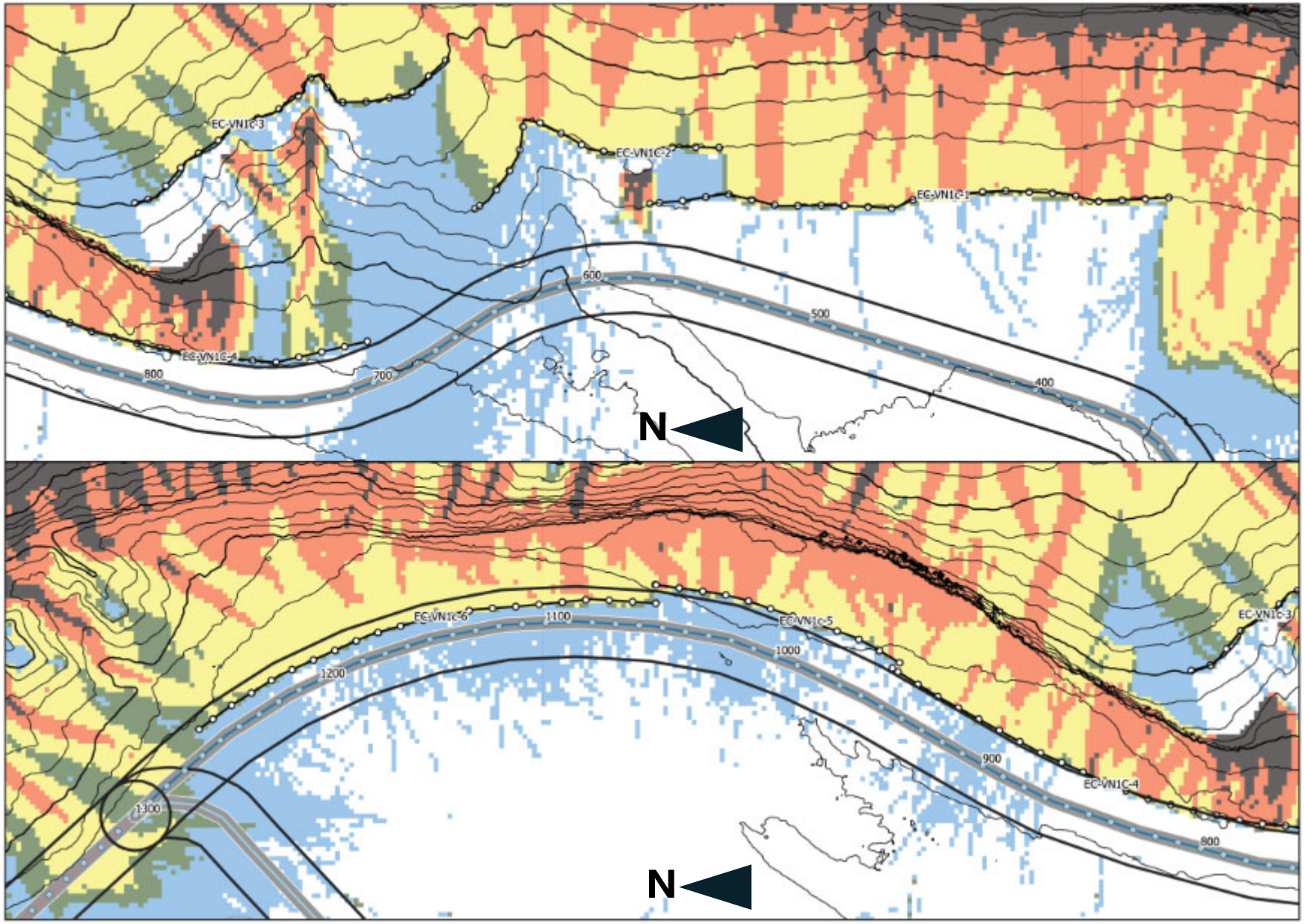


FIGURE 48 : ECRANS DE PROTECTION VARIANTE VN1C (DETAILS EN ANNEXE 10)

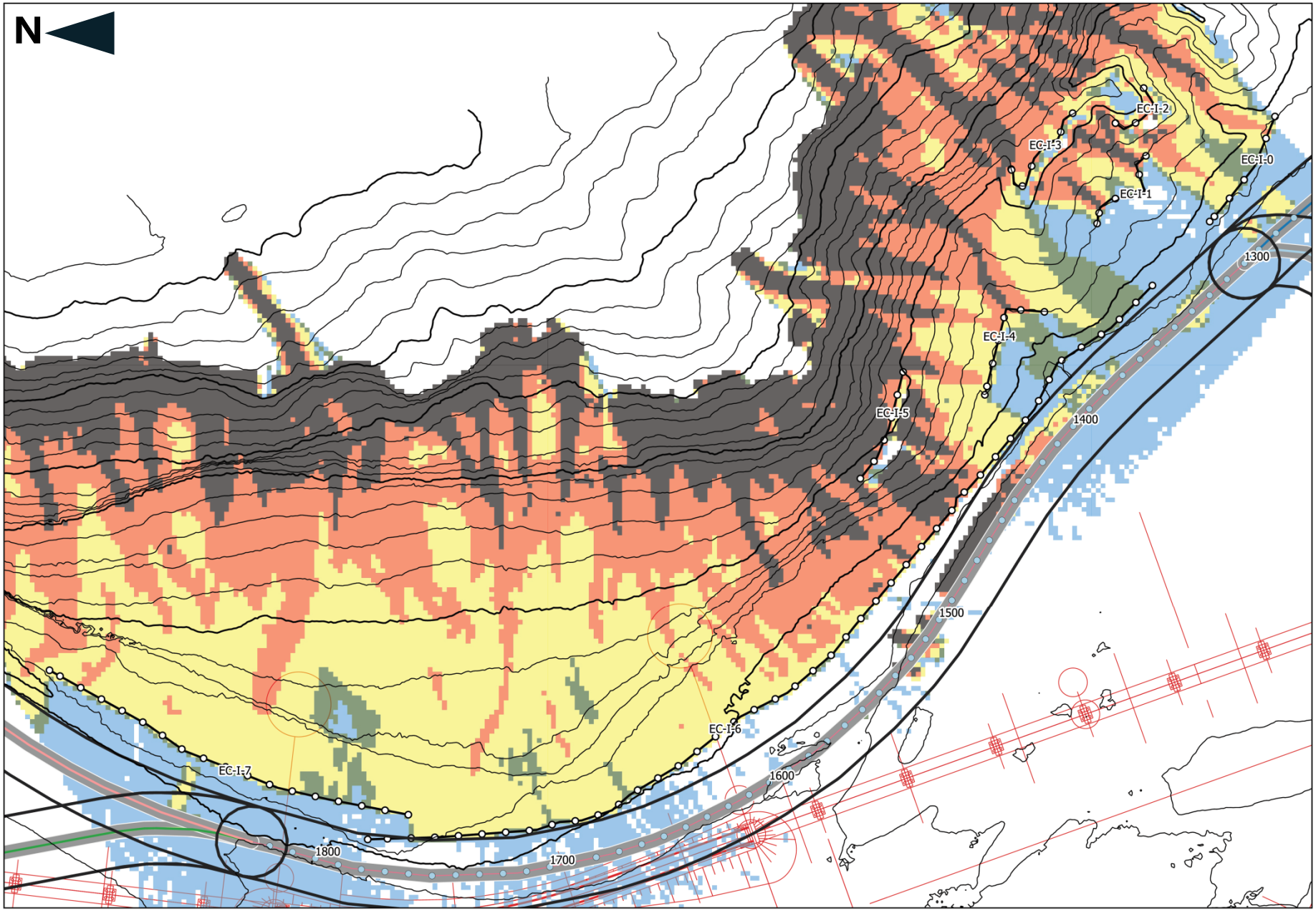


FIGURE 49 : ECRANS DE PROTECTION FIN DE LA VARIANTE VN1C ENTRE OA2 ET OA3 (DETAILS EN ANNEXE 10)

■ Comparaison VN1b / VN1c

A titre de comparaison on rappelle ici :
802 602 blocs sur les 1 038 200 simulés atteigne la RN5 actuelle, soit 77%.
517 969 blocs sur les 1 038 200 simulés atteigne le tracé VN1a (en plan, hors considération de hauteur), soit 50%.
L'aléa résultant recherché après la mise en place des protections sur VN1b et VN1c est Très Faible, ce qui correspond à reach proba< 1,5%.

■ VN1b

Avantages :

- Moins exposé aux chutes de blocs en terme de propagation (126 646 / 588100 ou 21% avant protection, < 8822 / 588100 ou < 1,5% avec protections), avec un aléa de rupture Très Elevé sur ce secteur.
- Solution d'éloignement qui implique peu d'entretien.
- Entretien par vidange, nettoyage, évacuation des matériaux du piège à caillou après évènement et sous surveillance /avec travaux préparatoire modéré au niveau de la cicatrice.
- Cout de l'entretien modéré (déblaiement du piège caillou réalisable les entreprises traditionnelles de terrassement).
- Niveau de sécurité pour les opérations de maintenance pour les opérateurs (intervention mécanisée dans des engins de chantier) et les usagers (maintenance peut être réalisée route ouverte).

Inconvénients :

- Nécessite une grande quantité de matériaux pour le remblai.
- Contraintes hydraulique car tracé qui empiète sur le cours d'eau.

■ VN1c

Avantages :

- Partie en déblais qui pourra apporter du matériau en remblais.
- Les écrans pare blocs ne sont pas la seule solution de protection sur tout le linéaire (c'est le cas sur environ 850 m). Une partie des protections peuvent être réalisée avec des ouvrages type merlon (1200 m environ).

Inconvénients :

- Plus exposé aux chutes de blocs en terme de propagation (607258 / 932700 ou 65% avant protection, <13991/932700 ou <1,5 % avec protections), avec un aléa de rupture Elevé sur ce secteur.
- Partie en déblais qui nécessitera des travaux confortements ou de protections au niveau des talus amont et aval (clouage, grillage, filets ou écran pare blocs / merlon en bord chaussée ou sur les risbermes).
- Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée.
- Niveau de sécurité moindre lors de phases d'entretien :
  - pour le personnel qui intervient car il s'agit de travail manuel sur corde (plus exposé qu'un terrassier dans un engin de chantier renforcé type pelle mécanique, camion, etc…) ;
  - pour les usagers, car lorsqu'un écran est impacté, il n'est quasiment plus opérationnel et les opérations de remise en état nécessitent des garder la route fermée plus longtemps (il est parfois possible d'envisager de doubler les lignes pour améliorer ce niveau de sécurité, mais le coût est quasi doublé).
- Coût de l'entretien, en cas d'impact sur les écrans, ils sont à reprendre (tout ou partie).

Le tableau de synthèse de la page suivante présente la comparaison entre ces variantes :

Solution	Variante A : tunnel + ouvrage	Variante B : route digue + ouvrage	Variante C : voie nouvelle + ouvrage
Risque actuel	Risques de mouvements de terrain très fort		
Risque résiduel (après mise en place des protections)	Faible	Moyen	Moyen
Risque de chute de bloc et mouvement de terrain : Gain en sécurité	Section en tunnel de 1km permettant d'éviter le risque, toutefois la tête de tunnel Nord peut être soumise à aléas localisé, à traiter localement. + Aléa éboulement possible également en tête Nord PR8.2 ou 8.8	Les études trajectographiques menées dans le cadre de la mission MC2 montrent que le tracé VN1 de l'APSIQ n'assure pas un niveau de sécurité suffisant pour les usagers vis-à-vis des risques de chutes de blocs ainsi que les éboulements en masse. **Les risques de chutes de blocs isolées peuvent être traités moyennant une adaptation du tracé APSIQ, comme présenté sur le tracé VN1B :** - 1 : Rehausse du PL de la route - 2 : Décalage de l'axe de la chaussée vers le lit de la rivière - 3 : Conservation d'un tracé proche de la route actuelle, avec protection par casquette en béton armé **Ces différentes options n'ont pas été jugées acceptables :** - Pour les options 1 et 3 la sécurité du tracé vis-à-vis d'éboulements en grande masse n'est pas garantie - L'option 2 n'est pas acceptable au niveau hydraulique (voir par ailleurs)	De manière générale, au niveau géologique, le rempart en rive gauche est constitué de bancs de basalte moins épais qu'en rive droite qui vont générer des chutes de bloc de diamètre inférieur. Le secteur de l'Ilet Rolland est faiblement exposé du fait de la topographie plus favorable des versants et de leur nature bréchique. La section Nord de cette variante est exposée aux chutes de blocs et éboulements du rempart basaltique, en rive gauche. Cette menace oblige à décaler le tracé vers le lit de la rivière et à prévoir une sécurisation du rempart : protections active type grillage ou filet plaqué sur les talus de déblais (variante avec écran pare–blocs au niveau des risbermes ou en bord chaussée possible) En plus de la protection du déblais, 1000ml d'écran pare-blocs forte énergie (variante Merlon possible pour partie) sont nécessaires (cout des écrans estimé à 2000 euros/m en étude esquisse) Il est nécessaire de maintenir une distance au pied de falaise >30m vis-à-vis de l'éboulement en masse.

Faisabilité technique	La constitution des remparts basaltiques, par nature hétérogènes et très fracturés, rend très complexe la réalisation de tracés routiers en travaux souterrains. Impact coût et délai très significatifs dans ce cas.	Solution de route digue décalée en rivière nécessite un volume important de matériaux et ne semble pas réalisable.	Le tracé VN1C impose la réalisation d'un ouvrage de franchissement d'une portée importante (150 m), ainsi qu'un déblai de 15m de profondeur au niveau de la culée rive gauche. Cet ouvrage pourra être mono travée pour éviter les interactions avec la rivière, ou bien nécessitera la réalisation d'appuis intermédiaires, qui devront être fondés hors affouillement. La stabilité de la culée rive gauche, implantée en tête d'un rempart secondaire, et la réalisation du déblai d'accès à cette culée sont les principaux enjeux dans le cas d'un ouvrage mono travée. En partie amont (extrados de courbe), une protection sera à mettre en place sur un linéaire important. Une solution de décalage du tracé vers le lit de la rivière pourrait être étudiée pour limiter l'aléa de chute de blocs.

D'un point de vue géologique et trajectographique, les variantes VN1B et VN1C présentent toutes deux, un certain nombre de points contraignants, qui nécessitent la mise en œuvre de dispositifs de protection de grande ampleur en raison des résultats issus des simulations.

7.3.1.3 - Comparaison multicritère

Sur la base des expertises précédemment citées, tous les critères d'analyse sont mis en exergue afin de proposer de retenir la variante répondant le mieux à l'ensemble des enjeux.

Cette comparaison multicritère est présentée à la page suivante. Elle conduit à proposer d'étudier la **solution VN1C** dans le cadre de l'Avant-Projet car cette solution est celle qui présente le meilleur équilibre entre les différents enjeux et celle qui dispose de davantage de potentiel à pouvoir être optimisée, notamment sur la thématique des terrassements avec un meilleur mouvement des terres, par rapport à la solution VN1B qui nécessite un volume de l'ordre de 400 000 m^3 de matériaux d'apport.

Dans la partie suivante, nous présentons notamment une première étude sur la faisabilité de l'ouvrage d'art situé sur la variante VN1C, analyse que nous avons réalisée pour sécuriser le choix qui sera fait sur la base de cette analyse multicritère.

Solution	Variante A : tunnel + ouvrage	Variante B : route digue + ouvrage	Variante C : voie nouvelle + ouvrage
Risque actuel	Risques de mouvements de terrain très fort		
Risque résiduel	Faible	Moyen	Moyen
Gain en sécurité	Section en tunnel permettant d'éviter le risque, toutefois la tête de tunnel Nord peut être soumise à aléas.	Cet aménagement propose de localiser la route en rive droite. Or il se trouve qu'un bassin déversant se trouve en amont du rempart rive droite sur ce tronçon, d'où un risque accru de démantèlement des remparts.	Cet aménagement propose de localiser la route en rive gauche, où l'on ne trouve pas de bassin déversant sur le rempart. De fait, cette option présente moins de risques de démantèlement des remparts. Toutefois, la présence du rempart et sa hauteur peuvent présenter des risques et nécessiter l'éloignement de la voie.
Impact sur le milieu physique	- Importants volumes en déblais générés : 60 000 m^3, ce qui suppose des nuisances importantes liées à leur transport et à leur mise en dépôt dans un autre site - Risque de pollution de la nappe - Nécessité de sécuriser les têtes de tunnel et de réaliser une galerie de secours au regard du linéaire d'environ 1km en tunnel.	- Modification du lit majeur du Bras de Cilaos - Rectification du lit mineur - Risques de pollution pour les eaux superficielles et pour la nappe - Volume de remblai important pour la réalisation de la route digue, ce qui suppose des nuisances importantes liées à leur transport. - Disponibilité de la ressource en matériaux	- Modification du lit majeur du Bras de Cilaos - Risques de pollution pour les eaux superficielles et pour la nappe - Volume de remblai important pour la réalisation de la route digue, ce qui suppose des nuisances importantes liées à leur transport. - Disponibilité de la ressource en matériaux
Impact sur les milieux naturels	- Faible emprise sur la végétation, - Risques de perturbations de la faune réduits.	- Risque important de perturbation de la faune piscicole du fait de la rectification du lit mineur du Bras de Cilaos.	- Cette solution s'inscrit dans les formations peu dégradées du versant est, qui est toutefois aujourd'hui déjà concerné par des circulations de véhicules (riverains d'Îlet Rolland).

Impacts sur le milieu humain		La tête du tunnel s'inscrit dans le site habité des Aloès : - nécessite la suppression d'une habitation, - en phase travaux, risques de perturbation pour l'environnement des habitations, - risques d'emprises ponctuelles sur les cultures - absence de desserte d'Ilet Rolland - plus d'accès aux paysages remarquables	- Cette solution recoupe une piste et un sentier de randonnée vers l'Îlet Rolland, qu'il faudra rétablir.	- Cette solution reprenant en partie le tracé historique de la route avant 1949, permet une bonne desserte d'Ilet Rolland.
Impact hydraulique	Hauteurs d'eau / vitesses d'écoulement / Risque d'affouillement	- Section en tunnel permettant de s'éloigner du Bras de Cilaos - Éloignement des berges du cours d'eau	- Rive droite modifiant le lit mineur sur 1km et soumise à de fortes vitesses sur un linéaire de 200 m - Protection du risque d'affouillement sur un linéaire de 1 km	- Rive gauche soumise à de fortes vitesses sur un linéaire de 800 m - Protection du risque d'affouillement sur un linéaire de 800 m
	Ouvrages de franchissement et modification de la section d'écoulement	- Ouvrage nécessitant une pile dans le lit mineur - Aucune modification de la section d'écoulement autre qu'au droit du franchissement	- Ouvrage nécessitant au moins une pile dans le lit mineur - Configuration complexe pour la protection contre l'affouillement - Modification du lit majeur sur la section route digue	- Ouvrage nécessitant une pile dans le lit mineur - plus faible empiètement des ouvrages dans le lit mineur du cours d'eau
Coûts des travaux (en millions d'euros)		45	30	30

7.3.1.4 - Focus sur le franchissement du Bras de Cilaos par la variante VN1C

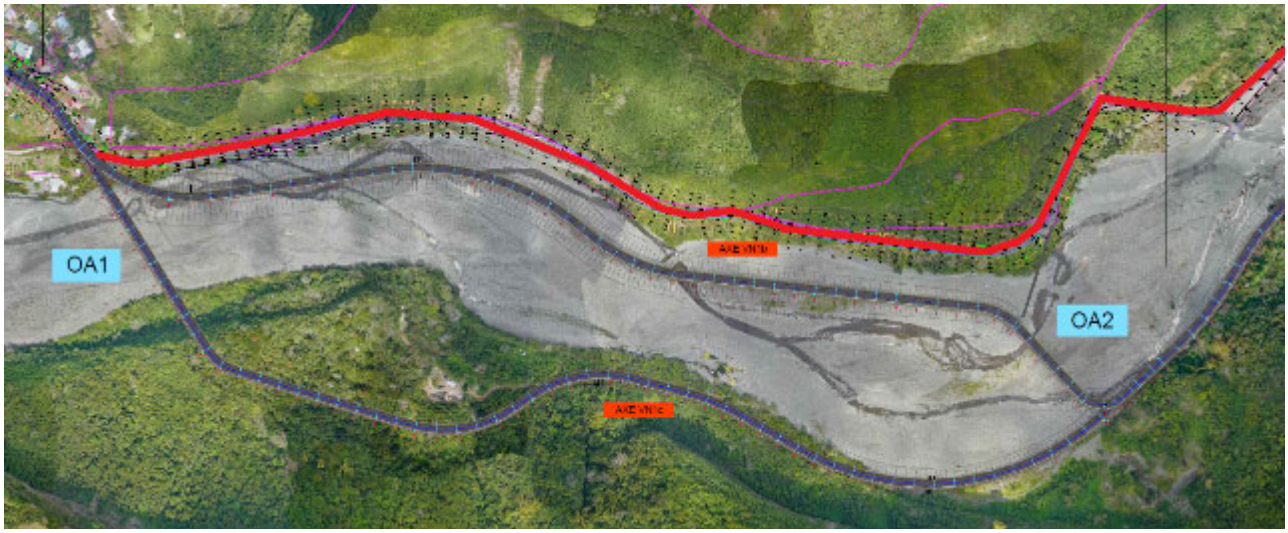
Cette note s'organise de la façon suivante :

- Présentation de la brèche et des caractéristiques de la RN5 au droit du franchissement ;
- Présentation des différentes solutions de franchissement, à priori envisageables ;
- Sélection par analyse comparative de la solution optimale ;
- Évaluation sommaire du coût d'une telle solution.

7.3.1.4.1 - Contexte

La solution initiale du projet de sécurisation consiste à déplacer la RN5 actuelle d'une trentaine de mètres vers la rivière tout en la surélevant afin qu'elle constitue une route digue sur environ 1,0 km (PR 7+200 au PR 8+200). Puis de basculer en rive gauche en bout de ce tronçon, via un ouvrage de 90 m de longueur, pour ensuite rejoindre l'Îlet Furcy via le tracé existant. Cette solution de base est visible sur la représentation ci-dessus (tracé intermédiaire dans le bras de Cilaos).

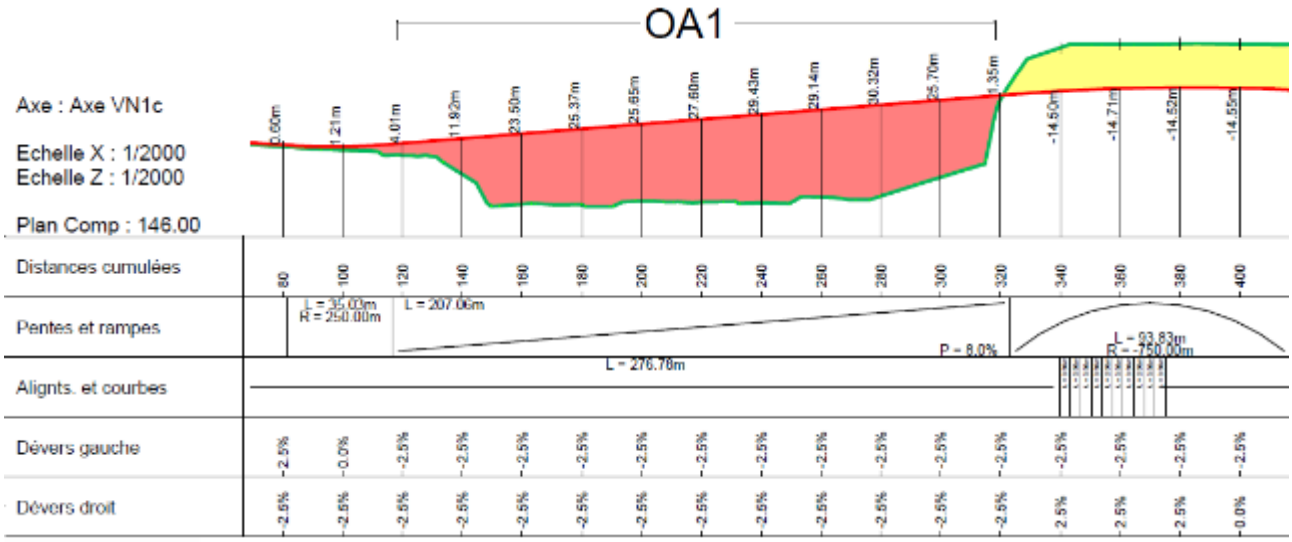
Dans le cadre d'une analyse de variante, la question de basculer en rive gauche dès la sortie des Aloès est étudiée. Cette solution nouvelle permet de sécuriser la RN5 en rejoignant, via un important ouvrage d'art, le versant opposé, lui-même moins exposé à l'aléa de chute de blocs. Un important déblai est ensuite ouvert dans ce versant sur 360 m de longueur (hauteur moyenne de 18,50 m), puis la variante traverse un dernier tronçon de 600 m, en remblai de 4,5 m de hauteur moyenne afin de rejoindre le point de jonction du tracé de la solution de base avec le tracé existant.



Cette solution variante permet un rééquilibrage des matériaux extraits/requis si on la compare à la solution digue (12 m de hauteur moyenne sur un linéaire de plus d'un kilomètre) entièrement réalisée en matériaux d'apport. En effet le reste du linéaire de l'opération est soit de niveau, soit en léger remblai.

Ainsi, même si la solution variante repose sur la construction d'un ouvrage exceptionnel, elle pourrait s'avérer compétitive.

Les caractéristiques de l'ouvrage en question sont les suivantes :



- Profil de la voie portée : une chaussée en double sens de circulation, de 3,00 m de largeur bordée sur ses deux rives par des bandes dérasées de 0,50 m de largeur. Chaussée en toit déversée à 2,5 % ;
- Longueur de l'ouvrage : 210 m environ ;
- Tracé en plan : tracé droit, culées droites ;
- Profil en long : rampe très prononcée de 8,0 %, constante ;
- Caractéristiques de sol envisageables : Rocher affleurant sur les deux rives ;
- Nature de l'obstacle franchit : Rivière St-Etienne (secteur « Bras de Cilaos » au droit du franchissement). Ce cours d'eau est extrêmement tumultueux, aussi le franchissement sans appui « en rivière » doit faire partie des solutions de base ;
- Contraintes annexes :
    - Gabarits : aucune contrainte de gabarit ;
    - Séisme : catégorie d'importance III selon l'arrêté du 26 octobre 2011 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux ponts de la classe dite « à risque normal ». Il se situe en zone sismique faible suivant le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones. ➔ Contrainte faible ;
    - Climat : Le climat de L'ile de la Réunion est tropical humide mais il se singularise surtout par de grandes variabilités liées à la géographie de l'île. L'influence du relief est tout aussi fondamentale que les effets de l'insularité. ➔ Des contraintes climatiques importantes seront à prendre en compte pour la conception, comme la survenue de cyclone pendant la construction (Cf. ouvrage voisin du Bras de la Plaine construit sous MOE Egis) ;
    - Service : La RN5 restera sous exploitation pendant la majeure partie des travaux, la conception de l'ouvrage devra en tenir compte.

7.3.1.4.2 - Solutions envisageables

Solutions sans appui dans le lit majeur du cours d'eau

- Solution en pont en arc intermédiaire

Les caractéristiques de sol, à priori, favorables sur les deux rives permettent d'envisager une solution de pont en arc.

Les particularités du présent ouvrage imposent les points spécifiques suivants :

- Profil en long prononcé (8 %) :

  Ce degré d'inclinaison pour un ouvrage d'une portée avoisinant les 200 mètres est extrêmement rare et requerra un aménagement particulier de l'ouvrage, notamment :

  .1. - L'appui du bas abritera une butée soumise à une charge horizontale longitudinale pouvant correspondre à 8 % du poids du tablier chargé ;

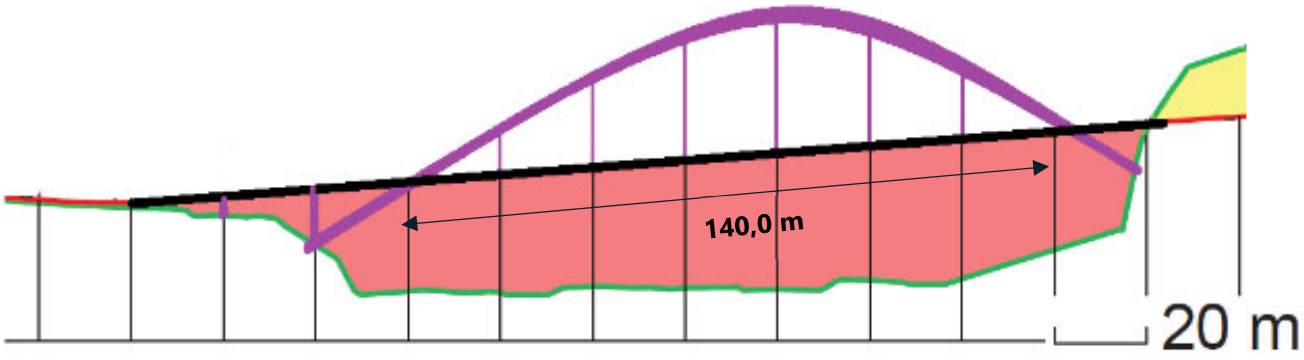
  .2. - L'about opposé du haut abritera l'unique joint de dilatation de l'ouvrage ;

  .3. - Le profil en travers sera aménagé (pentes transversales augmentées) afin de permettre le fonctionnement optimal de l'assainissement transversal du tablier.

- Profil de la brèche :

  .1. - L'inclinaison prononcée des flancs de la brèche est plutôt favorable à l'ancrage des extrémités d'un arc. Ici, en lien avec le profil déséquilibré de la brèche et avec le profil en long pentu de l'ouvrage, l'arc devra être intermédiaire et dissymétrique.

Nous proposons ci-après une vue schématique de l'ouvrage :



Depuis sa partie basse (côté Aloès) jusqu'en haut, le tablier repose sur sa culée, deux files de pilettes espacées de 20,0 m, puis sur l'arc (appui simple et blocage transversal pour retenir le tablier au vent notamment), il est ensuite suspendu (suspentes espacées de 20,0 m), repose de nouveau sur l'arc, puis sur la culée haute. La portée entre appuis sur l'arc (blocages transversaux du tablier) est de 140 m, sa hauteur par rapport au tablier sera de l'ordre de 14,0 m.

La portée importante de l'arc qui avoisine les 200 mètres restreint le choix des solutions possibles pour ce dernier et pour la constitution du tablier. Ainsi nous préconisons un tablier métallique de type caisson orthotrope. La structure de l'arc pourra être métallique, en béton armé (ferraillage important), ou de type CFST (Concrete Filled Steel Tube).

Pour une meilleure stabilité aux vents turbulents nous préconisons un arc dédoublé (un par rive d'ouvrage) et régulièrement contreventés par un treillis métallique. Ci-après une photo d'un ouvrage similaire, bien que moins pentu.

- Solution treillis métallique

Si la présence des naissances de l'arc au sein des rives de la rivière pose problème, une seconde solution de type treillis sans appui intermédiaire pourrait être proposée.

Le treillis pourrait ainsi être strictement métallique, ou mixte (hourdis en béton et triangulation métallique et/ou CFST précontrainte).

La principale difficulté de cette solution réside dans son fonctionnement isostatique qui implique une importante hauteur structurelle.

Des appuis provisoires régulièrement espacés dans le lit du cours d'eau et d'importants moyens de levages seront nécessaires à son assemblage avant de basculer en fonctionnement isostatique. Selon les conditions de sol, des optimisations pourraient être possible en réalisant un encastrement du tablier dans le terrain ou dans de courtes travées de rives qui assureraient le rôle de contrepoids.

- Autres solutions

Le franchissement en une travée unique d'une telle brèche soumise à des contraintes telles que celles exposées ci-avant, dont principalement, la contrainte cyclonique est très complexe. Nous souhaitons tenir à l'écart toutes les solutions de pont à câbles (haubans, suspendus) qui sont techniquement rendues très difficiles du fait du profil en long et qui ajouteront une contrainte supplémentaire de type environnementale (collisions de volatiles remontant les ravines).

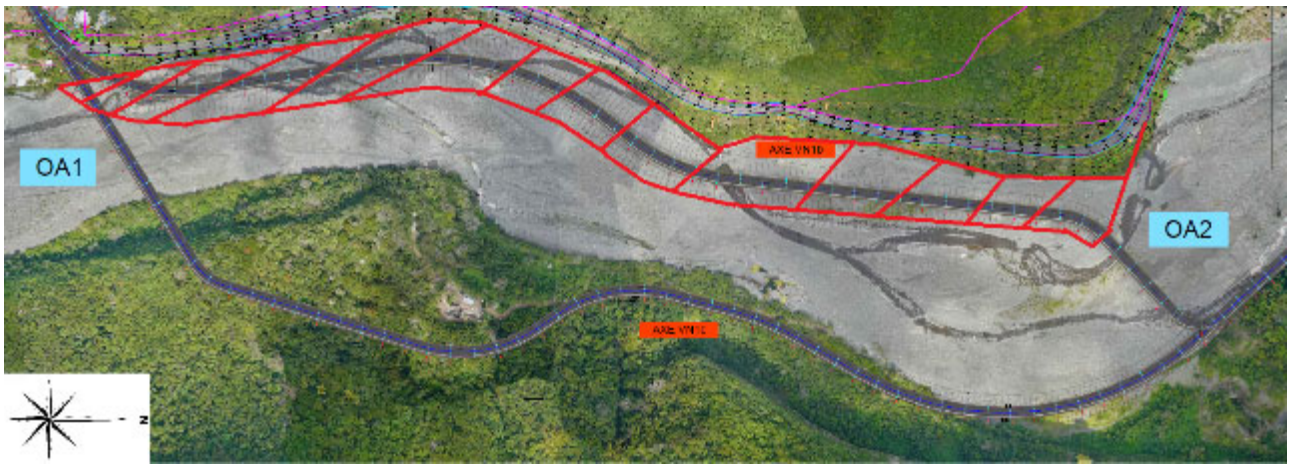
Une solution de type bow-string monumental (hauteur de l'arc très importante) se heurte à d'évidentes difficultés de réalisation. Elle est de plus rendue très complexe par le différentiel altimétrique des deux culées. La culée basse présenterait ainsi de fortes spécificités.

Toute solution de type pont caisson (métallique, mixte acier-béton ou béton précontraint) ne seront que difficilement déclinables ici (extrémité du domaine d'emploi).

Solutions avec appui dans le lit majeur du cours d'eau

La solution de base du marché est une digue de 12 m de hauteur moyenne, réservant une surface structurelle (profil transversal de la RN et talus du remblais) de plus de 250 m² et condamne, de plus, une part importante de la zone ouest de la section hydraulique du bras de Cilaos (cf. représentation ci-dessous).

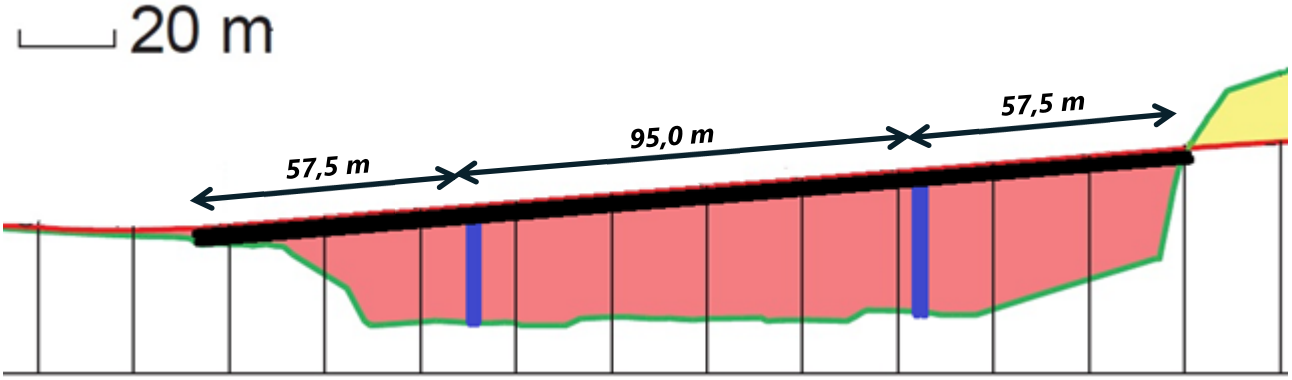
Un ouvrage de 90 m de longueur totale (OA2), dont les appuis sont eux-mêmes implantés dans l'emprise du cours d'eau est également projeté pour permettre à la RN5 de franchir ce qu'il resterait de la section hydraulique du Bras de Cilaos.



Cette conception, qui pose question sur l'approche des contraintes hydrauliques du cours d'eau, point d'ailleurs à l'origine de la présente analyse, ne peut pas fermer la porte à une option intermédiaire qui consisterait à retenir le tracé variante (Axe VN1c) pour ses qualités évidentes mentionnées ci-avant, mais qui intègrerait un franchissement du Bras de Cilaos par le biais d'un ouvrage plus conventionnel que celui présenté au chapitre précédent, et qui aurait ses appuis en rivière.

Un tel ouvrage pourrait présenter les caractéristiques principales suivantes :

- En version à trois travées :



Les appuis en rivière recevront un dispositif de protection afin de rester à l'abri des transports solides du cours d'eau.

Cette solution, qui présente des mensurations relativement importantes, pourrait être réalisée en caisson béton précontraint ou en ossature bipoutre mixte. La solution en béton précontraint, qu'elle soit réalisée par encorbellement successifs à partir de voussoirs préfabriqués ou coulée en place, est rarement moins disante que les solutions mixtes sur un tel linéaire.

La solution mixte pourrait présenter des difficultés lors de sa réalisation car sa mise en place par lançage apparaît quasi impossible :

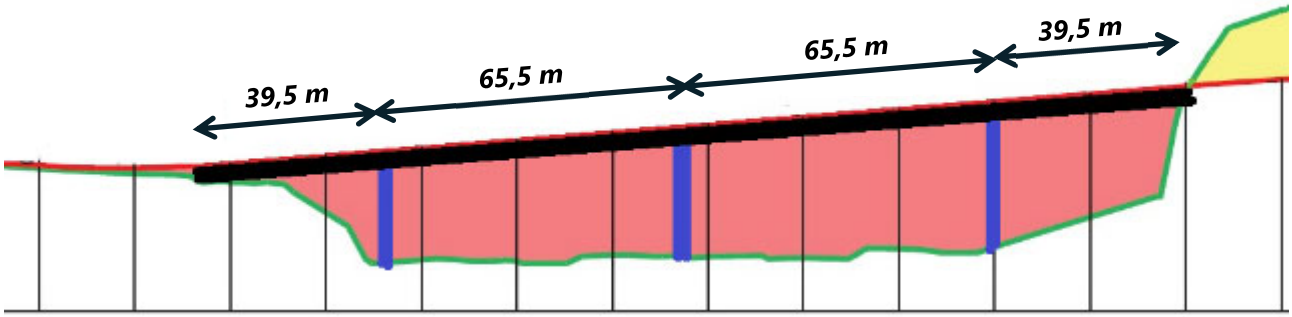
.1. - Depuis la rive ouest : Absence d'emprises (RN5 en service et habitations voisines) ;

.2. - Depuis la rive est : Absence d'emprise dans l'axe de lançage du fait du tracé courbe et de la hauteur du déblai ; Lançage techniquement inenvisageable en descente à 8,0 %.

En lien avec les grandes dimensions de la charpente, une mise en place à la grue semble également compliquée. La réalisation de l'ouvrage sur appuis définitifs et appuis provisoires additionnels serait un compromis.

Il est également important de mentionner que les facteurs géotechnique et hydraulique, liée à l'implantation d'appui dans le bras de Cilaos, présentent également leurs particularités. Des hauteurs affouillables, pouvant aller jusqu'à 15,0 m sont à considérer, ce qui majore nettement la hauteur des pieux à réaliser (ou des barrettes plus souvent retenues dans ces contextes). Cet impact doit être retenu dans les estimations.

- En version à quatre travées :



Une telle solution demandera moins de métal et facilitera la phase de réalisation ce qui présente un intérêt économique. De même, la réduction des descentes de charges en comparaison à la solution à trois travées permet d'envisager des fondations moins profondes. Mais du fait des risques d'affouillement mentionnés ci-avant, les gains sur les fondations resteront faibles. Ainsi, le coût de l'appui supplémentaire sera simplement compensé par le gain de métal : Le coût de la présente solution restera très proche de celui de la précédente.

7.3.1.4.3 - Coûts envisageables des solutions présentées

Au stade amont dans lequel la présente étude est réalisée, les coûts à retenir pour les solutions proposées sont les suivants :

Surface approximative de tablier : 210 x 7,4 = 1550 m^2

- Coût de la solution arc intermédiaire : 9000 €.m^{-2}
  ➔ Coût : 14,0 M€
- Coût du treillis isostatique : 7500 €.m^{-2}
  ➔ Coût : 11,5 M€
- Coût des solutions trois et quatre travées : 5000 €.m^{-2} ➔ Coût : 7,8 M€

7.3.2 - **Variantes VN2**

Trois tracés sont à l'étude sur la VN2 :

- **VN2 A** : Contournement Est d'Ilet Rond (rive droite)
- **VN2 B** : Contournement Ouest d'Ilet Rond (rive droite)
- **VN2 C** : Confortement de la RN1005 au droit d'Ilet Rond

Ces tracés sont comparés selon les enjeux majeurs que sont l'hydraulique, la trajectographie, l'écologie et l'économie générale. Comme précédemment, un focus est fait ci-après sur les enjeux hydrauliques et trajectographique.

7.3.2.1 - Enjeux hydrauliques

- **Caractéristiques de l'écoulement pour une crue centennale : hauteurs d'eau et vitesses d'écoulement**

REPRESENTATION DES HAUTEURS D'EAU ET DES VITESSES D'ECOULEMENT SUR LE LINEAIRE DU TRACE VN2 (CRUE CENTENNALE)

Sur ce secteur, les vitesses d'écoulement sont extrêmement fortes et les hauteurs d'eau peuvent atteindre 13.5 m de hauteur.

- En aval de l'ilet Rond et sur un linéaire de 300 m, les deux rives sont très sollicitées par des vitesses d'écoulement allant jusqu'à 9 m/s. Les hauteurs d'eau varient entre 4.5 m et 7 m. Des débordements sont constatés sur la rive gauche.
- Dans le coude longeant l'ilet Rond, les vitesses d'écoulement sont très élevées : 10 à 11.5 m/s dans le lit mineur. Des débordements sont observés au niveau de l'extrados du coude sur la rive gauche et au niveau de l'intrados sur l'ilet Rond. Les hauteurs d'eau atteignent 7.5 m de hauteur.
- Sur la partie relativement droite du Bras de Cilaos entre ilet Furcy et ilet Rond, les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement sont très élevées, elles peuvent atteindre 10 m de hauteur et 11.5 m/s en vitesse d'écoulement sur cette section.
- Dans le coude longeant l'ilet Furcy, la route actuelle est inondée. Ce débordement scinde ainsi l'écoulement en deux. A sa confluence, l'écoulement provenant de la route crée de fortes perturbations et provoque la montée des eaux à un niveau pouvant aller à 13.5 m de haut.

Impact sur les ouvrages de franchissement

Les deux variantes de tracé VN2 A et VN2 B présentent les mêmes ouvrages de franchissement. L'impact sera donc similaire.

La longueur des différents ouvrages de franchissement pour les deux variantes étudiées est de l'ordre de 80 à 100 m. La conception de ces ouvrages doit être envisagée sans pile dans le lit du Bras de Cilaos et en cherchant à positionner les culées sur un substratum rocheux.

La variante VN2 C ne présente pas d'ouvrages de franchissement sur son tracé.

Nécessité de protection en fonction de la nature des berges

La variante VN2 A intègre la construction d'une route digue sur la rive droite du cours d'eau. Cette solution nécessite de protéger les talus de l'infrastructure routière sur un linéaire de 400 m contre le risque d'affouillement.

La variante VN2 B rejoint le tracé de l'ancienne route de l'ilet Rond et s'éloigne du cours d'eau permettant de se prémunir des risques hydrauliques.

La variante VN2 C est située sur le tracé actuel de la route construite en urgence en 2018. Ce tracé s'éloigne du cours d'eau et permet de diminuer les risques hydrauliques. Le tronçon situé en aval de l'Ilet Furcy devra être protégé sur un linéaire de 300 m contre le risque d'affouillement.

LOCALISATION DES PROTECTIONS CONTRE LE RISQUE DE L'AFFOUILLEMENT POUR LA VARIANTE 2A

- **Impact sur les modifications de la section d'écoulement**

Les variantes VN2 A, VN2 B et VN2 C disposent d'un tracé permettant de limiter les réductions de sections d'écoulement et les modifications morphologiques en découlant.

Les variantes sont comparées selon les mêmes critères que pour la section VN1.

Solution		Variante 2A : contournement Est d'ilet Rond	Variante 2B : contournement Ouest l'ilet Rond	Variante 2C : reprise du tracé de la route actuelle
Impact hydraulique	Hauteurs d'eau / Vitesses d'écoulement	- Rives du cours d'eau soumises à de fortes vitesses	- Rives du cours d'eau soumises à de fortes vitesses	- Rives du cours d'eau soumises à de fortes vitesses
	Ouvrages de franchissement	- Ouvrage ne nécessitant pas de pile dans le lit mineur	- Ouvrage ne nécessitant pas de pile dans le lit mineur	- Pas d'ouvrages de franchissement
	Risque d'affouillement	- Protection du risque d'affouillement sur un linéaire de 400 m	- Eloignement des berges du cours d'eau	- Eloignement des berges du cours d'eau - Protection du risque d'affouillement sur un linéaire de 300 m
	Modifications de la section d'écoulement	- Faible empiètement des ouvrages dans le lit mineur du cours d'eau.	- Faible empiètement des ouvrages dans le lit mineur du cours d'eau.	- Faible empiètement des ouvrages dans le lit mineur du cours d'eau.

Légende de la comparaison des variantes :

Option la plus avantageuse, ne présentant que des points positifs
Option avantageuse pouvant présenter quelques contraintes
Option présentant des points contraignants mais acceptables
Option présentant un certain nombre de points contraignants
Option contraignante, rédhibitoire

D'un point de vue hydraulique, **la variante VN2B est préférable à la variante VN2A**. Cette variante évite la construction d'une route digue sur un linéaire de 400m en bordure des habitations de l'ilet Rond sur un secteur particulièrement exposé aux fortes vitesses d'écoulement.

Les deux ouvrages de franchissement devront être réalisés sans appui intermédiaire, soit d'une seule portée d'un linéaire d'environ 90m en cherchant à appuyer les culées sur les affleurements rocheux présents sur l'Ilet. Ceci ne pourra pas être possible pour la culée droite de l'OA3.

Par ailleurs, d'un point de vue strictement hydraulique, la variante VN2 C est préférable aux variantes VN2 A et VN2 B. Cette variante permet d'éviter la construction de deux ouvrages de franchissement du bras de Cilaos.

- Le tracé devra éviter une implantation dans le lit de la rivière en s'inscrivant sur la terrasse face à l'ilet Rond. Ceci dans l'objectif de profiter le plus possible des berges rocheuses existantes sur ce parcours.
- Le tracé VN2C devra donc être repoussé coté rempart sur un linéaire de 220 m de 20 mètres en moyenne par rapport à l'implantation proposée.

- De la même manière le tracé VN2 C devra être écarté de la berge sur 200 m à l'aval de la passerelle de l'Ilet Furcy. Sur ce secteur les berges sont meubles et érodables ce qui évitera de mettre en place des protections sur un secteur particulièrement difficile à traiter du point de vue hydraulique.

Il est désormais important de mettre en perspective ces conclusions avec celles des études de trajectographie, au regard des enjeux très forts sur ce secteur.

7.3.2.2 - Enjeux trajectographiques

Les variantes sont comparées selon les critères suivants :

- Risque actuel et risque résiduel (après mise en place des protections)
- Gain en sécurité
- Faisabilité technique

7.3.2.2.1 - Contexte géologique

<u>Ilet Rond</u>

L'Ilet Rond est installé sur une terrasse alluvionnaire en rive droite du bras de Cilaos. Son évolution morphologique est remarquable au cours des dernières décennies. En 1950, la partie Sud, aval, était dans le lit du bras de Cilaos. Le lit était beaucoup plus haut et engravé. A partir des années70, le lit s'incise à nouveau et une basse terrasse s'individualise.

Le soubassement de la partie Nord de la terrasse, habitée, est constitué de coulées de basalte qui affleurent dans la berge en rive droite, recouvertes par des alluvions anciennes qui affleurent dans la berge au Sud-est de l'îlet. Ces coulées de basalte assurent une protection de l'ilet contre l'érosion de la rivière.

La position du substratum basaltique sous Ilet Rond est inconnue (présence ou non d'une banquette basaltique).

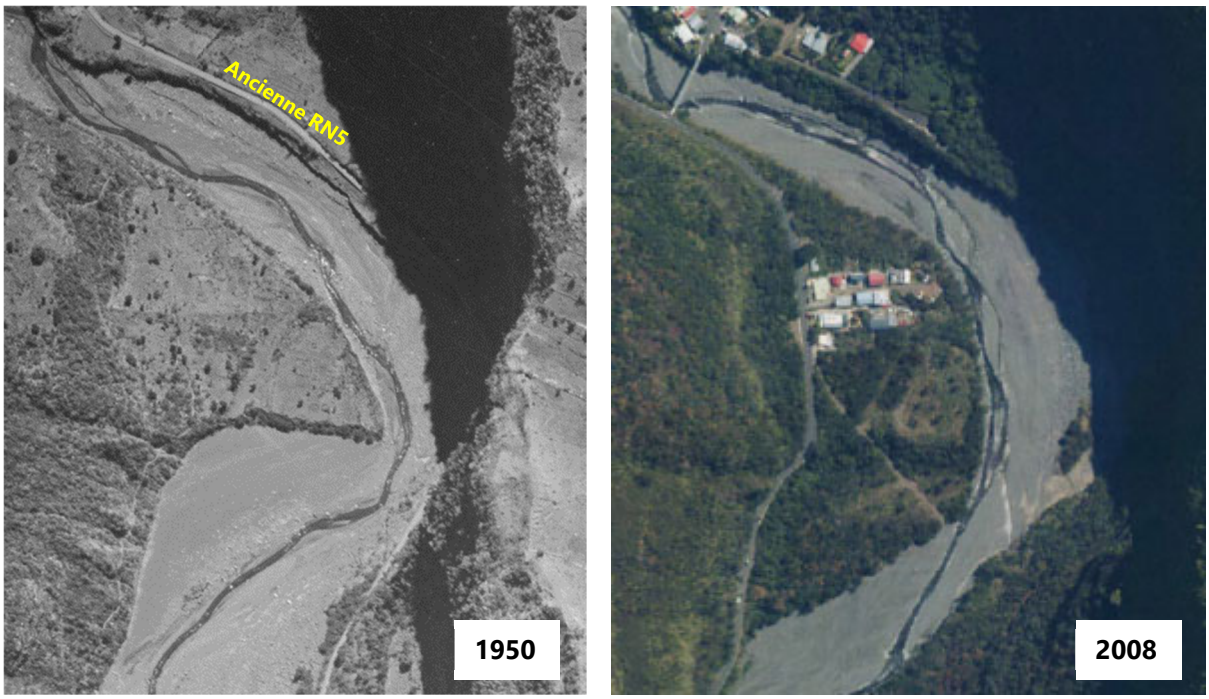
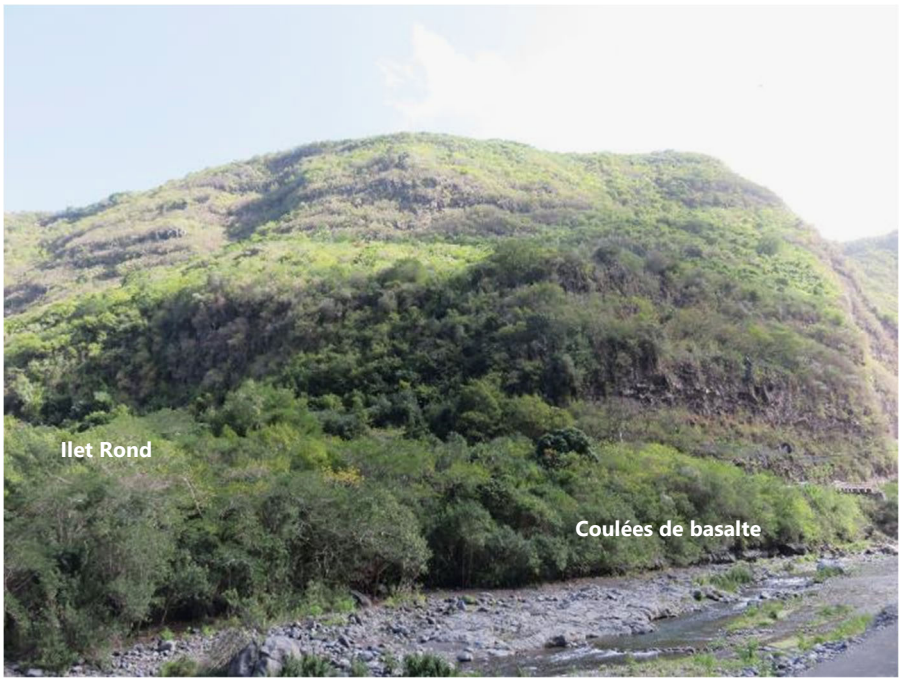


FIGURE 50 : EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DE LA TERRASSE D'ILET ROND



PHOTOGRAPHIE 46 : COULEES BASALTIQUES DE LA BERGE EN AMONT D'ILET ROND

PHOTOGRAPHIE 47 : TERRASSE ALLUVIONNAIRE ANCIENNE D'ILET ROND

La RN 5 et l'Ilet Rond sont exposés aux chutes se blocs et éboulements qui se déclenchent dans le rempart Ouest.

Des chutes de blocs de plusieurs m^3 s'étant produites en 2018 sur ce secteur, des travaux de protection récents ont été réalisés en 2019 par la REGION Réunion, en amont des habitations. La protection comprend un mur d'arrêt en gabions de 3 m de hauteur sur 70 ml de longueur construit en bordure de chaussée et une fosse décaissée en pied du versant. Le terrassement a mis à jour le substratum basaltique sous les éboulis et colluvions.

PHOTOGRAPHIE 48 : PIEGE A BLOCS (MUR EN GABIONS ET FOSSE) CONSTRUIT EN AMONT DES HABITATIONS D'ILET ROND

Rempart en rive gauche d'Ilet Rond

Le rempart en rive gauche d'Ilet Rond, décrit dans l'étude MC2, est remarquable par sa hauteur (300 m) et sa verticalité (pente supérieure à 55 °). Il est en totalité constitué de coulées de laves anciennes.

En pied de rempart, nous retrouvons une banquette de 20 à 30 m de largeur, boisée, constituée d'alluvions et d'éboulis recouvrant un épaulement basaltique.

La berge à l'extrados du méandre est constituée par ces coulées de basaltes. Un ilot basaltique subsiste dans le lit entre la nouvelle voie 1005 et le pied du rempart.

L'épaulement rocheux en pied de rempart est en continuité avec les banquettes rocheuses présentes au Sud. L'ancienne RN5 passait sur cette banquette en pied de rempart.

La portion de lit de la rivière comprise entre la digue de la RN 1005 et la banquette de pied joue le rôle de piège à blocs. Toutefois, des chutes de blocs ont atteint la nouvelle voie depuis sa construction. Un merlon a depuis été érigé en bordure amont de la chaussée (photographie 50).

PHOTOGRAPHIE 49 : PIED DU REMPART EN RIVE GAUCHE D'ILET ROND

PHOTOGRAPHIE 50 : MERLON ERIGE EN AMONT DE LA RN 1005

PHOTOGRAPHIE 51 : FOSSE AU PIED DE LA BANQUETTE BASALTIQUE AU SUD DU COUDE RIVE GAUCHE D'ILET ROND (PARTIE DU MEANDRE ABANDONNE).

7.3.2.2.2 - Enjeux trajectographiques pour VN2a (PR9 à 9+400)

Il s'agit du tracé qui passe au milieu des deux remparts. Elle a une portion commune avec VN2c à l'aval et VN2b à l'amont.

Il s'agit de la solution la moins exposée en terme de probabilité d'atteinte - reach probability. 350 m environ sont en aléa Très Faible.

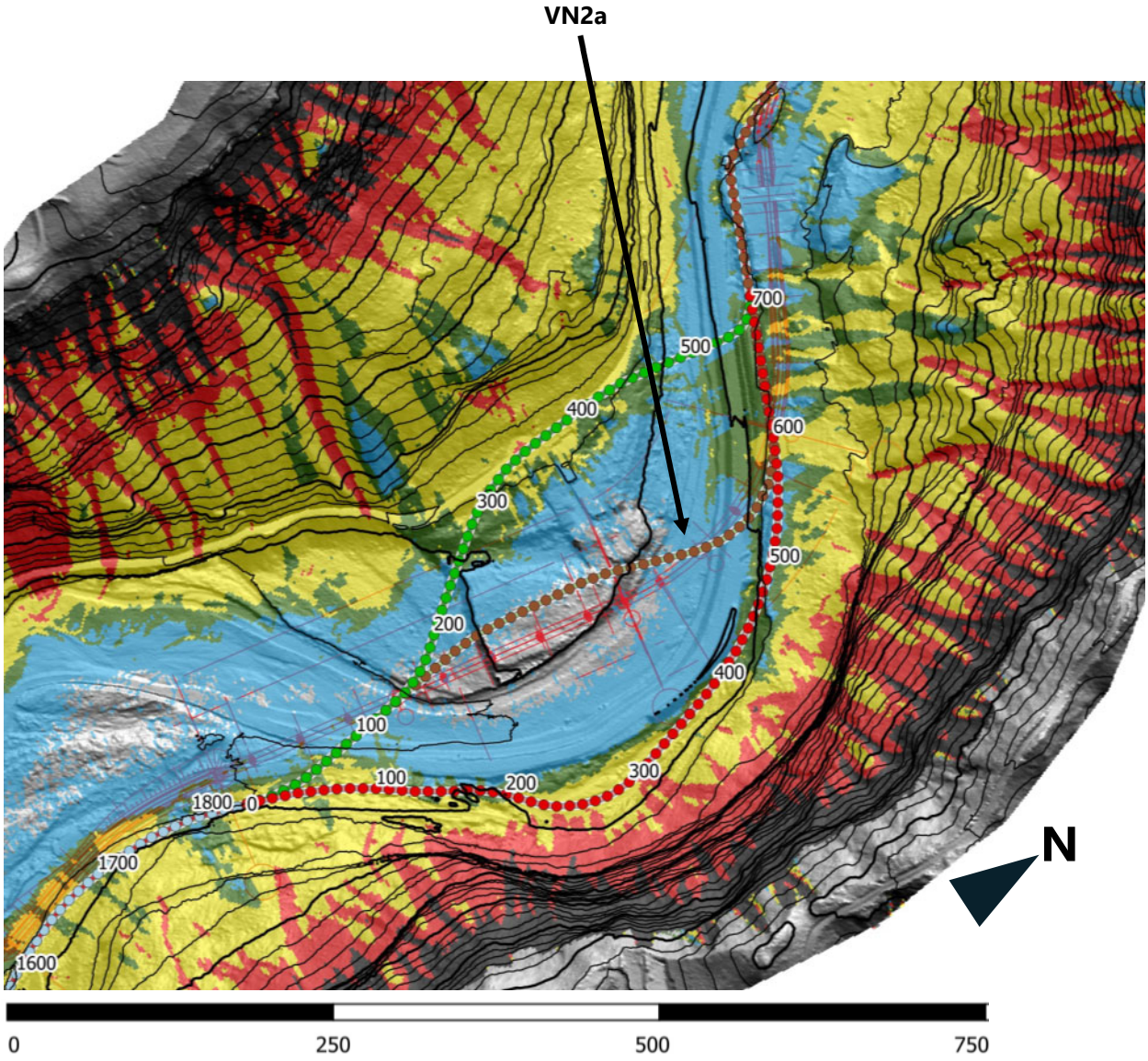


FIGURE 51 : TRACES VARIANTES VN2A (DETAILS ANNEXE 8)

Avec la topographie actuelle (sans modélisation du piège à caillou ou du remblai projeté), 358 482 blocs se propagent jusqu'à l'axe de la chaussée projetée (sur 1 784 900 blocs simulés soit 20%). Le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability associés est présenté dans la figure ci-dessous :

- 350 m du tracé sont en aléa résultant Très Faible.
- 300 m sont en aléa résultant Moyen à Elevé.
- Les 100 premiers mètres (côté aval 0 à 100) sont communs avec le tracé VN2b et seront étudiés avec VN2b.

- Les 100 derniers mètres (côté amont 600 à 700) sont communs avec le tracé VN2c et seront étudiés avec VN2c au paragraphe suivant.

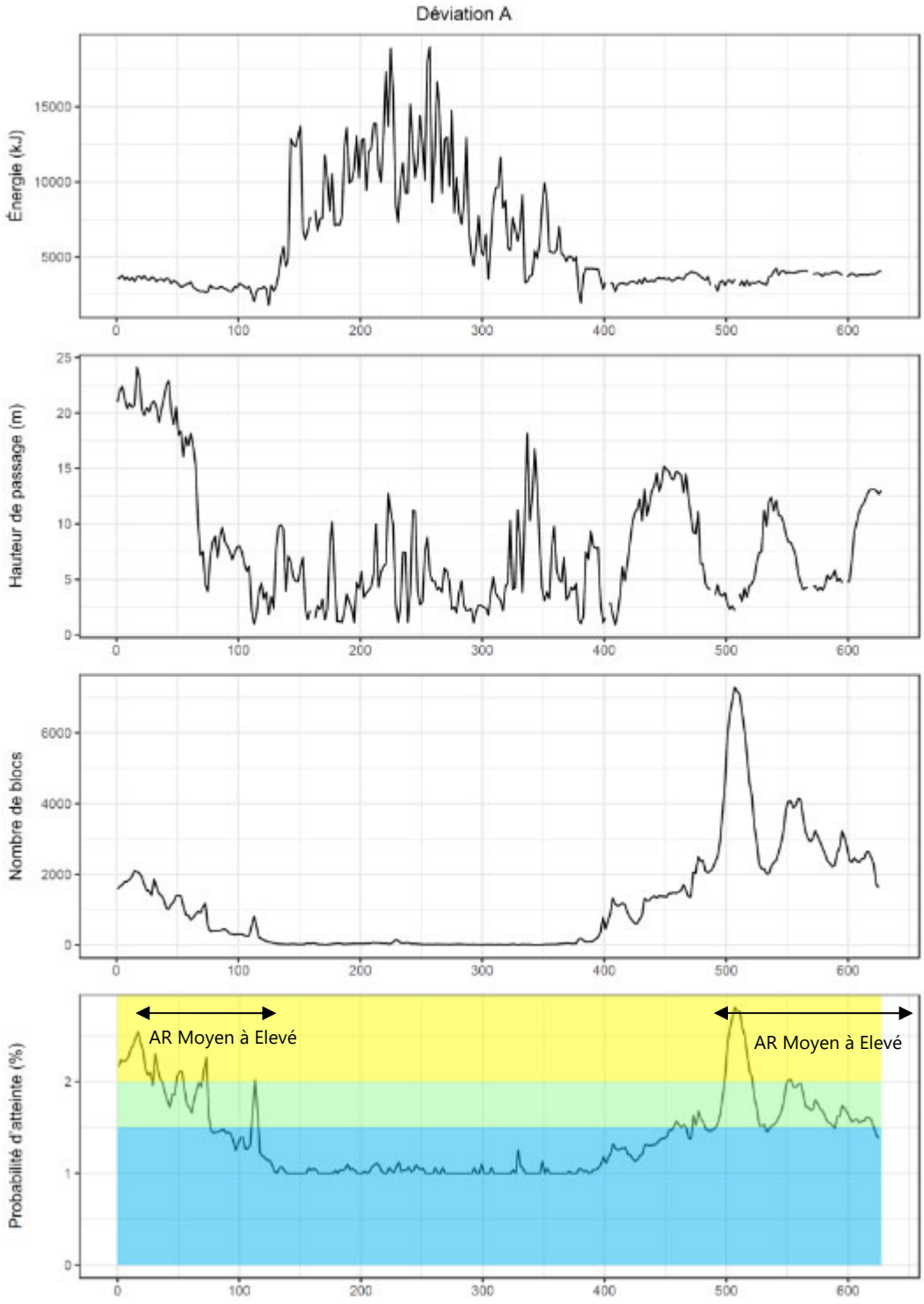


FIGURE 52 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITE D'ATTEINTE VARIANTE VN2A

On notera figure 52 que les énergies les plus importantes sont calculées au milieu du tracé, entre les PK150 et 350. Cette zone correspond à l'emprise de la falaise en pied de rempart qui génère des chutes libre d'une hauteur importante. Les probabilités d'atteinte de la VN2a au droit de cette zone est Très Faible (<1,5%).

La comparaison des hauteurs de passage et des probabilités d'atteinte montre deux secteurs d'environ 80 m côté aval et 130 m côté amont où l'aléa résultant est Moyen à Elevé et où les blocs passent au-delà de la hauteur de la plateforme.

Les blocs proviennent de la rive gauche et les protections à mettre en œuvre (PK 0 à 80 et PK450 à 600) sont présentés au paragraphe suivant.

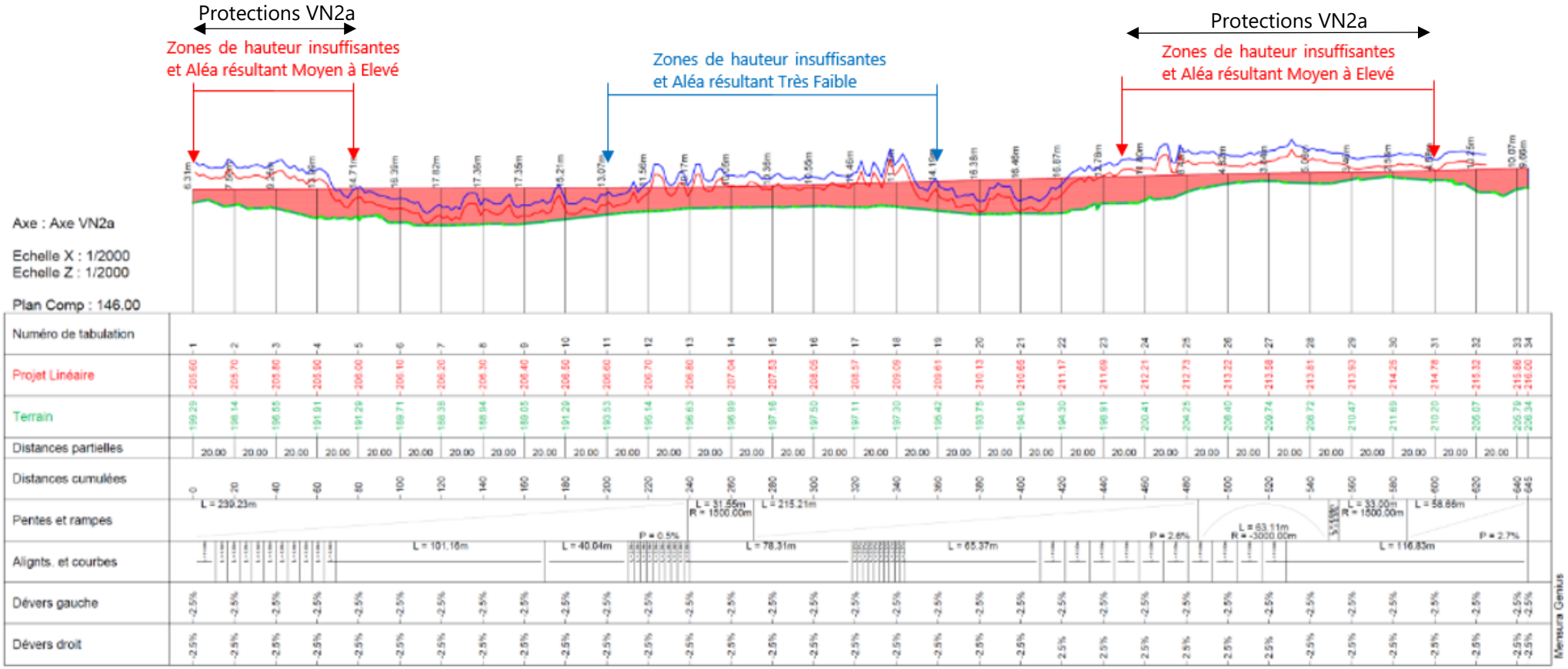


FIGURE 53 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT A LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE

7.3.2.2.3 - Enjeux trajectographiques pour VN2c (PR9 à 9+400)

Il s'agit du tracé en rive gauche.

Les 100 derniers mètres (côté amont 600 à 700) sont communs avec le tracé VN2a.

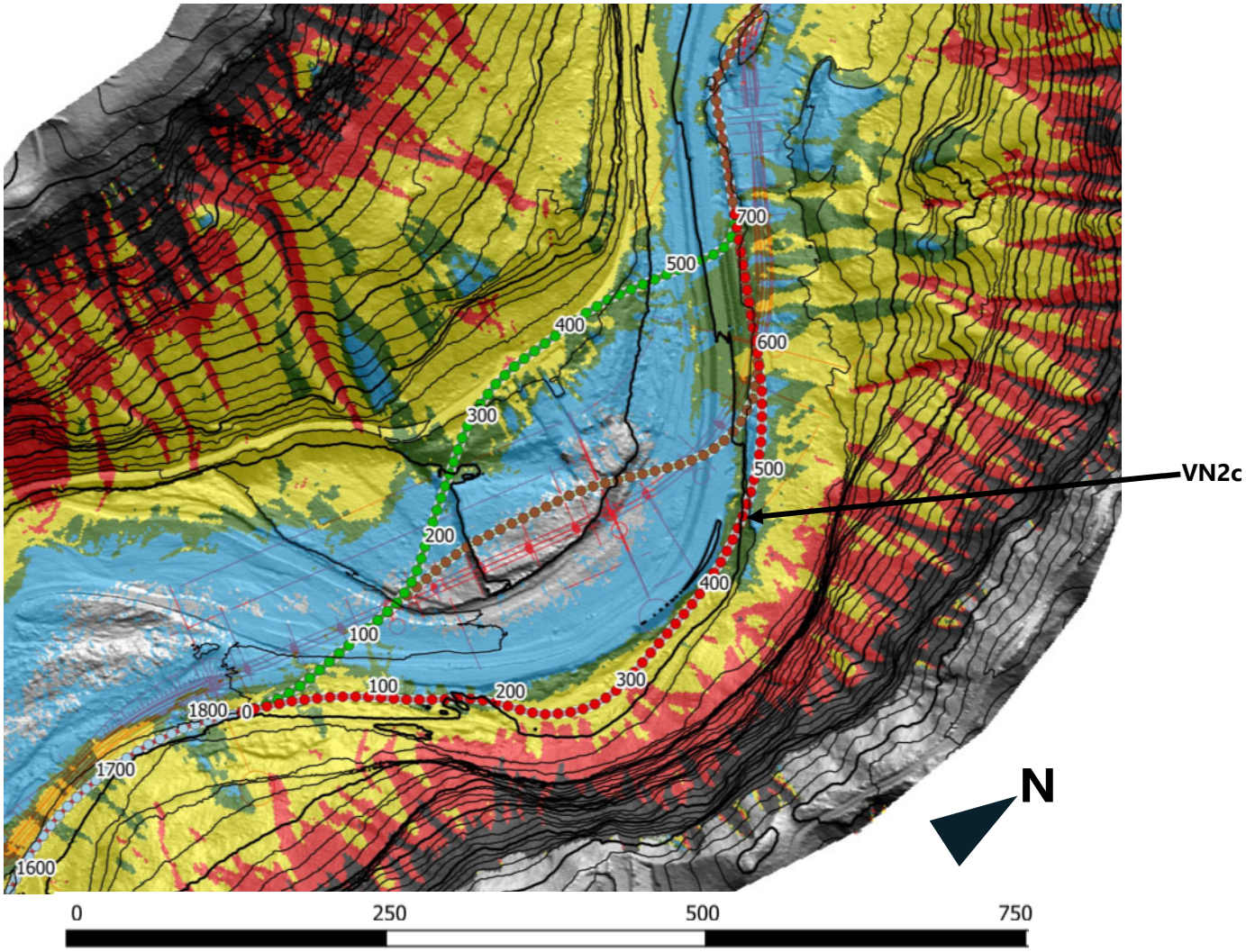


FIGURE 54 : TRACES VARIANTES VN2C (DETAILS EN ANNEXE 8)

Avec la topographie actuelle (sans modélisation du piège à caillou ou du remblai projeté), 943 685 blocs se propagent jusqu'à l'axe de la chaussée projetée (sur 1 278 100 blocs simulés soit 73%).

Le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability associés est présenté dans la figure ci-dessous :

- Seul environ 100 m du tracé sont en aléa résultant Très Faible.
- 300 m environ sont en aléa résultant Moyen et 300 m sont en aléa résultant Elevé.

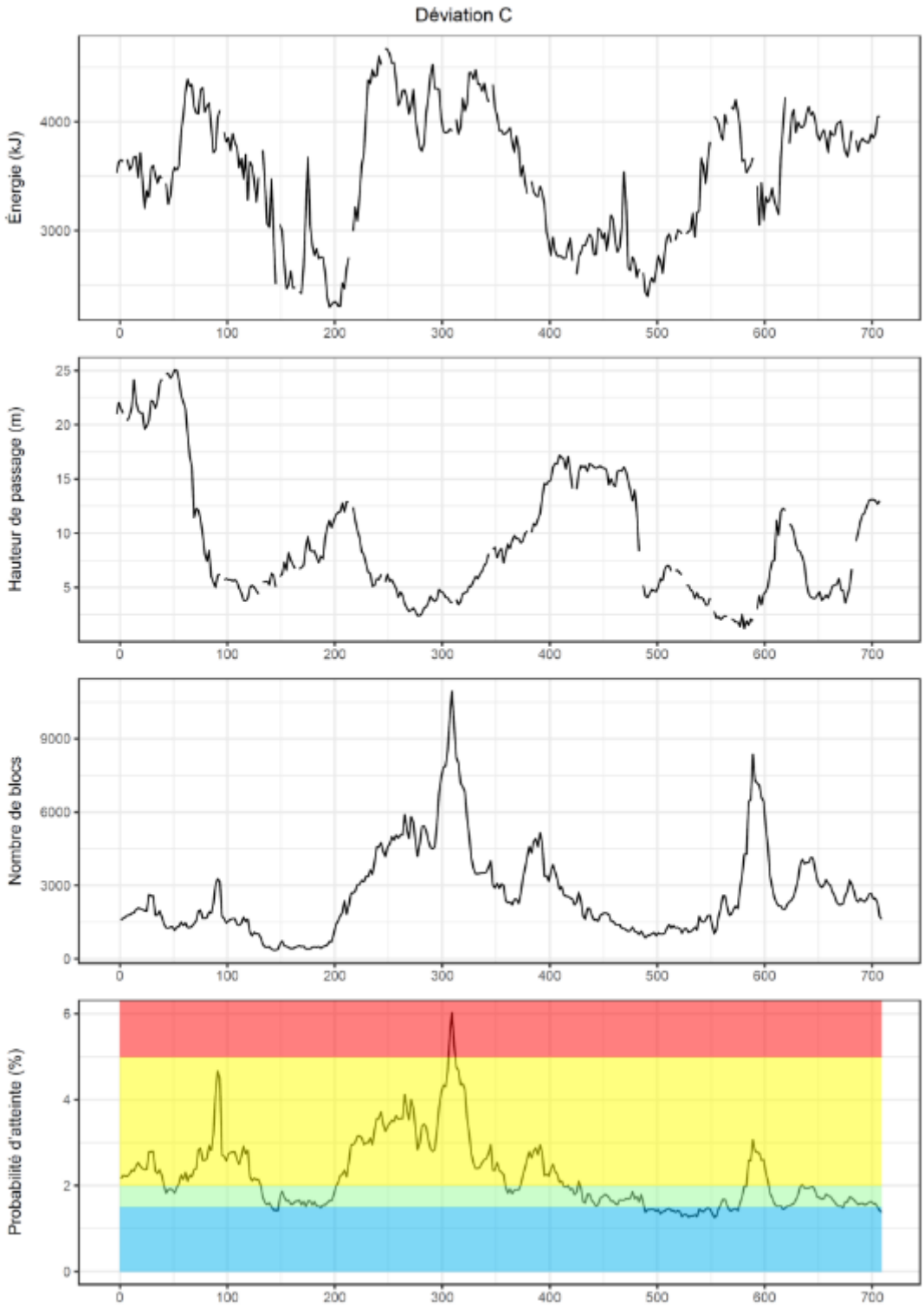


FIGURE 55 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITE D'ATTEINTE VARIANTE VN2C

Les hauteurs de passage sont indiquées figure 55 au bord chaussée amont du tracé VN2c.
En fonction de leur hauteur de passage, les blocs pourront soit :

- Etre interceptés au niveau du remblai amont de la plateforme routière (modelage d'un piège à caillou type fig.41 ou réalisation d'un merlon pare-bloc type fig. 42)
- Etre interceptés plus en amont dans le rempart si les hauteurs sont trop importantes (type fig.21).

La figure 56 page suivante compare ces hauteurs de passage avec l'altitude projetée de la plateforme VN2c

La comparaison des hauteurs de passage et des probabilités d'atteinte montre que la quasi-totalité de ce tracé est en aléa résultant est Moyen à Elevé et avec des blocs qui passent au-delà de la hauteur de la plateforme. Seul deux secteurs de 40 m côté aval et 80 m côté amont.

Les blocs proviennent de la rive gauche.

Une implantation de principe des protections à mettre en œuvre est présentée page suivante, il s'agira de :

VN2c = 700 m d'écran forte capacité (Une variante merlon peut être envisageable mais nécessite des analyses complémentaires (emprises disponible entre la chaussée et le rempart, possibilité de terrassement du piège à caillou…).

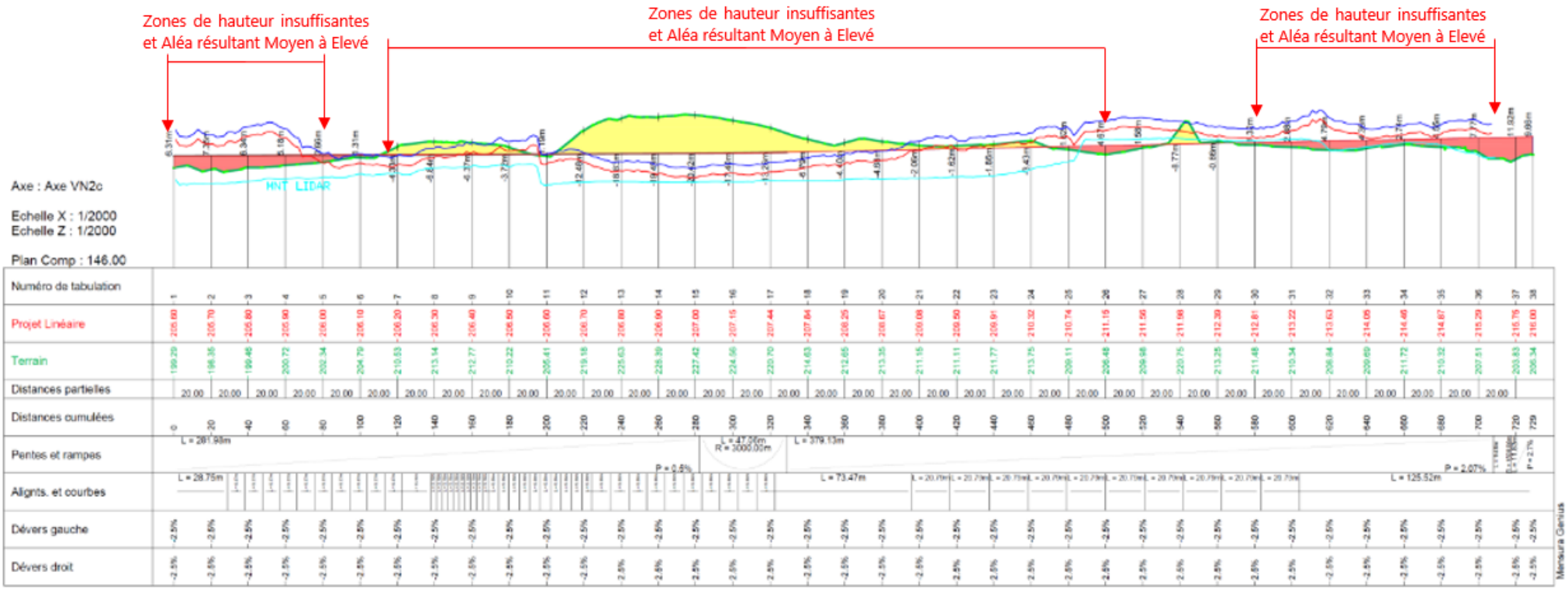


FIGURE 56 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT A LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE

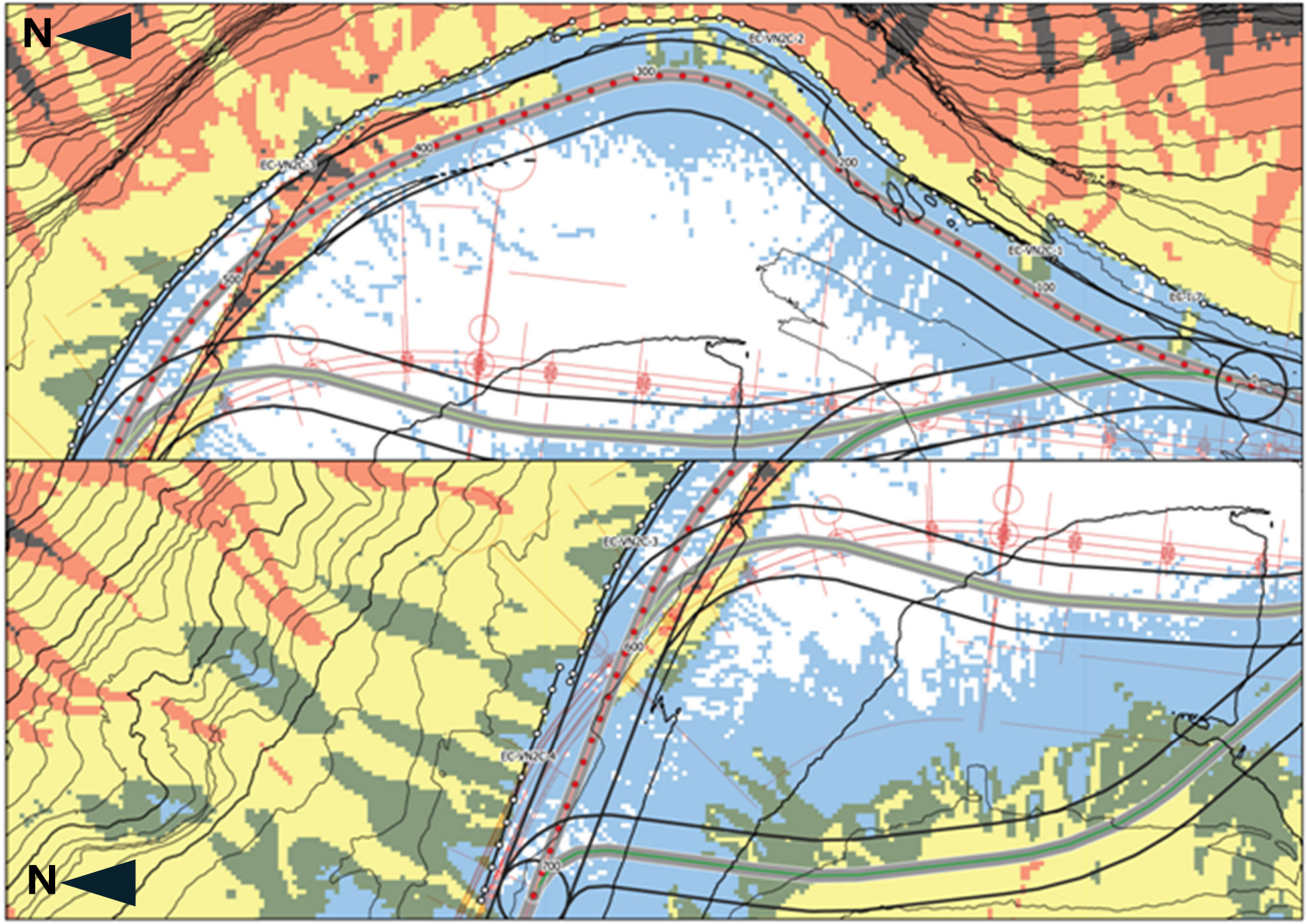


FIGURE 57 : ECRANS DE PROTECTION VARIANTE VN2C (DETAILS EN ANNEXE 10)

7.3.2.2.4 - Enjeux trajectographiques pour VN2b (PR9 à 9+400)

Il s'agit du tracé en rive droite.

Les 100 premiers mètres sont communs avec VN2a.

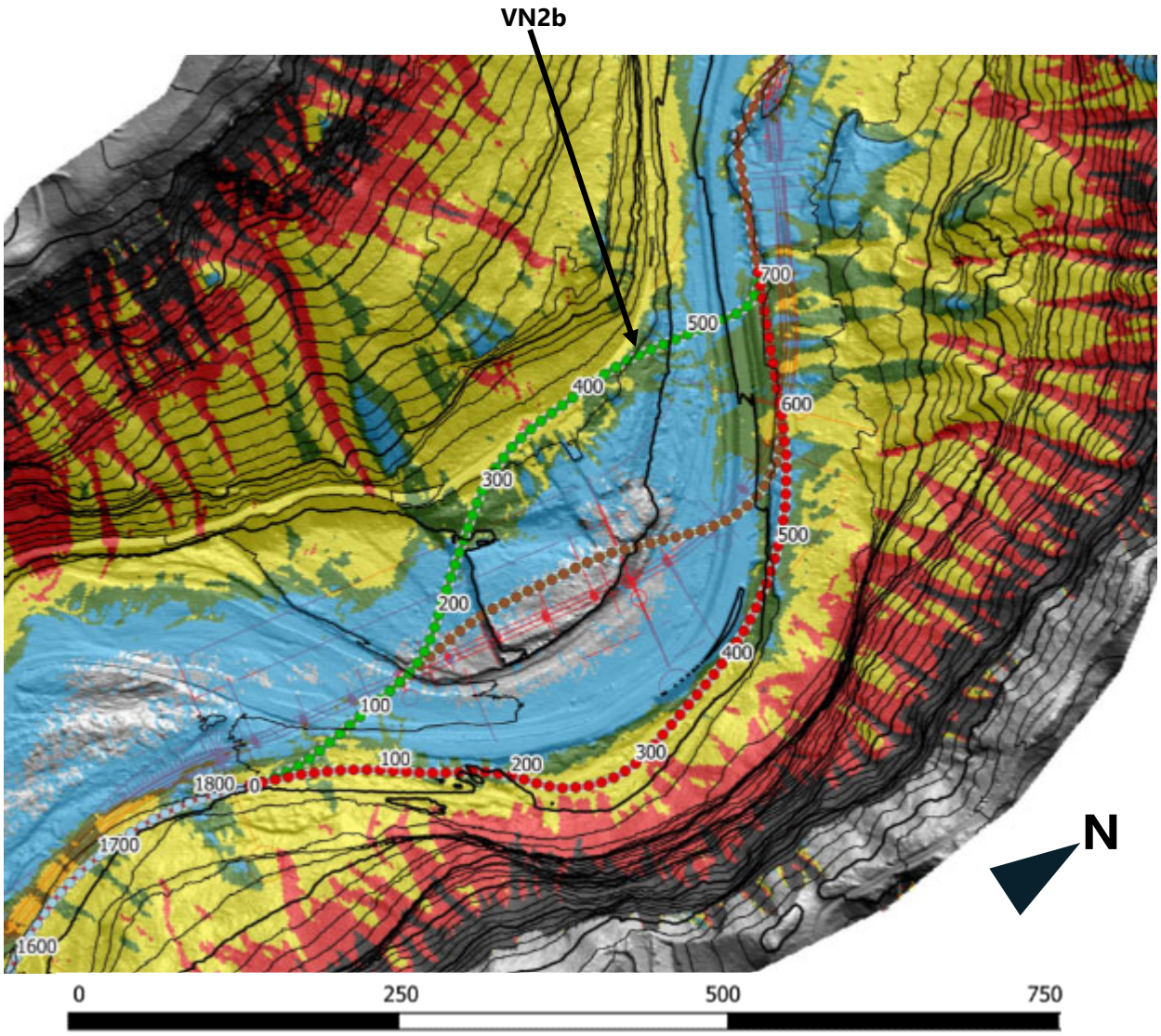


FIGURE 58 : TRACES VARIANTES VN2B (DETAILS EN ANNEXE 8)

Avec la topographie actuelle (sans modélisation du piège à caillou ou du remblai projeté), 324 766 blocs se propagent jusqu'à l'axe de la chaussée projetée (sur 506 800 blocs simulés soit 64%).

Le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability associés est présenté dans la figure 59.

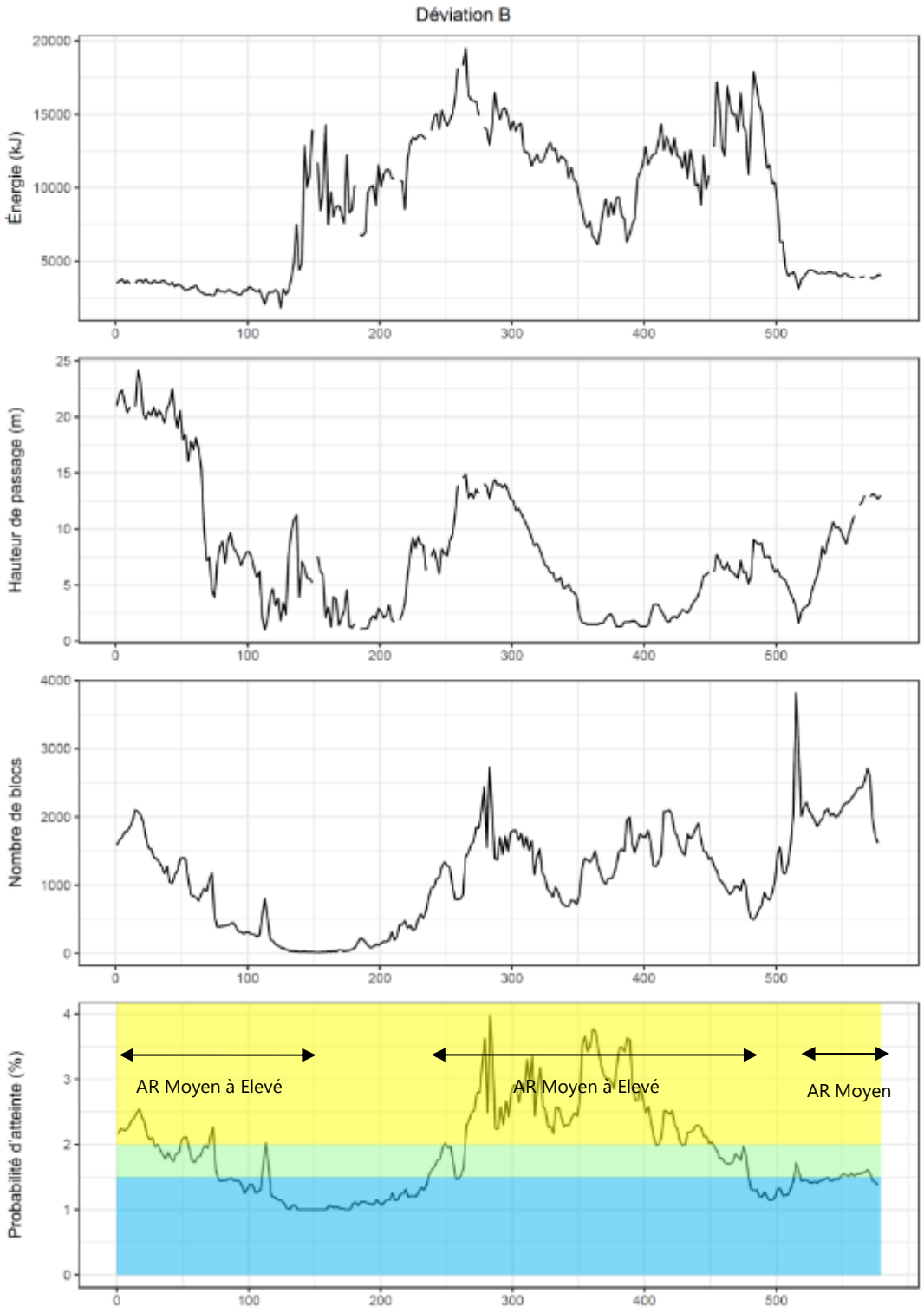


FIGURE 59 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITE D'ATTEINTE VARIANTE VN2B

Les 100 premiers mètres du tracé (côté aval) sont exposés depuis la rive gauche, ils nécessitent des protections similaires à VN1a sur 100 ml. Il s'agira de 100 m d'écran forte capacité ou d'un merlon pare-blocs si l'emprise disponible et les possibilités de terrassement sont suffisantes).

Le tronçon qui rejoint le tracé RN5 actuel est exposé au rempart rive gauche avec des fortes énergies et de forte hauteur de passage.

La mise en place d'un merlon de plus de 10 m de hauteur capacité 20 000kJ (merlon VN2b-1 figure 61) est à envisager sur près de 250 m pour abaisser l'aléa résultant à Très Faible.

La partie amont est traitée comme l'extrémité amont du tracé VN2c rive gauche (100 m d'écran forte capacité ou merlon pare-blocs).

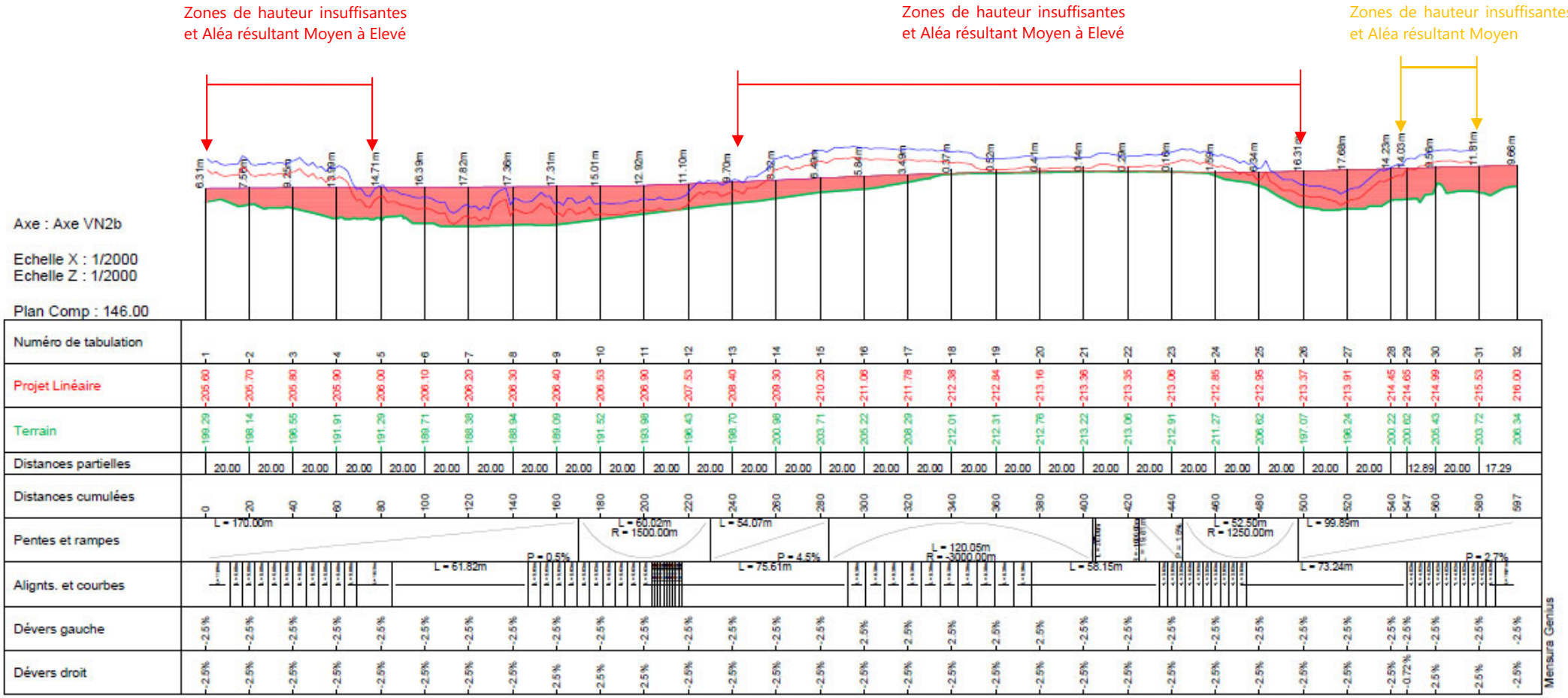


FIGURE 60 : ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT A LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE

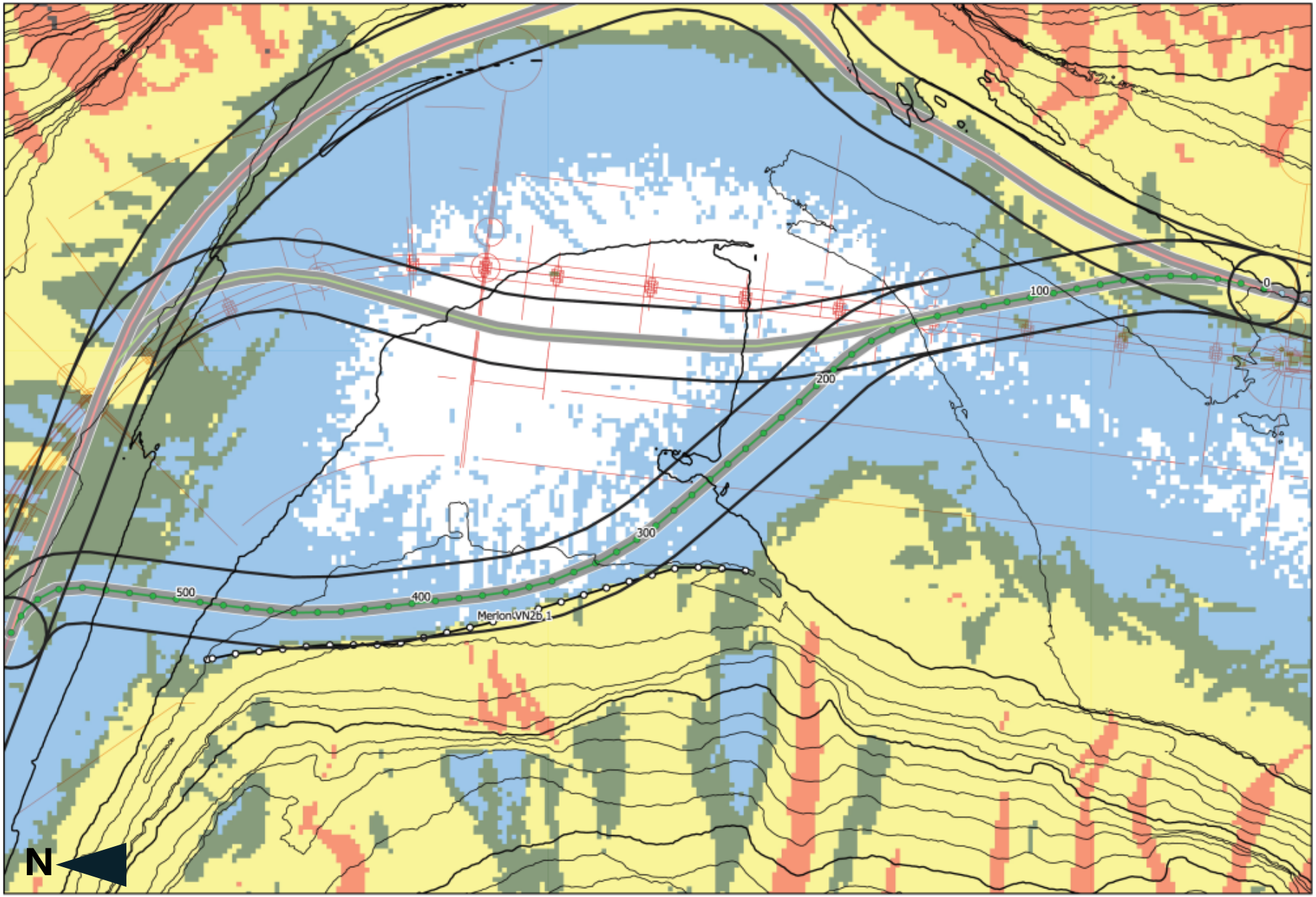


FIGURE 61 : ECRANS DE PROTECTION VARIANTE VN2B (DETAILS EN ANNEXE 10)

Récapitulatif des protections VN2a/b/c

L'aléa résultant recherché après la mise en place des protections est Très Faible

Le détail des protections prédimensionnées est présenté ci-dessous et Annexe 8.

Conformément à la norme NF P 94-500 précisant l'enchaînement des missions géotechniques, ces prédimensionnements ne sont pas bon pour éxécution en l'état. La conformité des hypothèses devra être contrôlées et adaptées tout au long de la phase de conception et de réalisation. Ces résultats devront donc être complétés et validés lors des phases d'étude (G2) et des phases dédiées à l'exécution (G3/4).

Voie	Hauteur du centre de gravité des blocs (m)	Hauteur nominale de l'écran (m)	Énergie (kJ)	Nom	Écran obligatoire (pas de merlon possible)	Longueur (m)	PR début	PR fin
VN2A	6	7 à 8	5000	EC-I-7	variante merlon à étudier	110	0	60
	7	8 à 9	8000	EC-VN2C-1	variante merlon à étudier	80	90	160
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-3	variante merlon à étudier	80	440	540
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-4	variante merlon à étudier	110	530	Fin VN2A
VN2B	10	12	20000	Merlon VN2b 1	Merlon obligatoire	240	250	480
	6	7 à 8	5000	EC-I-7	variante merlon à étudier	60	0	60
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-4	variante merlon à étudier	60	660	720
VN2C	6	7 à 8	5000	EC-I-7	variante merlon à étudier	100	Fin VN1C	110
	7	8 à 9	8000	EC-VN2C-1	variante merlon à étudier	80	90	170
	7	8 à 9	8000	EC-VN2C-2	variante merlon à étudier	180	180	330
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-3	variante merlon à étudier	330	320	620
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-4	variante merlon à étudier	110	610	720

Comparaison VN2a/b/c sur les enjeux de trajectographie

- VN2a

Avantages :

Tracé le moins exposé aux chutes de blocs en terme de propagation (358 482 / 1 784 900 ou 20% sans protections, < 26 774 / 1 784 900 ou <1,5% avec protections), en provenance de 2 remparts.

Solution d'éloignement qui implique le moins d'entretien (avantages en terme de cout et de sécurité court et long terme).

Inconvénients :

Contraintes hydraulique.

- VN2b

Avantages :

Entretien par vidange, nettoyage, évacuation des matériaux du piège à caillou après évènement et sous surveillance /avec travaux préparatoire modéré au niveau de la cicatrice.

Cout de l'entretien modéré (déblaiement du piège caillou réalisable les entreprises traditionnelles de terrassement).

Niveau de sécurité pour les opérations de maintenance pour les opérateurs (intervention mécanisée dans des engins de chantier) et les usagers (maintenance peut être réalisée route ouverte).

Inconvénients :

Tracé exposé aux chutes de blocs en terme de propagation et avec un aléa de rupture Très Elevé sur le secteur Rive Droite (324 766/ 506 800 ou 64% sans protections, <7602 / 506 800 ou <1,5% avec protections de fortes énergies).

Merlon pare bloc monumentale de 10 m de hauteur 20000 kJ et 250 m de long en amont de l'ancienne RN5 en rive droite.

Blocs avec fortes énergies en rive droite.

- VN2c

Avantages :

Les écrans pare blocs ne sont pas la seule solution de protection sur tout le linéaire (c'est le cas sur environ 850 m). Une partie des protections peuvent être réalisée avec des ouvrages type merlon (1200 m environ).

Inconvénients :

Tracé exposé aux chutes de blocs en terme de propagation et avec un aléa de rupture Elevé sur le secteur Rive Gauche (943 685 / 1 278 100 ou 73% sans protections, < 19 172 / 1 278 100 ou <1,5% avec protections de moyennes énergies).

Solution utilisant les Merlons pare blocs en variante aux écrans **pas forcément possible compte tenu des banquettes basaltiques en pied de rempart.**

Si emploi d'écrans pare-blocs :

Durée de vie des écrans moindre, de l'ordre de 10 à 25 ans en fonction des conditions de corrosivité selon EAD340059 00 0106.

Nécessité de faire appel à une entreprise spécialisée.

Niveau de sécurité moindre lors de phases d'entretien :

- **pour le personnel** qui intervient car il s'agit de travail manuel sur corde (plus exposé qu'un terrassier dans un engin de chantier renforcé type pelle mécanique, camion, etc…).
- **pour les usagers**, car lorsqu'un écran est impacté, il n'est quasiment plus opérationnel et les opérations de remise en état nécessitent des garder la route fermée plus longtemps (il est parfois possible d'envisager de doubler les lignes pour améliorer ce niveau de sécurité, mais le cout est quasi doublé).

Cout :

-de l'entretien, en cas d'impact sur les écrans, ils sont à reprendre (tout ou partie). (on peut envisager de doubler les lignes pour améliorer la sécurité et éviter de fermé=er la route lors des phases d'entretien ->cout total quasi doublé).

-de l'entretien même sans impact plus important (inspection périodique en accès difficile, corrosion importante avec le climat de La Réunion…).

Solution	VN2 A Contournement Est d'Îlet Rond	VN2 B Contournement Ouest d'Îlet Rond	VN2 C Confortement de la RN 1005 au droit d'Îlet Rond
Risque résiduel (après mise en place des protection)	Faible	Moyen	Moyen
Risque de chute de bloc et mouvement de terrain : Gain en sécurité	Le tracé de la RN5 est situé au niveau de la berge droite, relativement éloigné des remparts. Zone identifiée à risque faible.	Le tracé rejoint localement la voie actuelle en amont de l'Ilet Rond, cette zone est identifiée comme à risque d'après l'étude trajectographique MC2 (chutes de blocs, éboulements en masse), Le tracé doit donc faire l'objet de travaux de protection sur cette zone, avec un risque résiduel vis à vis des éboulements en masse, ce qui ne permet pas de répondre aux enjeux du projet.	**En rive gauche :** Le tracé de la RN1005 est situé rive gauche, en contrebas de remparts abrupts, ce qui présente un risque d'éboulements et nécessite une sécurisation de la RN 1005. La géologie du rempart rive gauche favorise des éboulements de blocs de taille réduite, permettant d'envisager des parades par écrans ou merlons. Au niveau géométrique, ces protections sont à accompagner d'un décalage du tracé en direction de la rivière afin d'implanter les ouvrages de protection, ce qui rend incompatible cette variante avec le maintien de la circulation pendant les travaux. **En rive droite :** La desserte locale d'Îlet Rond (par la RN5 existante) nécessite une sécurisation du rempart rive droite, au droit de la passerelle.
Faisabilité technique	Peu de contraintes liées aux protections contre les chutes de blocs, d'autant que le tracé se situe en remblai sur cette zone.	Protection localisée à prévoir au raccordement avec tracé RN5 actuelle.	Protection nécessaire du tracé en extrados de rive gauche, linéaire important.

D'un point de vue trajectographique, les variantes VN2B et VN2C présentent toutes deux, un certain nombre de points contraignants, qui nécessitent la mise en œuvre de dispositifs de protection de grande ampleur qui ne semblent pas réalistes pour tenir l'objectif de sécurisation de la RN5.

Ainsi, **la solution VN2A** semble être la seule solution permettant de répondre aux enjeux de trajectographie, du fait de la grande complexité à mettre en œuvre des dispositifs de protection sur les deux autres variantes au regard de leur positionnement en pied de remparts (rive droite et rive gauche) impliquant un risque résiduel important.

7.3.2.3 - Comparaison multicritère

Sur la base des expertises précédemment citées, tous les critères d'analyse sont mis en exergue afin de proposer de retenir la variante répondant le mieux à l'ensemble des enjeux.

Cette comparaison multicritère est présentée à la page suivante. Elle conduit à proposer d'étudier la **solution VN2A** dans le cadre de l'Avant-Projet car cette solution est celle qui présente le meilleur équilibre entre les différents enjeux et celle qui dispose de davantage de potentiel à pouvoir être optimisée. Bien que les enjeux hydrauliques et d'impact sur le milieu naturel et humain restent forts pour cette variante, les enjeux liés à la trajectographie sont rédhibitoires pour les deux autres variantes : il conviendra ainsi de chercher des améliorations dans le tracé pour réduire le risque, avec notamment la suppression de piles pour les ouvrages de franchissement.

Légende de la comparaison des variantes :

Option la plus avantageuse, ne présentant que des points positifs
Option avantageuse pouvant présenter quelques contraintes
Option présentant des points contraignants mais acceptables
Option présentant un certain nombre de points contraignants
Option contraignante, rédhibitoire

Solution	VN2 A	VN2 B	VN2 C
Risque résiduel	Faible	Moyen	Moyen
Gain en sécurité	Le tracé de la RN5 est relativement éloigné des remparts, ce qui minimise les risques d'éboulements sur la route.	Le tracé de la RN5 est situé rive droite, en contrebas de remparts abruptes, ce qui présente un risque d'éboulements et nécessite une sécurisation au droit d'Îlet Rond.	- Le tracé de la RN1005 est situé rive gauche, en contrebas de remparts abruptes, ce qui présente un risque d'éboulements et nécessite une sécurisation de la RN 1005. - La desserte d'Îlet Rond (par la RN5 existante) nécessite une sécurisation du rempart rive droite, au droit de la passerelle.
Impact sur le milieu physique	- Intervention dans le lit majeur du Bras de Cilaos par la création d'un ouvrage d'art sur un linéaire de 500 m ou bien deux ouvrages de 100 m, - Rectification du lit mineur - Risques de pollution pour les eaux superficielles et pour la nappe	Création de deux ouvrages d'art d'environ 100 m pour la traversée du Bras de Cilaos en amont et en aval d'Îlet Rond.	Conservation de la RN 1005 existante, minimisant ainsi les nuisances et impacts générés par les travaux.
Impact sur les milieux naturels	Sur le secteur d'Îlet Rond, la RN5 emprunte ponctuellement le lit de la rivière du Bras de Cilaos, engendrant un risque de perturbation de la faune piscicole.	Faible emprise sur la végétation et la faune du fait du positionnement transversal des ouvrages par rapport au Bras de Cilaos	Faible impact sur les milieux naturels du fait de la conservation de la RN 1005.
Impacts sur le milieu humain	- La desserte des habitations d'Îlet Rond est modifiée par rapport à leur desserte historique (la RN5 desservait l'Îlet via l'autre rive). -Passage du nouveau tracé à proximité des habitations qui étaient isolées jusqu'à l'arrivée de la RN 1005, générant des nuisances acoustiques et visuelles	- Accès initial aux habitations conservé (utilisation de la RN5 existante). -Pas de modification de la source d'émission du bruit routier	La desserte des habitations d'Îlet Rond sera faite par la RN5 historique, via le franchissement du Bras de Cilaos par la passerelle d'Îlet Furcy.
Impact hydraulique	- Deux ouvrages ayant un positionnement transversal par rapport au Bras de Cilaos -Modification du lit mineur	Deux ouvrages ayant un positionnement transversal par rapport au Bras de Cilaos	Le confortement des berges nécessite une intervention dans le lit de la rivière.
Coûts des travaux (en millions d'euros)	50	50	35

7.4 - Mise à jour du tracé AVP – Octobre 2019

Les analyses trajectographiques précédentes ont été réalisées sur la base du dossier de plan VRU180007 RN5 CILAOS du 04/06/19.

Le tracé AVP d'octobre 2019 présente les adaptations suivantes :

- Baisse de quelques mètres de l'altitude de la plateforme VN1c, a zone d'environ 300 m, entre PK1000 et PK1300, ou la hauteur de plateforme du 04/06/19 était suffisante et sur laquelle un parement amont raidi / piège à caillou pouvait suffire (cf. figure 16) sera à réétudier avec le tracé du 06/10/19 si on souhaite mettre en œuvre une solution merlon / piège à caillou amont. **La solution écran pare-blocs dans le talus amont, qui est représentée sur le plan en Annexe 11, et prise en compte dans notre préchiffrage, ne sera pas impactée par cette modification.**

- Modification de quelques dizaines de mètres de la position des appuis des 2 ouvrages d'art de part et d'autres de l'Ilet Rond (VN2b/c) et de l'ouvrages en amont de l'Ilet Furcy. Les figures 62 et 63 pages suivantes présentent les deux tracés. Les protections prévues ne sont que très ponctuellement impactées. Il s'agit de changements mineurs : **les linéaires seront à adapter de quelques dizaines de mètres et les positions des écrans ou merlon selon le choix retenu devront prendre en compte ces modifications dans les études ultérieures.**

- Au PR10+800, léger décalage de l'OA4 en amont de l'Ilet Furcy, sans conséquence majeure sur l'implantation des protections, dont la position est rappelée en Annexe 11.

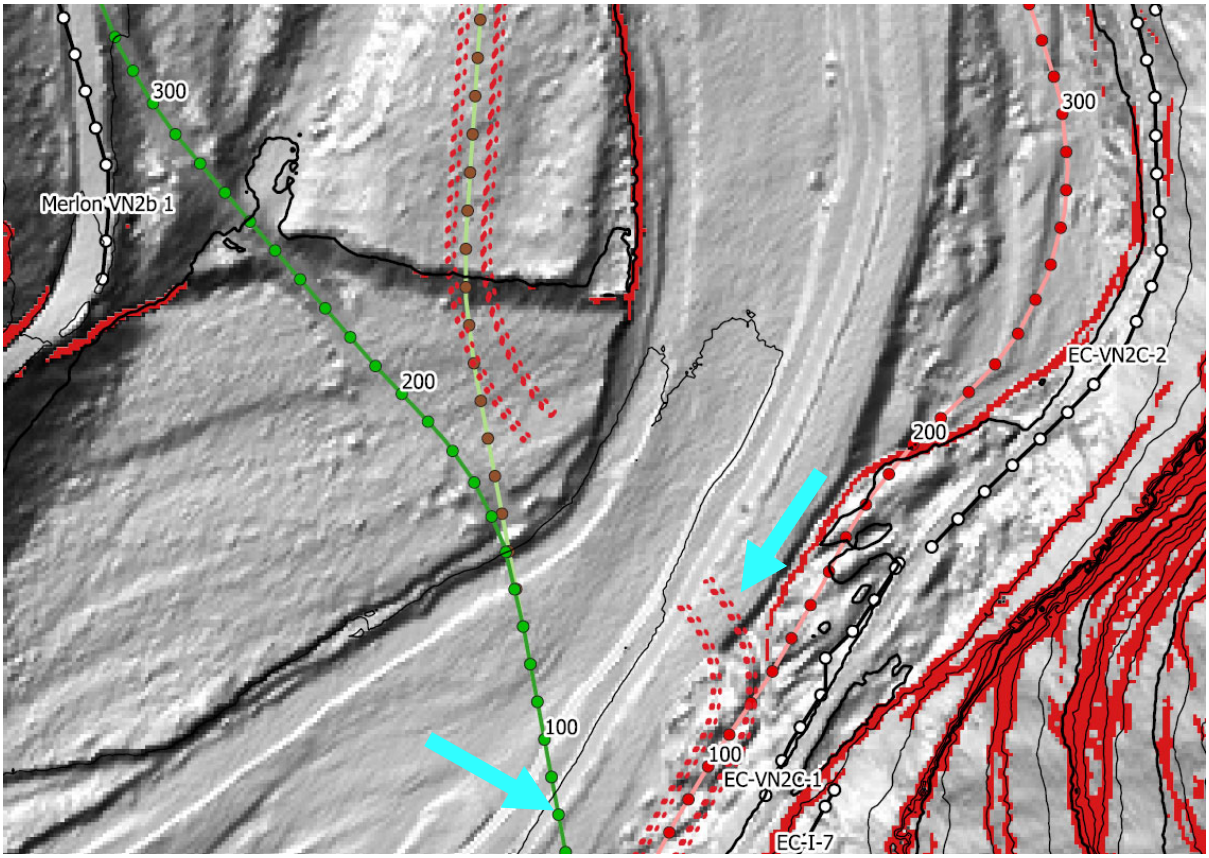


FIGURE 62 : TRACES VN2A/B DU 04/06/2019 (VERT) MODIFIE LE 09/10/19 (POINTILLES ROUGE)

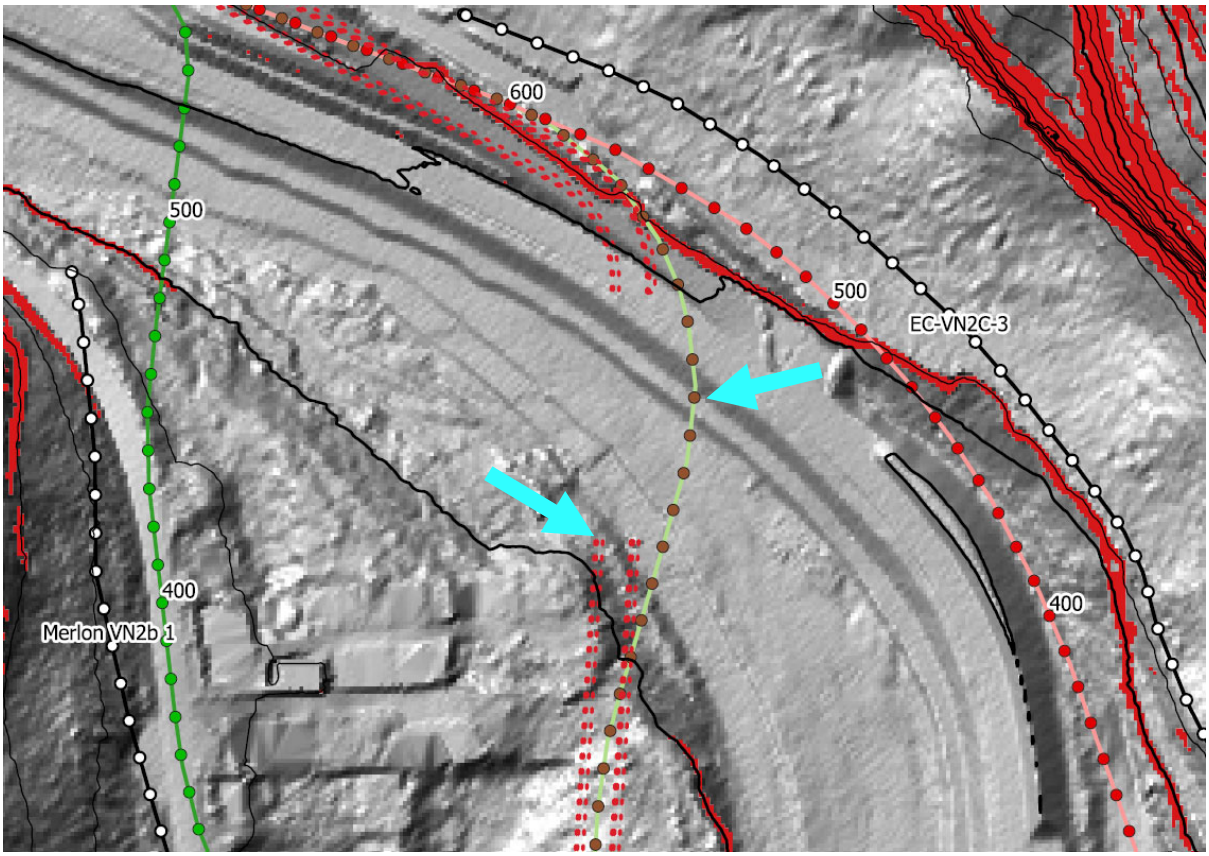


FIGURE 63 : TRACES VN2A/B DU 04/06/2019 (VERT) MODIFIE LE 09/10/19 (POINTILLES ROUGE)

7.5 - Estimatif travaux de protection niveau AVP

Récapitulatif des protections VN1b/c, VN2a/b/c

Conformément à la norme NF P 94-500 précisant l'enchaînement des missions géotechniques, ces prédimensionnements ne sont pas bon pour éxécution en l'état. La conformité des hypothèses devra être contrôlée et adaptée tout au long de la phase de conception et de réalisation. Ces résultats devront donc être complétés et validés lors des phases d'étude (G2) et des phases dédiées à l'exécution (G3/4).

Certains points restent à préciser car ils dépendent des travaux de remblai/déblais général du tracé.

Une majoration de 60 % des montants entre les montants issus de l'expérience en Métropole et ceux estimé pour ce chantier à l'île de La Réunion.

Les prix sont hors installation de chantier, préparation (de l'ordre de 20% du montant des travaux) et hors maitrise d'œuvre, contrôle, SPS, ….

Chiffrage à mettre à jour ASP2

désignation	unité	prix U	qté	montant HT
ASP1 PR6 à 7+200				
Installation et repli de l'entreprise	Ft	100 000 €	1	100 000 €
Préparation de terrain et des accès	Ft	150 000 €	1	150 000 €
Filets haute Limite Elastique	m²	100 €	6000	600 000 €
Ancrages	m	130 €	2000	260 000 €

désignation	unité	prix U	qté	montant HT
VN1 PR7+200 à 8+200				
VN1a				
rehausse entre 3m de P4 à P13 et 7 m entre P13 et P20 à intégrer au design de la plateforme routière EGIS				
VN1 PR7+200 à 8+200				
VN1b				
PK60 à 780 merlon 3 à 5 m hauteur. "Attention surcout de la protection hors sol uniquement", le surcout lié au remblais de la plateforme (élargissement + réhausse) est à prendre en compte dans la plateforme routière EGIS	m	1 400 €	720	1 008 000 €
PK840 à 1040 merlon 1 m hauteur "Attention surcout de la protection hors sol uniquement", le surcout lié au remblais de la plateforme (élargissement + réhausse) est à prendre en compte dans la plateforme routière EGIS	m	250 €	200	50 000 €
VN1 PR7+200 à 8+200				
VN1c				
Déblais + confortement actif/passif sur les talus de déblais fonction des pentes de déblais retenu et des terrain rencontrés	?	?	?	?
PK350 à 800				
PK350 à 580 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	230	460 000 €
PK550 à 640 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	140	280 000 €
PK610 à 800 Ecran 5000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 000 €	170	340 000 €
PK 700 à 1270				
Variante ecran PK 700 à 1270				
PK700 à 960 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	250	625 000 €
PK 950 à 1060 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 500 €	110	275 000 €
PK 1050 à 1270 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	210	525 000 €
Ou variante merlon possible PK 700 à 1270 faisabilité à préciser				
PK700 à 960 Merlon 8000kJ Hauteur 9 m	m	6 000 €	250	**1 500 000 €**
PK 950 à 1060 Merlon 5000kJ Hauteur 8 m	m	4 600 €	110	**506 000 €**
PK 1050 à 1270 Merlon 8000kJ Hauteur 9 m	m	6 000 €	210	**1 260 000 €**
PK 1300 à fin VN1C 1800				
Variante ecran 1250 à 1300				
PK 1250 à 1300 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	60	150 000 €
Faisabilité d'une variante merlon 1250 à 1300 à préciser				
PK 1250 à 1300 Merlon 8000kJ Hauteur 9 m	m	6 000 €	60	**360 000 €**
PK 1280 à 1300 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	30	75 000 €
PK 1290 à 1330 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	50	125 000 €
PK1300 à 1360 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	50	125 000 €
PK 1370 à 1420 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	60	120 000 €
PK 1420 à 1470 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	50	100 000 €
Variante ecran 1330 à 1780				
PK 1330 à 1780 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	430	860 000 €
Ou variante merlon possible 1330 à 1780 faisabilité à préciser				
PK 1330 à 1780 Merlon 5000kJ Hauteur 8 m	m	4 600 €	430	**1 978 000 €**
Variante ecran 1760 à fin VN1C				
1760 à fin VN1C 1800 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	70	140 000 €
Faisabilité d'une variante merlon 1760 à fin VN1C à préciser				
PK 1330 à 1780 Merlon 5000kJ Hauteur 8 m	m	4 600 €	70	**322 000 €**

HORS INSTALLATIONS PREPARATION

de l'ordre de 20% du montant total des travaux

les montants ci-dessus sont donc à majorer de l'ordre de 25%

egis Mascareignes Géologie IMS RN Ingénierie des Mouvements de Sol et des Risques Naturels

désignation	unité	prix U	qté	montant HT
VN2a PR9 à 9+400				
PK0 = fin VN1c à PK60 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	110	220 000 €
PK90 à 160 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	80	200 000 €
PK440 à 540 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	80	160 000 €
PK530 à Fin VN2a Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 500 €	110	275 000 €
faisabilité d'une variante merlon rive gauche à préciser				
VN2a PR9 à 9+400				
PK0 = fin VN1c à PK60 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	110	220 000 €
PK90 à 160 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	m	2 500 €	80	200 000 €
PK440 à 540 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	80	160 000 €
PK530 à Fin VN2a Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 500 €	110	275 000 €

désignation	unité	prix U	qté	montant HT
VN2b PR9 à 9+400				
PK0 = fin VN1c à PK60 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 000 €	60	120 000 €
PK250 à 480 Merlon 20000kJ Hauteur 10 m	m	10 000 €	230	2 300 000 €
PK660 à 720 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	m	2 500 €	60	150 000 €

désignation	unité	prix U	qté	montant HT
VN2c PR9 à 9+400				
PK0 = fin VN1c à PK110 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	ml	2 000 €	100	200 000 €
PK90 à 170 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	ml	2 500 €	80	200 000 €
PK180 à 330 Ecran 8000kJ Hauteur 8 à 9 m	ml	2 500 €	180	450 000 €
PK320 à 620 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	ml	2 000 €	330	660 000 €
PK610 à 720 Ecran 5000kJ Hauteur 7 à 8 m	ml	2 000 €	110	220 000 €
faisabilité d'une variante merlon rive gauche à préciser				

HORS INSTALLATIONS PREPARATION
de l'ordre de 20% du montant total des travaux
les montants ci-dessus sont donc à majorer de l'ordre de 25%

n°	désignation	unité	prix U	qté	montant HT
	VN2 / ASP2 PR9+400 à 12+200				
	PR10+600 Talus RG en aval OA4				
	PK940 à 1010 Merlon 1000kJ Hauteur 2 m	m	500 €	100	50 000 €
	PK1000 à 1100 Filets haute Limite Elastique	m²	100 €	1500	150 000 €
	PK1000 à 1100 Ancrages	m	130 €	600	78 000 €
	PR10+800 protection RD en amont OA4				
	PK1200 à 1300 Merlon 18000kJ Hauteur 13 m	m	12 000 €	100	1 200 000 €
	PK1300 à 1350 Merlon 15000kJ Hauteur 10 m	m	7 500 €	50	375 000 €
	PK1500 à 1580 Merlon 15000kJ Hauteur 10 m	m	7 500 €	80	600 000 €
	ASP2 Rampe des Sables PR11+800 à 12+200				
	PR 11+800 à PR12 Talus bord de route Filets haute Limite Elastique	m²	100 €	1000	100 000 €
	PR 11+800 à PR12 Talus bord de route Ancrages	m	130 €	400	52 000 €
	PR11+800 à 11+900 Talus haut Dispositif spécifique type Déflecteur + Ecran Capacité 20000kJ Hauteur 10 m	m	4 000 €	110	440 000 €
	PR12+150 à 12+200 Renforcement des gabbions existant	m	800 €	100	80 000 €

HORS INSTALLATIONS PREPARATION
de l'ordre de 20% du montant total des travaux
les montants ci-dessus sont donc à majorer de l'ordre de 25%

8 - CONCLUSION

Le présent rapport fait la synthèse de la mission de trajectographie confiée au Groupement Egis dans le cadre de l'étude de sécurisation de la Route Nationale 5 sur le secteur Les Aloès – Ilet Furcy.

Cette étude est basée sur les différents éléments rappelés ci-dessous :

- Analyse du contexte géologique du site,
- Recensement des évènements anciens,
- Reconnaissances de site géologiques et descentes en falaise,
- Levé topographique Lidar héliporté,
- Modélisations trajectographiques 3D relatives aux différents tracés étudiés.

Lorsque nécessaire des dispositifs de protection par confortement actif (filet plaqué avec clouage), ou protection passive (écran pare-blocs ou merlon pare-blocs) sont préconisés et justifiés par la modélisation.

Chaque zone concernée fait l'objet d'un préchiffrage économique basé sur notre expérience de ce type de solutions.

Les conclusions détaillées de la présente étude devront être confirmées aux niveaux PRO et EXE afin de valider les hypothèses retenues pour les modélisations effectuées (en particulier en termes de dimension de bloc au niveau de la rive gauche de la ravine sur laquelle les données historiques sont rares, ou de prise en compte des modifications de topographie dues aux terrassements liés au projet), en fonction du tracé qui sera retenu, et ainsi valider les dispositifs de protections préconisés.

ANNEXE 1

Fiches détaillées par secteur

ANNEXE 1-0

PRESENTATION DES RECONNAISSANCES

Les reconnaissances de terrain ont été réalisées principalement en Janvier 2019.

Elles ont consisté en :

- 2 réunions sur site avec des intervenants travaillant sur site depuis de nombreuses années ; M. Nassibou Pierre et M. Hoareau Gérald du Centre d'Exploitation Routière de la Rivière St Louis et M. Giot Bruno de l'entreprise GTOI, titulaire du marché de travaux spéciaux sur le secteur.
- 3 reconnaissances héliportées d'environ 1 heure. Un survol a été réalisé accompagné de M. Giot Bruno GTOI et M. Hoareau Gérald CR Réunion.
- plusieurs jours de reconnaissance pédestre.
- une semaine de reconnaissances sur cordes dans les remparts. L'emplacement des descentes sur corde est indiqué sur la représentation LIDAR page suivante. Des vues générales et de détails sont également présentées dans les planches photographiques des fiches détaillées par secteurs.

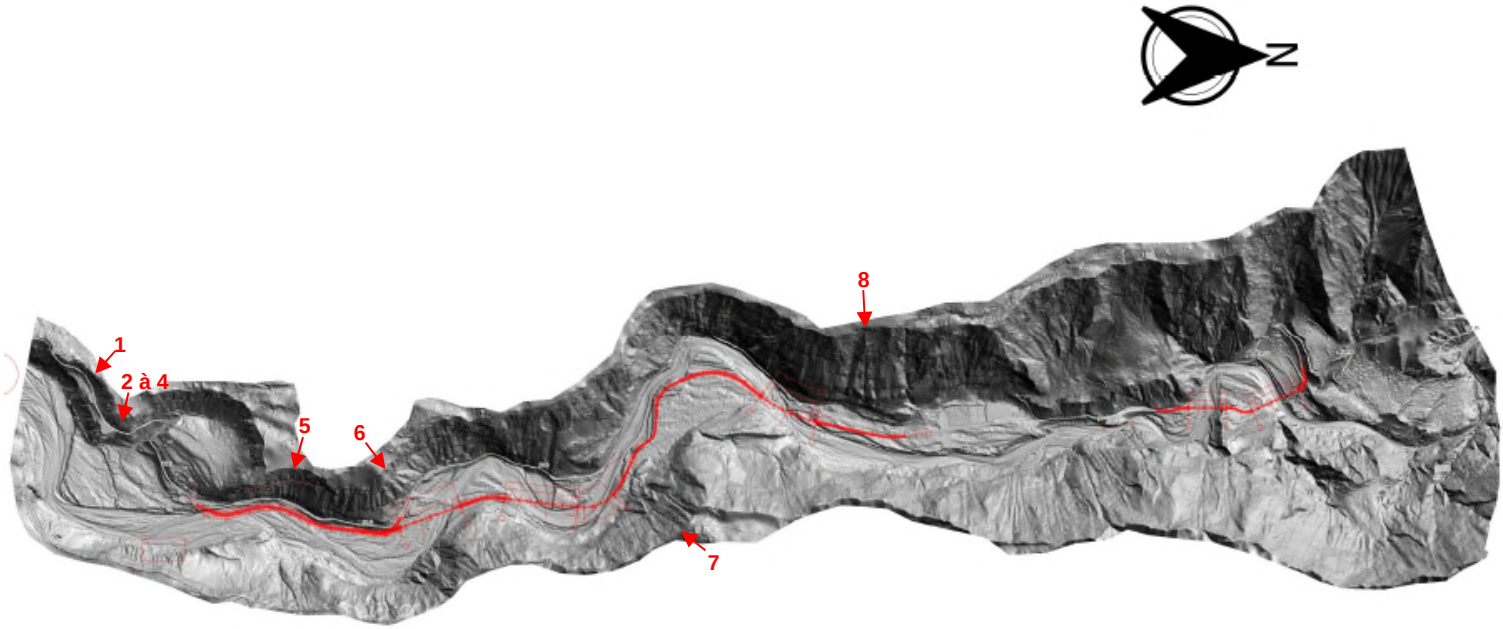


FIGURE 62 : CARTE DES RECONNAISSANCES SUR CORDES

ANNEXE 1-1

ASP1 : Descente des Aloès – PR6+000 à 7+200

ASP n°1 - Descente des Aloès - PR6+000 au PR7+200

1.1 - Morphologie :

Au début de la descente, la route passe au sommet d'un versant constituant la berge en rive droite du bras de Cilaos.

Le promontoire rocheux en « marche d'escalier » comprend plusieurs vires (ou bermes), végétalisées.

Le sommet du versant dominant la RN5 est habité. Les parcelles, privées, sont en friches, boisées. Des déchets sont localement déversés dans les parcelles non clôturées.

1.2 - Géologie

L'escarpement est constitué par **des coulées massives d'épaisseur 10 à 20 m**, séparées par des brèches de basalte scoriacé (semelle de coulée ou brèche de progression).

Deux coulées basaltiques massives surplombent la route ; elles présentent un pendage aval vers le Sud, vers le bras de Cilaos. Elles se sont épanchées sur un versant incliné constitué par les océanites (coulée de basalte à olivine) qui affleurent au pied du versant.

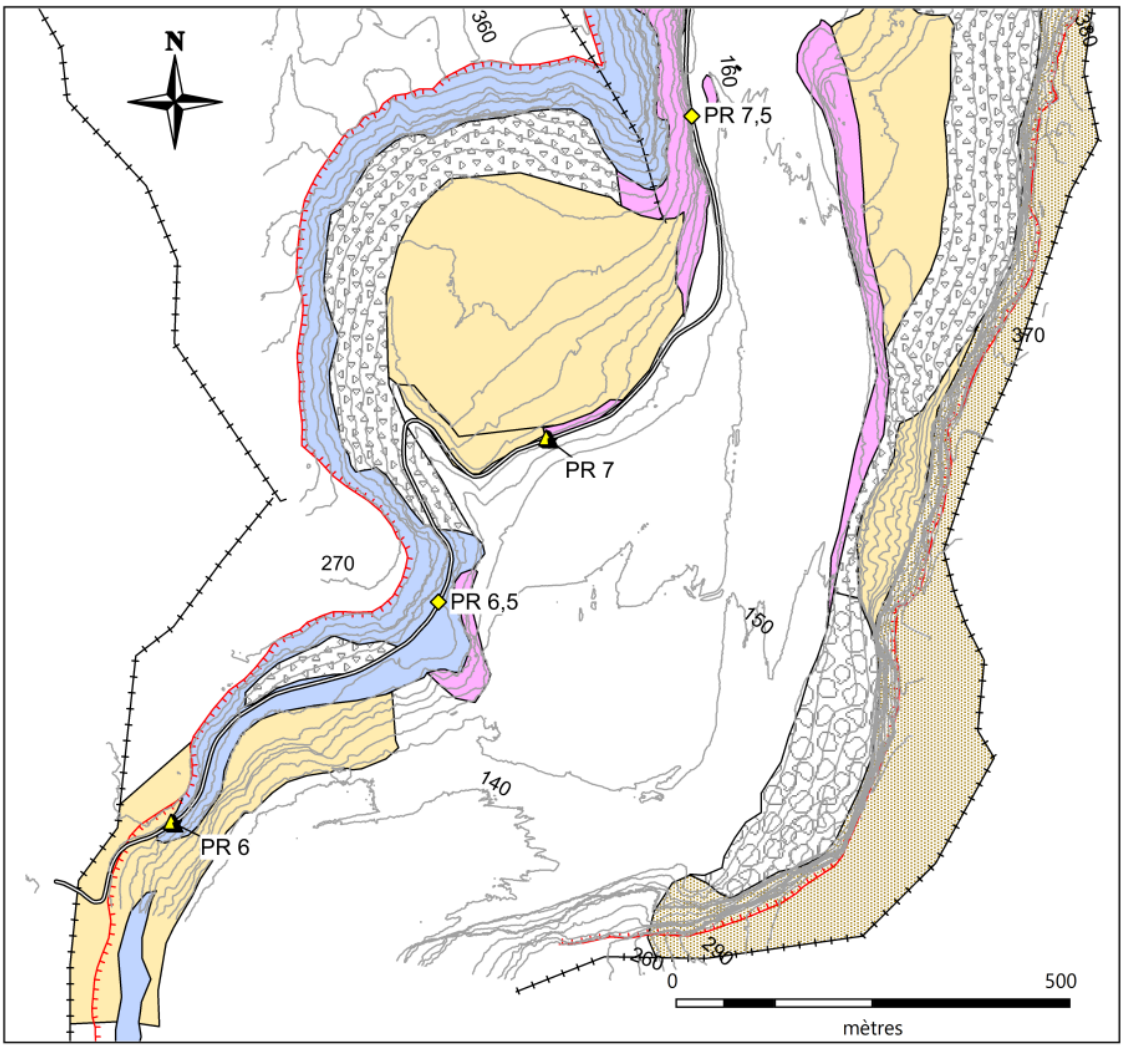
Du PR 5,8 au PR 6, l'escarpement est recouvert par **des alluvions anciennes**. Elles affleurent dans le talus amont et dans le versant en contrebas de la route.

L'escarpement basaltique est recouvert par **des éboulis** dans les parties moins pentues. Les blocs sont maintenus par la végétation arborée. Les éboulis sont anciens, enchâssés dans une matrice terreuse brune. La taille de blocs est métrique à plurimétrique.

Coulées massives

Alluvions anciennes au PR6

Eboulis (blocs) masques par la végétation



Formations géologiques

- Eboulis récent
- Eboulis chaos
- Eboulis
- Coulée de débris
- Alluvions anciennes
- Coulées basaltiques récentes
- Océanites

- Ligne de crête
- Sommet de rempart
- PR RN5

FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON ASP 1

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

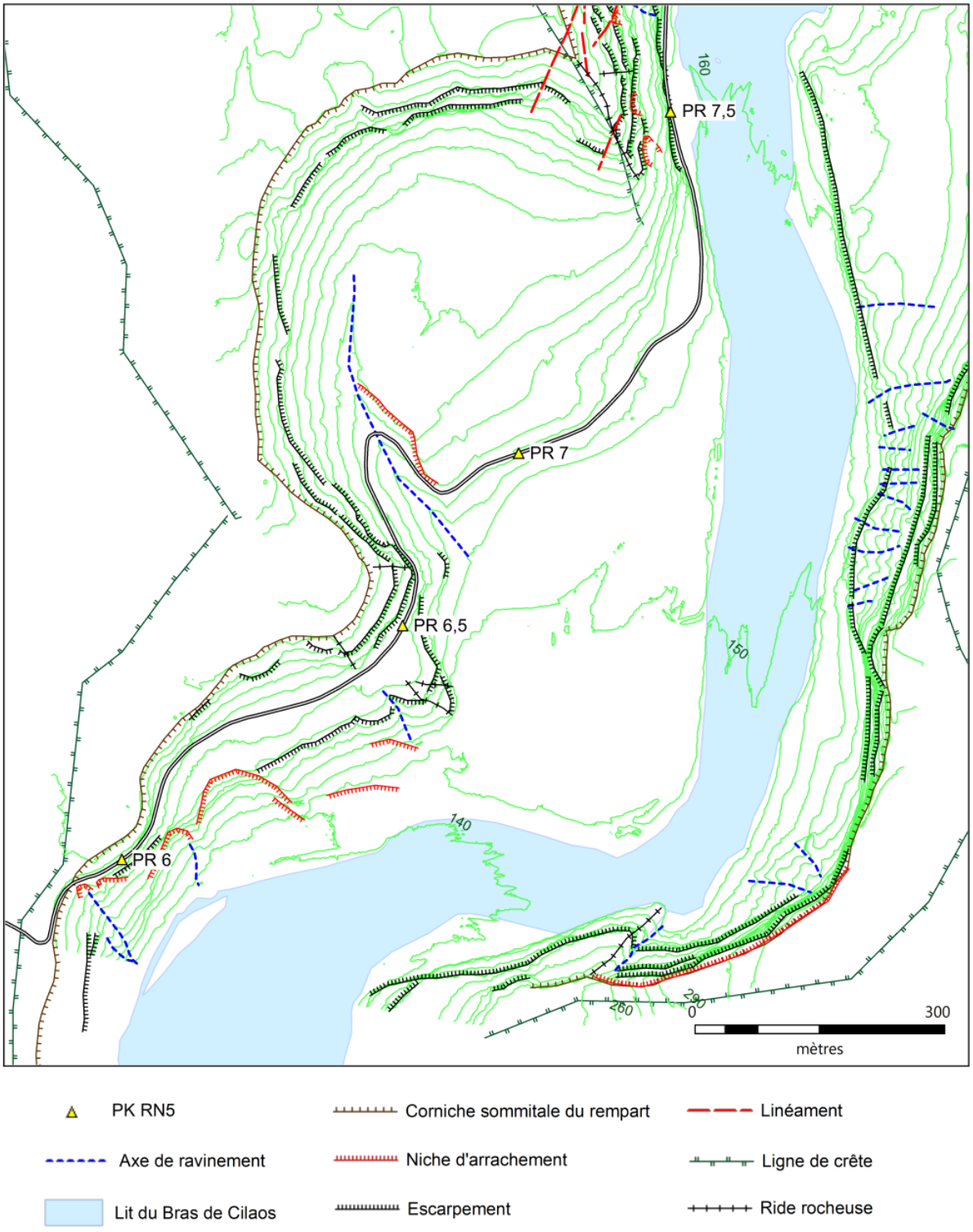


FIGURE 2 CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON ASP 1

1.3 - Historique des mouvements de terrain

Sur ce tronçon, la route est exposée aux :

- Chutes de pierres et galets issus des alluvions et brèches scoriacées ;
- Chutes de blocs issus des barres basaltiques et des éboulis ;
- Glissements de terrain dans les parties alluvionnaires et bréchiques.

Le secteur est considéré comme peu actif. Les chutes de blocs sont peu fréquentes, moins d'une dizaine d'évènements répertoriés (0,5 événement/hectomètre).

Des écailles rocheuses de grande dimension sont susceptibles de se détacher de la paroi (ex, PR6+550 - BRGM 2010).

Aucune parade ou protection n'a été mises en œuvre sur ce tronçon.

Des inspections et purges préventives de blocs sont menées occasionnellement par des cordistes, généralement à la suite d'éboulements.

Extrait du rapport d'inspection BRGM d'avril 2010 « …présence de très nombreux débris et ordures dans le sous-bois (carcasse d'électroménager, bidons métalliques ou plastiques, fers à béton, tuyaux PVC ou métalliques, tôles, ordures ménagères). L'examen de la parcelle EX220 au niveau du plateau montre des débris et gravats sous les buissons. Par ailleurs, des riverains interrogés confirment que des dépôts sauvages d'ordures sont épisodiquement faits sur cette parcelle non close »

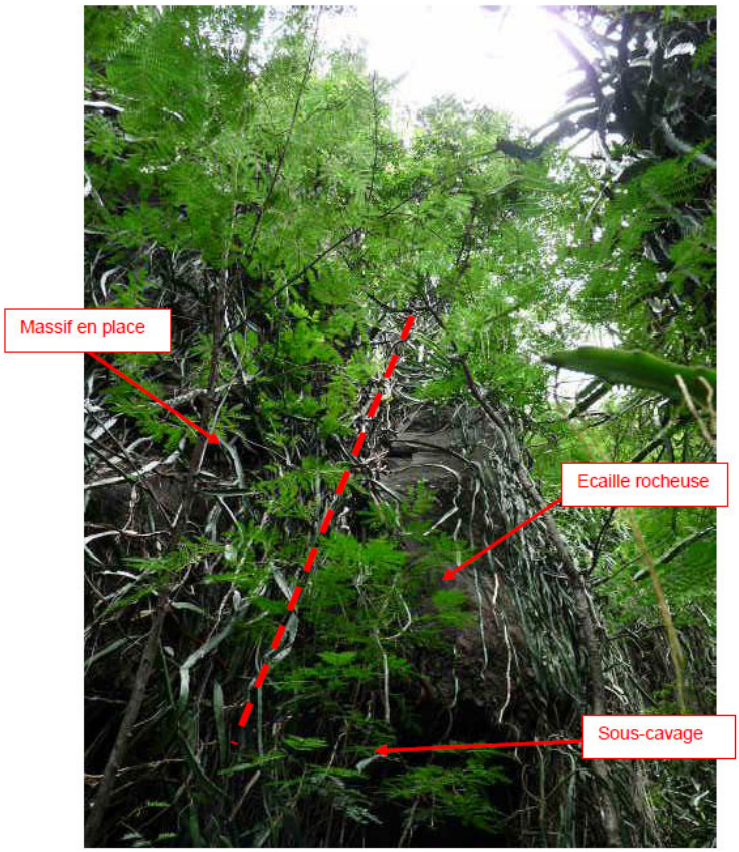


Illustration 4 – Vue générale de l'écaille depuis la route

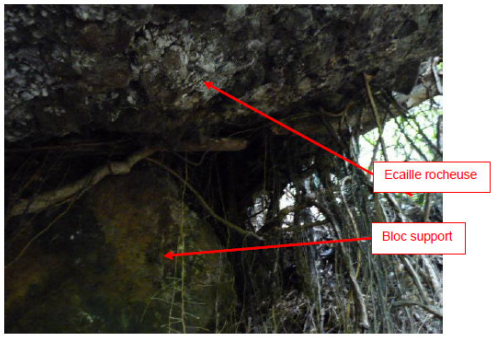


Illustration 5 – Vue de la zone sous-cavée

PR5+550 / Inspection BRGM du 08 mars 2010

PR5+400 : Blocs instables dans les versants boisés – BRGM 07 mars 2010

Ordures au PR6+200- BRGM Avril 2010

Départ de bloc PR6+200 – BRGM Avril 2010

Illustration 5 – Traces de la zone de départ du bloc remobilisé

PR6+040 : Blocs menaçants et barre rocheuse en contrebas - BRGM nov 2010

Vues générales et de détails Descente des Aloès PR6 à 7+200

REFERENCES

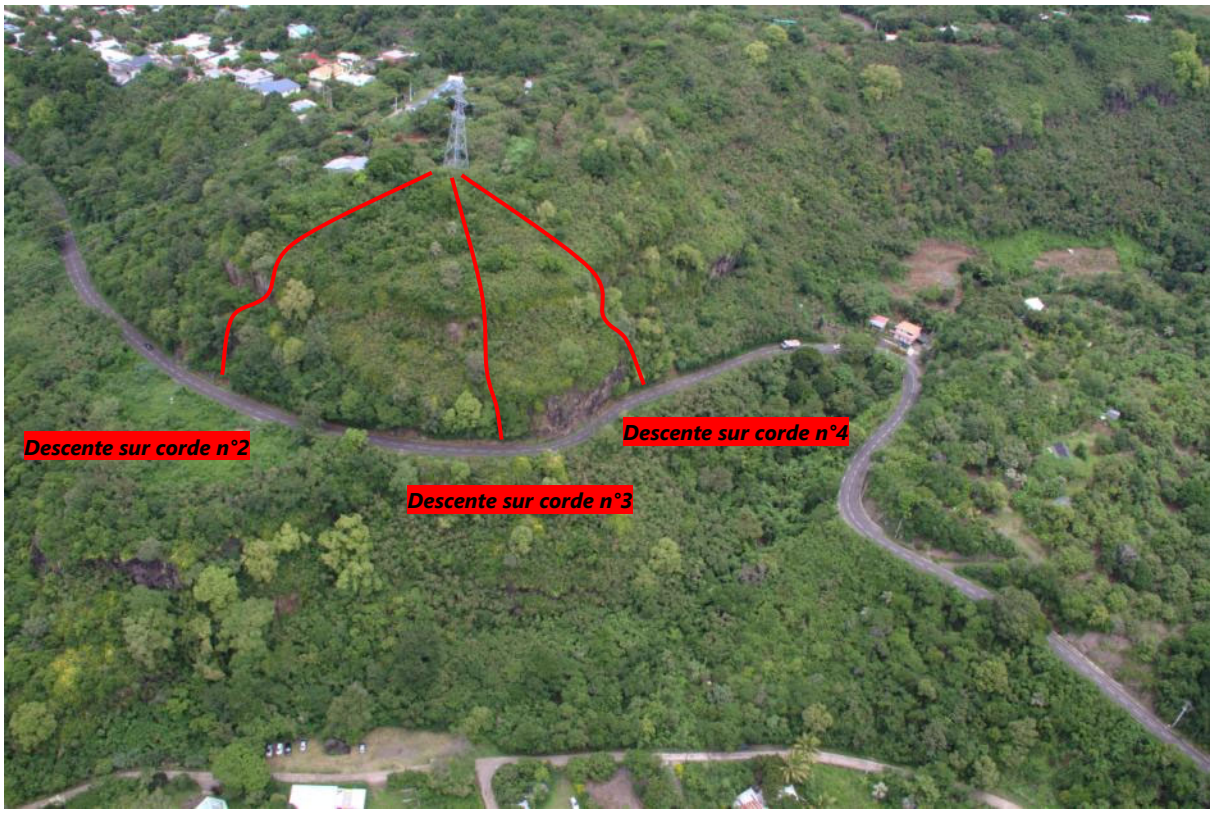
Photographie 1 : Vue générale PR6 à 6+200 rive droite 9
Photographie 2 : Vue générale PR6+200 à 6+400 rive droite 10
Photographie 3 : Vue générale PR6+300 à 6+500 rive droite 10
Photographie 4 : Vue générale PR6+300 à 7+200 rive droite 11
Photographie 5 : Vue générale PR6+400 à 7 rive droite 12
Photographie 6 : Vue générale PR7 à 7+200 rive droite 12
Photographie 7 : Vue générale ASP1 PR6+400 à 6+600 rive droite 13
Photographie 8 : Vue générale ASP1 PR6+500 à 7 rive droite 13
Photographie 9 : Vue generale ASP1 PR6+500 rive droite 14
Photographie 10 : Vue Generale ASP1 PR6+500 rive droite 15
Photographie 11 : Vue générale ASP1 PR6+500 rive droite 16
Photographie 12 : Vue générale ASP1 PR6+800 rive droite 17
Photographie 13 : Vue générale ASP1 PR6+800 à 7+100 rive droite 17
Photographie 14 : Bloc métrique fracturé masqué par la végétation au PR6+200 18
Photographie 15 : Bloc métrique déchaussé au PR6+200 18
Photographie 16 : Falaise sommitale sous-cavée au PR6+200 18
Photographie 17 : Bloc métrique fracturé au PR6+200 18
Photographie 18 : Végétation sur coulées massives au PR6+600 19
Photographie 19 : Coulées massives masquées par la végétation au PR6+400 19
Photographie 20 : Végétation sur coulées massives au PR6+600 19
Photographie 22 : Végétation sur coulées massives au PR6+500 19
Photographie 21 : Vue de détail d'une coulée massive au PR6+500 19

PHOTOGRAPHIE 1 : VUE GENERALE PR6 A 6+200 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 2 : VUE GENERALE PR6+200 A 6+400 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 3 : VUE GENERALE PR6+300 A 6+500 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 4 : VUE GENERALE PR6+300 A 7+200 RIVE DROITE



PHOTOGRAPHIE 5 : VUE GENERALE PR6+400 A 7 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 6 : VUE GENERALE PR7 A 7+200 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 7 : VUE GENERALE ASP1 PR6+400 A 6+600 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 8 : VUE GENERALE ASP1 PR6+500 A 7 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 9 : VUE GENERALE ASP1 PR6+500 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 10 : VUE GENERALE ASP1 PR6+500 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE ASP1 PR6+500 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE ASP1 PR6+800 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 13 : VUE GENERALE ASP1 PR6+800 A 7+100 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 14 : BLOC METRIQUE FRACTURE MASQUE PAR LA VEGETATION AU PR6+200

PHOTOGRAPHIE 15 : BLOC METRIQUE DECHAUSSE AU PR6+200

PHOTOGRAPHIE 16 : FALAISE SOMMITALE SOUS-CAVEE AU PR6+200

PHOTOGRAPHIE 17 : BLOC METRIQUE FRACTURE AU PR6+200

PHOTOGRAPHIE 19 : COULEES MASSIVES MASQUEES PAR LA VEGETATION AU PR6+400

PHOTOGRAPHIE 18 : VEGETATION SUR COULEES MASSIVES AU PR6+600

PHOTOGRAPHIE 20 : VEGETATION SUR COULEES MASSIVES AU PR6+600

PHOTOGRAPHIE 21 : VEGETATION SUR COULEES MASSIVES AU PR6+500

PHOTOGRAPHIE 22 : VUE DE DETAIL D'UNE COULEE MASSIVE AU PR6+500

ANNEXE 1-2

VN1 : Route Digue – PR7+200 à 8+200

VN 1 – Route digue PR7+200 à 8+200

1.1 - Morphologie

La route longe le pied de rempart surélevé d'une dizaine de mètres par rapport au lit du Bras de Cilaos.

La hauteur du rempart dominant augmente progressivement passant de :

- 80 m au PR7+400 ;
- 180 m au PR7+600 ;
- 200 m au PR8+000 ;
- 210 m au PR8+200.

Le pied de rempart est sub-vertical, sur 70 m de hauteur environ. Il est surmonté par un plan incliné entre 40° et 45 °.

La partie haute du relief est à nouveau abrupte avec 3 barres rocheuses subverticales.

Le rempart se raccorde à la planèze par un plan faiblement incliné.

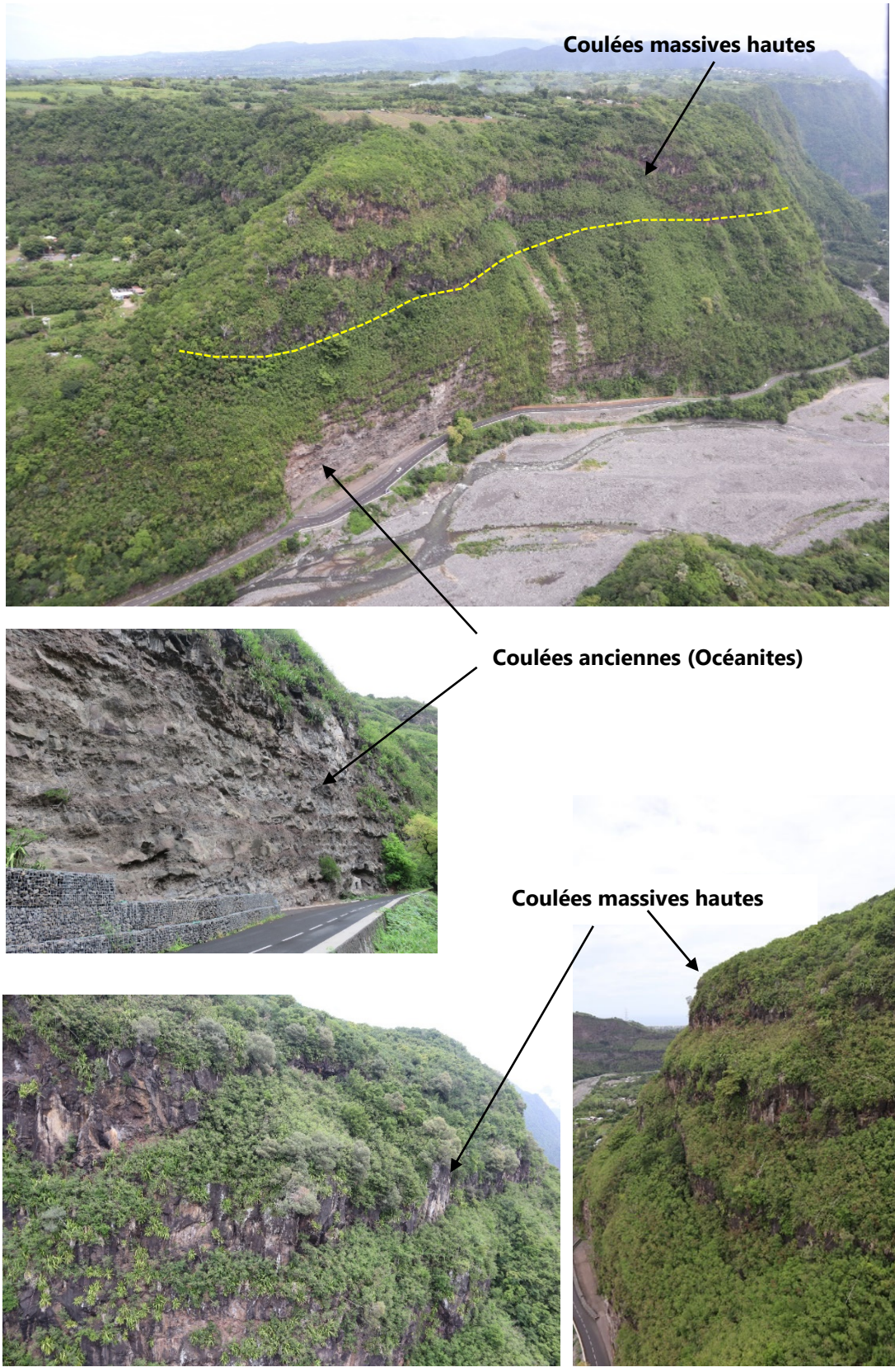
1.2 - Géologie

La partie inférieure du rempart et le plan incliné intermédiaire sont constitués de coulées de basalte de la Série des Océanites, régulières et faiblement inclinées vers le Sud.

La partie supérieure est constituée de trois coulées massives épaisses (15 à 30 m d'épaisseur. Les coulées sont irrégulières dans le détail. Les brèches inter-coulées sont le siège d'écoulement d'eau, en particulier au toit des océanites.

Les coulées hautes présentent un pendage vers le Sud-Est, vers la RN 5 (défavorables)

Des placages alluvionnaires recouverts d'éboulis subsistent au pied du rempart entre les PR7+750 et 8+100.



PHOTOGRAPHIES 1 : REMPART NORD DES ALOES

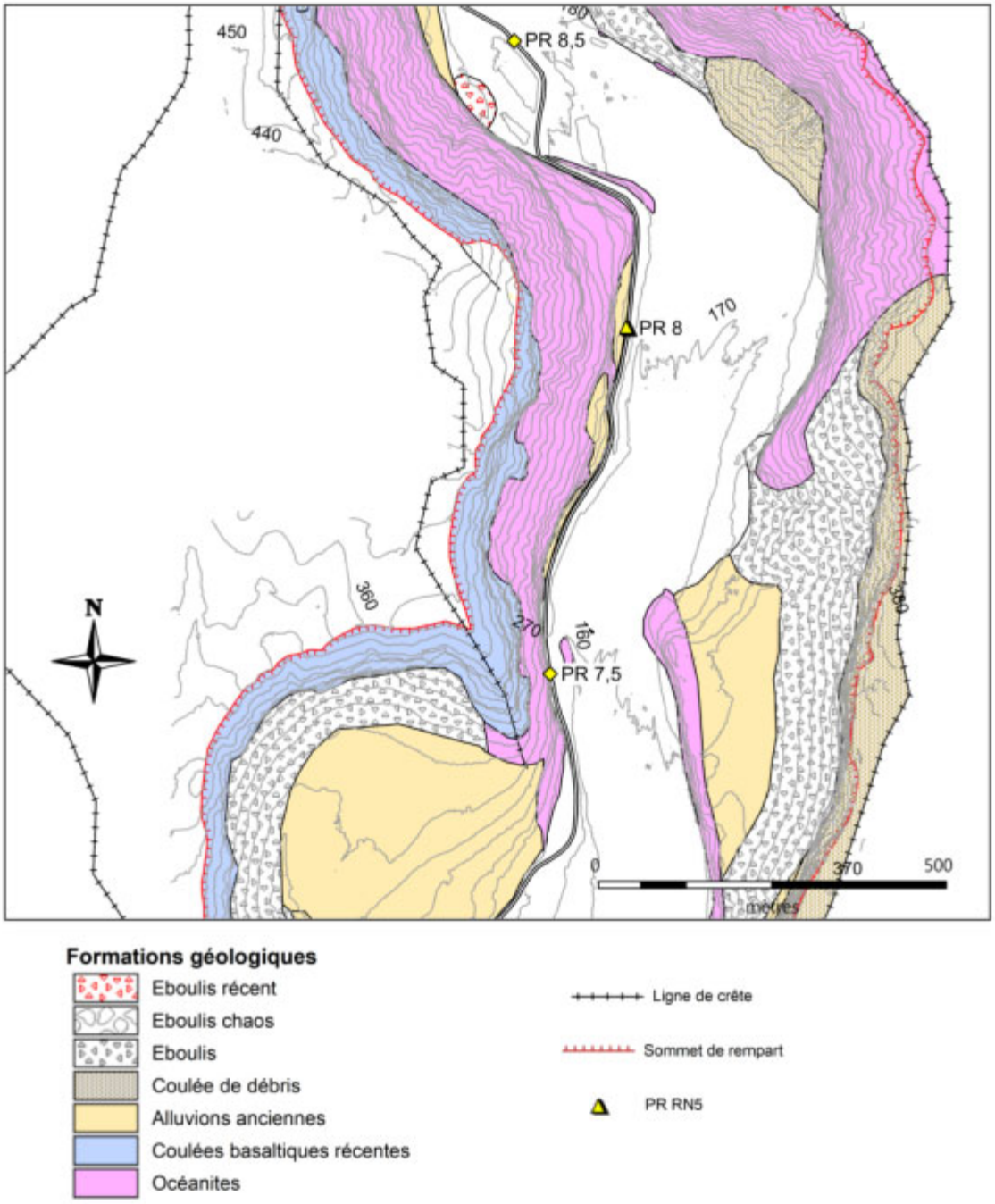


FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON VN1

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

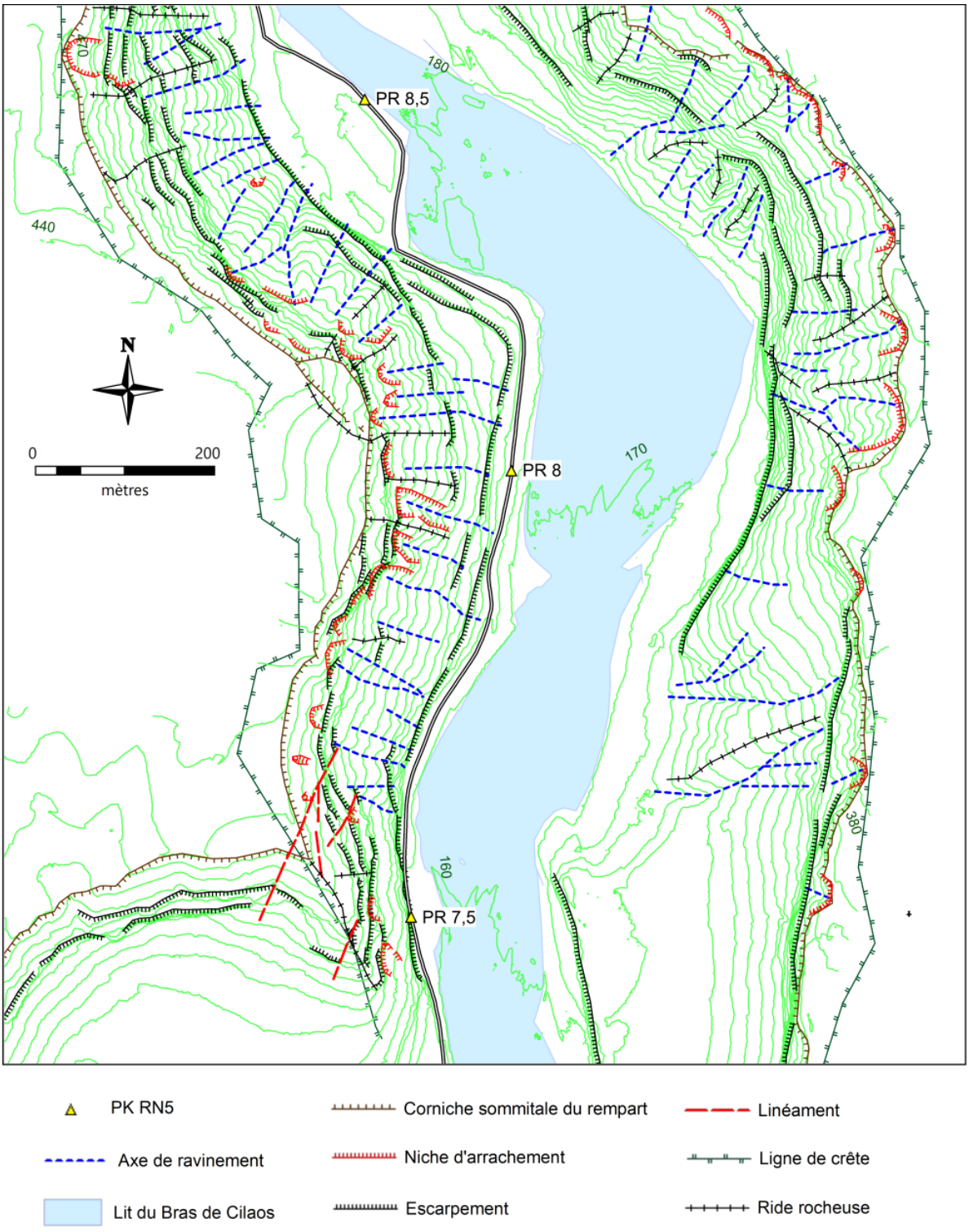


FIGURE 2 CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON VN1

1.3 - Historique des mouvements de terrain

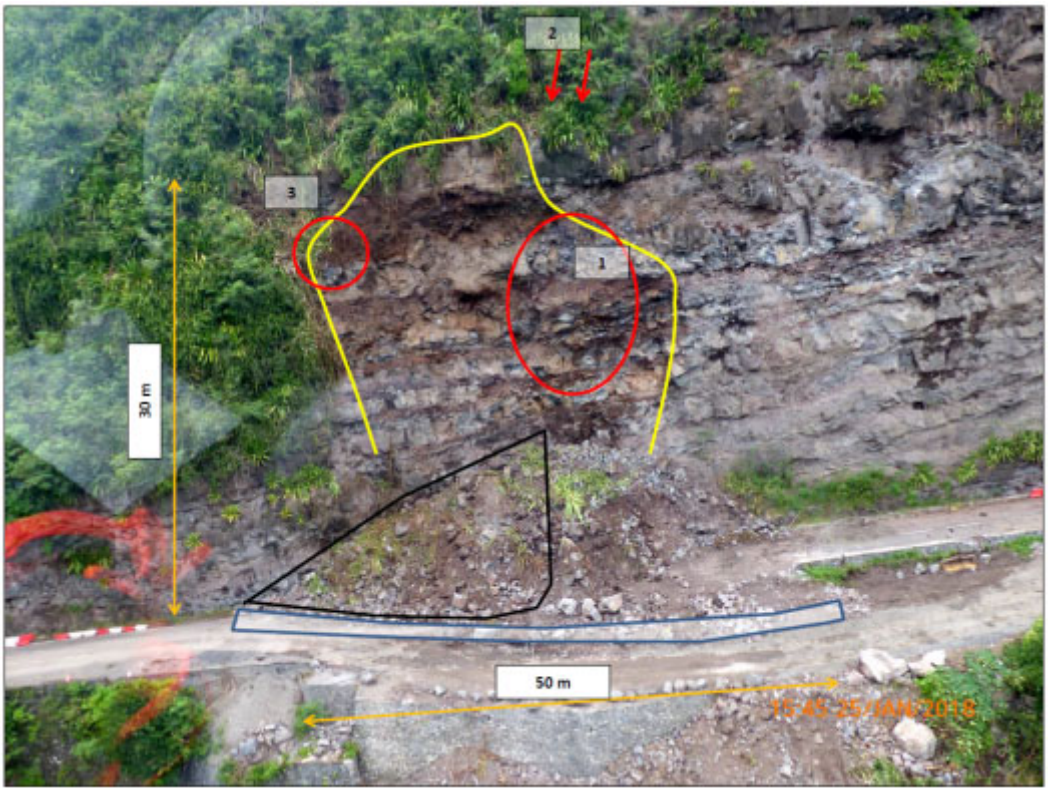
Les chutes de pierres depuis les placages alluvionnaires en pied sont fréquentes.

Des blocs se détachent fréquemment du rempart, depuis les coulées anciennes et depuis les barres rocheuses hautes.

Plusieurs éboulements y ont été recensés :

- Eboulement au PR7+400 en janvier 2018 (volume 1000 m^3) – Ecaillage du pied du rempart (photographie 2) ;
- Eboulement au PR7+700 en janvier 2018 (volume de 1000 m^3) - détachement d'un 2018 d'un dièdre rocheux de la première barre supérieure.

La route étant construite au pied du rempart, les matériaux éboulés atteignent tous la chaussée, la traversent ou passent au-dessus.



PHOTOGRAPHIE 2 : EBOULEMENT DU PR7+400 DE JANVIER 2018 (RAPPORT D'INSPECTION BRGM 2018)

Des écrans (gabions ou bois) ont été disposés en bordure amont de la chaussée pour contenir les fréquentes chutes de pierres dans les zones alluvionnaires.

En 1998, à la suite de l'éboulement en masse de 1000 m^3 du PR7+400, la route a été déplacée vers le lit de la rivière et un mur en gabions a été érigé sur la route.

Aucune parade ou protection n'a été mis en œuvre dans le rempart sur ce tronçon, Des inspections et purges préventives de blocs sont menées occasionnellement par des cordistes.

PHOTOGRAPHIE 3 EVITEMENT DU PR7+400 AVEC MUR EN GABIONS AMONT

PHOTOGRAPHIE 4 : ECRAN ET DEPLACEMENT DE LA CHAUSSEE AU PR7+700

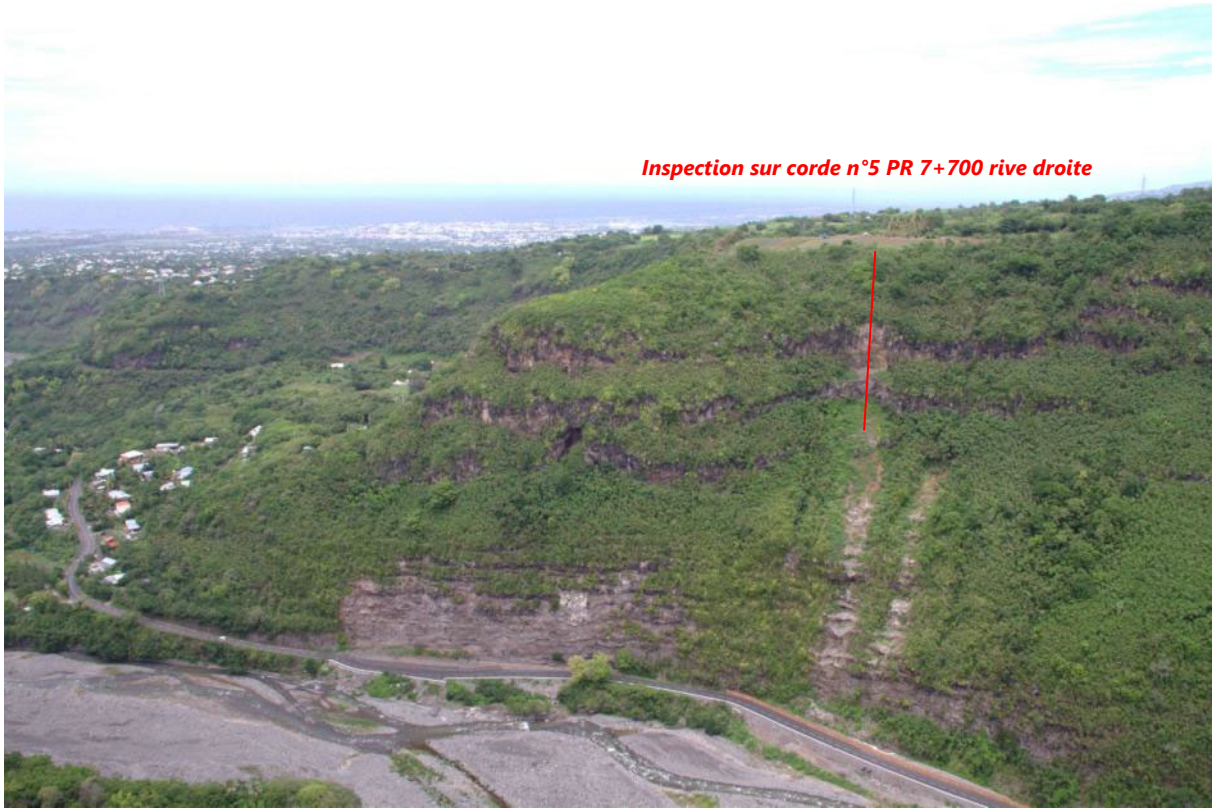
Vues générales et de détails PR7+200 à 8+200

REFERENCES

Photographies 1 : Rempart Nord des Aloès 2
Photographie 2 : Eboulement du PR7+400 de janvier 2018 (rapport d'inspection BRGM 2018) 5
Photographie 3 Evitement du PR7+400 avec mur en gabions amont 6
Photographie 4 : Ecran et déplacement de la chaussée au PR7+700 6
Photographie 1 : Vue générale PR7+200 à 8 rive droite 8
Photographie 2 : Vue générale PR7+200 à 7+600 rive droite 8
Photographie 3 : Vue générale PR7 à 7+700 rive droite 9
Photographie 4 : Vue générale PR7+400 à 8 rive droite 10
Photographie 5 : Vue générale vers l'amont PR7+500 à 8+100 10
Photographie 6 : Vue générale vers l'aval PR8+400 à 7+800 (rive gauche au second plan) 11
Photographie 7 : Vue générale vers l'aval PR8 à 7+400 (rive gauche au second plan) 11
Photographie 8 : Vue générale vers l'aval PR6+400 à 7 (rive gauche au second plan) 12
Photographie 9 : Vue générale vers l'aval PR7+200 à 7+600 13
Photographie 10 : Vue générale vers l'aval PR8 à 7+200 13
Photographie 11 : Vue générale vers l'amont PR7+500 à 8 (rive gauche à droite) 14
Photographie 12 : Vue générale vers l'amont PR8+100 à 9 (rive gauche à droite) 14
Photographie 13 : Vue générale vers l'aval PR8 à 7+400 rive droite 15
Photographie 14 : Vue générale PR7+700 16
Photographie 15 : Vue générale PR7 à 7+200 16
Photographie 16 : Vue de détail PR7+700 17
Photographie 18 : Bloc métrique fracturé PR7+700 17
Photographie 17 : Vue de détail PR7+700 17
Photographie 19 : Bloc plui-métrique PR7+700 (vue sous un autre angle) 18
Photographie 20 : Bloc pluri-métrique PR7+700 au sein des coulées massives hautes - aléa rupture moyen 18
Photographie 21 : vue de détail de la fracturation en pied de coulée massive haute PR7+700 rive droite 19
Photographie 22 : vue de détail d'une coulée massive haute PR7+700 rive droite 19
Photographie 23 : vue de détail au niveau de la coulée massive sommitale (brèches inter-coulées visible en pied) au PR7+700 rive droite – aléa rupture Moyen en rouge 20
Photographie 24 : vue sous un autre angle – aléa rupture Elevé en jaune 20
Photographie 26 : vue de détail au niveau de la 2e coulée massive sommitale au PR7+700 rive droite– aléa rupture très élevé 21
Photographie 25 : vue de détail au niveau de la 2e coulée massive sommitale au PR7+700 rive droite– aléa rupture très élevé 21
Photographie 27 : Vue de détail d'un bloc pluri-métrique avec un aléa de rupture élevé au PR7+700 22
Photographie 28 : Vue de détail des deux coulées massives sommitale au PR7+700 22
Photographie 29 : vue de détail des coulées massives sommitales au PR7+700 – Le sol recuit à leur base (entouré en bleu) correspond à une zone de venue d'eau 23

PHOTOGRAPHIE 5 : VUE GENERALE PR7+200 A 8 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 6 : VUE GENERALE PR7+200 A 7+600 RIVE DROITE



PHOTOGRAPHIE 7 : VUE GENERALE PR7 A 7+700 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 8 : VUE GENERALE PR7+400 A 8 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 9 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR7+500 A 8+100

PHOTOGRAPHIE 10 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8+400 A 7+800 (RIVE GAUCHE AU SECOND PLAN)

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8 A 7+400 (RIVE GAUCHE AU SECOND PLAN)

PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR6+400 A 7 (RIVE GAUCHE AU SECOND PLAN)

PHOTOGRAPHIE 13 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR7+200 A 7+600

PHOTOGRAPHIE 14 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8 A 7+200

PHOTOGRAPHIE 15 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR7+500 A 8 (RIVE GAUCHE A DROITE)

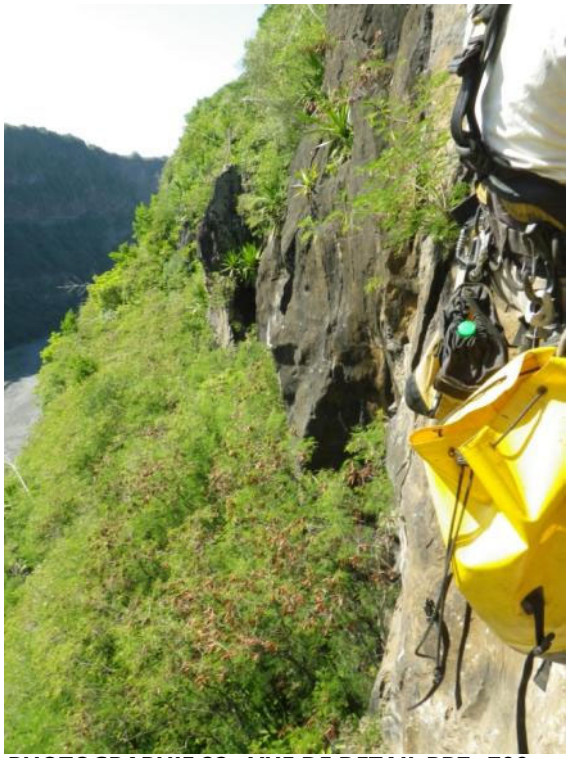
PHOTOGRAPHIE 16 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR8+100 A 9 (RIVE GAUCHE A DROITE)

PHOTOGRAPHIE 17 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8 A 7+400 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 18 : VUE GENERALE PR7+700

PHOTOGRAPHIE 19 : VUE GENERALE PR7 A 7+200

PHOTOGRAPHIE 20 : VUE DE DETAIL PR7+700



PHOTOGRAPHIE 22 : VUE DE DETAIL PR7+700

PHOTOGRAPHIE 21 : BLOC METRIQUE FRACTURE PR7+700

PHOTOGRAPHIE 24 : BLOC PLURI-METRIQUE PR7+700 AU SEIN DES COULEES MASSIVES HAUTES - ALEA RUPTURE MOYEN

PHOTOGRAPHIE 23 : BLOC PLUI-METRIQUE PR7+700 (VUE SOUS UN AUTRE ANGLE)

PHOTOGRAPHIE 26 : VUE DE DETAIL D'UNE COULEE MASSIVE HAUTE PR7+700 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 25 : VUE DE DETAIL DE LA FRACTURATION EN PIED DE COULEE MASSIVE HAUTE PR7+700 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 27 : VUE DE DETAIL AU NIVEAU DE LA COULEE MASSIVE SOMMITALE (BRECHES INTER-COULEES VISIBLE EN PIED) AU PR7+700 RIVE DROITE – ALEA RUPTURE MOYEN EN ROUGE

PHOTOGRAPHIE 28 : VUE SOUS UN AUTRE ANGLE – ALEA RUPTURE ELEVE EN JAUNE

PHOTOGRAPHIE 29 : VUE DE DETAIL AU NIVEAU DE LA 2E COULEE MASSIVE SOMMITALE AU PR7+700 RIVE DROITE– ALEA RUPTURE TRES ELEVE

PHOTOGRAPHIE 30 : VUE DE DETAIL AU NIVEAU DE LA 2E COULEE MASSIVE SOMMITALE AU PR7+700 RIVE DROITE– ALEA RUPTURE TRES ELEVE

PHOTOGRAPHIE 32 : VUE DE DETAIL DES DEUX COULEES MASSIVES SOMMITALE AU PR7+700

PHOTOGRAPHIE 31 : VUE DE DETAIL D'UN BLOC PLURI-METRIQUE AVEC UN ALEA DE RUPTURE ELEVE AU PR7+700

PHOTOGRAPHIE 33 : VUE DE DETAIL DES COULEES MASSIVES SOMMITALES AU PR7+700 – LE SOL RECUIT A LEUR BASE (ENTOURE EN BLEU) CORRESPOND A UNE ZONE DE VENUE D'EAU

ANNEXE 1-3

VN2 : Grand détour / Bas du ruisseau – PR8+200 à 9+000

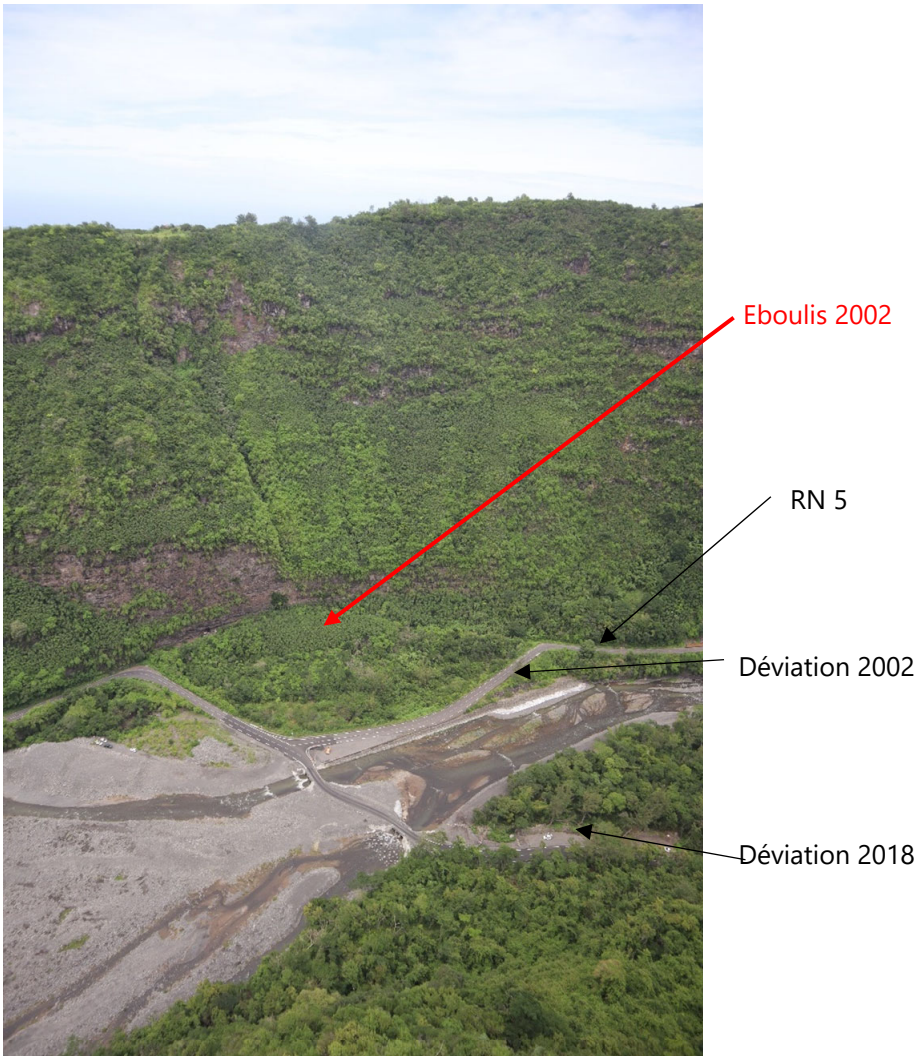
1.1 - Morphologie :

Sur ce tronçon, la vallée présente un profil dissymétrique.

Le rempart rive droite, avec un dénivelé de 250 m, a une morphologie « en coude » à grand rayon de courbure. L'inclinaison du rempart est de 55 ° environ. Les parties les plus abruptes sont localisées en pied du rempart, immédiatement au-dessus de l'ancienne route, et dans la partie haute. Un versant boisé moins abrupt sépare les barres hautes des escarpements de pied.

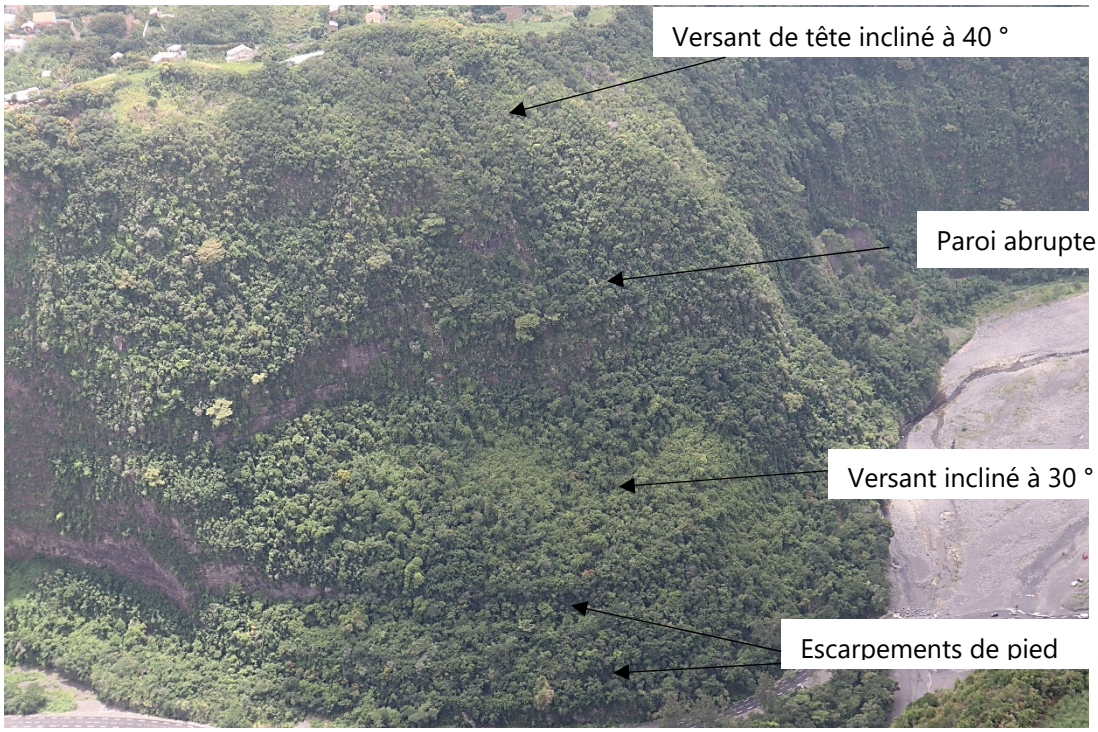
Le sommet du rempart se raccorde à la planèze par un versant moins incliné à 40 °.

Ce rempart est morphologiquement récent, en lien avec les phénomènes d'érosion actuels du Bras de Cilaos.
.



PHOTOGRAPHIE 1 : REMPART RIVE DROITE ENTRE LES PR8+200 ET 9+000

Le rempart rive gauche, haut de 250 m, se raccorde à la crête par un versant incliné à 40 °. La partie basse du rempart est également peu inclinée avec une pente inférieure à 30 °. Deux escarpements rocheux verticaux de 15 m de hauteur existent au niveau de la plaine alluviale. La partie intermédiaire du rempart entre 300 et 400 NGR est très abrupte, avec une pente de 60° environ.



PHOTOGRAPHIE 2 : REMPART RIVE GAUCHE ENTRE LES PR8+200 ET 9+000

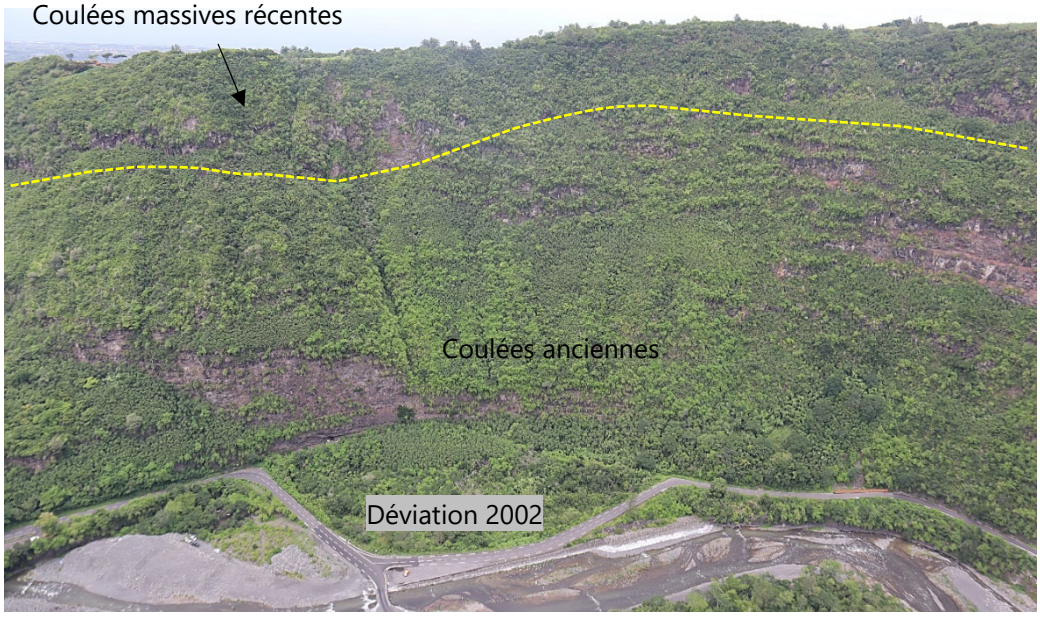
1.2 - Géologie

Le rempart rive droite est constitué par :

- Des coulées de basalte anciennes sur les 2/3 de sa hauteur depuis le pied :
- Des coulées de lave récente en partie haute.

Le contact entre les coulées anciennes et récentes est relativement haut sur ce secteur.

Le rempart rive gauche est en totalité constitué de coulées anciennes (Série des Océanites). Le rempart, végétalisé, ne montre pas de traces de déstabilisations récentes.



PHOTOGRAPHIE 3 : REMPART RIVE DROITE SOUS GRAND DETOUR

PHOTOGRAPHIE 4 : REMPART VEGETALISE EN RIVE GAUCHE SOUS LE BAS DU RUISSEAU

Du PR8+500 au PR9, des placages d'alluvions anciennes et de coulées boueuses recouvrent le pied du rempart sur plus de 50 m de hauteur. Ces dépôts subsistent en rive gauche vers le PR 8+ 200, dans le méandre du Bras de Cilaos.

Enfin, le rempart rive gauche et dans une moindre mesure le rempart rive droite, sont recouverts d'éboulis.

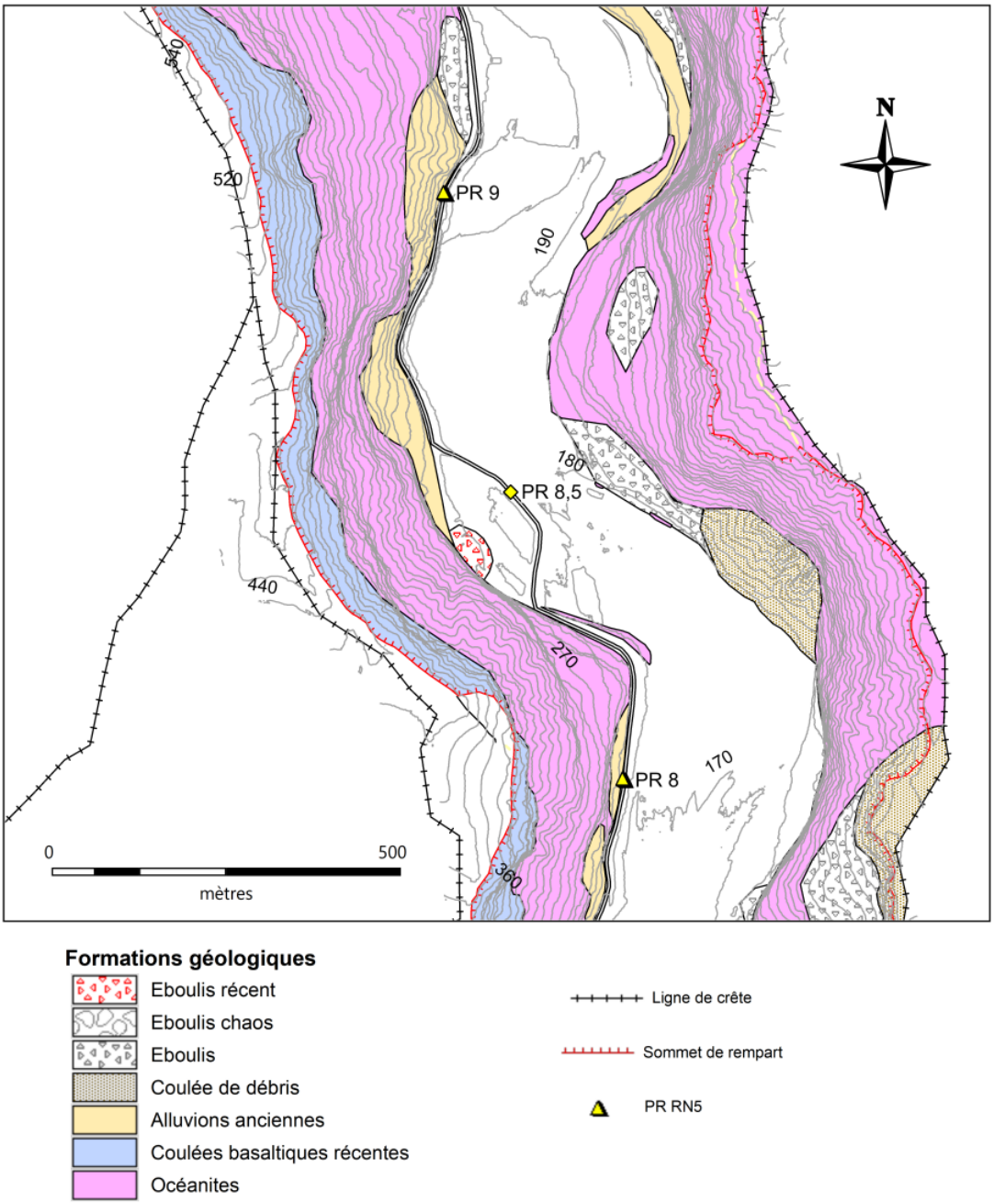


FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON VN 2 GRAND DETOUR – BAS DU RUISSEAU

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

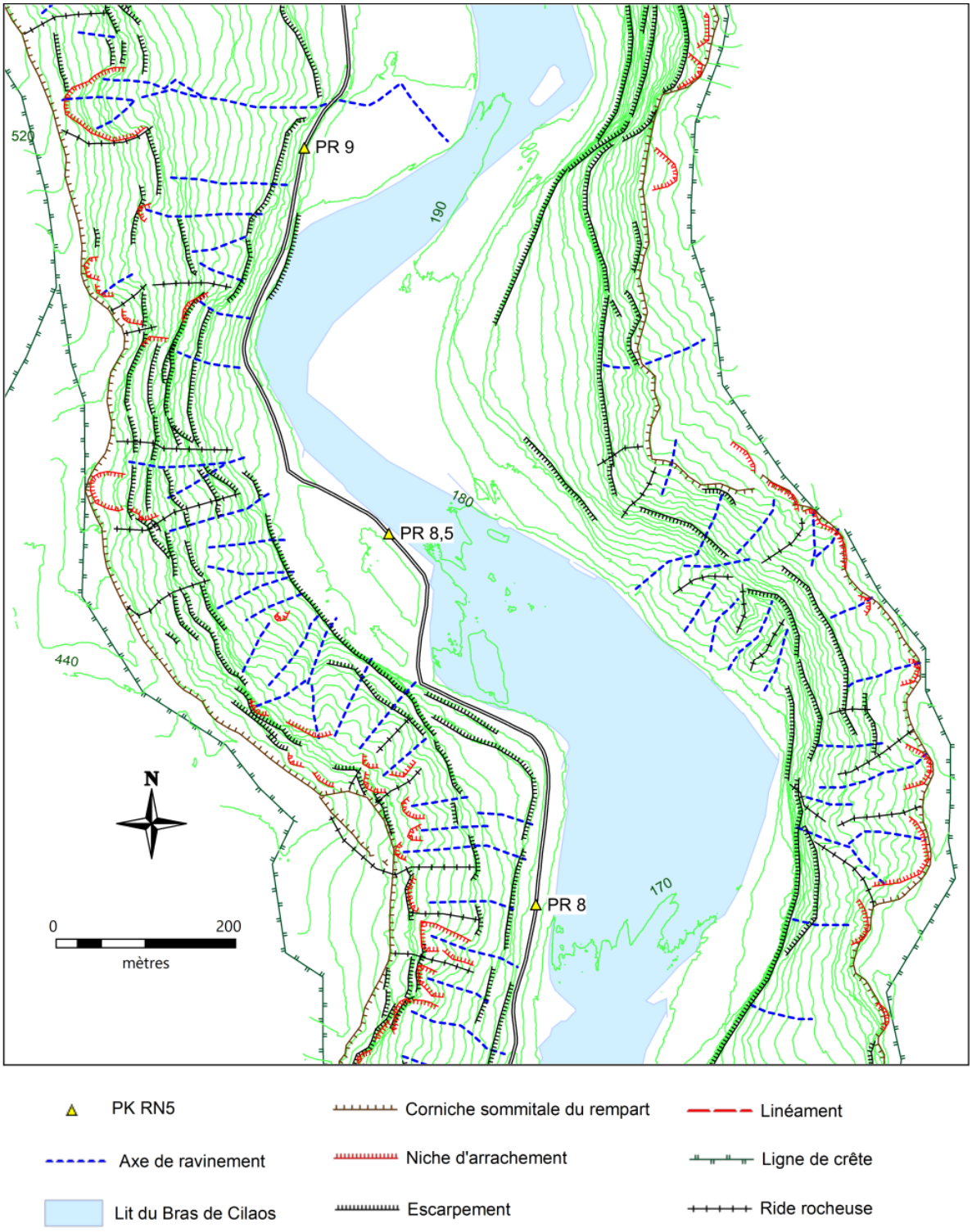


FIGURE 2 CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON VN 2 GRAND DETOUR – BAS DU RUISSEAU

1.3 - Les mouvements de terrain

Le Rempart rive droite est le siège de nombreuses chutes de pierres, de blocs et d'éboulis. Les blocs se détachent périodiquement des barres rocheuses et des vires intermédiaires boisées.

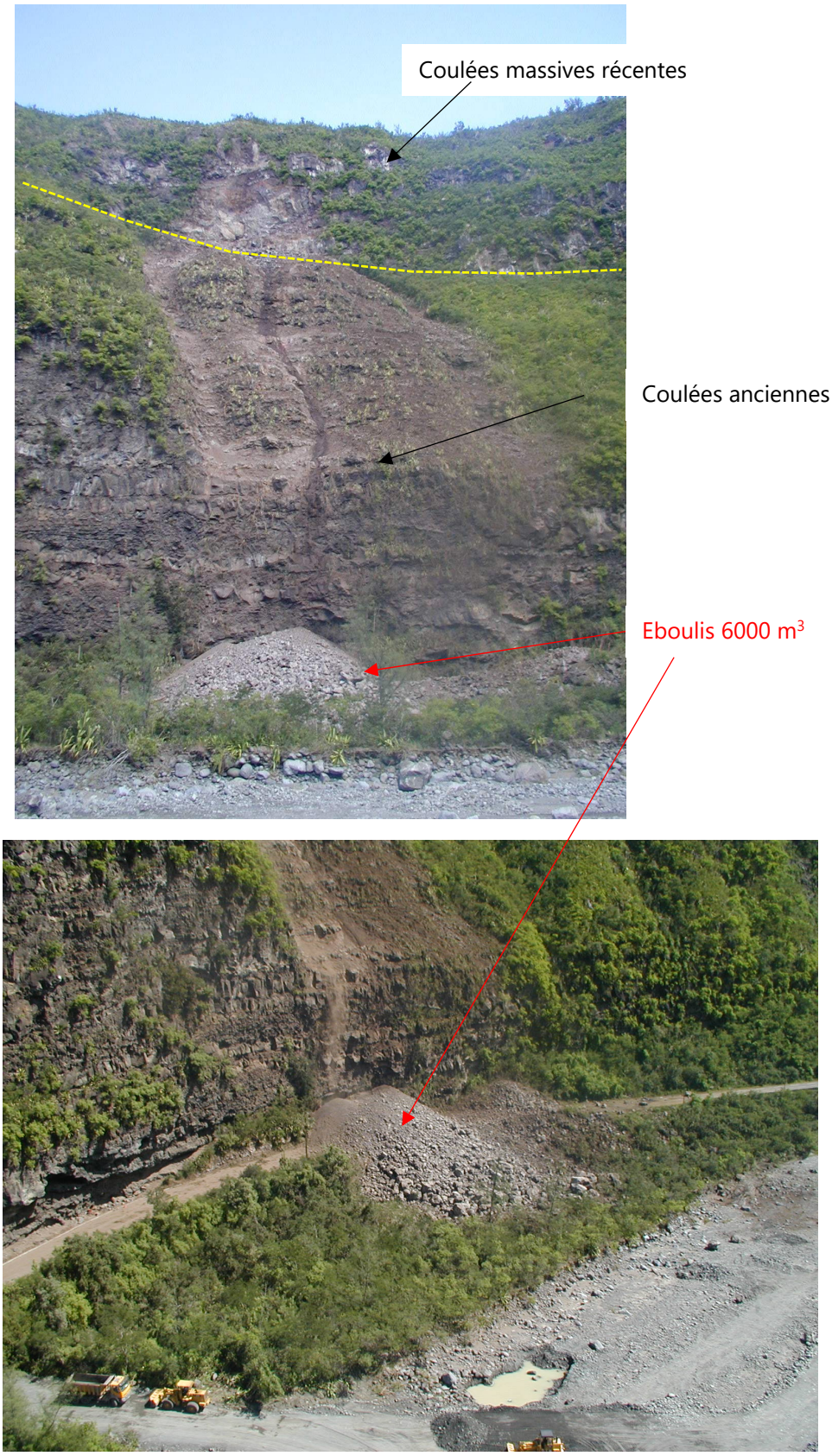
Les placages d'éboulis en pied et les brèches (coulées boueuses) produisent également de nombreuses chutes de pierres et de blocs. Ces dépôts sont exposés aux ravinements en période pluvieuse. Des écrans bois ont été disposés récemment en pied de talus au droit d'un couloir raviné (photographie 5).

PHOTOGRAPHIE 5 : ECRAN BOIS AU PIED DU TALUS ALLUVIONNAIRE – PR8+750

Ce tronçon est considéré comme très actif avec une fréquence d'événements enregistrés de 1,5 N/hm (évènements par hectomètre).

L'éboulis survenu au PR8+200 en avril 2002 constitue, de par son ampleur, un évènement de référence sur la zone d'étude (photographies 6).

Concernant le rempart rive gauche sous le Bas du Ruisseau, aucun évènement n'a été recensé sur ce secteur. Ceci s'explique, en partie, par le fait que le recensement concerne essentiellement le tracé de la NR 5 qui passe en rive droite. La nouvelle voie de contournement rive gauche est très récente (2018) et n'a pas été affectée par des chutes ou éboulements depuis sa construction.



PHOTOGRAPHIE 6 : EBOULIS DU 26 AVRIL 2002 AU PR8+200 - CLICHES BRGM

Vues générales et de détails VN2 Grand Détour Bas du ruisseau PR8+2 à 9

REFERENCES

Photographie 1 : Rempart rive droite entre les PR8+200 et 9+000 1
Photographie 2 : Rempart rive gauche entre les PR8+200 et 9+000 2
Photographie 3 : Rempart rive droite sous Grand Détour 3
Photographie 4 : Rempart végétalisé en rive gauche sous le Bas du Ruisseau 3
Photographie 5 : Ecran bois au pied du talus alluvionnaire – PR8+750 6
Photographie 6 : Eboulis du 26 avril 2002 au PR8+200 - clichés Brgm 7
Photographie 1 : Vue générale VN1/2 PR7+800 à 8+700 rive droite 9
Photographie 2 : Vue générale VN2 vers l'amont VN2 PR8+300 à 9 rive droite 9
Photographie 3 : Vue générale VN2 PR9 rive droite 10
Photographie 4 : Vue générale VN2 vers l'aval VN2 PR8+900 à 8 11
Photographie 5 : Vue générale VN2 vers l'aval VN2 PR9+200 à 9 rive gauche 12
Photographie 6 : Vue générale vers l'aval VN2 PR9+200 à 8 (rive gauche au second plan) 13
Photographie 7 : Vue générale vers l'aval VN2 PR8+800 à 8 13
Photographie 8 : Vue générale vers l'aval VN2 PR8+200 rive droite 14
Photographie 9 : Vue générale vers l'aval VN2 PR8+200 rive droite 15
Photographie 10 : Vue générale vers l'aval VN2 PR8 rive droite 16
Photographie 11 : Vue de détail de la vire sommitale VN2 PR8+200 rive droite 17
Photographie 12 : Vue de détail de la vire sommitale VN2 PR8+200 rive droite 17
Photographie 13 : Vue de détail de la coulée massive sommitale VN2 PR8+200 rive droite – aléa de rupture moyen à elevé 18
Photographie 14 : Vue de detail de la fracturation au sein des coulées massives VN2 PR8+200 rive droite – aléa de rupture elevé 18
Photographie 16 : vue de détail d'un autre bloc métrique affouillé VN2 PR8+200 rive droite – aléa de rupture moyen 19
Photographie 15 : vue de détail d'un bloc métrique affouillé VN2 PR8+200 rive droite – aléa de rupture moyen 19
Photographie 17 : Vue de détail des brèches intercoulées VN2 PR8+200 rive droite – aléa de rutpure moyen 19

PHOTOGRAPHIE 7 : VUE GENERALE VN1/2 PR7+800 A 8+700 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 8 : VUE GENERALE VN2 VERS L'AMONT VN2 PR8+300 A 9 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 9 : VUE GENERALE VN2 PR9 RIVE DROITE

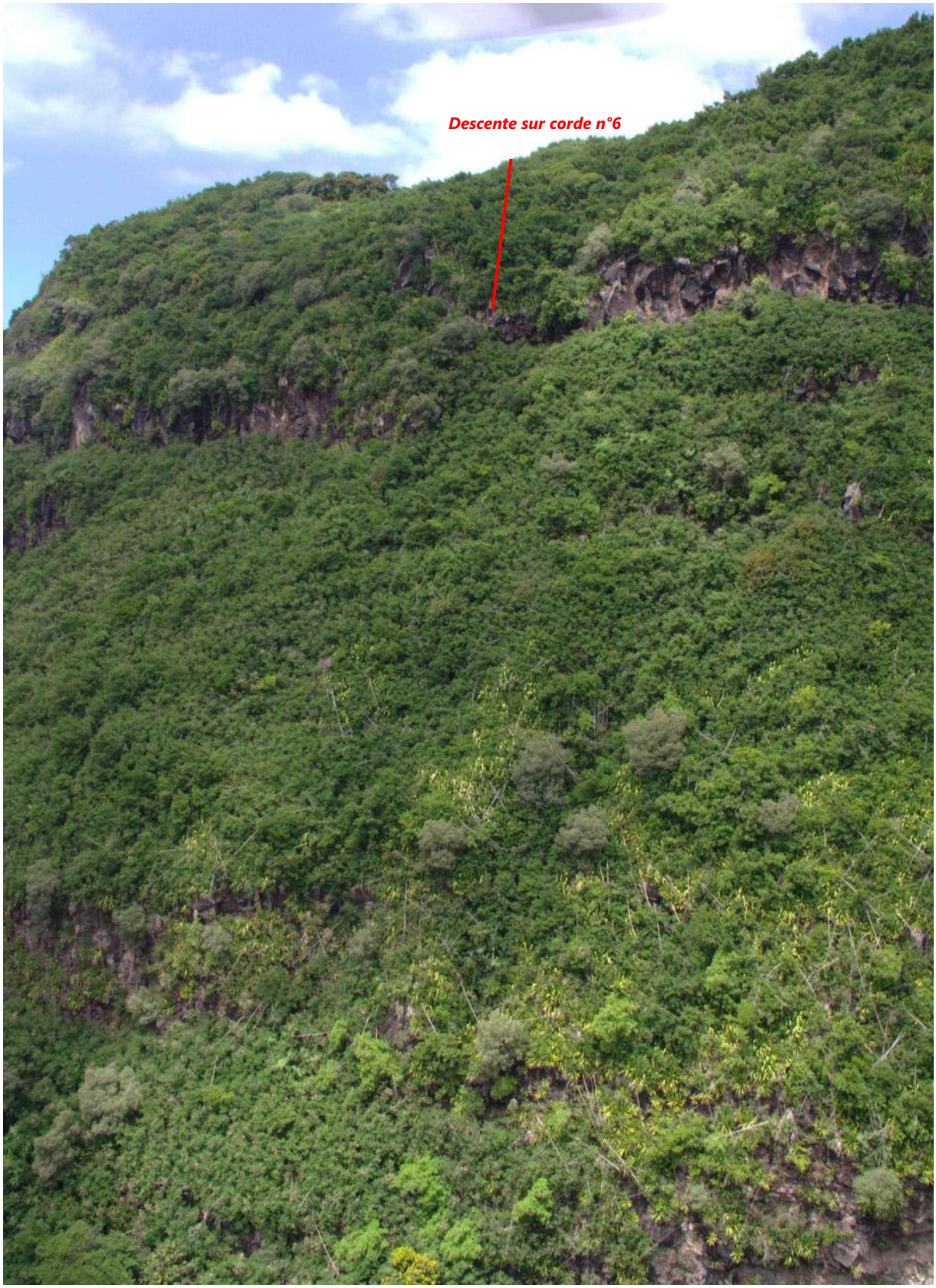
PHOTOGRAPHIE 10 : VUE GENERALE VN2 VERS L'AVAL VN2 PR8+900 A 8

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE VN2 VERS L'AVAL VN2 PR9+200 A 9 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE VERS L'AVAL VN2 PR9+200 A 8 (RIVE GAUCHE AU SECOND PLAN)

PHOTOGRAPHIE 13 : VUE GENERALE VERS L'AVAL VN2 PR8+800 A 8

PHOTOGRAPHIE 14 : VUE GENERALE VERS L'AVAL VN2 PR8+200 RIVE DROITE



PHOTOGRAPHIE 15 : VUE GENERALE VERS L'AVAL VN2 PR8+200 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 16 : VUE GENERALE VERS L'AVAL VN2 PR8 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 17 : VUE DE DETAIL DE LA VIRE SOMMITALE VN2 PR8+200 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 18 : VUE DE DETAIL DE LA VIRE SOMMITALE VN2 PR8+200 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 19 : VUE DE DETAIL DE LA COULEE MASSIVE SOMMITALE VN2 PR8+200 RIVE DROITE – ALEA DE RUPTURE MOYEN A ELEVE

PHOTOGRAPHIE 20 : VUE DE DETAIL DE LA FRACTURATION AU SEIN DES COULEES MASSIVES VN2 PR8+200 RIVE DROITE – ALEA DE RUPTURE ELEVE

PHOTOGRAPHIE 22 : VUE DE DETAIL D'UN BLOC METRIQUE AFFOUILLE VN2 PR8+200 RIVE DROITE – ALEA DE RUPTURE MOYEN

PHOTOGRAPHIE 21 : VUE DE DETAIL D'UN AUTRE BLOC METRIQUE AFFOUILLE VN2 PR8+200 RIVE DROITE – ALEA DE RUPTURE MOYEN

PHOTOGRAPHIE 23 : VUE DE DETAIL DES BRECHES INTERCOULEES VN2 PR8+200 RIVE DROITE – ALEA DE RUTPURE MOYEN

ANNEXE 1-4

VN2 : Ilet Rond – PR9+000 à 9+500

1.1 - Morphologie

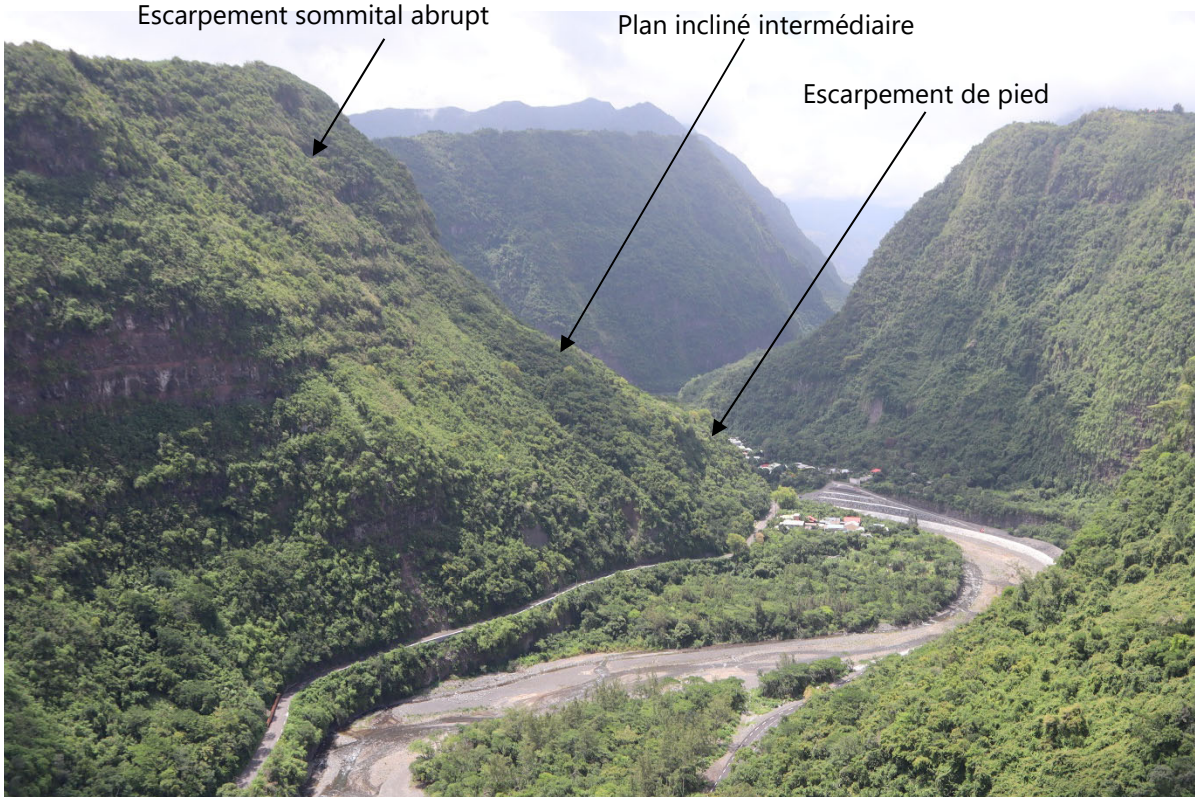
Les habitations d'Ilet Rond sont installées sur une terrasse à l'intérieur d'un méandre du Bras de Cilaos, en rive droite de la rivière. Il est desservi par la RN5, aujourd'hui abandonnée, soit en empruntant la passerelle d'Ilet Furcy, soit en empruntant l'ancienne déviation de 2002.

Sur ce secteur, la vallée présente un profil dissymétrique.

Le rempart rive droite, de 300 m de hauteur, se décompose en 3 parties :

- Un escarpement de pied abrupt entre 210 et 270 NGR ;
- Un versant incliné à 30 ° environ entre 270 et 370 NGR ;
- Un escarpement sommital abrupt incliné à 55 °, entre 370 et 520 NGR.

Ce rempart en forme de promontoire sépare les 2 coudes d'Ilet Furcy au Nord et du Grand Détour au Sud.



PHOTOGRAPHIE 1 : REMPART RIVE DROITE DOMINANT ILET ROND

Le rempart rive gauche a une morphologie en « coude » à grand rayon de courbure. Son dénivelé est de 300 m.

Le rempart est très abrupt sur 220 m de hauteur, entre 230 et 450 NGR, avec une pente moyenne de 55 °.

En pied de rempart, nous retrouvons une banquette alluvionnaire ancienne, préservée de l'érosion du bras de Cilaos par un épaulement basaltique dans la berge de la rivière. Elle se réduit à la fin du méandre où le bras coule très près du pied du rempart.

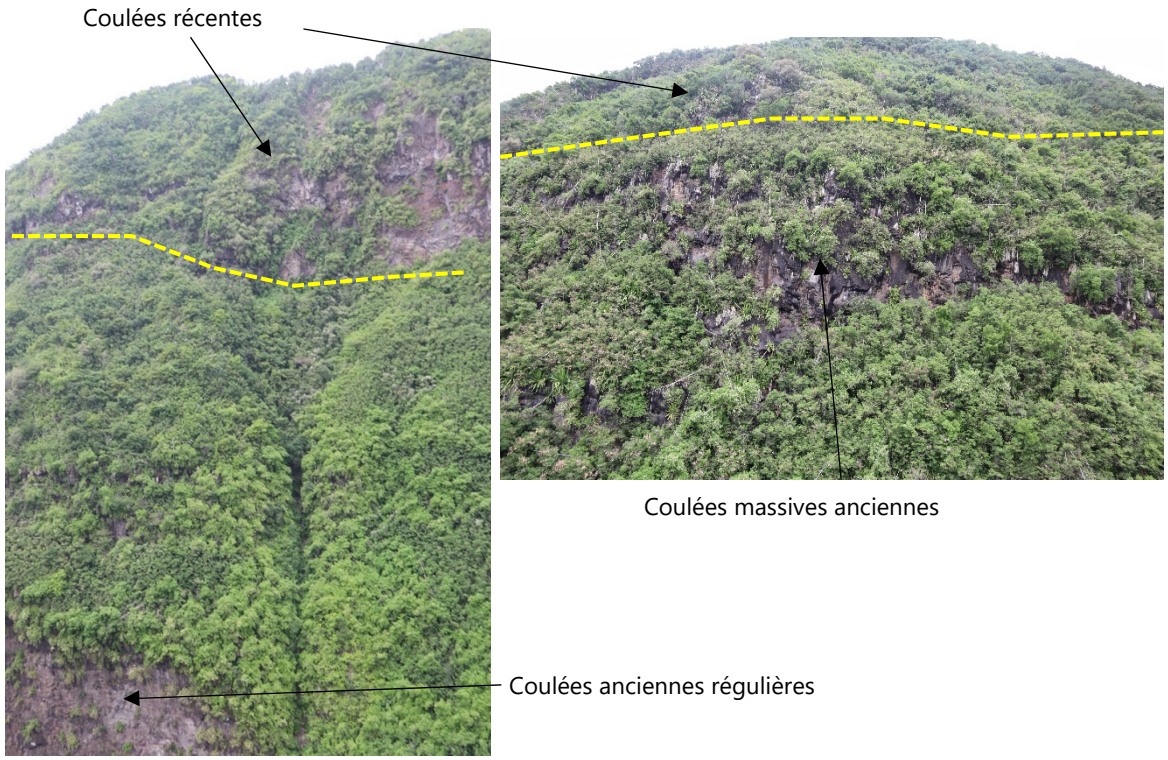
La partie haute du rempart (40 m) est inclinée à 45 °.

PHOTOGRAPHIE 2 : REMPART EN RIVE GAUCHE D'ILET ROND

1.2 - Géologie

Le rempart rive droite est constitué de coulées basaltiques anciennes surmontées par des coulées récentes jusqu'au sommet. Le contact se situerait au 2/3 de la hauteur, vers l'altitude + 410 NGR.

Le pied du rempart basaltique est masqué par des dépôts d'alluvions anciennes et de coulées boueuses.



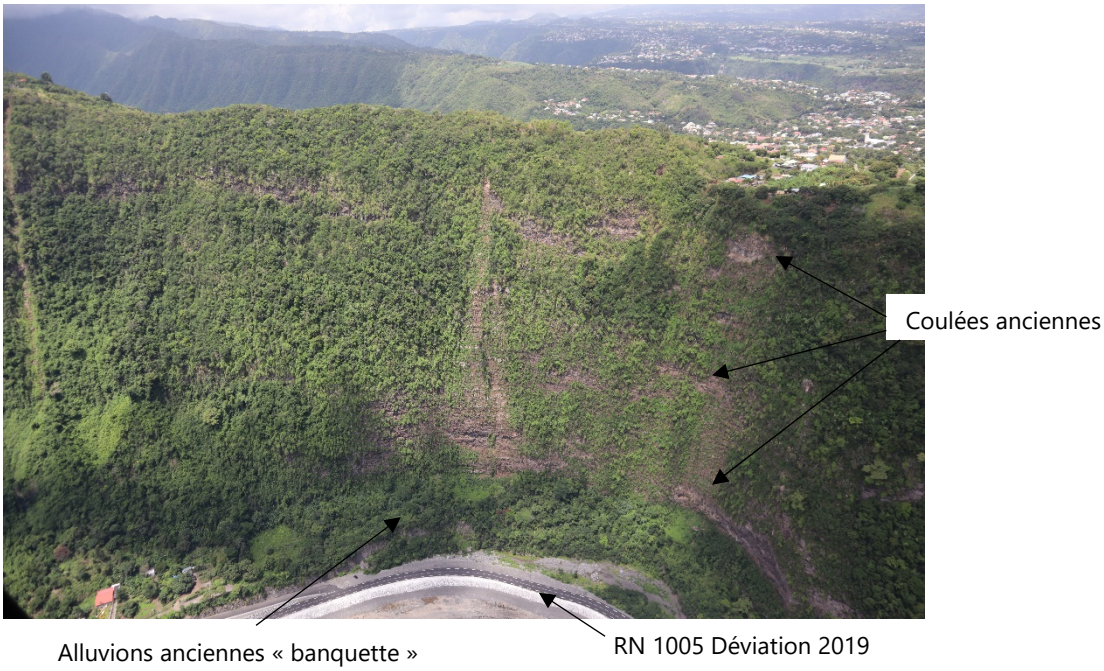
PHOTOGRAPHIE 3 : COULEES MASSIVES DANS LE HAUT DU REMPART D'ILET ROND

PHOTOGRAPHIE 4 : PIED DU REMPART D'ILET ROND

Le rempart rive gauche est en totalité constitué de coulées anciennes de la Série des Océanites. L'empilement est régulier. Les coulées sont inclinées vers le Sud.

Les coulées hautes sont plus épaisses et moins régulières. L'épaississement des coulées anciennes vers le haut de la Série des Océanites s'observe également en rive droite (photographie 3).

Elles sont altérées en sommet de rempart sur la crête (chemin de Coteau Sec).



PHOTOGRAPHIE 5 : EMPILEMENT REGULIER DE COULEES ANCIENNES DANS LE REMPART RIVE GAUCHE D'ILET ROND

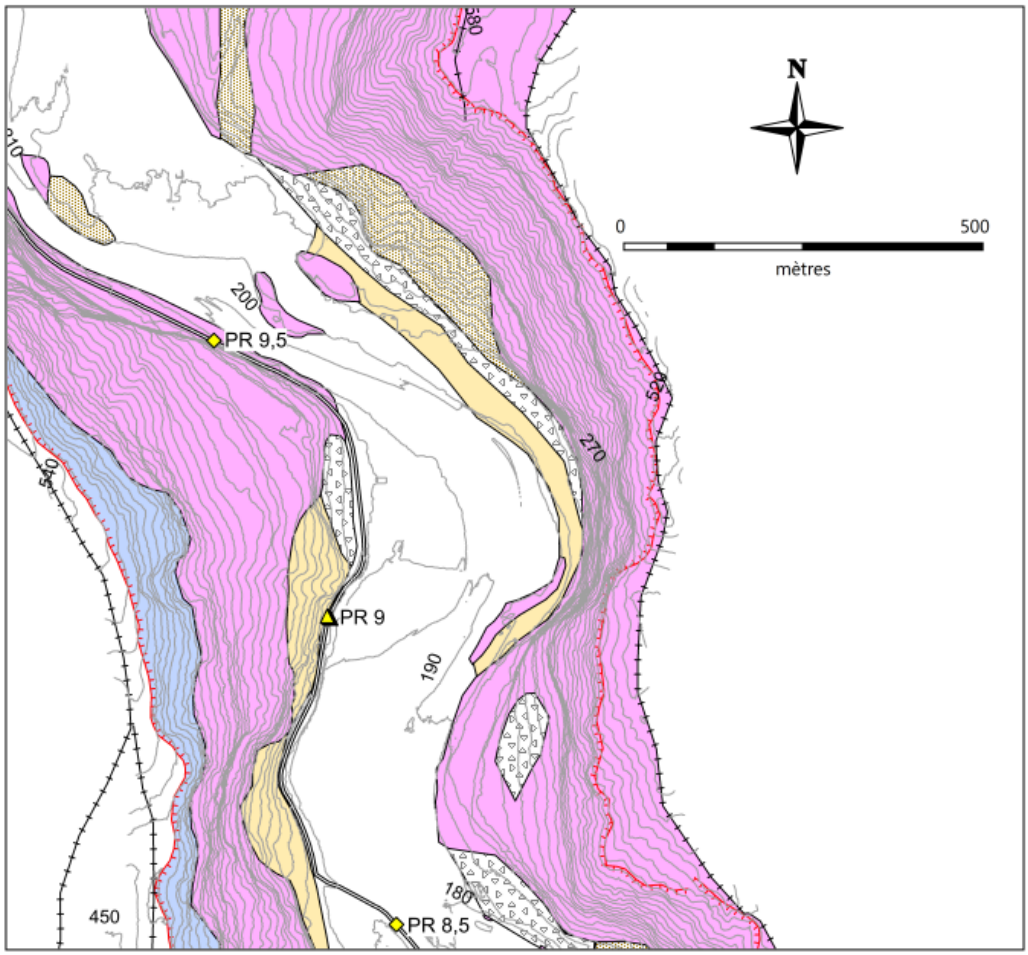


FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON VN2 ILET ROND

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

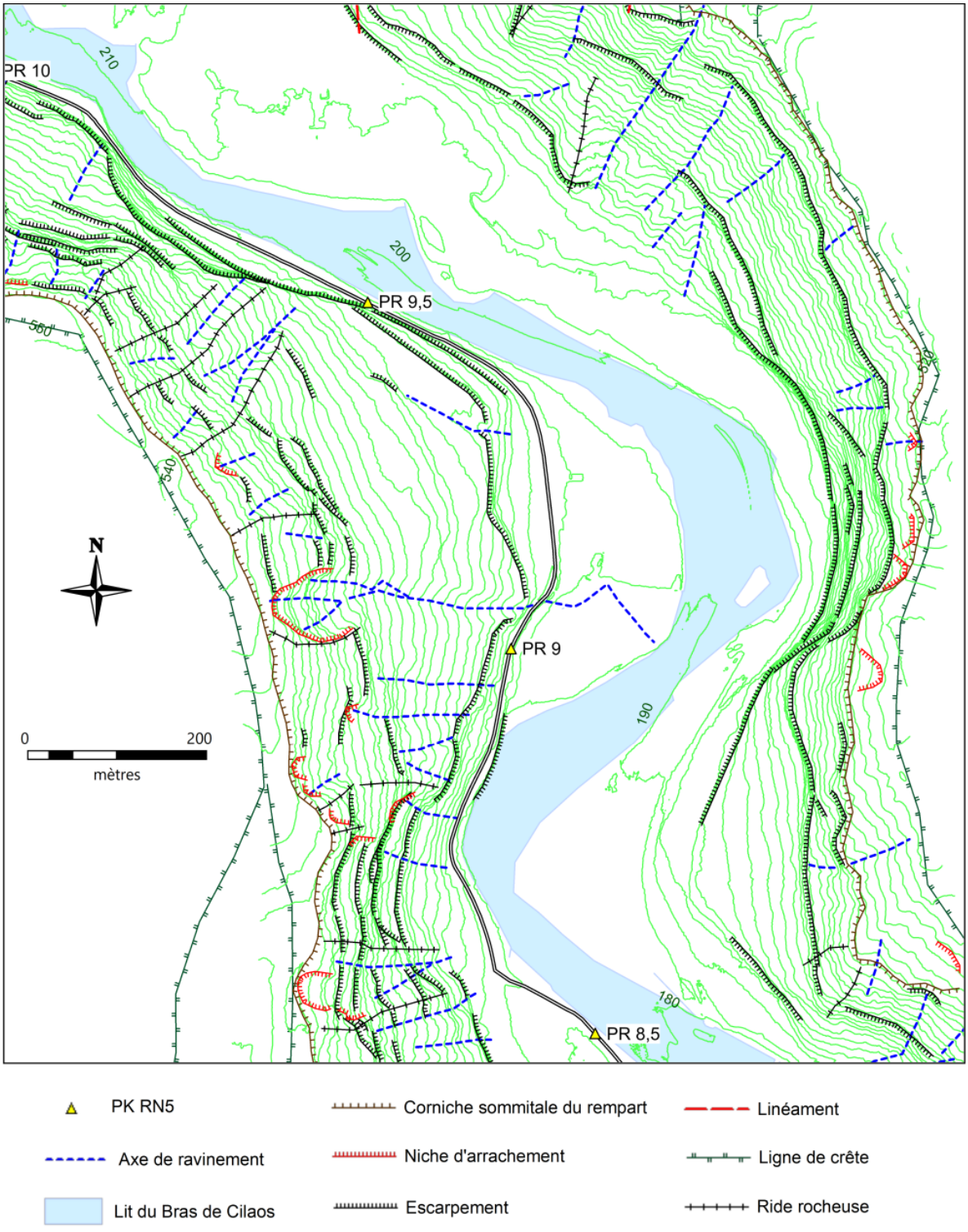


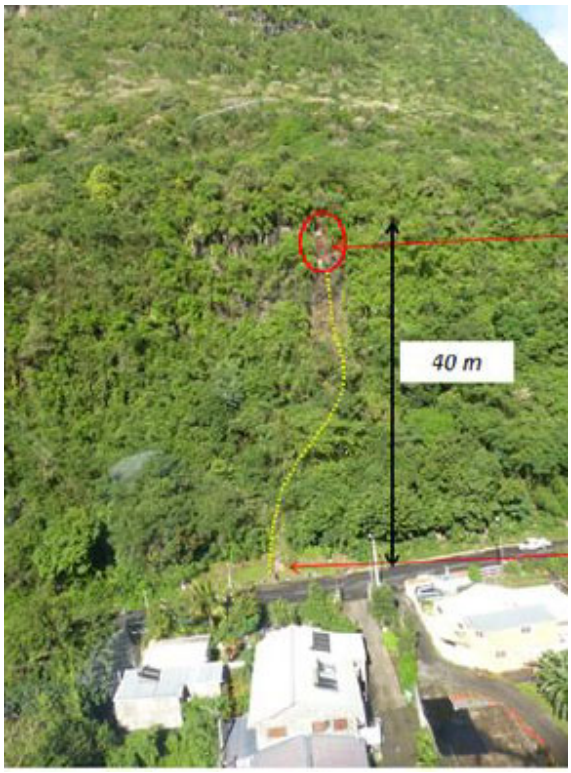
FIGURE 2 : CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON VN2 ILET ROND

1.3 - Les mouvements de terrain

Le rempart rive droite dominant Ilet Rond est actif. Plusieurs événements ont été recensés vers le PR 9.

Ainsi, le 15 avril 2009, un éboulement s'est produit au PR 9 mobilisant 15 m^3 de matériaux dont des blocs de 3 tonnes. Les blocs provenaient d'une coulée massive située dans le haut du rempart haut de 300 m, 200 m au-dessus de la route.

PHOTOGRAPHIE 6 : NICHE D'ARRACHEMENT DE L'EBOULEMENT DU 15/04/2009 AU PR9+000



Les chutes de blocs et éboulements se déclenchent également dans l'escarpement de pied.

Plusieurs évènements récents ont eu lieu sur ce secteur en janvier 2018, notamment au PR9+300. Plusieurs blocs de 2 à 3 m^3 chacun se sont détachés à 40 m au-dessus de la route.

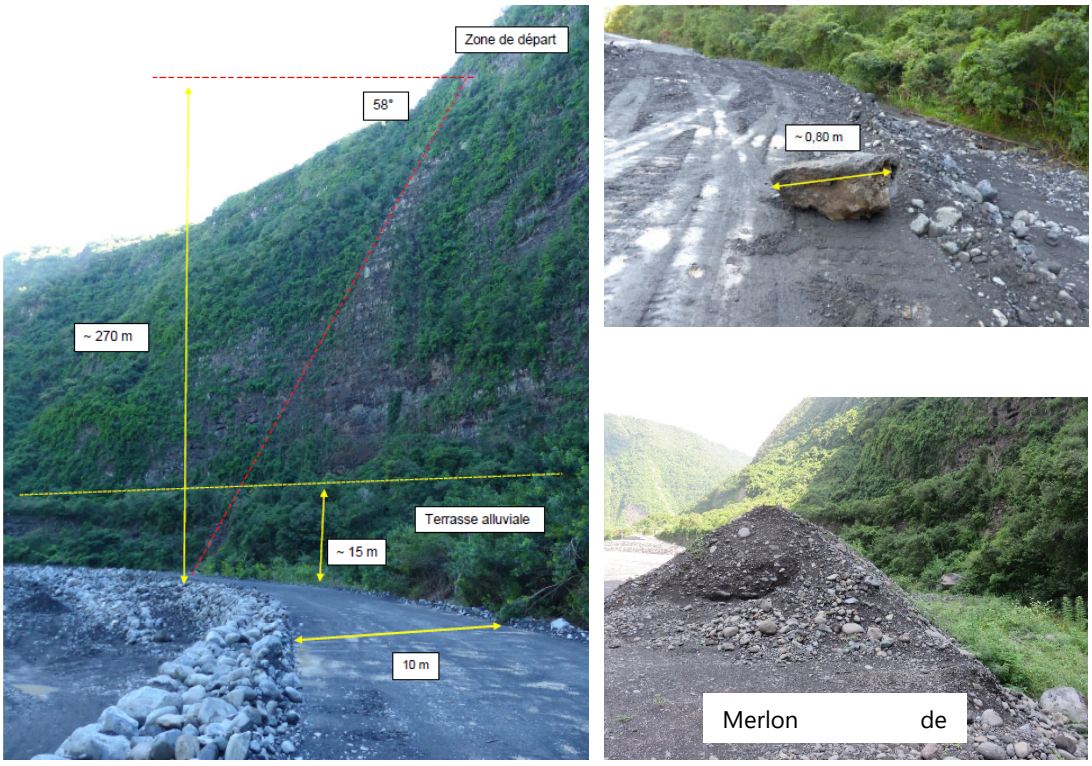
PHOTOGRAPHIE 7 : CHUTES DE BLOCS DU 13 JANVIER 2018 AU PR9+300

Les chutes de blocs et éboulements sont fréquents vers la passerelle d'Ilet à Furcy. Des blocs se détachent de l'escarpement de 70 m de hauteur. Des travaux de protection de la zone sont actuellement programmés.

Les blocs atteignent la RN 5 et le lit du bras de Cilaos (photographie 8).

PHOTOGRAPHIE 8 : BLOCS AYANT ATTEINT LE BRAS DE CILAOS EN AVAL DE LA PASSERELLE (CLICHES JANVIER 2019)

En rive gauche, pratiquement aucun évènement n'avait été recensé sur le secteur d'Ilet Rond jusqu'à la construction de la route digue en 2018. Le 22 février 2018 (rapport BRGM RP67745-FR), un éboulement s'est produit depuis le haut du rempart (30 m sous le sommet) ; son volume a été estimé à 50 m^3. Les matériaux sont restés en pied de rempart, un bloc a atteint la piste. Depuis, un merlon a été érigé en amont de la route



PHOTOGRAPHIE 9 : EBOULEMENT DU 22 FEVRIER 2018 AYANT ATTEINT LA DEVIATION D'ILET ROND

Vues générales et de détails Ilet Rond PR9 à 9+500

REFERENCES

Photographie 1 : Rempart rive droite dominant Ilet Rond 1
Photographie 2 : Rempart en rive gauche d'Ilet Rond 2
Photographie 3 : Coulées massives dans le haut du rempart d'Ilet Rond 3
Photographie 4 : Pied du rempart d'Ilet Rond 3
Photographie 5 : Empilement régulier de coulées anciennes dans le rempart rive gauche d'Ilet Rond 4
Photographie 6 : Niche d'arrachement de l'éboulement du 15/04/2009 au PR9+000 7
Photographie 7 : Chutes de blocs du 13 janvier 2018 au PR9+300 7
Photographie 8 : Blocs ayant atteint le bras de Cilaos en aval de la passerelle (clichés janvier 2019) 8
Photographie 9 : Eboulement du 22 février 2018 ayant atteint la déviation d'ilet Rond 8
Photographie 1 : Vue générale vers l'amont PR9+300 à 9 10
Photographie 2 : Vue générale vers l'amont PR9 à 9+300 rive gauche 11
Photographie 3 : Vue générale vers l'amont PR9 à 9+300 12
Photographie 4 : Vue générale vers l'amont PR9 à 9+300 12
Photographie 5 : Vue générale PR8+800 à 9+300 Rive droite 13
Photographie 6 : Vue générale PR8+900 à 9+300 Rive droite 13
Photographie 7 : Vue générale vers l'aval PR8+700 à 9+600 rive droite 14
Photographie 8 : Vue générale PR9+300 rive droite 14
Photographie 9 : Vue générale vers l'aval PR 8+200 a 9+300 15
Photographie 10 : Vue générale PR9+300 à 9 15
Photographie 11 : Vue générale vers l'aval PR8 à 9+400 rive droite 16
Photographie 12 : Vue générale vers l'aval PR8+700 à 9+600 rive droite 16

PHOTOGRAPHIE 10 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR9+300 A 9

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR9 A 9+300 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR9 A 9+300

PHOTOGRAPHIE 13 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR9 A 9+300

PHOTOGRAPHIE 14 : VUE GENERALE PR8+800 A 9+300 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 15 : VUE GENERALE PR8+900 A 9+300 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 16 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8+700 A 9+600 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 17 : VUE GENERALE PR9+300 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 18 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR 8+200 A 9+300

PHOTOGRAPHIE 19 : VUE GENERALE PR9+300 A 9

PHOTOGRAPHIE 20 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8 A 9+400 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 21 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR8+700 A 9+600 RIVE DROITE

ANNEXE 1-5

VN2 : Ilet Furcy – PR9+500 à 11+200

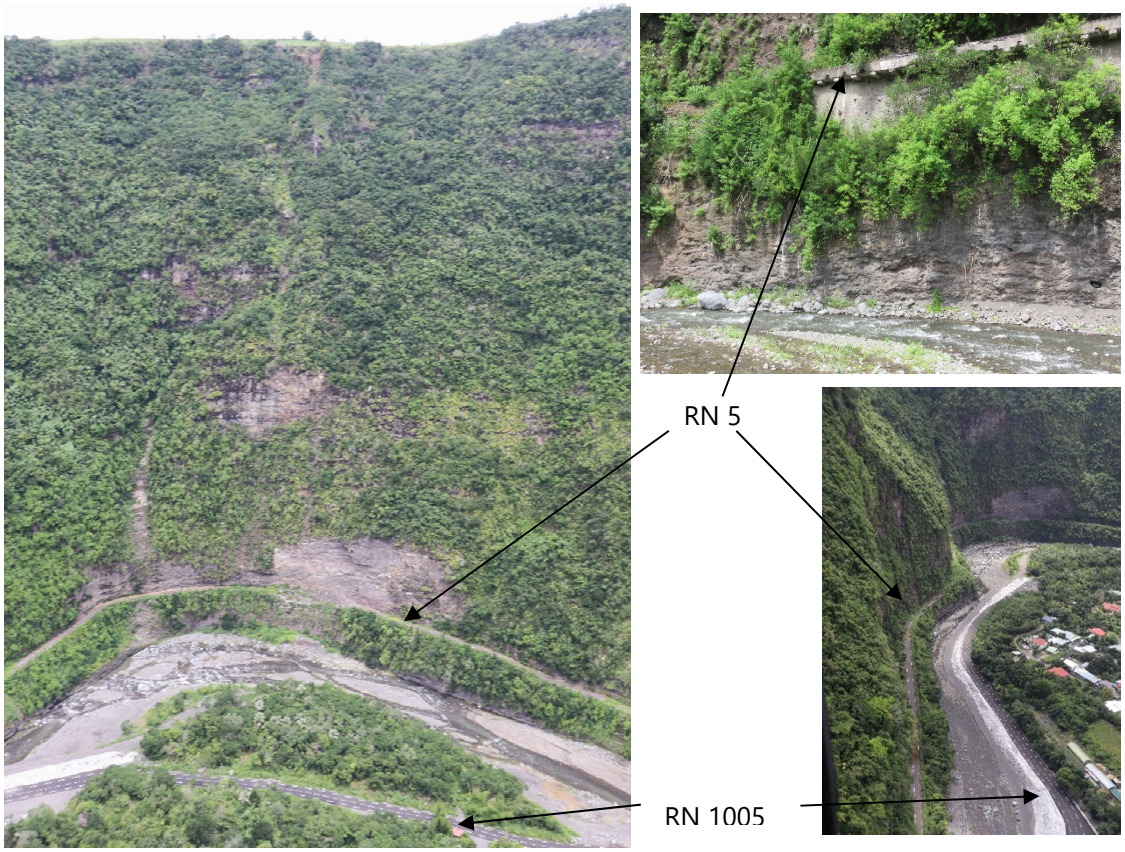
VN 2 – Ilet Furcy – PR 9,5 au PR 11,2

1.1 - Morphologie :

Le village d'Ilet Furcy est installé sur une terrasse surélevée de 15 m en rive gauche du bras de Cilaos à l'intérieur d'un méandre. Il est encadré par 2 remparts dissymétriques de 360 m de haut. Cette grande hauteur conjuguée à un fond de vallée relativement étroit, de 250 m, donne une impression de village enclavé.

Le rempart rive droite a épousé la forme concave du méandre sur 1,5 km, du PR9+300 au PR10+800. Sur ce secteur, le bras de Cilaos coule au pied du rempart. La RN5, construite dans les années 1950 en pied de rempart, a été abandonnée en 2018 ; la déviation (RN 1005) passe en rive gauche. Le pied du rempart a été localement excavé (miné). Pour mémoire, une tentative de creusement d'un tunnel en rive droite avait eu lieu vers le PR 10 + 600.

La pente moyenne du rempart est de 60 ° (55 ° à 65 °).

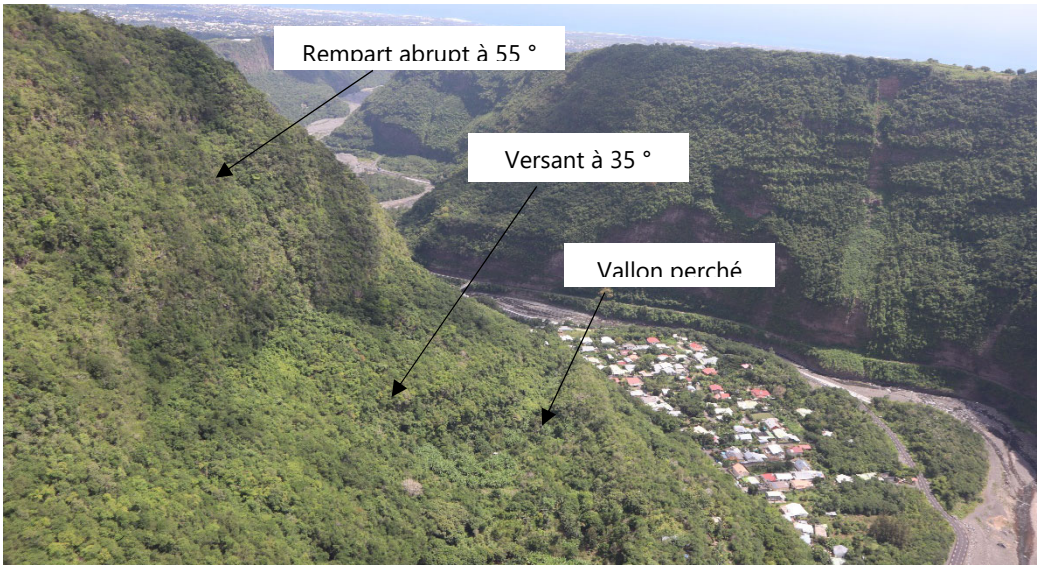


PHOTOGRAPHIE 1 : REMPART RIVE DROITE D'ILET FURCY

Le versant rive gauche se décompose en trois parties ;

- un escarpement de pied surplombant le village d'Ilet Furcy, de 70 m de hauteur ;
- un plateau intermédiaire, vallon perché parallèle à l'axe de la vallée ;
- un rempart de 300 m de hauteur.

La morphologie particulière du site est liée à la présence d'un relief rocheux dans l'axe de la vallée. Dans sa première phase d'incision, il y a plusieurs milliers d'années, le bras de Cilaos coulait dans une gorge étroite (paléovallée) qui passait sous ce vallon perché.



PHOTOGRAPHIE 2 : REMPART RIVE GAUCHE DOMINANT LE VILLAGE D'ILET FURCY (NORD)

Le plateau intermédiaire (vallon perché) disparait vers le Sud, à l'entrée du village où le rempart est continu depuis le bras de Cilaos jusqu'à la crête. Une banquette « relique » subsiste au pied, 70 m au-dessus du village.

Le rempart est incliné à 55 °.

Un petit bassin versant perché, se déverse dans le rempart en période pluvieuse.

PHOTOGRAPHIE 3 : REMPART DOMINANT L'ENTREE SUD DU VILLAGE D'ILET FURCY

1.2 - Géologie

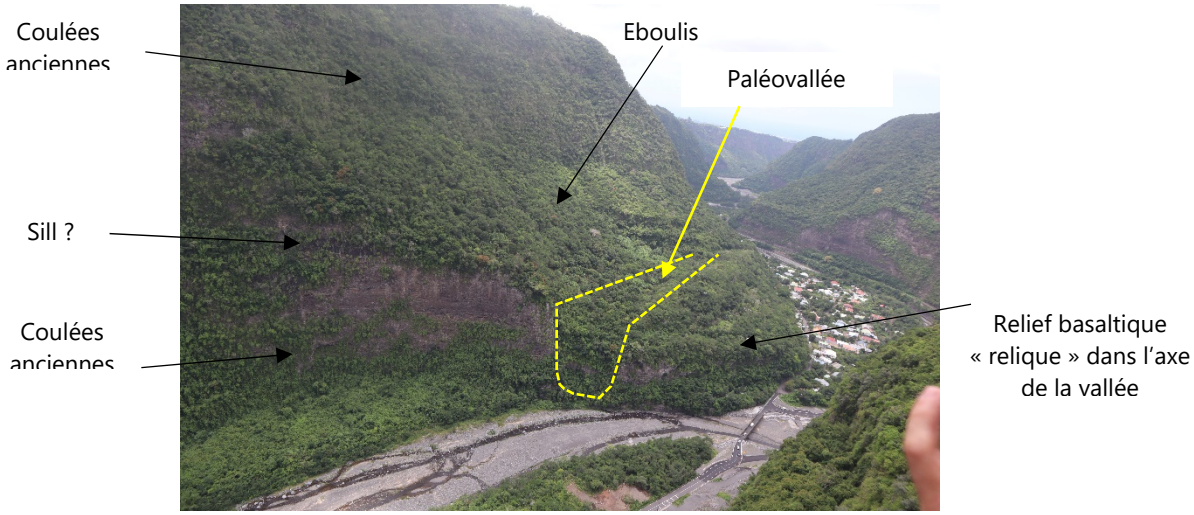
Le rempart rive droite est constitué de coulées anciennes régulières inclinées vers le Sud, recouvertes par des coulées récentes de même pendage. Le contact entre les 2 formations est difficile à préciser morphologiquement. Les coulées de la corniche sommitale sont saines, non altérées.

PHOTOGRAPHIE 4 : COULEES MASSIVES RECENTES AU SOMMET DU REMPART RIVE DROITE D'ILET FURCY

Les coulées anciennes du pied du rempart sont plus fines. Elles sont recoupées par des sills (injections parallèles aux coulées). Le pied du rempart se débite en panneaux verticaux.

PHOTOGRAPHIE 5 : COULEES ANCIENNES EN AMONT DE LA PASSERELLE D'ILET FURCY (PR 9 + 500)

Le rempart rive gauche est en totalité constitué de coulées de lave anciennes, finement litées en pied, altérées en sommet. En pied de rempart, les coulées sont recoupées par des sils et dykes qui ont guidé l'érosion du bras de Cilaos, celle de la paléovallée (« gorge ») et les reliefs reliques (buttes basaltiques) dans le village d'Ilet Furcy.



PHOTOGRAPHIE 6 : PALEOVALLEE D'ILET FURCY

Au Sud du village, le pied du rempart est masqué par des dépôts gravitaires (coulées boueuses) qui avaient comblé la vallée sur plus de 100 m de hauteur et la paléovallée. Ces dépôts masquent, en partie, le débouché de la paléovallée, en amont de l'école.

PHOTOGRAPHIE 7 : DEPOTS GRAVITAIRES (BRECHE A D'ILET FURCY

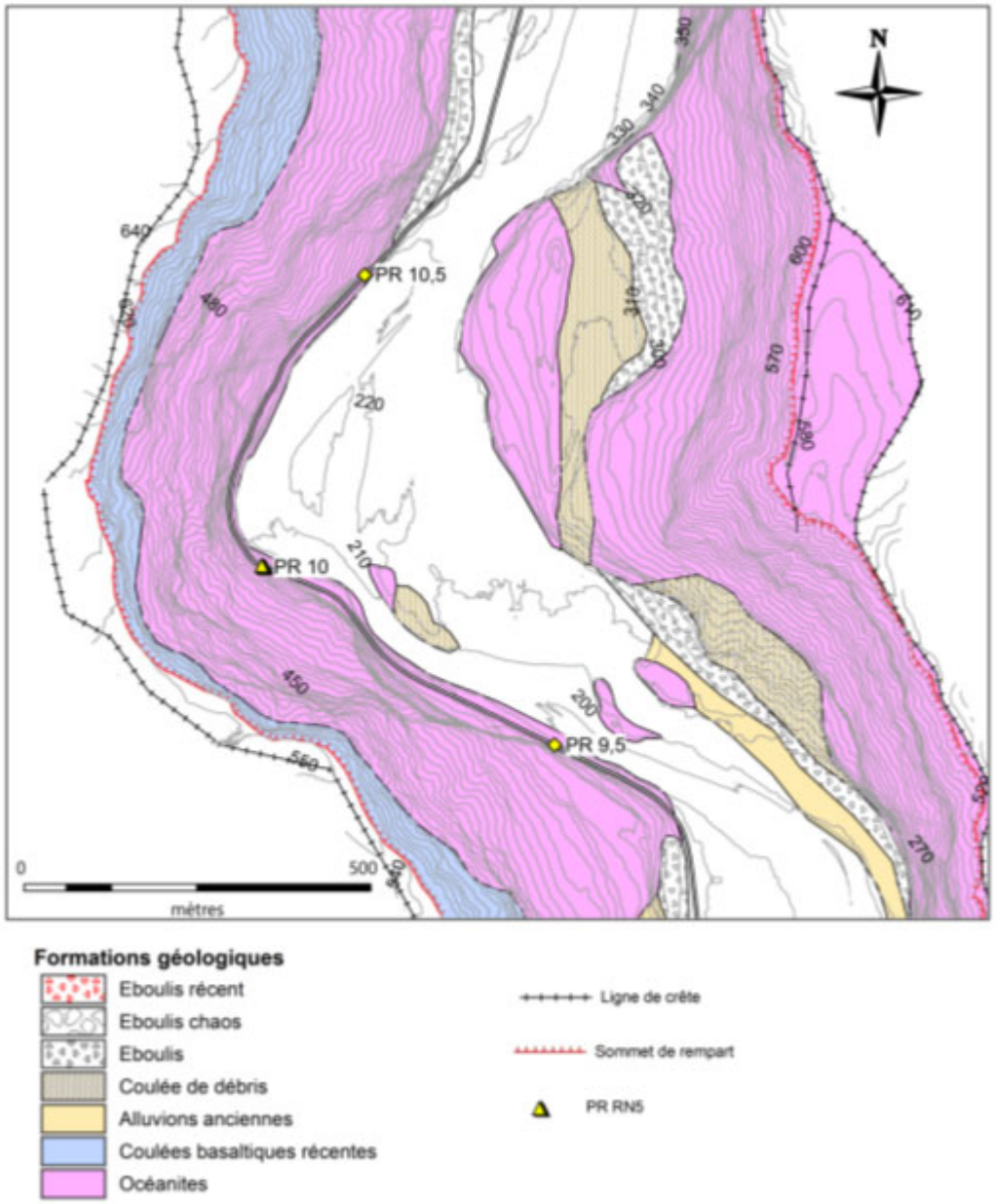


FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON VN2 ILET FURCY

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

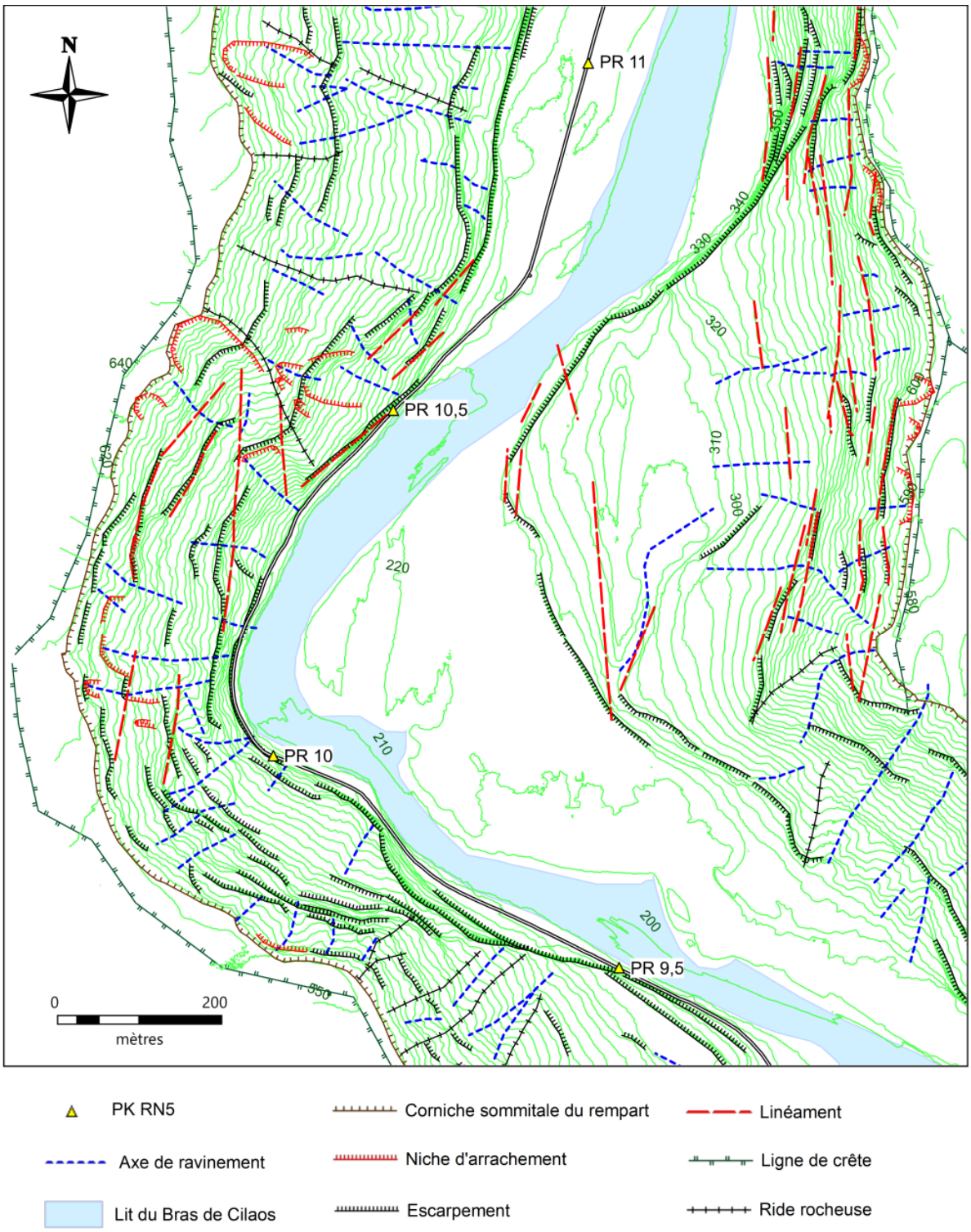


FIGURE 2 CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON VN2 ILET FURCY

1.3 - Les mouvements de terrain

Le rempart en rive droite d'Ilet Furcy est un des secteurs les plus actifs. La fréquence des évènements recensés dans le fichier BDMVT est de 1,9 N/hm (évènement par hectomètre).

A chaque forte pluie (lors du passage de Firinga en 1989 notamment), la route est exposée aux chutes de blocs et aux coulées de débris. La route aurait été totalement emportée au PR 10 + 400, en 1964 (rapport BRGM RP 51985 FR - 2002).

PHOTOGRAPHIE 8 : CHUTES DE BLOCS (20 M3) AU PR9+800 LE 26 AVRIL 2012

Des éboulements récents se sont produits sur ce tronçon lors des fortes pluies de 1998. Un éboulement de 150 m³ s'est déclenché dans le haut du rempart le 20 février 1998. Des blocs de 1 à 3 m³ ont atteint la rivière, un bloc de 0,5 m³ a atteint la piste en cours de construction en rive gauche (Rapport BRGM RP67741-FR).

PHOTOGRAPHIE 9 / EBOULEMENT AU PR9+900 LE 20/02/2018

Des parades ont été installées en pied de rempart pour contenir les chutes de pierres mais elles ne résistent pas aux chutes de blocs de taille métrique.

PHOTOGRAPHIE 10 : ECRAN BOIS ENDOMMAGE AU PR10+600 (CLICHE BRGM 10/03/2010)

En rive gauche, aucun évènement n'ayant atteint la RN 5 n'a été recensé au droit du village d'Ilet Furcy.

En revanche, des chutes de blocs ont été recensées au Sud du village, vers l'école. A la suite de chutes de blocs ayant atteint la cour de l'école en décembre 2014, des études de sécurisation du village ont été engagées par la Marie de Saint-Louis. Ces études ont été confiées au bureau d 'études GEOLITHE.

Remarque :

Les documents suivants non pris en compte car non transmis.

- BRGM/RP-64268-FR de janvier 2015 et BRGM/RP-63342-FR de février 2014.
- Etude globale d'exposition aux risques - Phase I – Géolithe
- Etude globale d'exposition aux risques - Phase II – Géolithe

Vues générales et de détails VN2 Furcy PR9+500 à 10+800

REFERENCES

Photographie 1 : Rempart rive droite d'Ilet Furcy 1
Photographie 2 : Rempart rive gauche dominant le village d'Ilet Furcy (Nord) 2
Photographie 3 : Rempart dominant l'entrée Sud du village d'Ilet Furcy 2
Photographie 4 : Coulées massives récentes au sommet du rempart rive droite d'Ilet Furcy 3
Photographie 5 : Coulées anciennes en amont de la passerelle d'Ilet Furcy (PR 9 + 500) 3
Photographie 6 : Paléovallée d'Ilet Furcy 4
Photographie 7 : Dépôts gravitaires (brèche à d'Ilet Furcy 4
Photographie 8 : Chutes de blocs (20 m3) au PR9+800 le 26 avril 2012 7
Photographie 9 / Eboulement au PR9+900 le 20/02/2018 7
Photographie 10 : Ecran bois endommagé au PR10+600 (cliché brgm 10/03/2010) 8
Photographie 1 : Vue générale vers l'amont PR9 à 9+400 rive droite 10
Photographie 2 : Vue générale vers l'amont PR9+400 à 10+600 11
Photographie 3 : Vue générale vers l'aval PR9+600 à 9 11
Photographie 4 : Vue générale vers l'amont PR10+800 à 10+600 12
Photographie 5 : Vue générale vers l'aval PR10+800 à 9+400 13
photographie 6 : Vue générale vers l'amont PR10+400 à 11+400 14
Photographie 7 : Vue générale vers l'aval PR9+600 à 9+400 rive gauche 15
Photographie 8 : Vue générale descente sur corde n°7 PR9+300 rive gauche 16
Photographie 9 : Vue générale DU PR10+600 rive gauche 16
Photographie 10 : Vue générale DU PR9+300 à 9+700 17
Photographie 11 : Vue générale DU PR9+500 à 10+200 Rive droite 17
Photographie 12 : Vue générale DU PR10 à 10+600 rive droite au second plan 18
Photographie 13 : Vue générale PR10+400 à 11+600 rive droite au second plan 18
Photographie 14 : Vue de détail niche d'arrachement en tete PR 9+300 Rive gauche 19
Photographie 15 : Vue générale descente sur corde n°7 PR9+300 rive gauche 19
Photographie 16 : Vue de détail du rocher affleurant au sein de la cicatrice d'arrachement PR9+300 20
Photographie 17 : Vue de détail d'un ressaut rocher métrique PR9+300 20
Photographie 18 : Vue de détail d'un éperon rocheux pluri-métrique PR9+300 rive gauche (voir photo 15) 21
Photographie 19 : Vue de détail d'un ressaut rocher pluri-métrique PR9+300 (voir photo 15 et 17) 21

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR9 A 9+400 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR9+400 A 10+600

PHOTOGRAPHIE 13 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR9+600 A 9

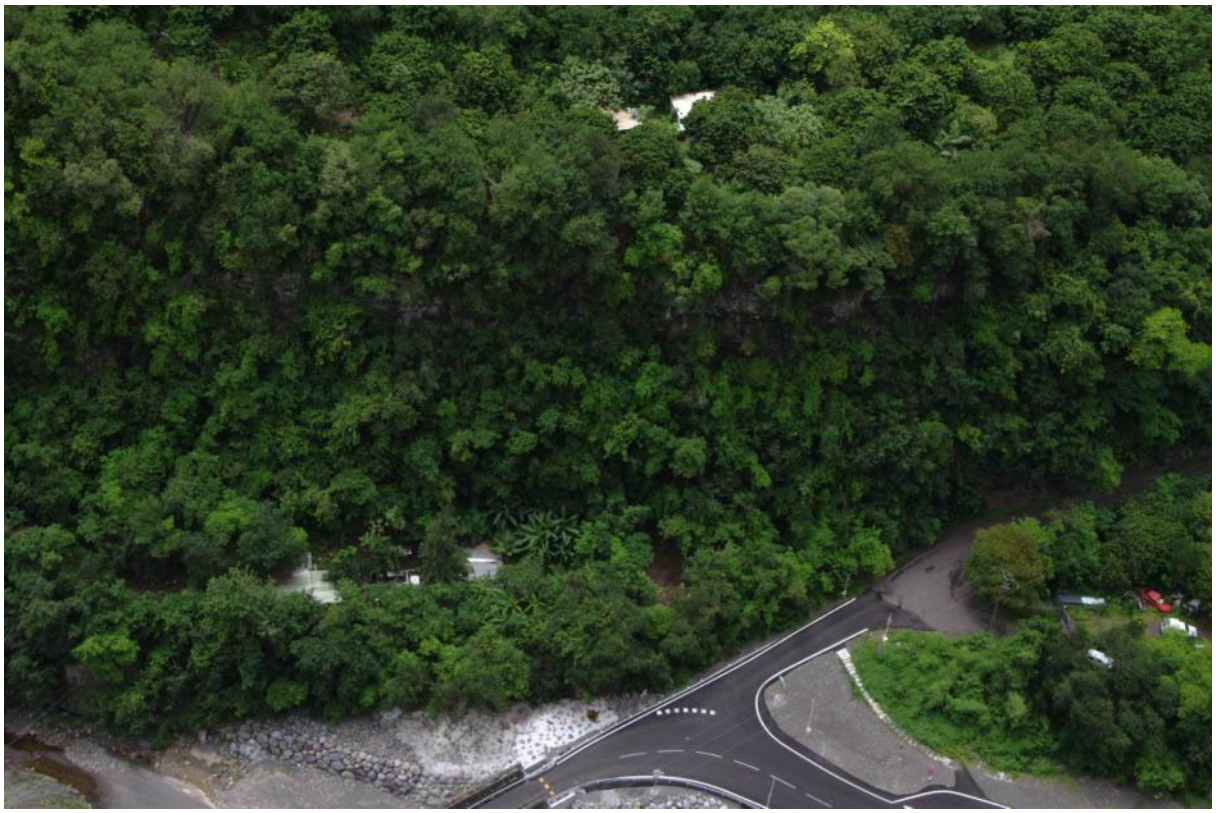
PHOTOGRAPHIE 14 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR10+800 A 10+600

PHOTOGRAPHIE 15 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR10+800 A 9+400

PHOTOGRAPHIE 16 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR10+400 A 11+400

PHOTOGRAPHIE 17 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR9+600 A 9+400 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 18 : VUE GENERALE DESCENTE SUR CORDE N°7 PR9+300 RIVE GAUCHE



PHOTOGRAPHIE 19 : VUE GENERALE DU PR10+600 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 20 : VUE GENERALE DU PR9+300 A 9+700

PHOTOGRAPHIE 21 : VUE GENERALE DU PR9+500 A 10+200 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 22 : VUE GENERALE DU PR10 A 10+600 RIVE DROITE AU SECOND PLAN

PHOTOGRAPHIE 23 : VUE GENERALE PR10+400 A 11+600 RIVE DROITE AU SECOND PLAN

PHOTOGRAPHIE 24 : VUE DE DETAIL NICHE D'ARRACHEMENT EN TETE PR 9+300 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 25 : VUE GENERALE DESCENTE SUR CORDE N°7 PR9+300 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 26 : VUE DE DETAIL DU ROCHER AFFLEURANT AU SEIN DE LA CICATRICE D'ARRACHEMENT PR9+300

PHOTOGRAPHIE 27 : VUE DE DETAIL D'UN RESSAUT ROCHER METRIQUE PR9+300

PHOTOGRAPHIE 28 : VUE DE DETAIL D'UN EPERON ROCHEUX PLURI-METRIQUE PR9+300 RIVE GAUCHE (VOIR PHOTO 15)

PHOTOGRAPHIE 29 : VUE DE DETAIL D'UN RESSAUT ROCHER PLURI-METRIQUE PR9+300 (VOIR PHOTO 15 ET 17)

ANNEXE 1-6

ASP2 : Ilet Long – PR10+800 à 11+800

ASP 2 – Ilet Long – PR10,8 au PR11,8

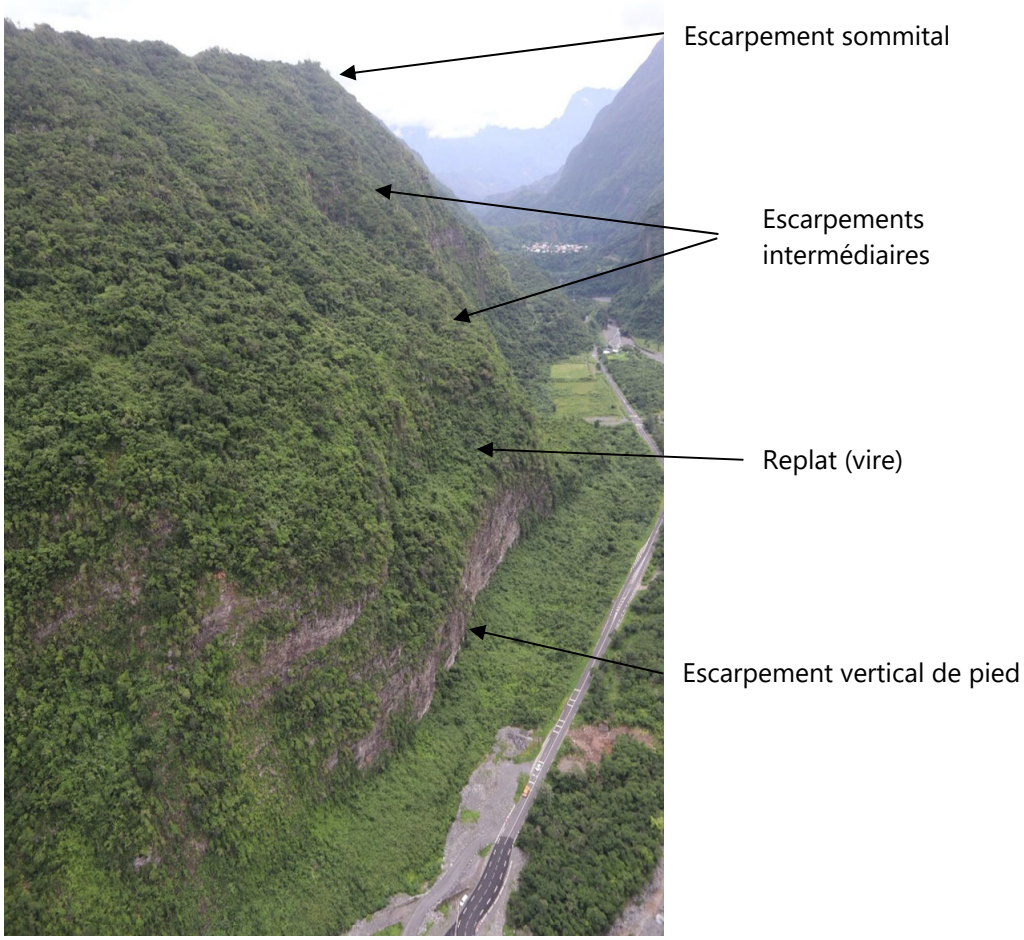
1.1 - Morphologie

Ce tronçon s'apparente à un défilé de 1 km, de direction Nord-Sud. Sa morphologie singulière contraste avec celles des méandres observés plus en aval.

La hauteur des deux remparts s'accroit rapidement passant de 400 m au PR10+800 à 500 m au PR11+800.

Le pied du rempart rive droite est vertical, sur 80 à 100 m de hauteur, marqué à son sommet par un replat (vire) entre les PR10+800 et PR11+100.

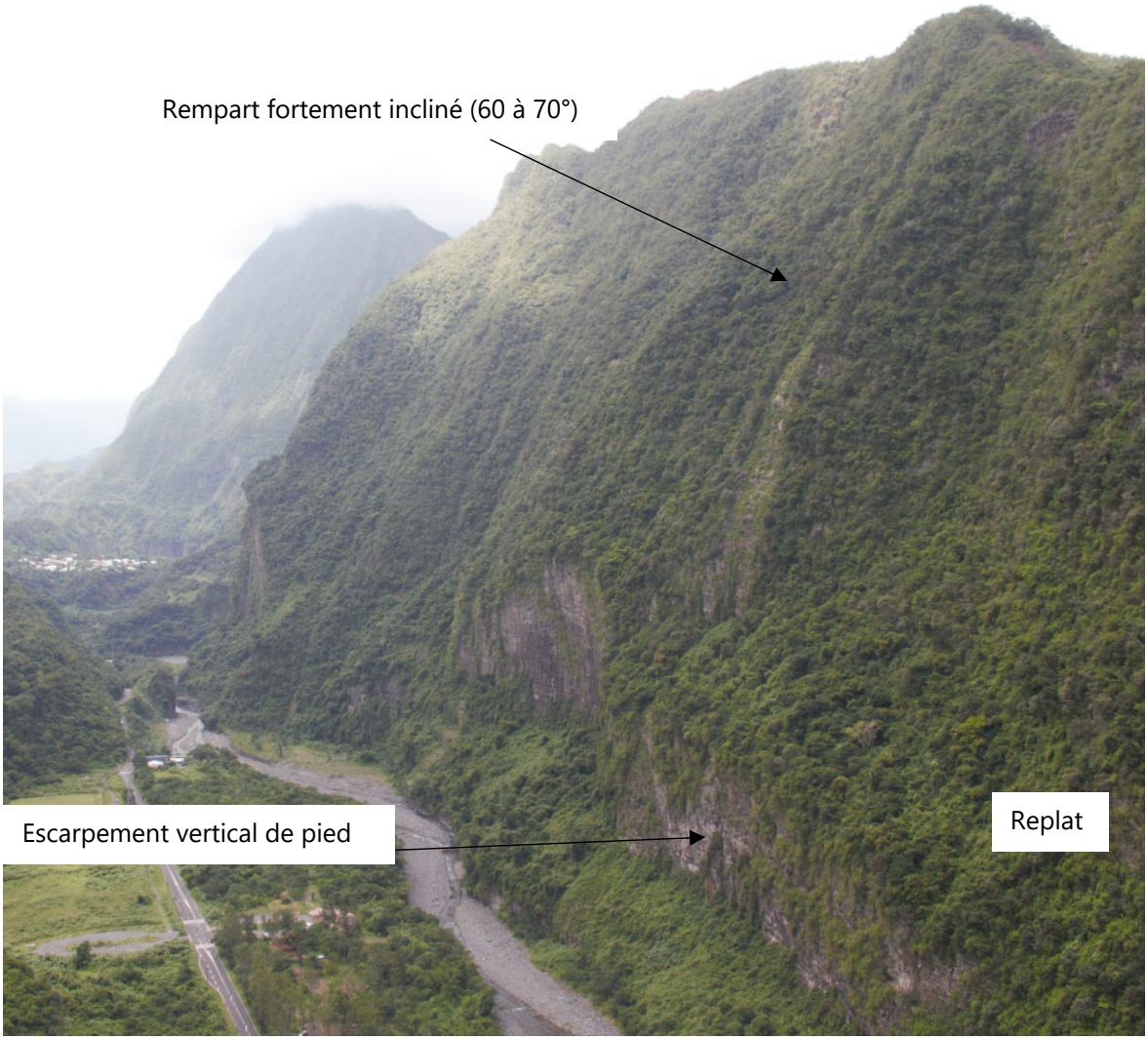
Les parties intermédiaire et supérieure sont fortement inclinées avec une pente moyenne de 45° à 50°. L'examen détaillé du rempart montre que ce dernier comprend plusieurs barres verticales intermédiaires, vers 150 m et 300 m de hauteur. La partie sommitale est également abrupte.



PHOTOGRAPHIE 1 : MORPHOLOGIE DU REMPART RIVE DROITE D'ILET LONG

Le rempart rive gauche est plus abrupt que le rempart rive droite avec une pente moyenne qui atteint 70° au droit du PR11.

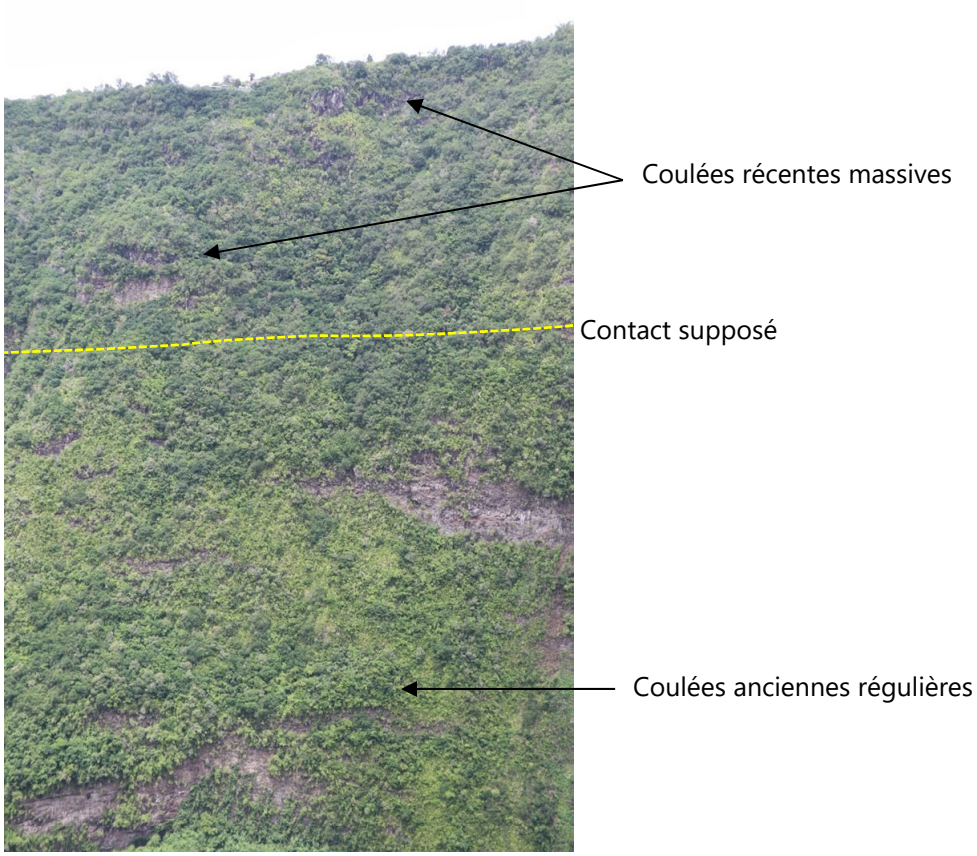
En rive gauche, nous retrouvons un escarpement de pied vertical de 80 à 100 m de hauteur surmonté par un replat (vire).



PHOTOGRAPHIE 2 : REMPART RIVE GAUCHE D'ILET LONG

1.2 - Géologie

Le rempart rive droite est constitué de coulées anciennes régulières sur 250/300 m de hauteur, surmontées par des coulées récentes formant la corniche sommitale.

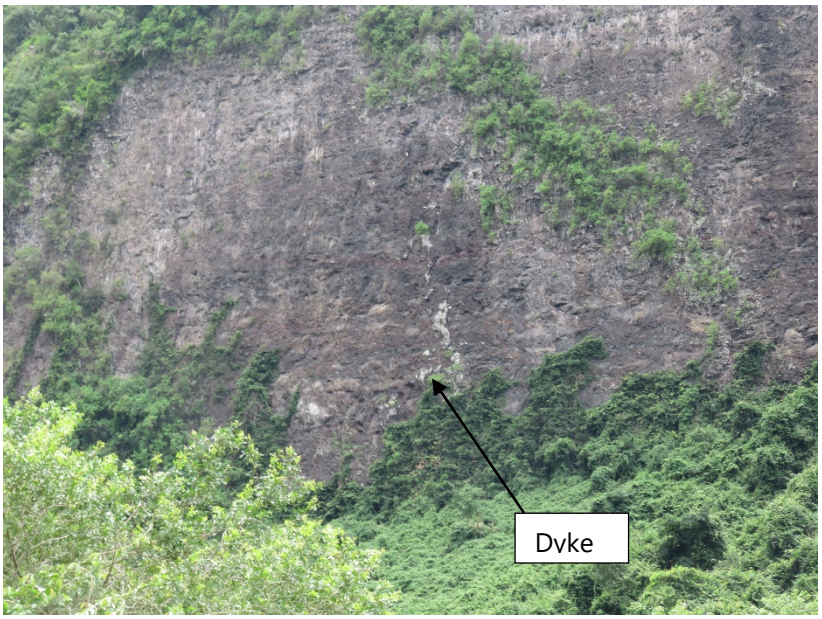


PHOTOGRAPHIE 3 : FORMATIONS GEOLOGIQUES DU REMPART RIVE DROITE D'ILET LONG

PHOTOGRAPHIE 4 : COULEE MASSIVE AU SOMMET DU REMPART D'ILET LONG

Le rempart rive gauche est en totalité constitué de coulées anciennes. Les coulées sont régulières de dimension métrique. L'épaisseur des coulées augmente vers le sommet où elle peut atteindre localement la dizaine de mètres.

Le pied est recoupé par des sills et dykes qui ont contraint l'enfoncement du lit du bras de Cilaos. Ces intrusions sont difficilement observables ; les sills sont parallèles aux coulées de basalte et se confondent avec elles. Quant aux dykes, ils sont parallèles aux parois.



PHOTOGRAPHIE 5 : ESCARPEMENT VERTICAL AU PIED DU REMPART RIVE GAUCHE D'ILET LONG

PHOTOGRAPHIE 6 : COULEES ANCIENNES DU SOMMET DU REMPART RIVE GAUCHE D'ILET LONG

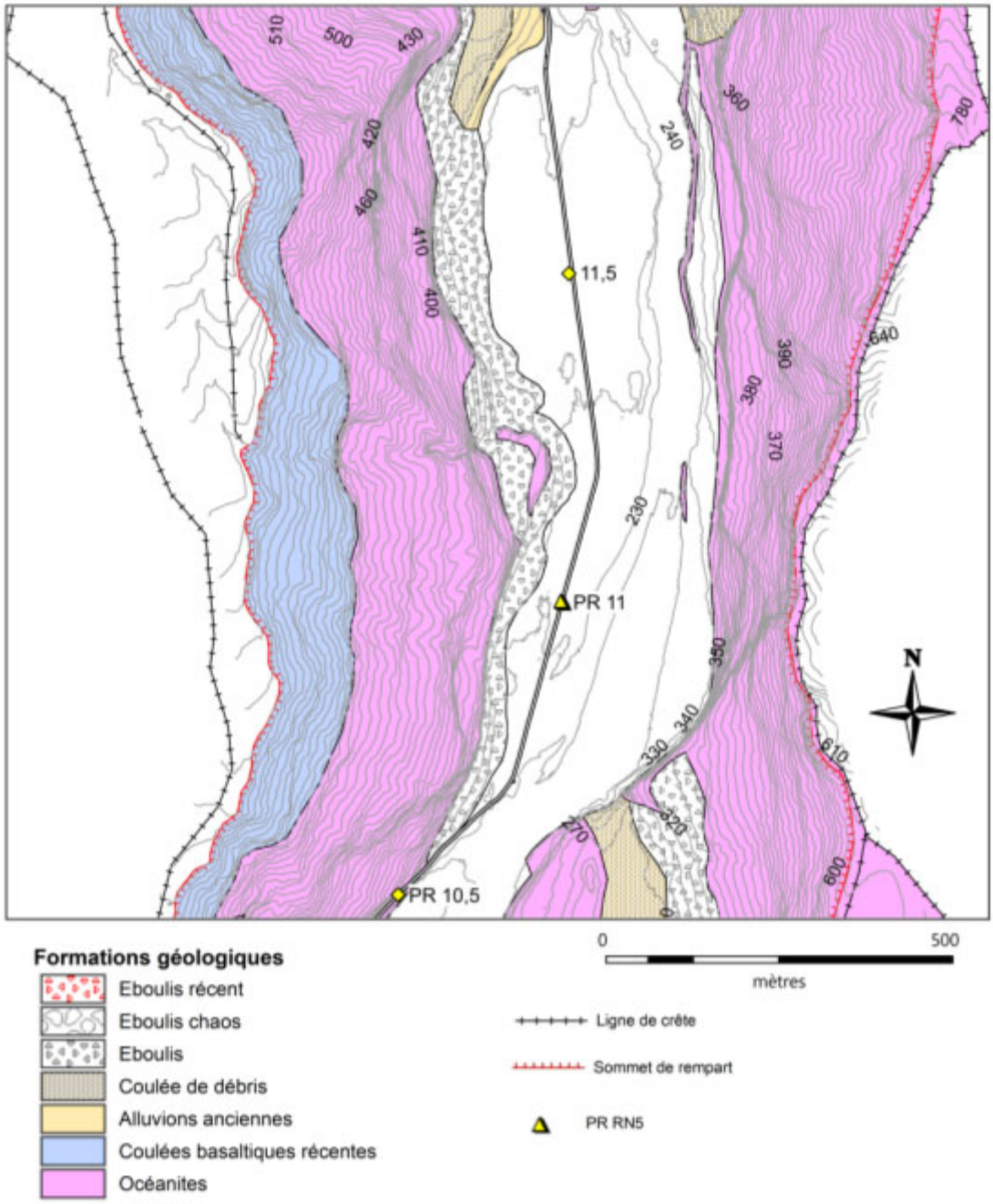


FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON ASP2 ILET LONG

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

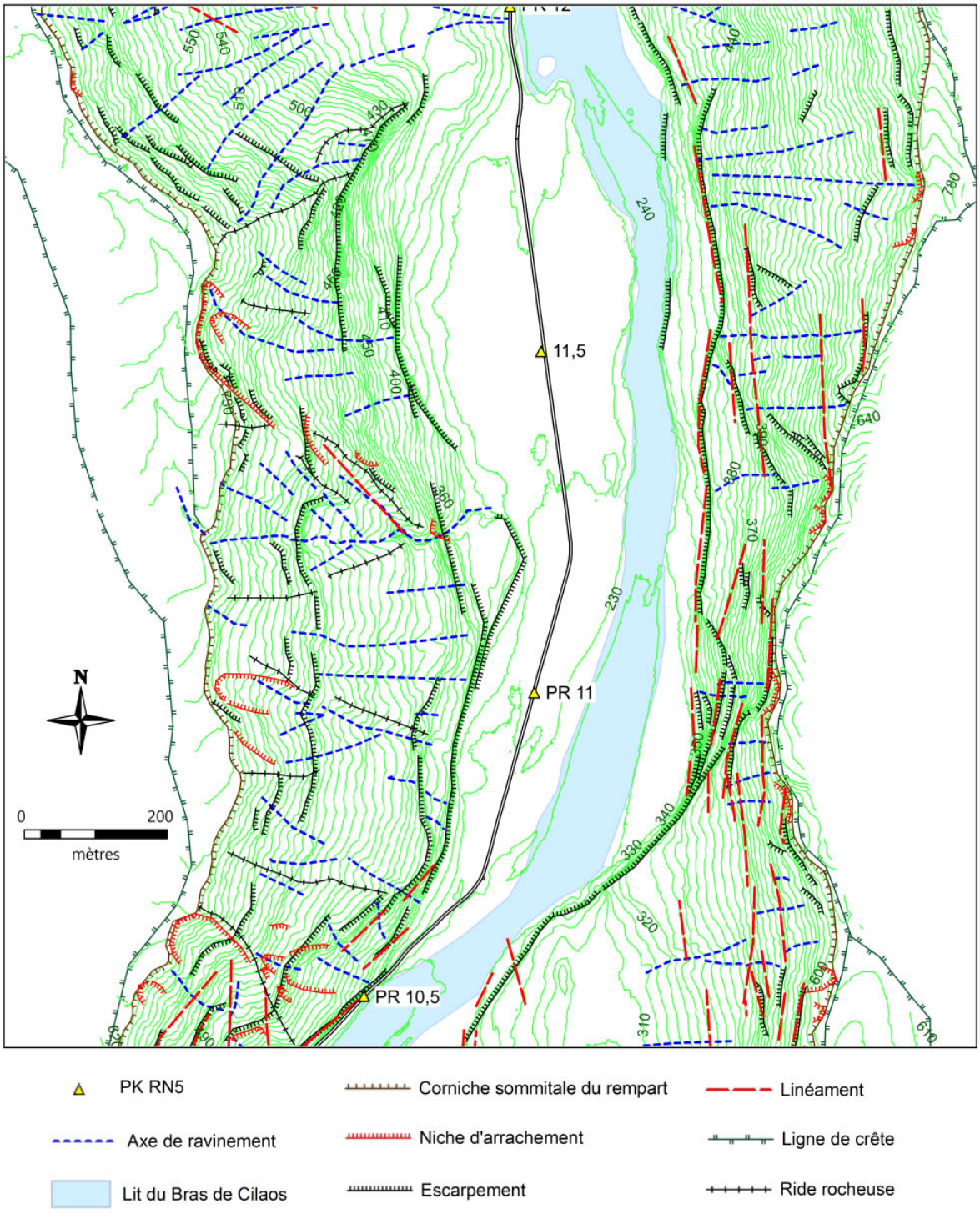


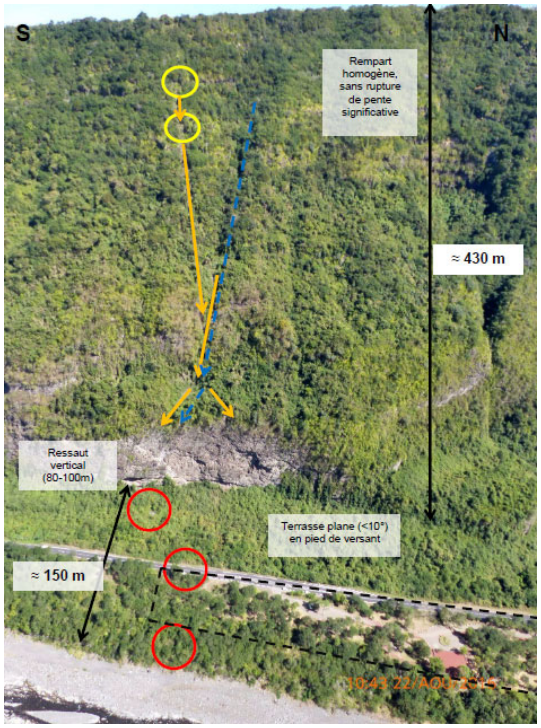
FIGURE 2 CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON ASP2 ILET LONG

1.3 - Les mouvements de terrain

La présence d'un éboulis continu au pied du rempart rive droite atteste de sa dynamique érosive active.

Peu d'évènements sont recensés sur le secteur du fait qu'ils n'atteignent pas souvent la RN5. En 1992, un bloc de taille métrique aurait traversé la route au PR10+800. Lors du passage de Dina (2002), des blocs de dimension plurimétrique ont atteint le terrain de football (PR10+700) – cf. Rapport BRGM 2002.

Un éboulement récent s'est produit au PR10+960, le 22 août 2016 (rapport BRGM RP-66195-FR). La masse de matériau, d'un volume de l'ordre de 100 m³, s'est détachée du sommet du rempart. Des blocs ont atteint et traversé la chaussée lors de l'éboulement et pendant les purges de sécurisation. Les plus gros blocs avaient un volume de 5 à 8 m³. L'un d'eux a rebondi et détérioré la chaussée (impact de 1,5 m de diamètre et 0,80 m de profond).



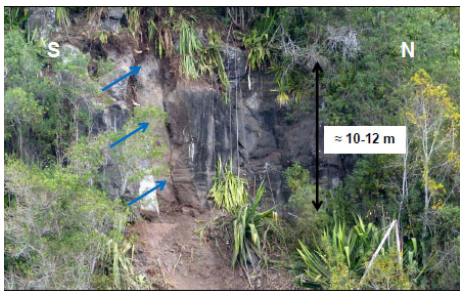


Illustration 10 – Bloc purgé d'un volume de l'ordre de 8 m³.
Ce bloc a atteint la chaussée et s'est arrêté entre la chaussée et l'aire de pique-nique

En rive gauche, aucun évènement n'est relaté. Des traces de propagation sont toutefois visibles dans le rempart. Les matériaux qui atteignent directement le lit du bras de Cilaos sont évacués par ce dernier.

Vues générales et de détails Ilet Long PR10+800 à 11+800

REFERENCES

Photographie 1 : Morphologie du rempart rive droite d'Ilet Long 1
Photographie 2 : rempart rive gauche d'Ilet Long 2
Photographie 3 : Formations géologiques du rempart rive droite d'Ilet Long 3
Photographie 4 : Coulée massive au sommet du rempart d'Ilet Long 3
Photographie 5 : Escarpement vertical au pied du rempart rive gauche d'Ilet Long 4
Photographie 6 : Coulées anciennes du sommet du rempart rive gauche d'Ilet Long 4
Photographie 1 : Vue générale vers l'amont PR11 à 12+200 9
Photographie 2 : Vue générale vers l'amont PR10+600 à 12+200 10
Photographie 3 : Vue générale PR10+400 à 11 Rive droite 10
Photographie 4 : Vue générale vers l'amont PR11 à 12+200 11
Photographie 5 : Vue générale vers l'amont PR11 rive droite 11
Photographie 6 : Vue générale vers l'amont PR11 à 12+200 12
Photographie 7 : Vue générale vers l'aval PR10+6 à 10+1000 12
Photographie 8 : Vue générale niche d'arrachement en tete de rempart rive droite 13
Photographie 9 : Vue générale d'une autre niche d'arrachement en tete de rempart rive droite 14
Photographie 10 : Vue générale vers l'aval PR12+800 à 11+400 rive droite 15
Photographie 11 : Vue générale vers l'aval PR12+200 à 11+200 rive gauche 16
Photographie 12 : Vue générale vers l'aval PR11+200 à 10+800 rive gauche 16
Photographie 13 : Vue générale vers l'aval PR11 à 10+800 rive gauche 17
Photographie 14 : Vue de détail de blocs métrique en crête de rempart PR10+100 rive gauche 18
Photographie 15 : Vue de détail de blocs métrique fracturé PR10+100 rive gauche – aléa de rupture Elevé 18
Photographie 16 : Vue de détail de plusieurs blocs au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture très élevé 19
Photographie 17 : Vue de détail de plusieurs blocs au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture très élevé 19
Photographie 18 : Vue de détail d'un bloc 20 litres au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture très élevé 19
Photographie 19 : Vue de détail du sol sur une vire haute au PR10+100 rive gauche 19
Photographie 20 : Vue de détail de plusieurs blocs au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture très élevé 20
Photographie 22 : Vue de détail de plusieurs blocs <100 litres au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture très élevé 20
Photographie 21 a/b : Vues de détail de plusieurs blocs métrique au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture moyen à elevé 20
Photographie 22 a/b/c/d: Vues de détail de blocs pluri-métrique fracturés au sein d'une coulée massive intermédiaire au PR10+100 rive gauche – aléa de rupture élevé 21

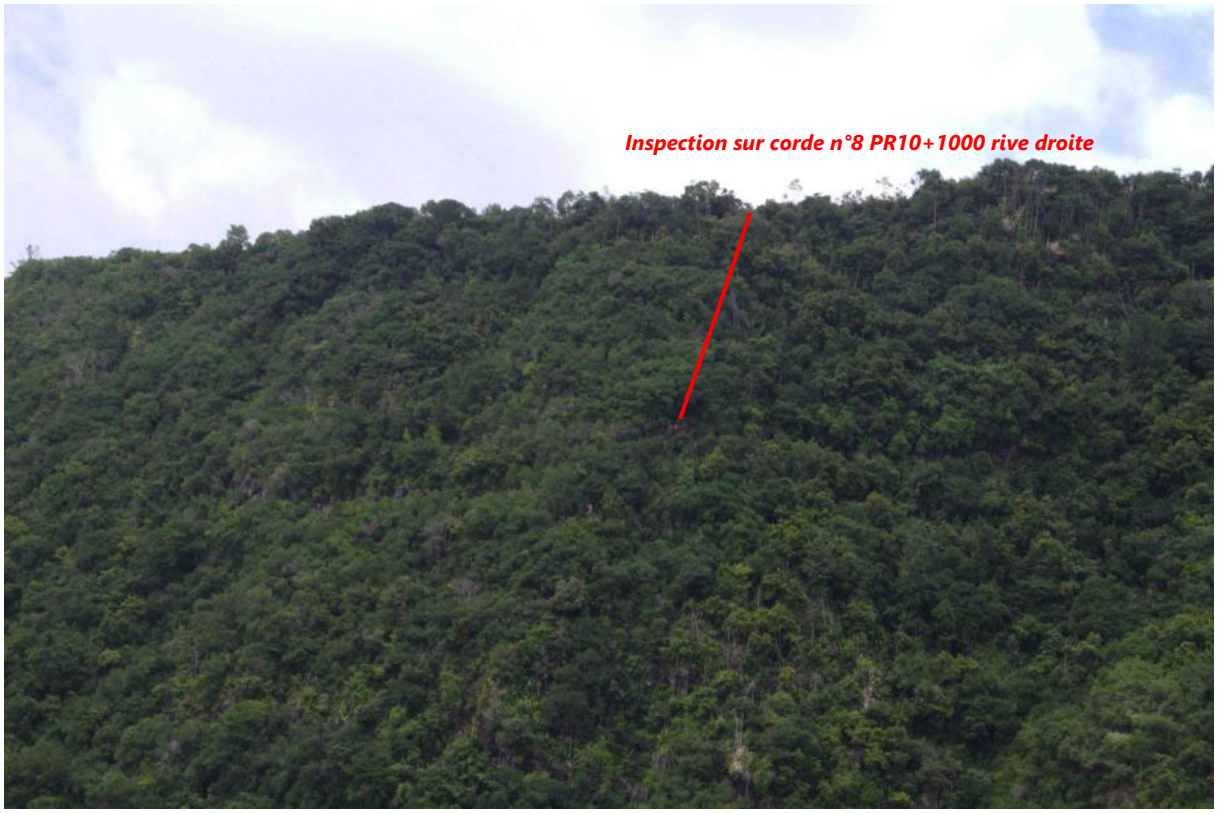
PHOTOGRAPHIE 7 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11 A 12+200

PHOTOGRAPHIE 8 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR10+600 A 12+200

PHOTOGRAPHIE 9 : VUE GENERALE PR10+400 A 11 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 10 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11 A 12+200

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11 RIVE DROITE



PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11 A 12+200

PHOTOGRAPHIE 13 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR10+6 A 10+1000

PHOTOGRAPHIE 14 : VUE GENERALE NICHE D'ARRACHEMENT EN TETE DE REMPART RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 15 : VUE GENERALE D'UNE AUTRE NICHE D'ARRACHEMENT EN TETE DE REMPART RIVE DROITE

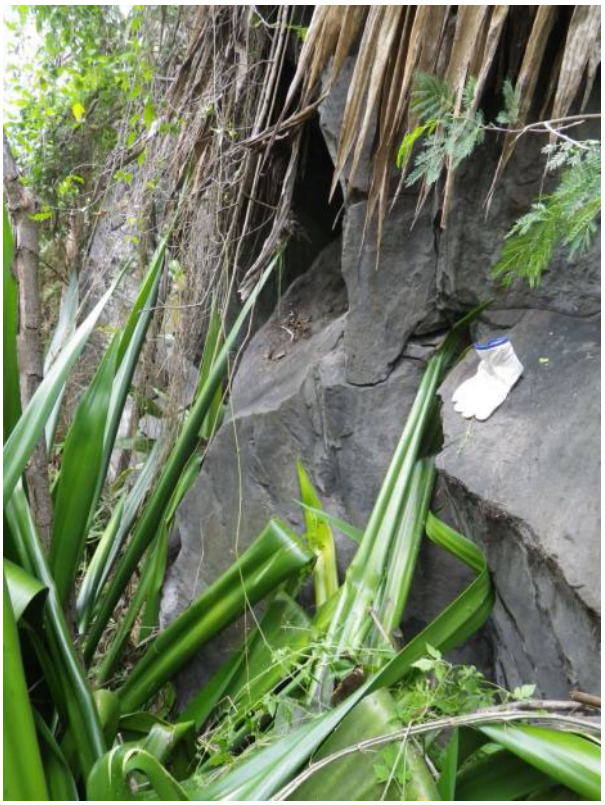
PHOTOGRAPHIE 16 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR12+800 A 11+400 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 17 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR12+200 A 11+200 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 18 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR11+200 A 10+800 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 19 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR11 A 10+800 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 20 : VUE DE DETAIL DE BLOCS METRIQUE EN CRETE DE REMPART PR10+100 RIVE GAUCHE



PHOTOGRAPHIE 21 : VUE DE DETAIL DE BLOCS METRIQUE FRACTURE PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE ELEVE

PHOTOGRAPHIE 25 : VUE DE DETAIL DU SOL SUR UNE VIRE HAUTE AU PR10+100 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 24 : VUE DE DETAIL D'UN BLOC 20 LITRES AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE TRES ELEVE

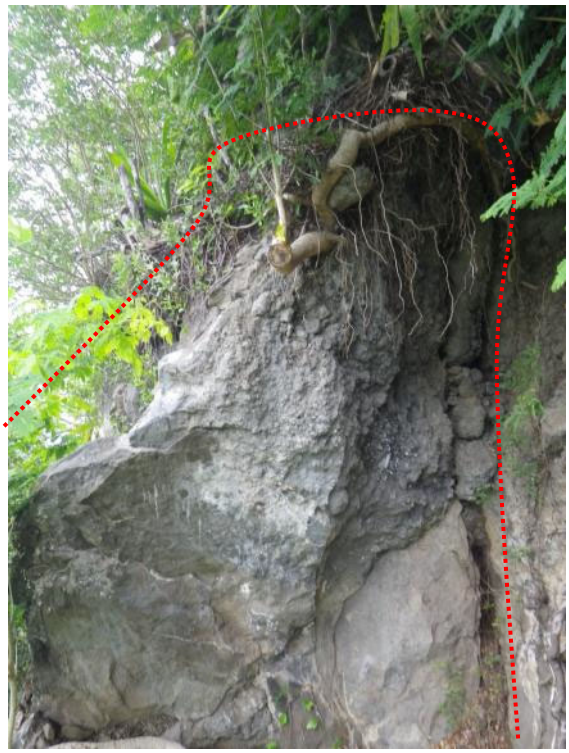
PHOTOGRAPHIE 23 : VUE DE DETAIL DE PLUSIEURS BLOCS AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE TRES ELEVE

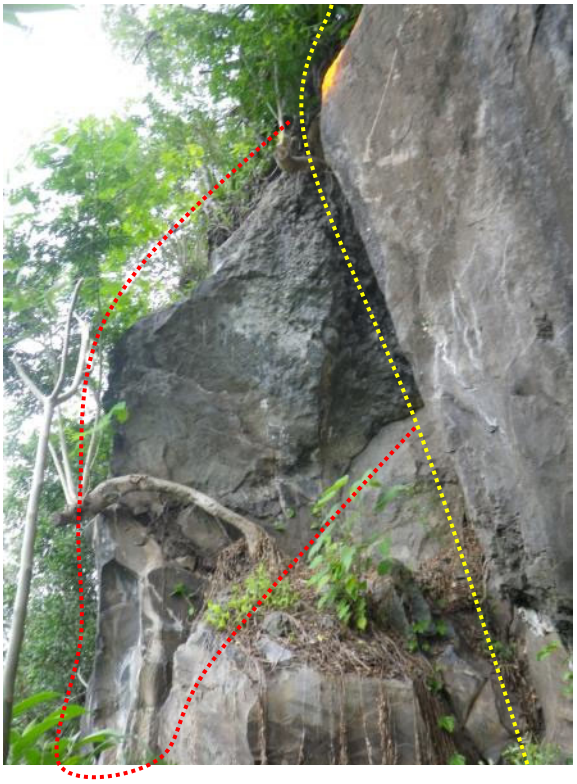
PHOTOGRAPHIE 22 : VUE DE DETAIL DE PLUSIEURS BLOCS AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE TRES ELEVE

PHOTOGRAPHIE 26 : VUE DE DETAIL DE PLUSIEURS BLOCS AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE TRES ELEVE

PHOTOGRAPHIE 28 A/B : VUES DE DETAIL DE PLUSIEURS BLOCS METRIQUE AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE MOYEN A ELEVE

PHOTOGRAPHIE 27 : VUE DE DETAIL DE PLUSIEURS BLOCS <100 LITRES AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE TRES ELEVE





PHOTOGRAPHIE 29 A/B/C/D: VUES DE DETAIL DE BLOCS PLURI-METRIQUE FRACTURES AU SEIN D'UNE COULEE MASSIVE INTERMEDIAIRE AU PR10+100 RIVE GAUCHE – ALEA DE RUPTURE ELEVE

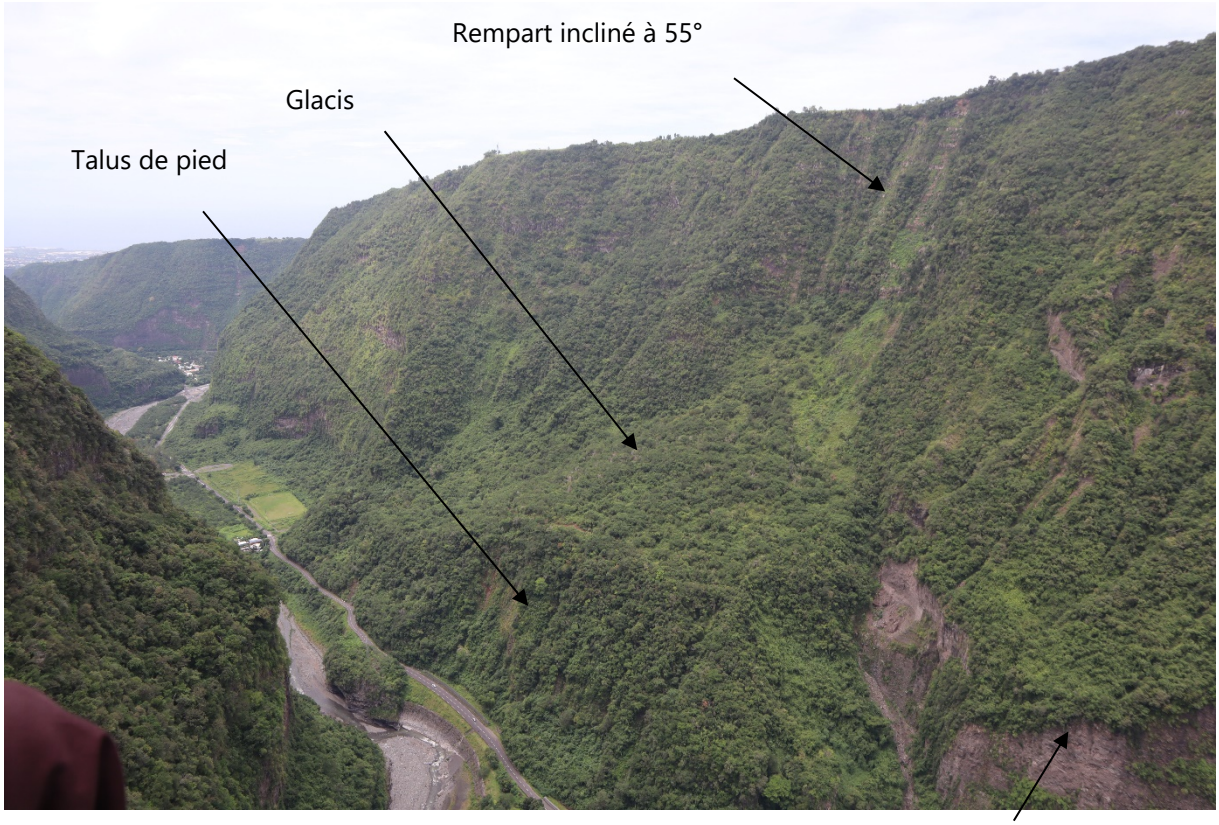
ANNEXE 1-7

ASP2 : Ilet Cafres et Rampe des sables – PR11+800 à 12+200

1.1 - Morphologie

Entre le PR11+800 jusqu'au PR12+300, la RN5 se rapproche à nouveau du bras de Cilaos qui coule dans une gorge étroite au pied du rempart rive gauche.

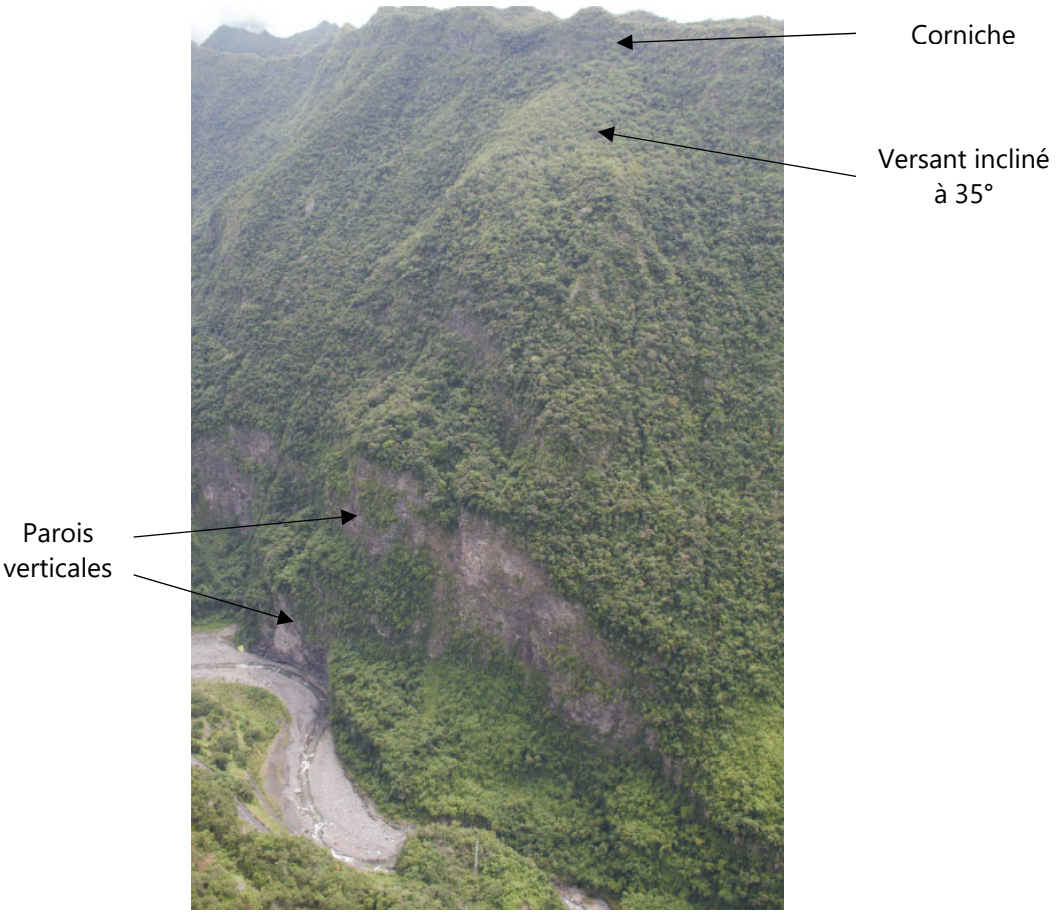
Sur la rive droite, la RN 5 passe au pied d'un talus de 60 à 120 m de hauteur. Le sommet du talus correspond à une terrasse alluviale perchée qui se raccorde au pied du rempart par un glacis, versant incliné entre 25° en pied à 45° au pied du rempart.
Le haut du rempart culmine à +820 NGR soit 550 m au-dessus la RN5.
Le rempart a une morphologie concave.



PHOTOGRAPHIE 1 : REMPART RIVE DROITE D'ILET CAFRES

Le rempart rive gauche est très proche du bras de Cilaos. Sa pente moyenne est élevée de 55°.

Ce relief peut être assimilé à un promontoire tronqué. Sa partie inférieure entre 250 et 650 NGR est plus abrupte. La pente s'adoucit en partie haute entre 650 NGR et 850 NGR.

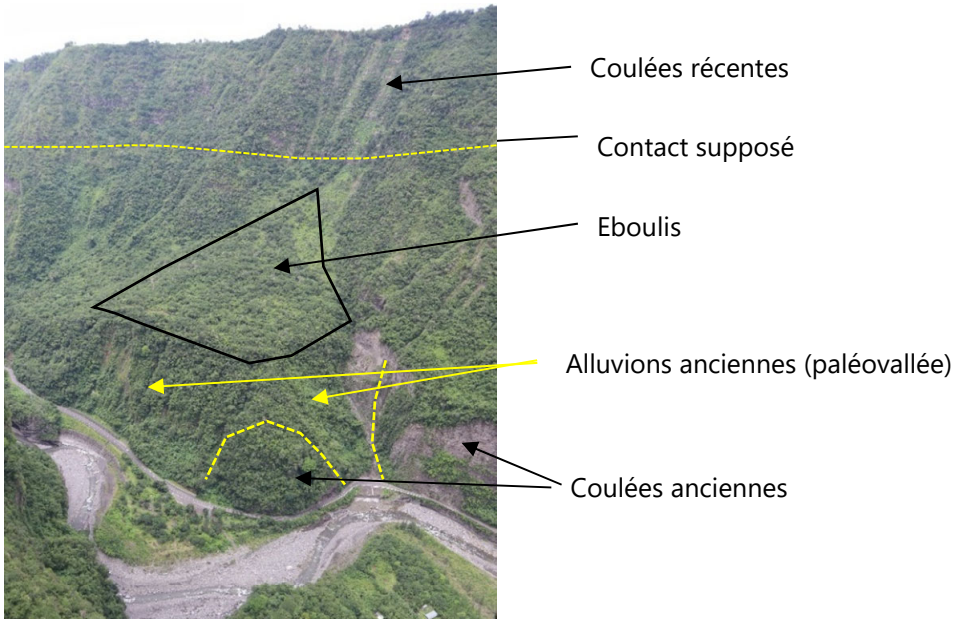


PHOTOGRAPHIE 2 : REMPART EN RIVE GAUCHE DE LA RAMPE DES SABLES

1.2 - Géologie

Le rempart rive gauche est constitué de coulées anciennes masquées par les alluvions anciennes et les éboulis perchés. Elles peuvent être observées au pied du talus amont de la RN5 au PR 12, et dans la berge du bras de Cilaos.

Les coulées récentes forment un empilement régulier en sommet de rempart.



PHOTOGRAPHIE 3 : GEOLOGIE DU REMPART RIVE DROITE D'ILET CAFRES

PHOTOGRAPHIE 4 : COULEES RECENTES AU SOMMET DU REMPART D'ILET CAFRES

Le rempart rive gauche est en totalité dans les coulées anciennes. Elles sont recoupées par de nombreux sills et dykes.

En sommet de rempart, elles sont régulières et d'épaisseur métrique.

PHOTOGRAPHIE 5 : COULEES ANCIENNES REGULIERES INJECTEES DE SILLS ET DYKES DU REMPART RIVE GAUCHE DE LA RAMPE DES SABLES

PHOTOGRAPHIE 6 : VERSANT INCLINE A 35° ET COULEES SOMMITALES DU REMPART RIVE GAUCHE DE LA RAMPE DES SABLES

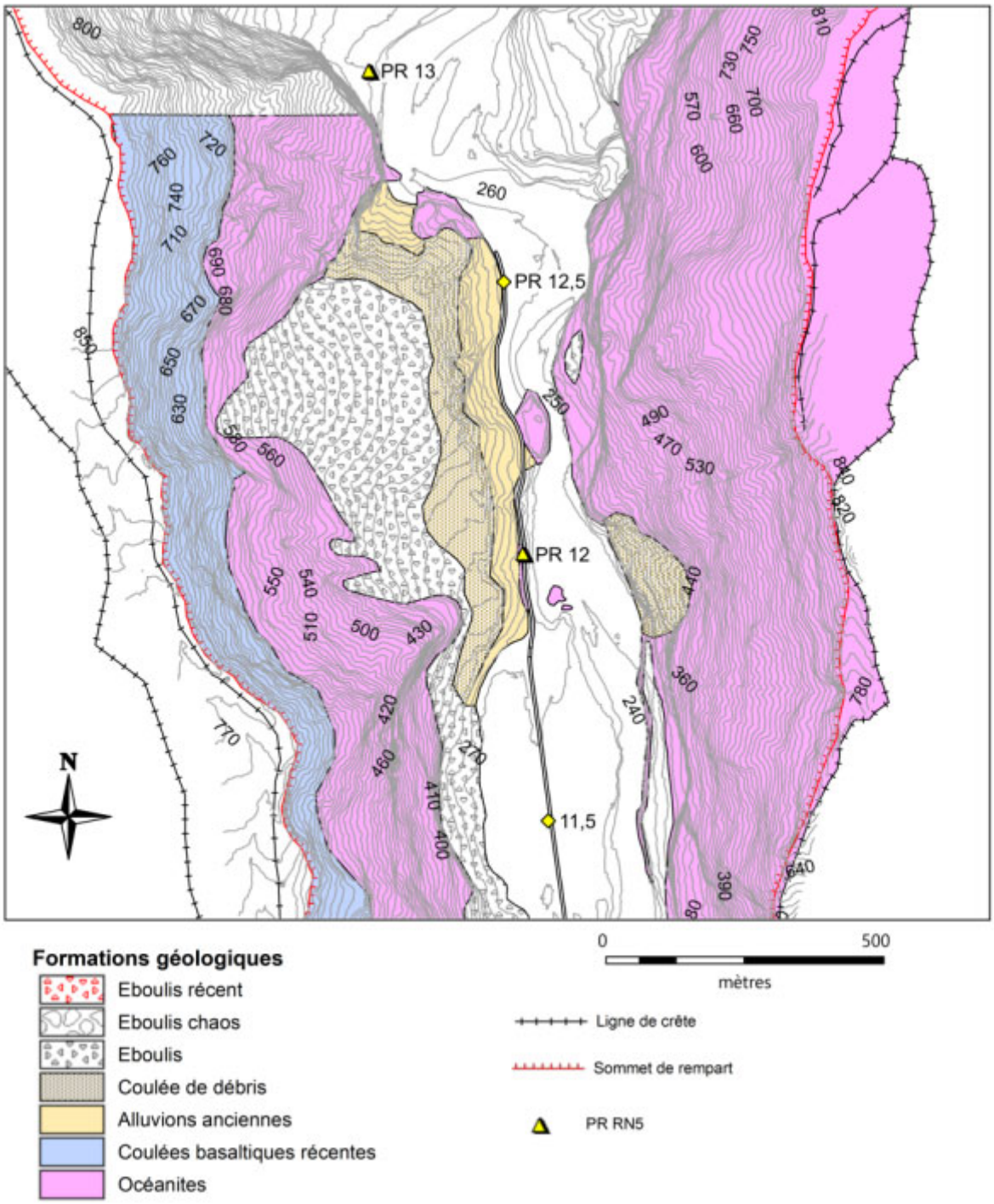


FIGURE 1 CARTE GEOLOGIQUE DU BRGM RECALEE DU TRONÇON ASP 2 RAMPE DE SABLES

CARTE GEOLOGIQUE BRGM 1/50000 RECALEE A PARTIR DES DONNEES LIDAR ET DES OBSERVATIONS HELIPORTEES, DE 2019

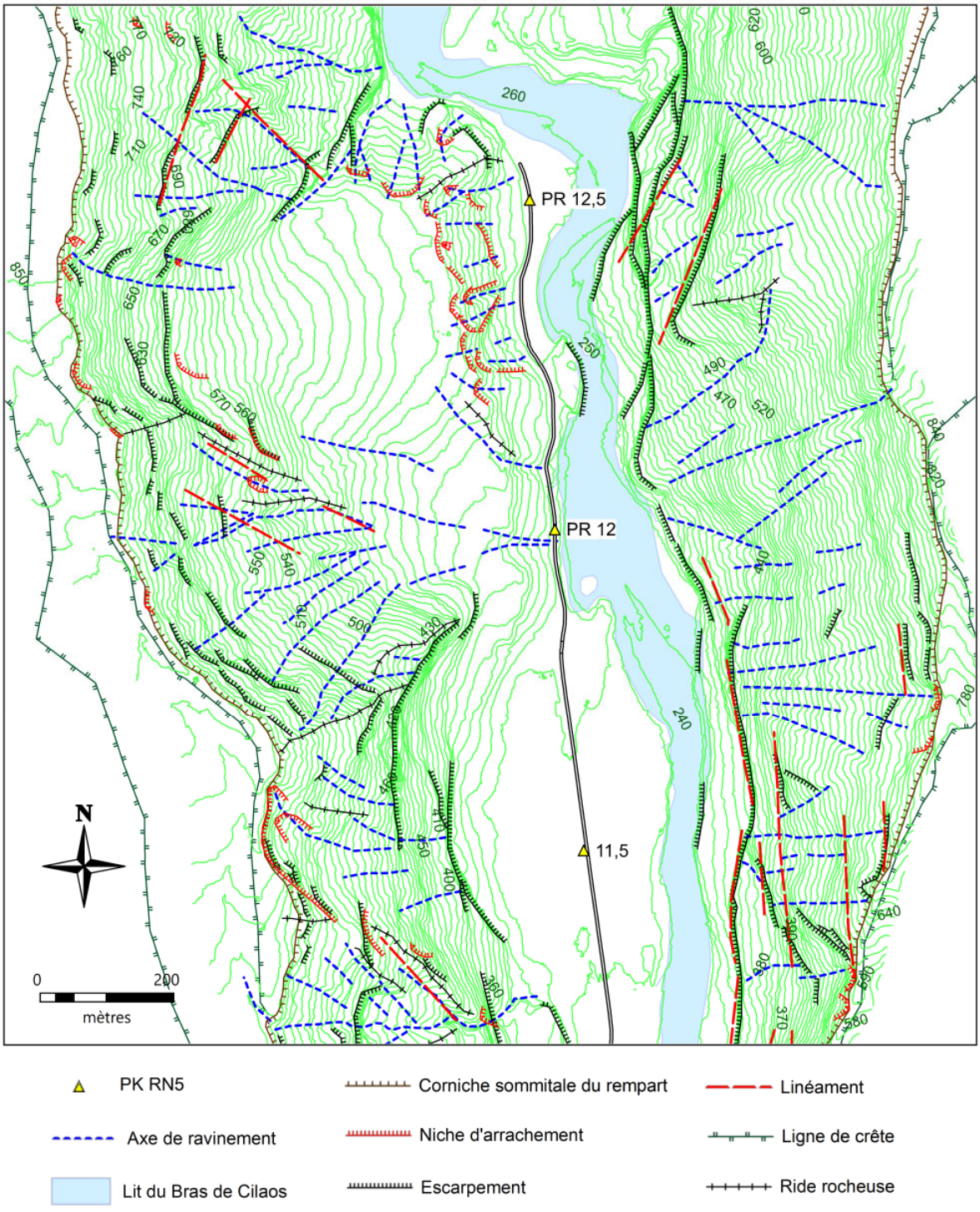


FIGURE 2 CARTE MORPHOLOGIQUE DU TRONÇON ASP 2 RAMPE DE SABLES

1.3 - Les mouvements de terrain

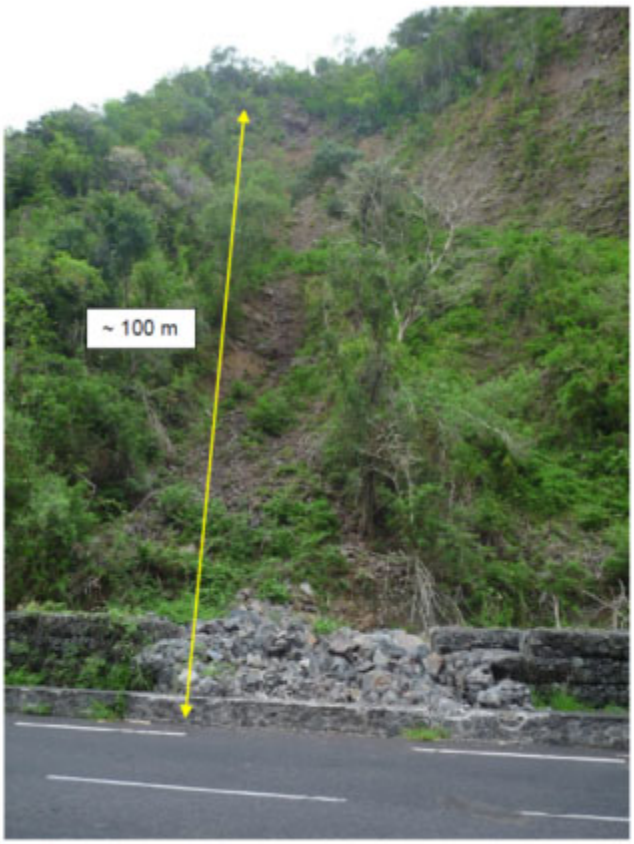
Bien qu'éloigné du rempart, ce tronçon est relativement exposé aux mouvements de terrain. La fréquence des événements recensés sur ce secteur est très élevée, de **1,7 N/hm** (évènement par hectomètre).

Les éboulements se produisent dans le versant alluvionnaire et brèchique dominant la route mais également dans le rempart amont, et dans la berge sous la route confortée en 2002.

En 1997, plusieurs blocs dont un bloc de 8 m^3 ont atteint la route au PR 11+700. Ce secteur a été également atteint par des blocs provenant du rempart lors du passage de Firinga en 1989 (rapport BRGM RP 51985-FR - 2002).

En mars 2006, lors du passage du cyclone Diwa, des chutes de blocs et des éboulements se sont produits dans le versant dominant la rampe des Sables, au PR12+300. Un bloc de 50 tonnes s'est détaché du haut du versant et a atterri dans la fosse construite en 2002, détériorant le mur en gabion.

Plus récemment lors du passage du cyclone Béjisa en janvier 2014, de gros blocs rocheux (plusieurs m^3) ont, de nouveau, fortement endommagé le mur en gabions. Certains blocs l'ont impacté directement et/ou lobé pour finir leur trajectoire dans le lit du Bras de Cilaos (rapport BRGM RP-65973-FR 2016).



Des purges sont régulièrement réalisées sur ce secteur sensible pour éliminer les blocs déchaussés par le ravinement par le ravinement.

PHOTOGRAPHIE 7 : DEGRADATION DU MUR AU GABION VERS LE PR12+300 A LA SUITE DE TRAVAUX DE PURGE EN 2016

Quant au rempart rive gauche, aucun évènement n'a été recensé sur le secteur.

Une niche d'arrachement a été observée en sommet de rempart rive gauche du PR12, lors des survols de janvier 2019. Il affecte les formations altérées sommitales.

PHOTOGRAPHIE 8 ; NICHE D'ARRACHEMENT AU SOMMET DU REMPART RIVE GAUCHE DE LA RAMPE DES SABLES, VERS LE PR12

Vues générales et de détails Rampes des sables PR11+800 à 12+200

REFERENCES

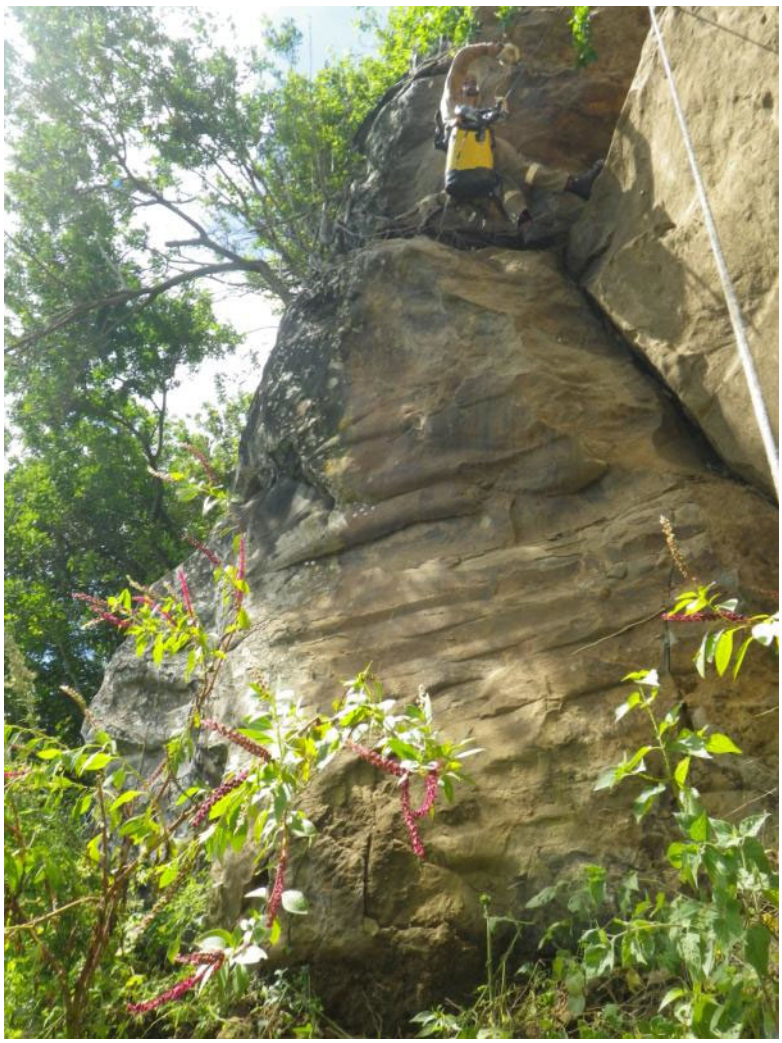
Photographie 1 : Rempart rive droite d'Ilet Cafres 1
Photographie 2 : Rempart en rive gauche de la Rampe des Sables 2
Photographie 3 : Géologie du rempart Rive Droite d'Ilet Cafres 3
Photographie 4 : coulées récentes au sommet du rempart d'Ilet Cafres 3
Photographie 5 : Coulées anciennes régulières injectées de sills et dykes 4
Photographie 6 : Versant incliné à 35° et coulées sommitales du rempart rive gauche de la Rampe des Sables 4
Photographie 7 : Dégradation du mur au gabion vers le PR12+300 à la suite de travaux de purge en 2016 7
Photographie 8 ; Niche d'arrachement au sommet du rempart rive gauche de la rampe des Sables, vers le PR12 8
Photographie 1 : Vue générale vers l'amont PR11+600 à 12+400 rive droite 10
Photographie 2 : Vue générale vers l'aval PR12+700 à 10+600 10
Photographie 3 : Vue générale vers l'amont PR12+000 à 12+600 rive gauche 11
Photographie 4 : Vue générale vers l'amont PR12+000 à 12+300 rive droite 12
Photographie 5 : Vue de détail des blocs plurimétrique au sein de la coulée massive en crête de rempart rive droite PR12+200 – aléa de rupture moyen à élevé 12
Photographie 6 : Vue de détail des blocs plurimétrique au sein de la coulée massive en crête de rempart rive droite PR12+200 – aléa de rupture moyen 13
Photographie 7 : Vue de détail des blocs plurimétrique au sein de la coulée massive en crête de rempart rive droite PR12+200 – aléa de rupture moyen à élevé 13
Photographie 8 : Vue de détail des blocs plurimétrique au sein des coulées massives hautes rive droite PR12+200 – aléa de rupture moyen à élevé 14
Photographie 9 : Vue de détail d'un bloc plurimétrique au sein d'une coulée massive en partie haute rive droite PR12+200 – aléa de rupture élevé 14
Photographie 10 : Vue de détail d'un bloc plurimétrique sous-cavé au sein d'une coulée massive en partie haute rive droite PR12+200 – aléa de rupture élevé 15

PHOTOGRAPHIE 9 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR11+600 A 12+400 RIVE DROITE

PHOTOGRAPHIE 10 : VUE GENERALE VERS L'AVAL PR12+700 A 10+600

PHOTOGRAPHIE 11 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR12+000 A 12+600 RIVE GAUCHE

PHOTOGRAPHIE 12 : VUE GENERALE VERS L'AMONT PR12+000 A 12+300 RIVE DROITE



PHOTOGRAPHIE 13 : VUE DE DETAIL DES BLOCS PLURIMETRIQUE AU SEIN DE LA COULEE MASSIVE EN CRETE DE REMPART RIVE DROITE PR12+200 – ALEA DE RUPTURE MOYEN A ELEVE

PHOTOGRAPHIE 14 : VUE DE DETAIL DES BLOCS PLURIMETRIQUE AU SEIN DE LA COULEE MASSIVE EN CRETE DE REMPART RIVE DROITE PR12+200 – ALEA DE RUPTURE MOYEN

PHOTOGRAPHIE 15 : VUE DE DETAIL DES BLOCS PLURIMETRIQUE AU SEIN DE LA COULEE MASSIVE EN CRETE DE REMPART RIVE DROITE PR12+200 – ALEA DE RUPTURE MOYEN A ELEVE

PHOTOGRAPHIE 16 : VUE DE DETAIL DES BLOCS PLURIMETRIQUE AU SEIN DES COULEES MASSIVES HAUTES RIVE DROITE PR12+200 – ALEA DE RUPTURE MOYEN A ELEVE

PHOTOGRAPHIE 17 : VUE DE DETAIL D'UN BLOC PLURIMETRIQUE AU SEIN D'UNE COULEE MASSIVE EN PARTIE HAUTE RIVE DROITE PR12+200 – ALEA DE RUPTURE ELEVE

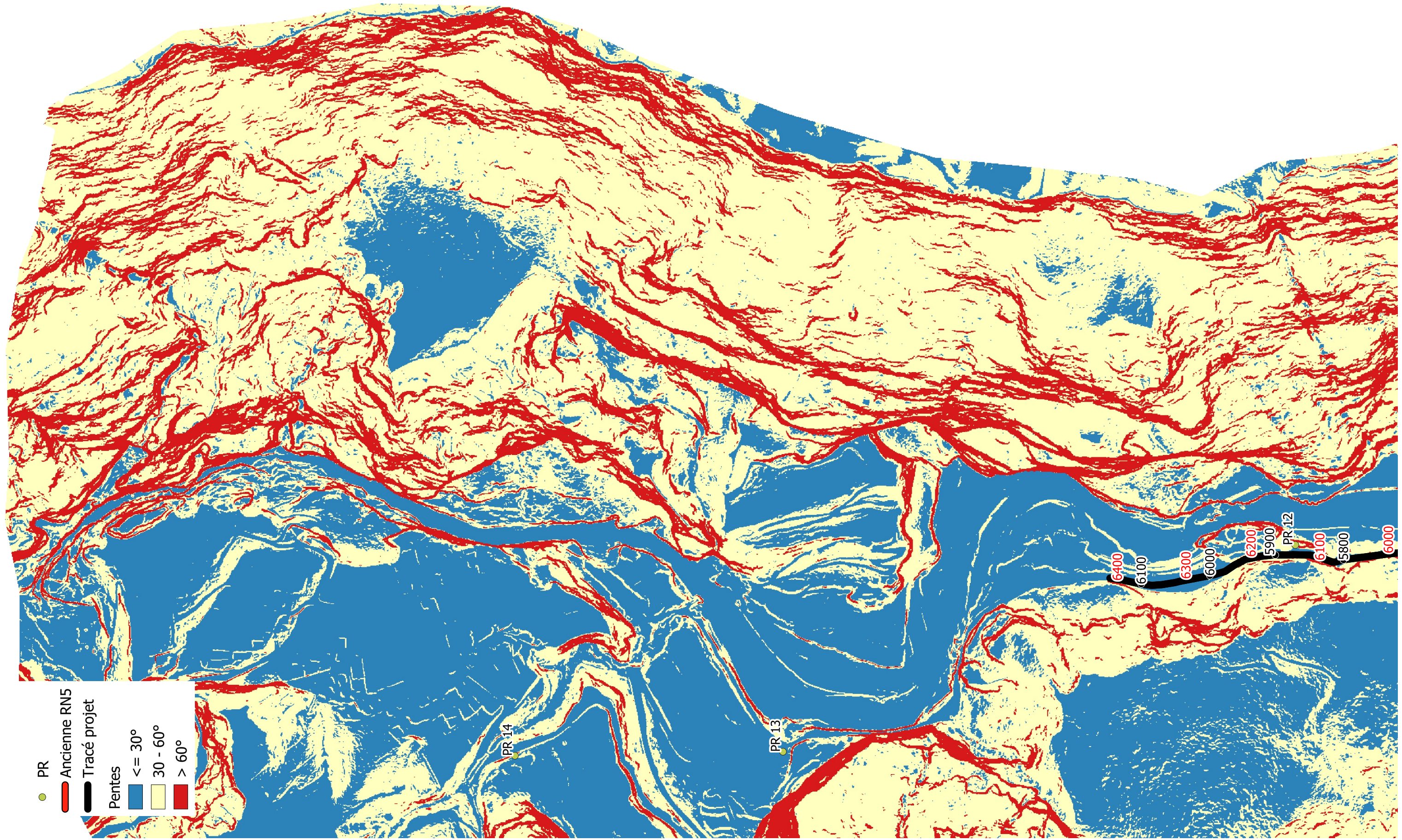
PHOTOGRAPHIE 18 : VUE DE DETAIL D'UN BLOC PLURIMETRIQUE SOUS-CAVE AU SEIN D'UNE COULEE MASSIVE EN PARTIE HAUTE RIVE DROITE PR12+200 – ALEA DE RUPTURE ELEVE

ANNEXE 2

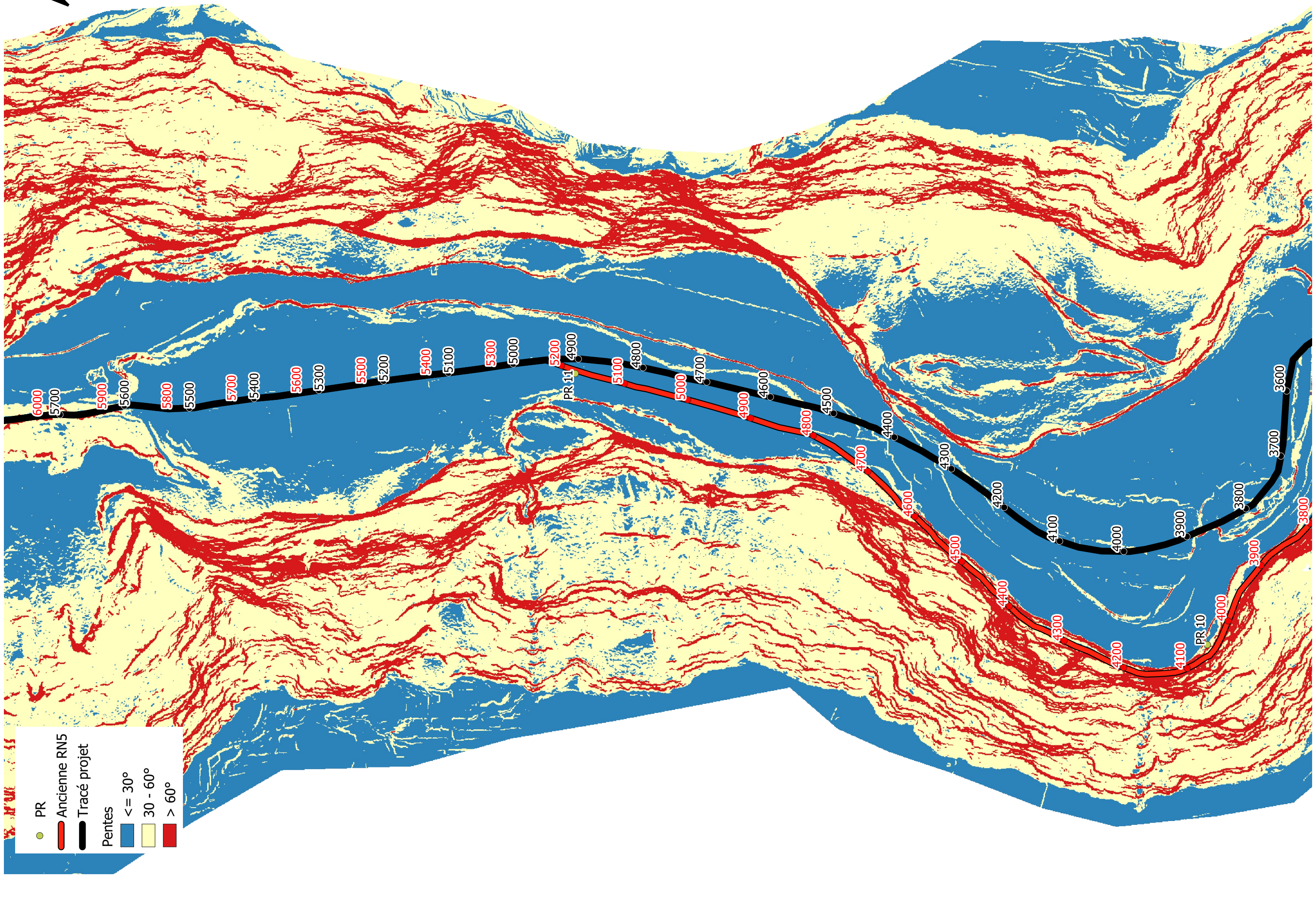
Carte des pentes issue du levé Lidar Sintégra – 2018

PR
Ancienne RN5
Tracé projet
Pentes
<= 30°
30 - 60°
> 60°
PR 15
PR 14
PR 13
6400
6100
6300
6000
6200
5900
PR 12
6100
5800
6000
1:5000
Page 1

1:5000


PR
Ancienne RN5
Tracé projet
Pentes
<= 30°
30 - 60°
> 60°
PR 14
PR 13
PR 12
6400
6100
6300
6000
6200
5900
6100
5800
6000

1:5000


PR
Ancienne RN5
Tracé projet
Pentes
<= 30°
30 - 60°
> 60°
PR 10
PR 11
6000
5700
5900
5600
5800
5500
5700
5400
5600
5300
5500
5200
5400
5100
5300
5000
5200
4900
5100
4800
5000
4700
4900
4600
4800
4500
4700
4400
4600
4300
4500
4200
4400
4100
4300
4000
4200
3900
4100
3800
4000
3700
3900
3600
3800

PR
Ancienne RN5
Tracé projet
Pentes
<= 30°
30 - 60°
> 60°
PR 10
PR 9
PR 8
3800
3700
3600
3500
3400
3300
3200
3100
3000
2900
2800
2700
2600
2500
2400
2300
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1:5000
Page 4

PR
Ancienne RN5
Tracé projet
Pentes
<= 30°
30 - 60°
> 60°
1:5000
PR 8
PR 7
PR 6
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
1200
1300
1400
1500
1600
1700
1800
1900
2000
2100
2200
2300
2400
2500
2600
Page 5

ANNEXE 3

Cartographie des types de sols utilisés dans modélisation Rockyfor3D

N

1:5 000

PR

Tracé projet

Ancienne RN5

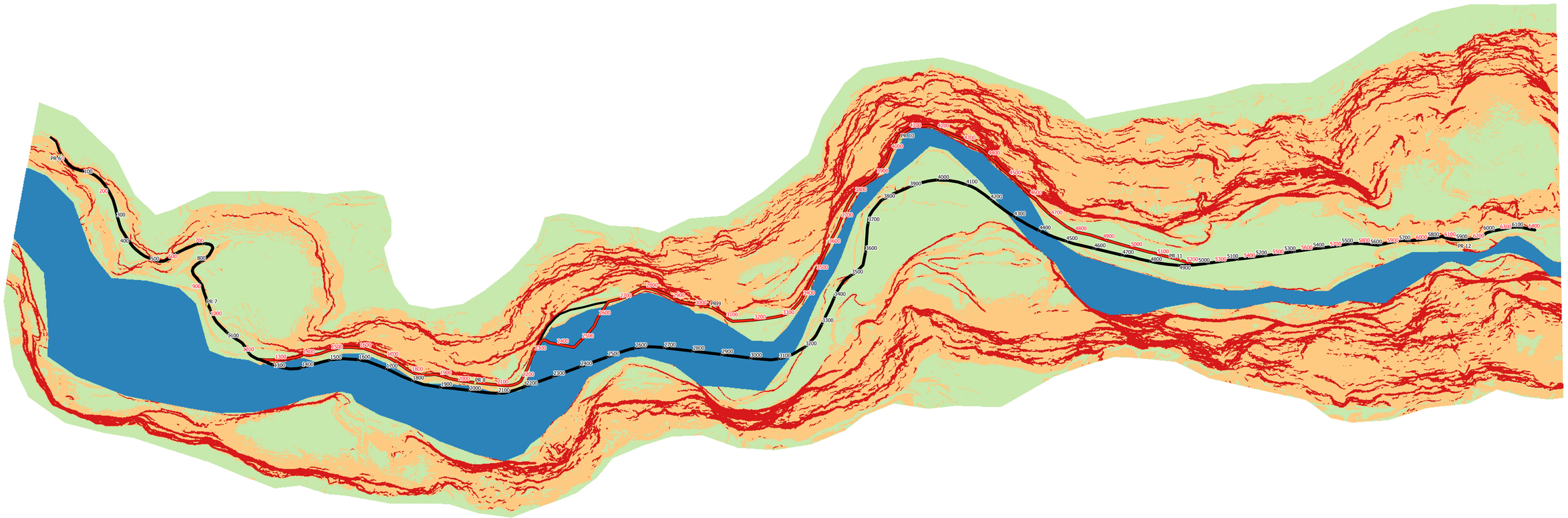
Types de sols

Sol fin, profondeur < 1 m

Pente de talus (Ø blocs supérieur à 10 cm)

Roche mère avec fin couvert de matériau altéré / sol

Roche mère à nu (zones de départ)



ANNEXE 4

Carte des aléas de propagation

N

1:5 000

PR

Aléa résultant sur route

Très élevé

Élevé

Moyen

Très faible

Probabilité d'atteinte - « Reach_probability »

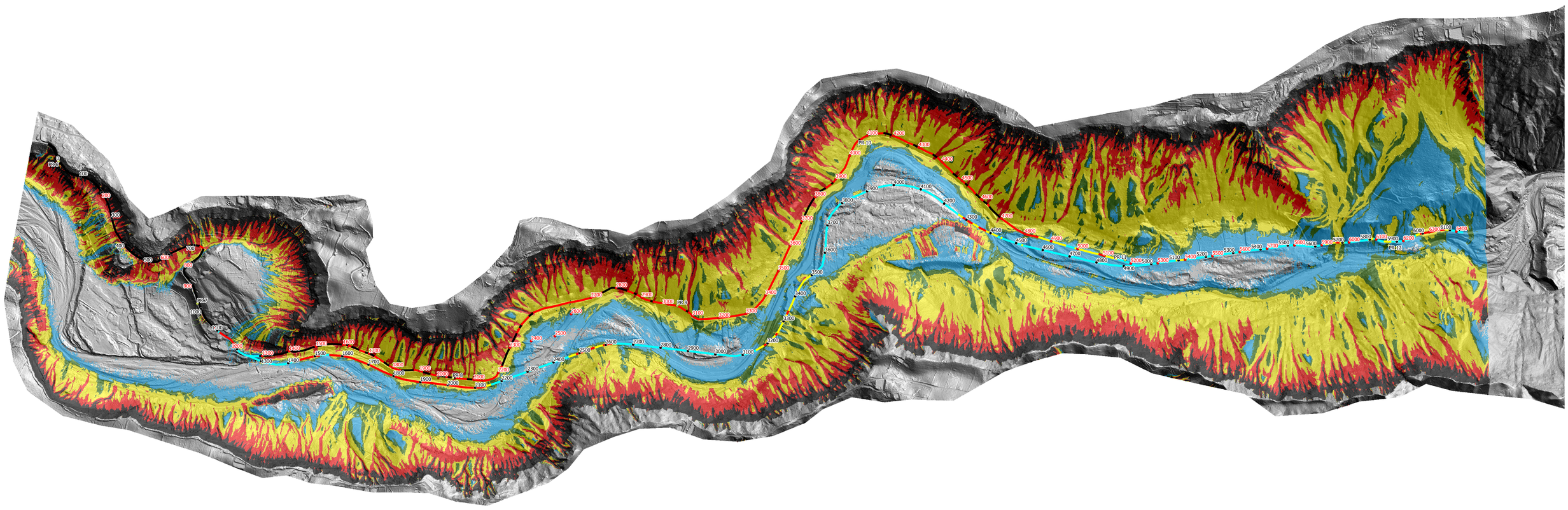
Très faible

Faible

Moyen

Élevé

Très élevé



ANNEXE 5

Atlas des aléas résultants au niveau de la RN5 et du tracé projet APSIQ 2010

N

1:5 000

PR

Aléa résultant sur route

Très élevé

Élevé

Moyen

Très faible

Reach_probability

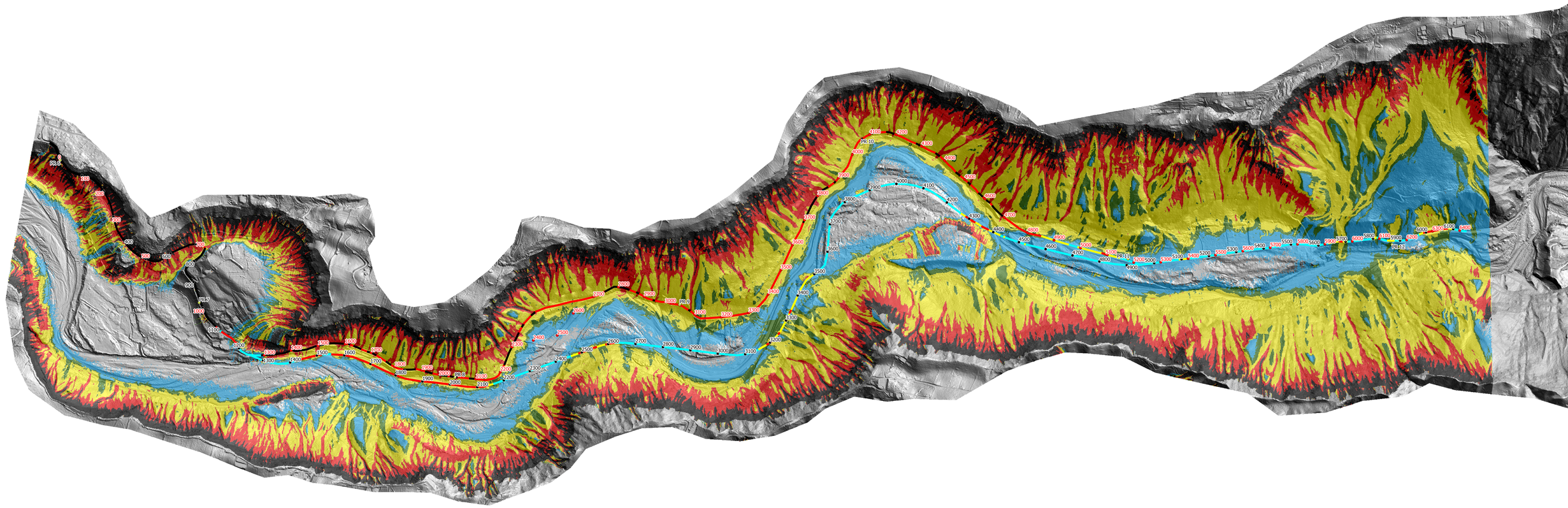
Très faible

Faible

Moyen

Élevé

Très élevé



Légende

- PR RN05 actuelle
- Projet RN

Aléa résultant

- Très élevé
- Élevé
- Moyen
- Faible
- Très faible

PR 15

PR 14

PR 13

PR 12

1:5000

Légende

PR RN05 actuelle

Projet RN

Aléa résultant

Très élevé

Élevé

Moyen

Faible

Très faible

PR 14

PR 13

PR 12

1:5000

Légende

PR RN05 actuelle

Projet RN

Aléa résultant

Très élevé

Élevé

Moyen

Faible

Très faible

PR 11

PR 10

1:5000

Légende

PR RN05 actuelle

Projet RN

Aléa résultant

Très élevé

Élevé

Moyen

Faible

Très faible

PR 9

PR 8

1:5000

Légende

- PR RN05 actuelle
- Projet RN

Aléa résultant

- Très élevé
- Élevé
- Moyen
- Faible
- Très faible

1:5000

PR 8

PR 7

PR 6

ANNEXE 6

Pièces Graphiques APSIQ 2010

REGION REUNION

ETUDES D'APSI QUALITATIF DE LA RN 5

DANS SA SECTION COMPRISE ENTRE LA RIVIERE ST-LOUIS ET CILAOS

PHASE 3 : Avant-projet Sommaire des aménagements retenus

SECTION 1 : ROUTE DIGUE

Pièces graphiques

Groupement ARCADIS, ECEP et SECMO

Emetteur	Mission	Phase / cat	Type	Doc	indice	Date
AFR	APSI	PH3	SE1	DG01	A	Juin 2010

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A01	Mai 2010	Première diffusion	ECR	GTE	OGI
A	Juin 2010	Edition finale	ECR	GTE	OGI

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».

Document protégé, propriété exclusive de l'auteur.
Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée

VUE EN PLAN ET PROFIL EN LONG

Ecran de filets dynamiques

1
2
2-1
2-2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

N

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

Section 1 - Route digue

Vue en plan 1/2

Echelle : 1/2000

Ecran de filets dynamiques

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24

N

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

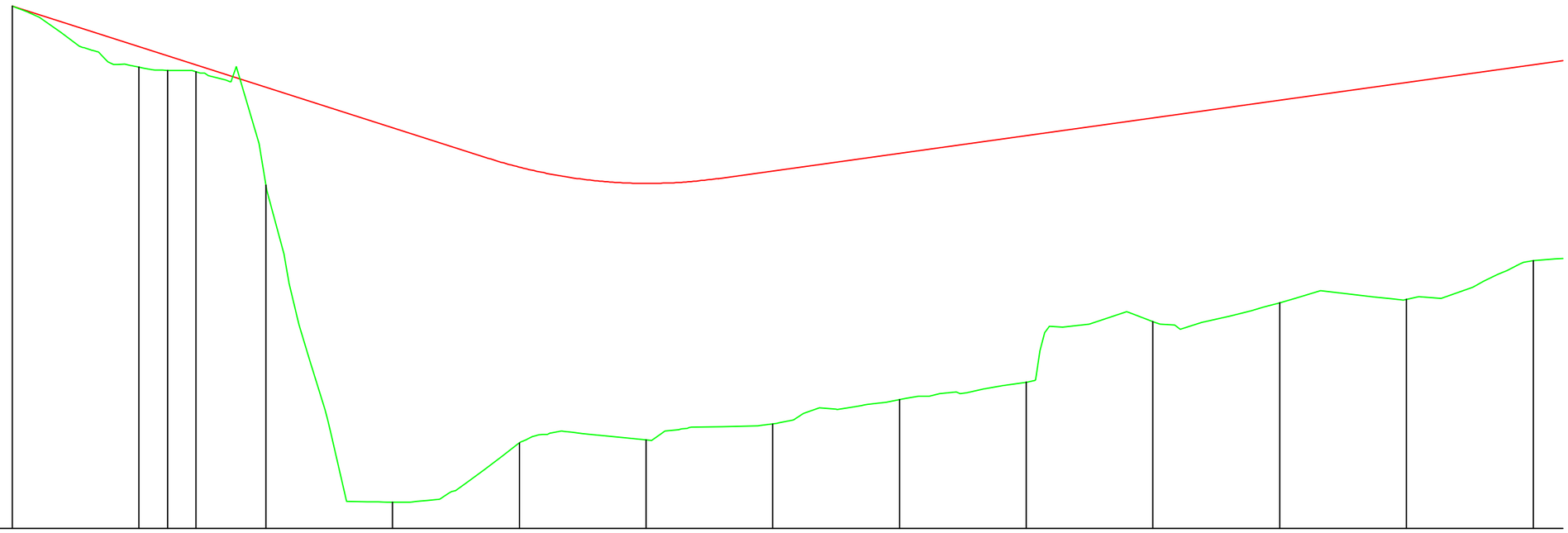
S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

Section 1 - Route digue

Vue en plan 2/2

Echelle : 1/2000



Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/200

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	1	2	2-1	2-2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Altitudes TN	176.61	174.21	174.08	174.02	169.55	157.04	159.37	159.49	160.13	161.08	161.78	164.16	164.91	165.05	166.57
Altitudes Projet	176.61	175.01	174.65	174.29	173.41	171.82	170.26	169.62	170.11	170.81	171.51	172.21		173.60	174.30
Ecarts TN - Projet	0.00	-0.80	-0.58	-0.27	-3.87	-14.77	-10.89	-10.13	-9.99	-9.73	-9.73	-9.04	-8.00	-8.56	-7.73
Distances partielles		50.00	11.25	11.25	27.50	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Distances cumulées	0.00	50.00	61.25	72.50	100.00	150.00	200.00	250.00	300.00	350.00	400.00	450.00	500.00	550.00	600.00
Pentes et rampes		PENTE L = 186.82 m P = -3.20 %					RP = 2000.00 L = 91.84			RAMPE L = 412.53 m P = 1.40 %					
Alignements droits et courbes		DROITE L = 26.81 m	ARC R = 60.00 m L = 41.06 m		DROITE L = 56.70 m	CLOTHOIDE A = 69.90 L = 40.72 m	ARC R = 120.00 m L = 35.97 m	CLOTHOIDE A = -69.90 L = 40.72 m	DROITE L = 38.20 m	CLOTHOIDE A = -126.50 L = 57.15 m	ARC R = 280.00 m L = 143.18 m		CLOTHOIDE A = 126.50 L = 57.15 m	DROITE L = 26.49 m	CLOTHOIDE A = 147.88 L =
Dévers gauche	2.50 %	4.61 %	4.61 %	3.54 %	2.50 %	2.50 %	3.22 %	2.50 %	0.77 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-0.79 %	2.50 %	2.50 %
Dévers droit	-1.57 %	4.61 %	4.61 %	3.54 %	-2.50 %	1.07 %	3.22 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	0.37 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

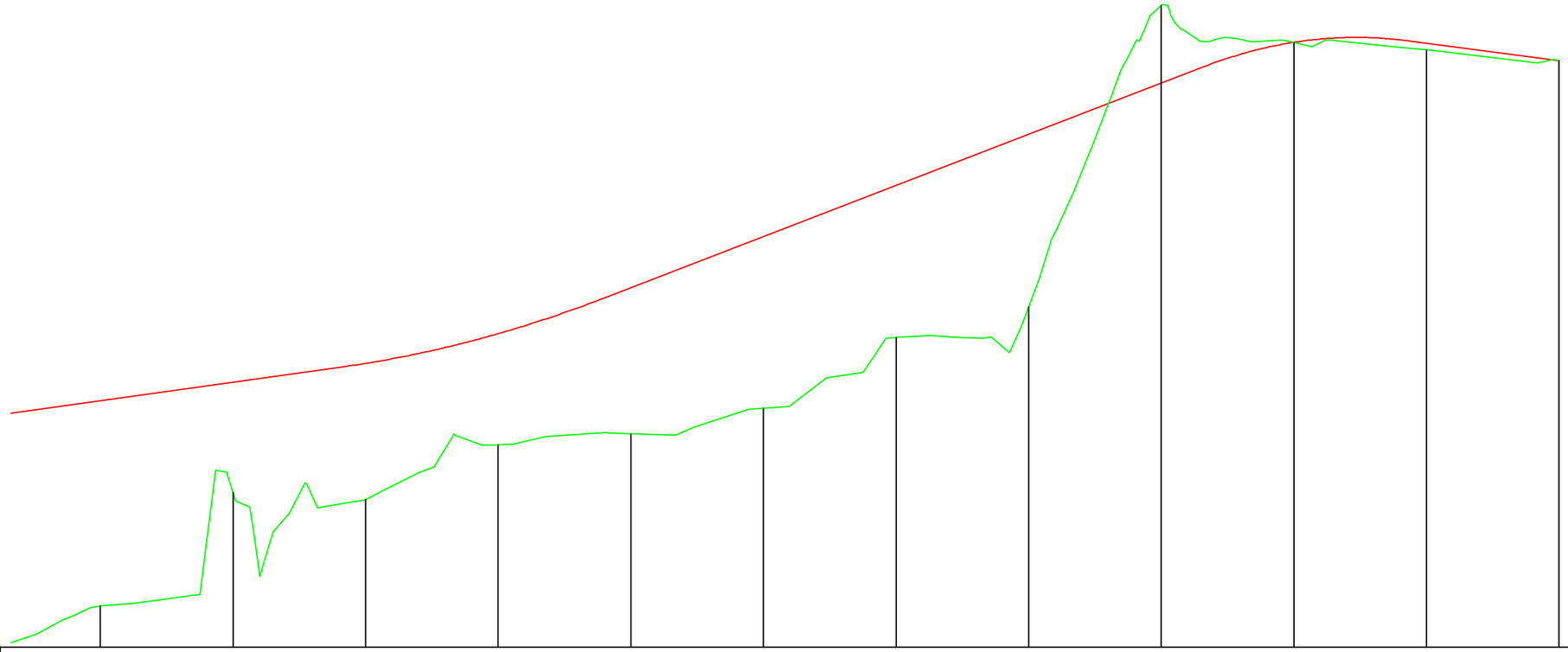
ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

Section 1 - Route digue

Profil en long 1/2



Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/200

PC : 165.00 m

Numéro de profils en travers	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Altitudes TN	166.57	170.85	170.58	172.64	173.06	174.02	176.69	177.94	189.21	187.80	187.53	187.12
Altitudes Projet	174.30	175.00		176.83	178.56	180.49	182.42	184.35	186.28		187.78	187.12
Ecarts TN - Projet	-7.73	-4.16	-5.13	-4.19	-5.50	-5.48	-5.74	-6.51	2.93	-0.01	-0.25	-0.00
Distances partielles	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Distances cumulées	600.00	650.00	700.00	750.00	800.00	850.00	900.00	950.00	1000.00	1050.00	1100.00	1150.00
Pentes et rampes			RP = 4000.00 L = 98.45		RAMPE L = 226.01 m P = 3.86 %					RP = -1500.00 L = 77.62	PENTE L = 56.73 m P = -1.32 %	
Alignements droits et courbes	CLOTHOIDE A = 147.88 L = 62.49 m	ARC R = 350.00 m L = 53.40 m	CLOTHOIDE A = -147.88 L = 62.49 m	DROITE L = 145.46 m			CLOTHOIDE A = 65.77 L = 39.33 m	ARC R = 110.00 m L = 98.54 m		CLOTHOIDE A = -65.77 L = 39.33 m	DROITE L = 84.84 m	
Dévers gauche	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	3.35 %	3.35 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %
Dévers droit	0.37 %	2.50 %	0.90 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-0.71 %	3.35 %	3.35 %	-0.24 %	-2.50 %	-2.50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

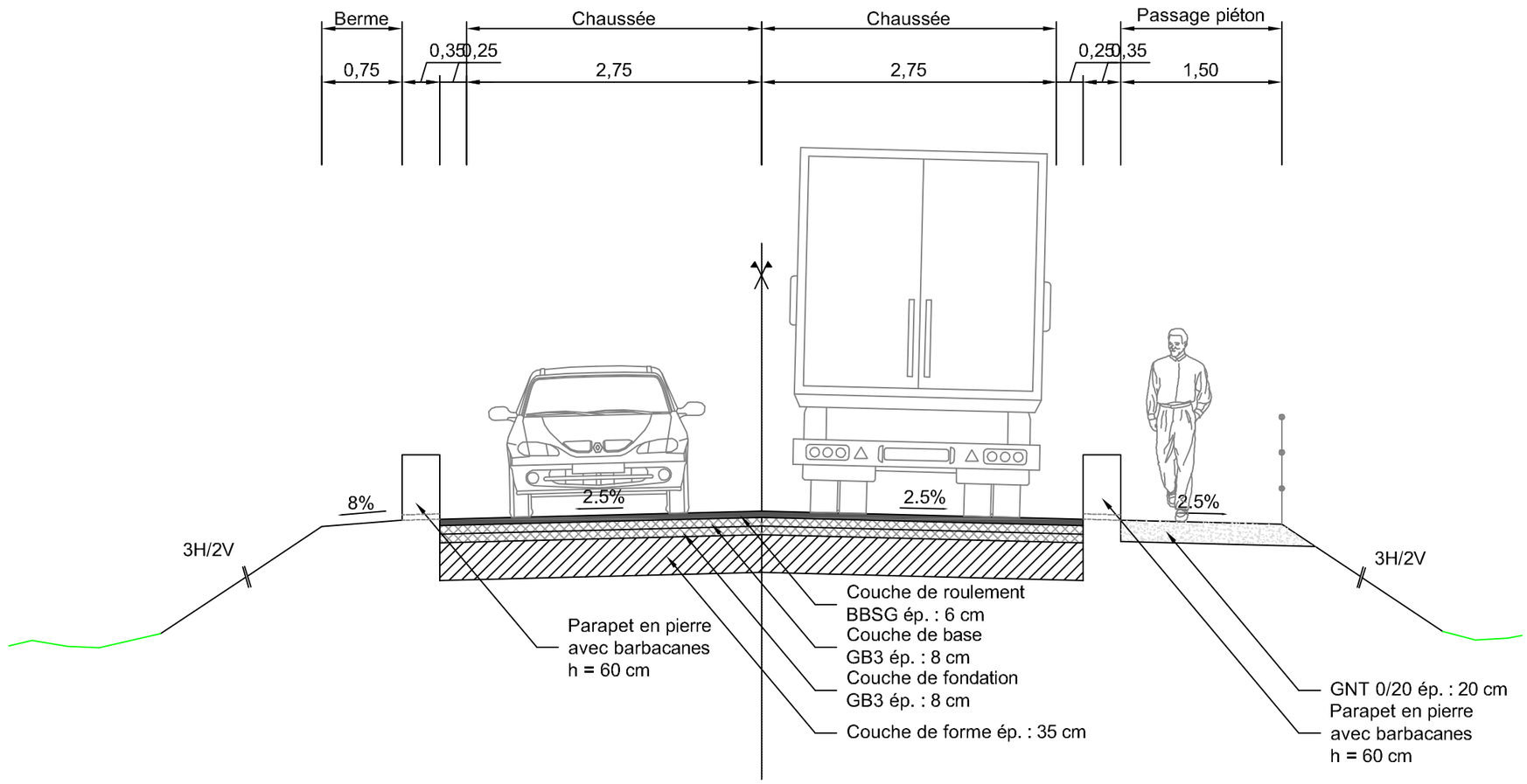
ECEP

S.E.C.M.O.

Section 1 - Route digue

Profil en long 2/2

PROFILS EN TRAVERS



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

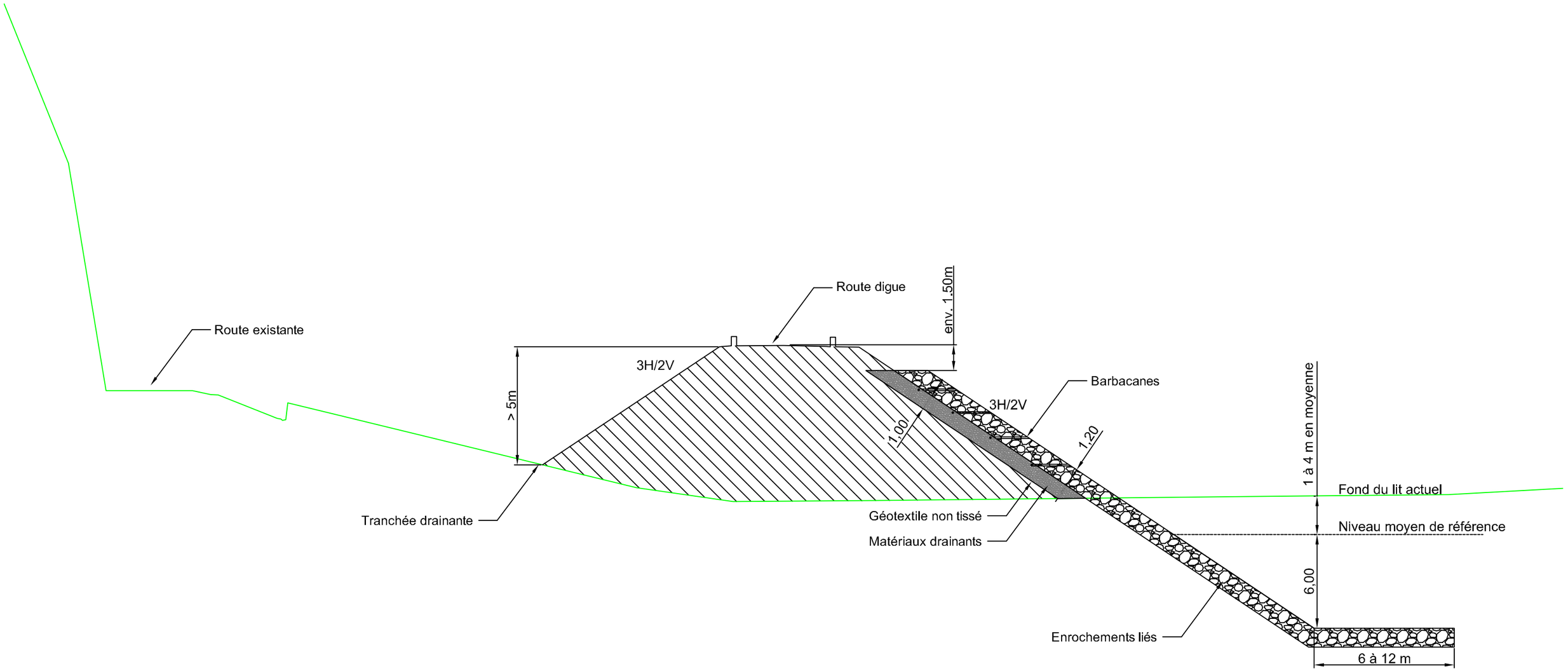
ECEP

S.E.C.M.O.

Section 1 - Route digue

Profil en travers type

Echelle : 1/50



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

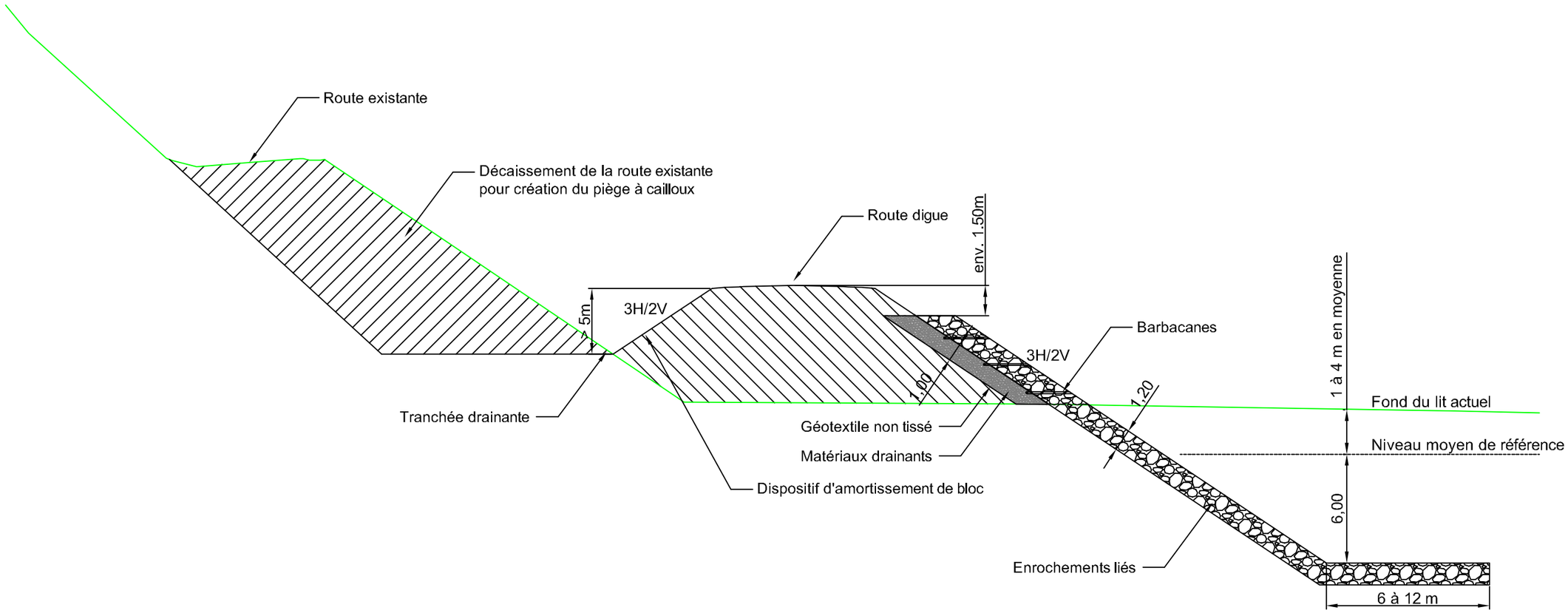
ECEP

S.E.C.M.O.

Section 1 - Route digue

Profil en travers particulier (PT7)

Echelle : 1/250



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

Section 1 - Route digue

Profil en travers particulier (PT18)

Echelle : 1/250

REGION REUNION

ETUDES D'APSI QUALITATIF DE LA RN 5

DANS SA SECTION COMPRISE ENTRE LA RIVIERE ST-LOUIS ET CILAOS

PHASE 3 : Avant-projet Sommaire des aménagements retenus

SECTION 2 : CONTOURNEMENT D'ILET ROND ET ILET FURCY

Pièces graphiques

Groupement ARCADIS, ECEP et SECMO

Emetteur	Mission	Phase / cat	Type	Doc	indice	Date
AFR	APSI	PH3	SE2	DG01	A	Juin 2010

Indice	Date	Objet de l'édition/révision	Etabli par	Vérifié par	Approuvé par
A01	Mai 2010	Première diffusion	OJA / ECR	MBO / GTE	OGI
A	Juin 2010	Edition finale	OJA / ECR	MBO / GTE	OGI

Il est de la responsabilité du destinataire de ce document de détruire l'édition périmée ou de l'annoter « Edition périmée ».

Document protégé, propriété exclusive de l'auteur.
Ne peut être utilisé ou communiqué à des tiers à des fins autres que l'objet de l'étude commandée

VUE EN PLAN ET PROFIL EN LONG

N

Ecran de gabions
(L = 135m / h = 3 à 5m)

C0

C8

C0

OA1 - Ouvrage Bas du Ruisseau

Le Bas du Ruisse

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Vue en plan 1/4

Echelle : 1/2000

Mur de soutènement

Passerelle à remplacer ou
à doubler par ouvrage neuf

Mur de soutènement

Ecran de gabions
(L = 135m / h = 3 à 5m)

C0

C14

P9

OA2 - Ouvrage d'Ilet Rond

s du Ruisseau

ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Vue en plan 2/4

Echelle : 1/2000

RN N°5

Bras de Cilaos

Ilet Furcy

Mur de soutènement

C0

Fermeture de l'ilet par un merlon

N

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Vue en plan 3/4

Echelle : 1/2000

ARCADIS

REGION REUNION

ECEP

S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

OA3 - Ouvrage Furcy

Fermeture de l'ilet par un merlon

Merlon (h = 3 à 5m)

C0

C7

N

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Vue en plan 4/4

Echelle : 1/2000

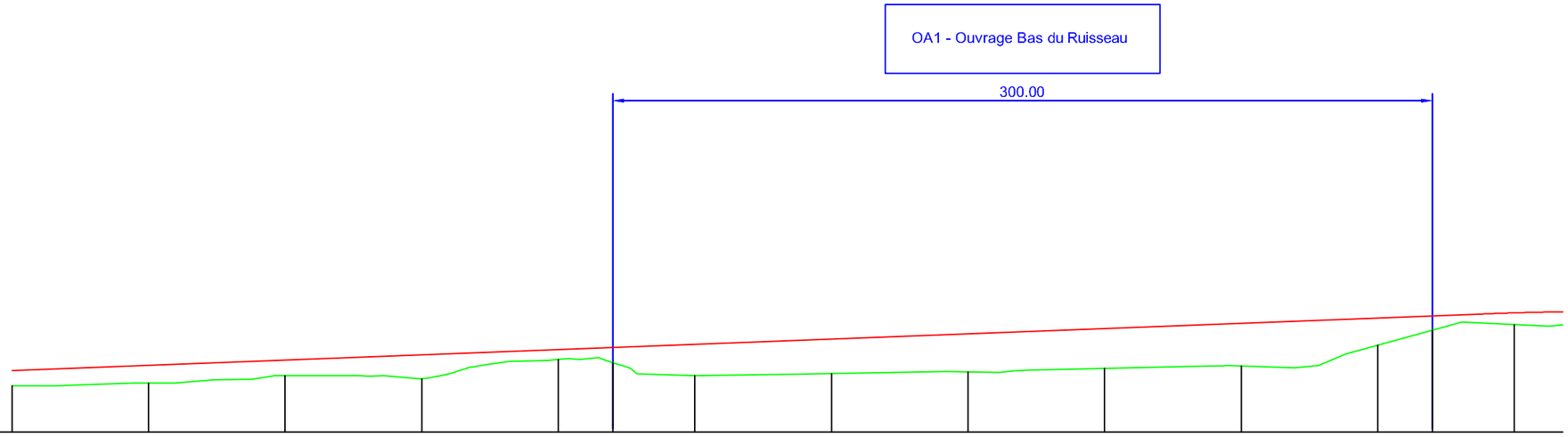
REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts



Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/2000

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	1	2	3	4	5	5-1	6	7	8	9	10	11	11-1	12
Altitudes TN	173,06	174,02	176,89	175,49	182,71	181,42	176,72	177,43	178,12	179,36	180,25	187,86	193,34	196,39
Altitudes Projet	178,56	180,49	182,42	184,35	186,28	187,05	188,21	190,14	192,07	194,00	195,92	197,85	198,62	199,73
Ecarts TN - Projet	-5,50	-6,48	-5,73	-8,86	-3,57	-5,63	-11,49	-12,70	-13,95	-14,63	-15,68	-9,99	-5,29	-4,33
Distances partielles		50,00	50,00	50,00	50,00	20,00	30,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	20,00	30,00
Distances cumulées	0,00	50,00	100,00	150,00	200,00	220,00	250,00	300,00	350,00	400,00	450,00	500,00	520,00	550,00
Pentes et rampes	RAMPE L = 537,12 m P = 3,86 %													
Alignements droits et courbes	DROITE L = 85,78 m	CLOTHOIDE A = 81,72 L = 44,52 m	ARC R = 150,00 m L = 24,65 m	CLOTHOIDE A = -81,72 L = 44,52 m	DROITE L = 368,01 m									
Dévers gauche	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,94 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %
Dévers droit	-2,50 %	-2,50 %	-0,76 %	2,94 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

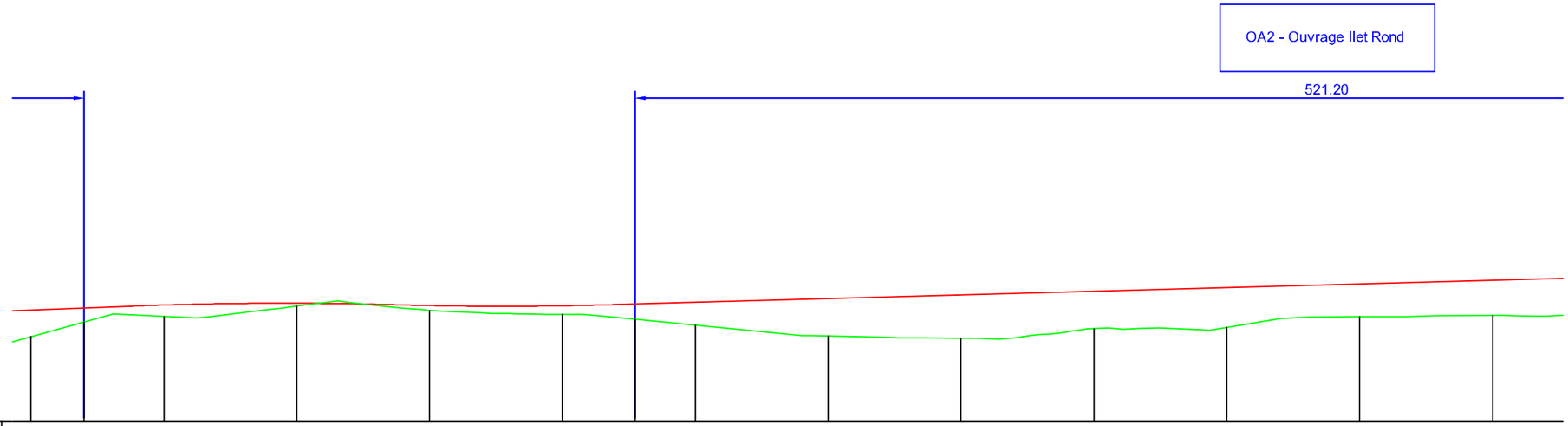
S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en long 1/6

Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/2000



PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	11	11-1	12	13	14	15	15-1	16	17	18	19	20	21	22
Altitudes TN	187.86	193.34	195.39	199.31	197.74	196.24	194.35	192.14	188.13	187.21	190.86	191.35	195.35	195.84
Altitudes Projet	197.85	198.62	199.73	200.39	199.52		200.06	200.69	202.08	203.46	204.85	206.23	207.61	209.00
Ecarts TN - Projet	-9.99	-5.29	-4.33	-1.08	-1.77	-3.19	-5.71	-8.55	-13.95	-16.25	-13.99	-14.88	-12.26	-13.16
Distances partielles		20.00	30.00	50.00	50.00	50.00	27.27	22.73	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.0
Distances cumulées	500.00	520.00	550.00	600.00	650.00	700.00	727.27	750.00	800.00	850.00	900.00	950.00	1000.00	1050.00	
Pentes et rampes			RP = -1500.00 L = 99.18		RP = 1500.00 L = 82.84			RAMPE L = 575.60 m P = 2.77 %							
Alignements droits et courbes			CLOTHOIDE A = -110.23 L = 52.83 m	ARC R = 230.00 m L = 53.05 m	CLOTHOIDE A = 110.23 L = 52.83 m			DROITE L = 342.20 m							
Dévers gauche	2.50 %	2.50 %	2.50 %	-0.61 %	-2.56 %	-0.01 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	
Dévers droit	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.56 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	0.76 %	

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

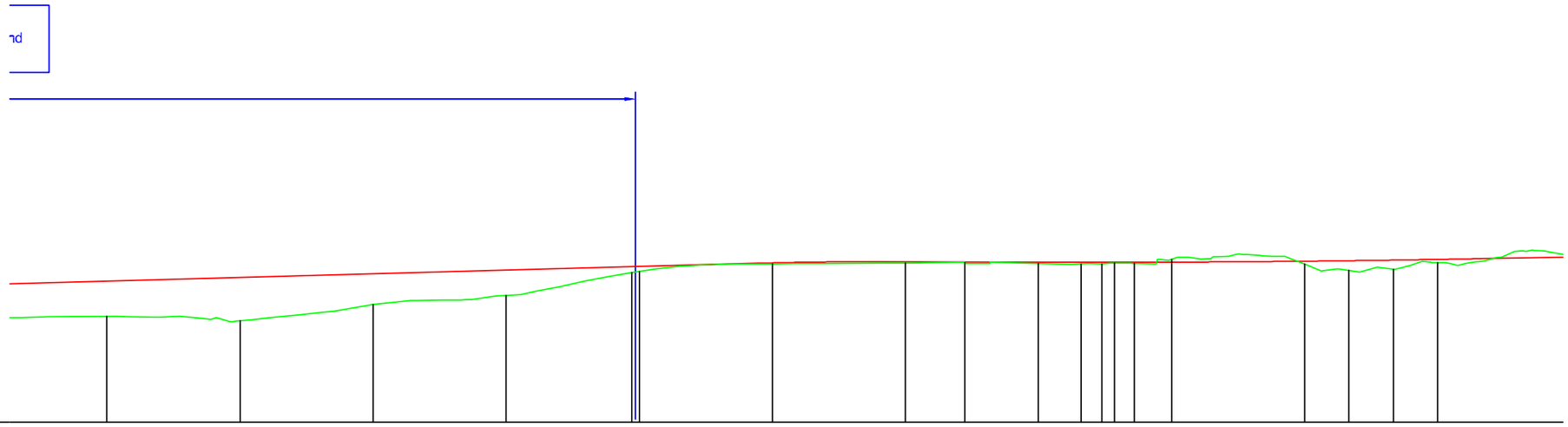
ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en long 2/6



Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/2000

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	22	23	24	25	25-1	25-2	26	27	28	28-1	29	29-1	29-2	29-3	29-4	30	31	31-1	31-2	32
Altitudes TN	196.84	194.16	200.33	203.67	213.31	212.70		216.86	216.79	216.03	216.89	216.50	216.53	216.80	216.85	217.22	216.42	213.05	213.45	215.94
Altitudes Projet	209.00	210.38	211.77	213.15	214.46	214.53		215.91	216.31	216.24	216.15	216.13	216.13	216.13	216.15	216.19	216.54	216.73	216.96	217.21
Ecarts TN - Projet	-13.16	-16.23	-11.44	-9.48	-2.15	-1.84		-0.34	-0.52	-0.20	-0.46	-0.63	-0.60	-0.34	-0.50	1.03	-1.12	-3.68	-3.51	-1.27
Distances partielles	50.00	50.00	50.00	50.00	47.27	2.73	50.00	50.00	22.28	27.72	16.09	7.78	4.72	7.40	14.01	50.00	16.67	16.67	16.67	50.00
Distances cumulées	1050.00	1100.00	1150.00	1200.00	1247.27	1250.00	1300.00		1350.00	1372.28	1400.00	1416.09	1423.87	1428.59	1435.99	1450.00	1500.00	1516.67	1533.33	1550.00
Pentes et rampes	P = 2.77 %							RP = -1500.00 L = 46.53	PENTE L = 50.24 m P = -0.33 %		RP = 8000.00 L = 174.53									
Alignements droits et courbes	ARC R = 200.00 m L = 250.73 m								DROITE L = 148.04 m								ARC R = 80.00 m L = 44.80 m	DROITE L = 23.93 m	CLOTHOIDE A = 43.03 L = 30.86 m	ARC R = 60.00 m L = 24.13 m
Dévers gauche	2.50 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %		2.67 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	1.86 %	-0.74 %	-3.92 %	-2.65 %	1.81 %	2.50 %
Dévers droit	0.76 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %		2.67 %	-0.53 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-3.92 %	-2.65 %	-2.50 %	-1.30 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

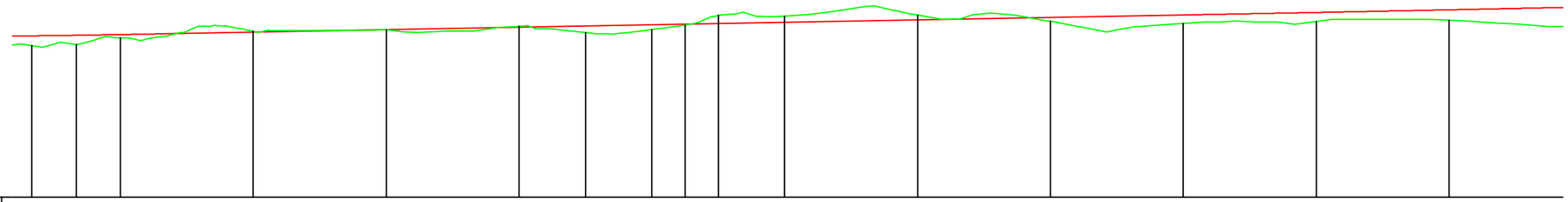
S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en long 3/6

Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/2000



PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	31-1	31-2	32	33	34	35	35-1	36	36-1	36-2	37	38	39	40	41	42
Altitudes TN	213.05	213.45	216.94	218.49	219.03	220.36	218.03	219.05	220.77	224.42	224.20	224.55	222.24	221.45	222.15	222.58
Altitudes Projet	216.73	216.96	217.21		219.04	219.97	220.43	220.89	221.12	221.35	221.82		223.66	224.59	225.53	226.53
Ecarts TN - Projet	-3.68	-3.51	-1.27	0.37	-0.01	0.39	-2.40	-1.85	-0.35	3.07	2.38	1.82	-1.42	-3.14	-3.38	-3.95
Distances partielles	67	16.67	16.67	50.00	50.00	50.00	25.00	25.00	12.50	12.50	25.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Distances cumulées	1516.67	1533.33	1550.00	1600.00	1650.00	1700.00	1725.00	1750.00	1762.50	1775.00	1800.00	1850.00	1900.00	1950.00	2000.00	2050.00
Pentes et rampes				RAMPE L = 386.73 m P = 1.85 %											RP = 50000.	
Alignements droits et courbes	DROITE L = 23.93 m	CLOTHOIDE A = 43.03 L = 30.86 m	ARC R = 60.00 m L = 24.13 m	CLOTHOIDE A = -43.03 L = 30.86 m	DROITE L = 77.61 m	CLOTHOIDE A = -69.90 L = 40.72 m	ARC R = 120.00 m L = 89.88 m			CLOTHOIDE A = 69.90 L = 40.72 m	DROITE L = 41.76 m	CLOTHOIDE A = -116.85 L = 54.62 m			ARC R = 250.00 m L = 216.	
Dévers gauche	-2.65 %	1.81 %	2.50 %	2.51 %	2.50 %	2.41 %	-1.10 %	-3.22 %	-3.22 %	-3.22 %	-3.22 %	-0.41 %	2.50 %	-0.04 %	-2.50 %	-2.50 %
Dévers droit	-2.65 %	-2.50 %	-1.30 %	2.51 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-3.22 %	-3.22 %	-3.22 %	-3.22 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

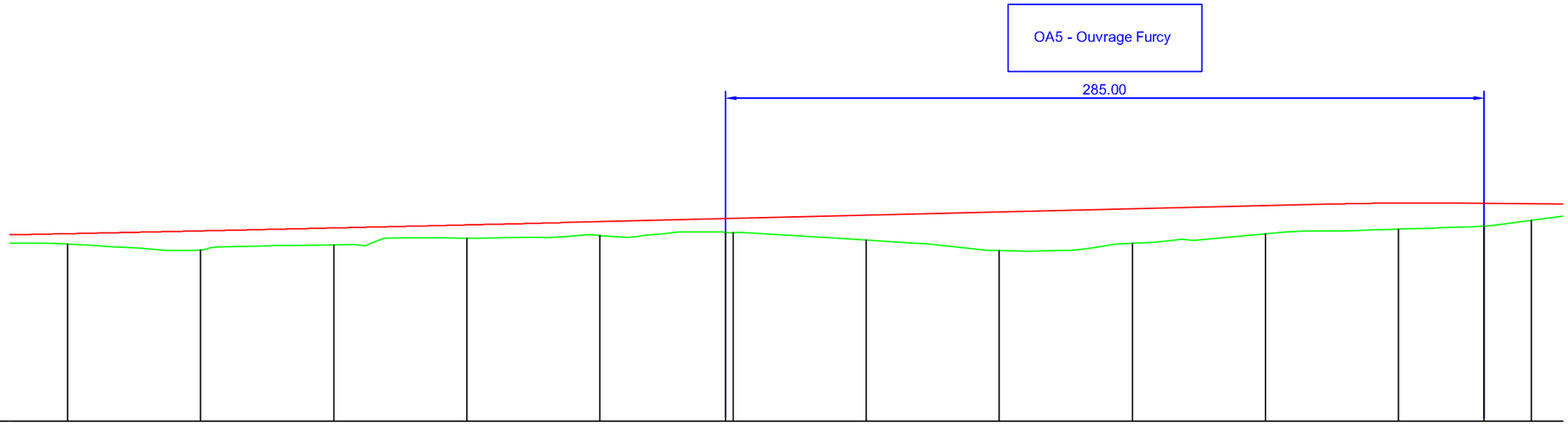
S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en long 4/6

Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/2000



PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	42	43	44	45	46	46-47	48	49	50	51	52	52-1	53
Altitudes TN	222,68	220,38	222,29	224,84	225,77	227,03 226,94	224,11	220,28	222,90	226,45	228,27	229,36	231,53
Altitudes Projet	226,53	227,58	228,67		231,01	232,15 232,22	233,42	234,63	235,84	237,05	238,04	237,95	237,80
Ecarts TN - Projet	-3,95	-7,20	-6,38	-4,98	-5,24	-5,12 -5,27	-9,31	-14,35	-12,94	-10,59	-9,77	-8,59	-6,27
Distances partielles	)	50,00	50,00	50,00	50,00	47,20	2,80	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	32,20	17,80
Distances cumulées	2050,00	2100,00	2150,00	2200,00	2250,00	2297,20 2300,00	2350,00	2400,00	2450,00	2500,00	2550,00	2582,20	2600,00
Pentes et rampes	RP = 50000,00 L = 282,98						RAMPE L = 288,76 m P = 2,41 %				RP = -1500,00 L = 48,41		
Alignements droits et courbes	ARC R = 250,00 m L = 216,13 m				CLOTHOIDE A = 116,85 L = 54,62 m	DROITE L = 16,21 m	ARC R = 750,00 m L = 340,01 m						
Dévers gauche	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-0,96 %	2,50 %	2,50 % 2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %
Dévers droit	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 % -2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

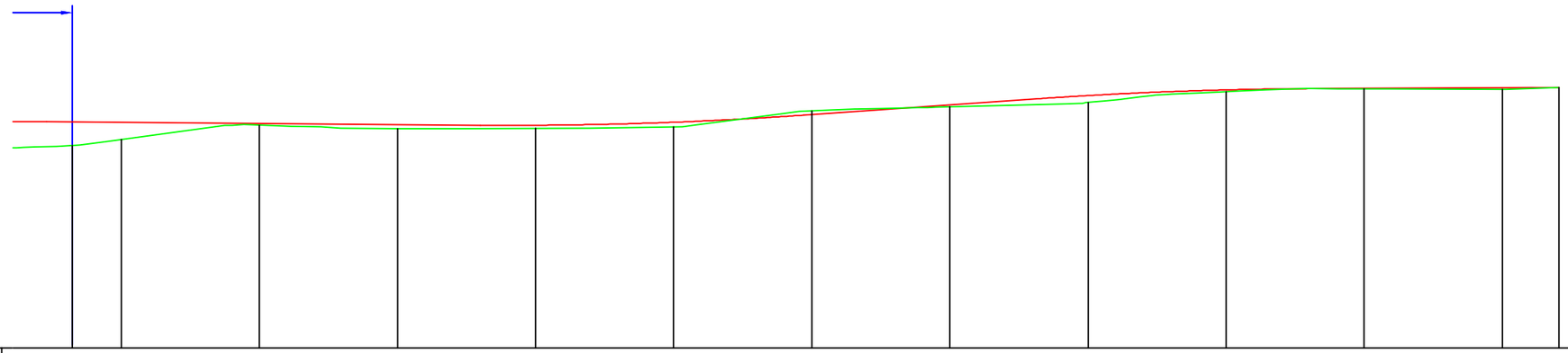
S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en long 5/6

Echelle en X : 1/2000

Echelle en Y : 1/2000



PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	52-1	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
Altitudes TN	229,36	231,53	236,71	235,49	235,61	236,10	241,94	243,43	245,04	248,93	249,87	249,65	250,30
Altitudes Projet	237,95	237,80	237,40	236,99	236,72	237,81	240,57	244,07	247,46	249,52	250,04	250,23	250,30
Ecarts TN - Projet	-8,59	-6,27	-0,69	-1,50	-1,11	-1,71	1,37	-0,65	-2,42	-0,59	-0,16	-0,58	-0,00
Distances partielles	32,20	17,80	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	50,00	20,46	
Distances cumulées	2582,20	2600,00	2650,00	2700,00	2750,00	2800,00	2850,00	2900,00	2950,00	3000,00	3050,00	3100,00	3120,46
Pentes et rampes	i8,41	PENTE L = 157,00 m P = -0,81 %			RP = 1500,00 L = 117,20		RAMPE L = 84,66 m P = 7,00 %		RP = -1500,00 L = 99,27		RAMPE L = 89,40 m P = 0,38 %		
Alignements droits et courbes	DROITE L = 213,96 m				CLOTHOIDE A = 173,64 L = 67,00 m		ARC R = 450,00 m L = 98,57 m		CLOTHOIDE A = -173,64 L = 67,00 m		DROITE L = 79,91 m		
Dévers gauche	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %	2,50 %
Dévers droit	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %	-2,50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

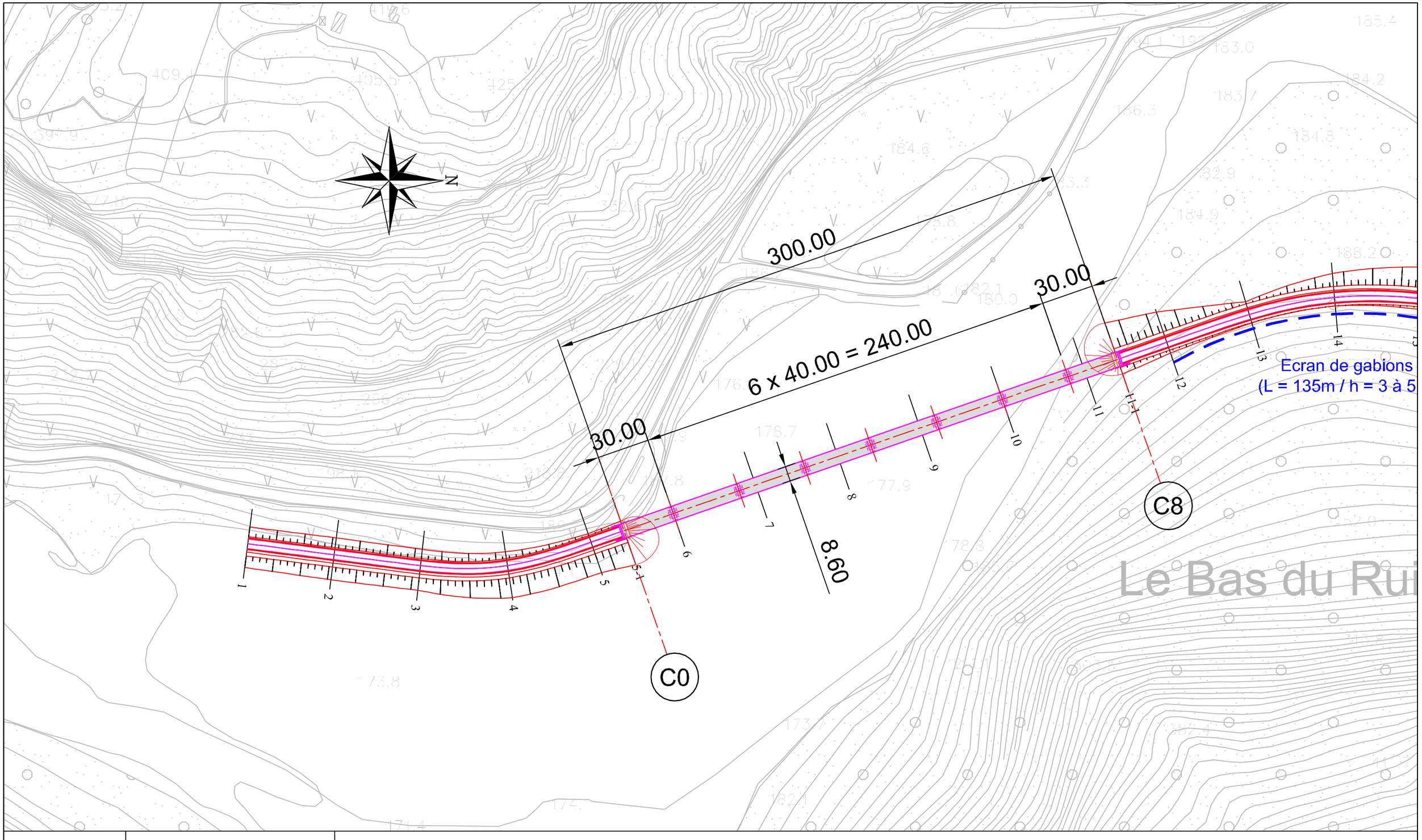
ECEP

S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en long 6/6

OUVRAGES D'ART



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

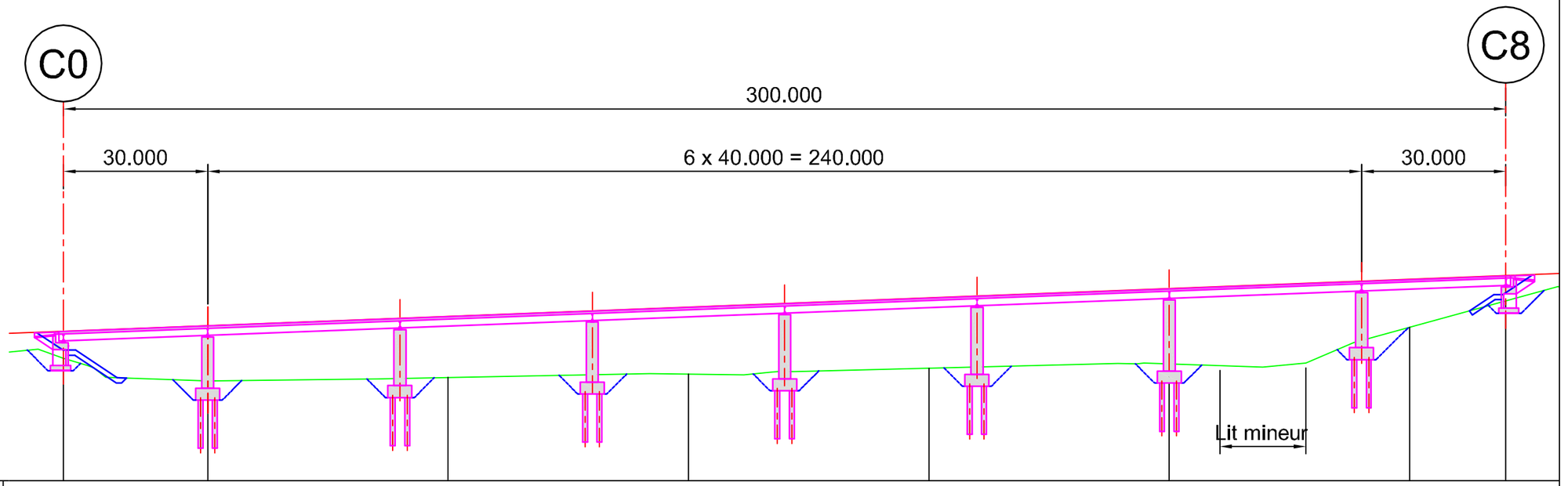
S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

OA1 - Ouvrage Bas du Ruisseau

Vue en plan

Echelle : 1/2000



Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/1000

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	5-1	6	7	8	9	10	11	11-1	
Altitudes TN	181.42	176.72	177.43	178.12	179.36	180.25	187.86	193.34	
Altitudes Projet	187.05	188.21	190.14	192.07	194.00	195.92	197.85	198.62	
Ecarts TN - Projet	-5.63	-11.49	-12.70	-13.95	-14.63	-15.68	-9.99	-5.29	
Distances partielles	0.00	30.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	20.00	
Distances cumulées	220.00	250.00	300.00	350.00	400.00	450.00	500.00	520.00	
Pentes et rampes	RAMPE L = 537.12 m P = 3.86 %								
Alignements droits et courbes	DROITE L = 368.01 m								
Dévers gauche	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	
Dévers droit	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

OA1 - Ouvrage Bas du Ruisseau

Coupe longitudinale

N

340.00

30.00

7 x 40.000 = 280.00

30.00

180.00

Mur de soutènement

soutènement

Ecran de gabions
(L = 135m / h = 3 à 5m)

8.60

1.20

30.00

3 x 40.00 = 120.00

30.00

C0

P9

C14

OA2 - Ouvrage
Ilet Rond - Aval

OA2 - Ouvrage
Ilet Rond - Amont

as du Ruisseau

ARCADIS

ECEP

S.E.C.M.O.

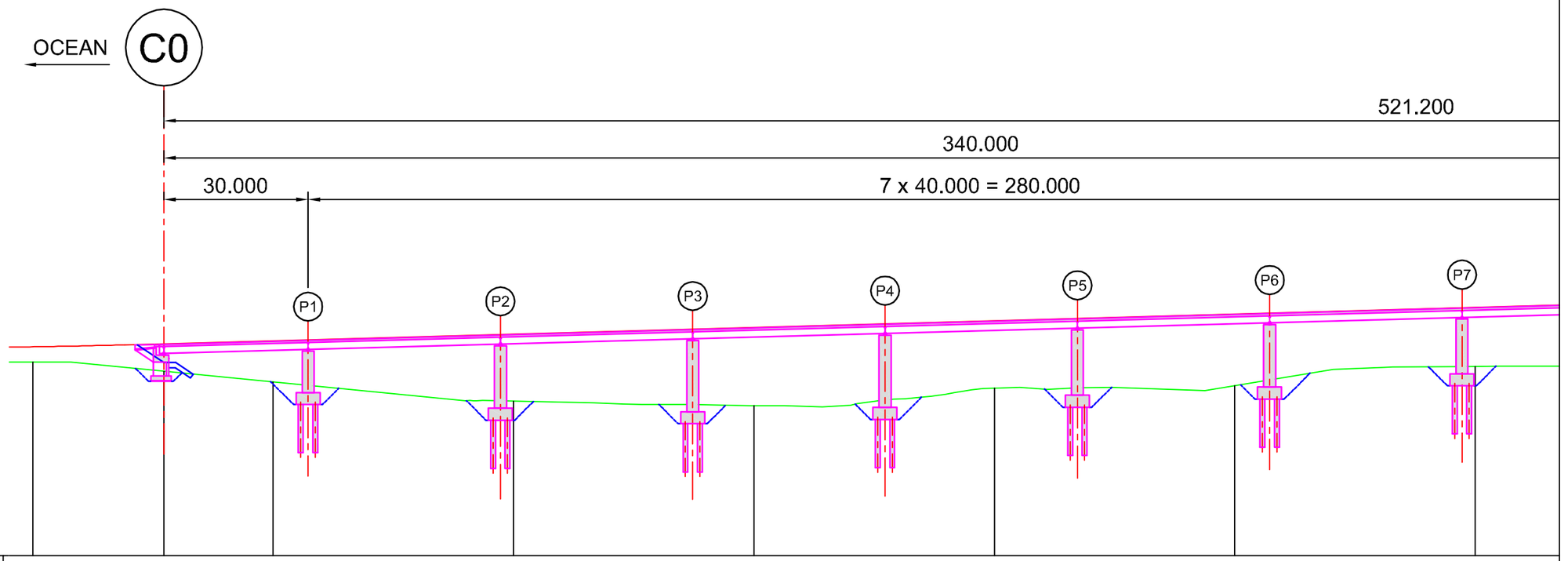
Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

OA2 - Ouvrage d'Ilet Rond

Vue en plan

Echelle : 1/2000

OA2 - Ouvrage Ilet Rond - Aval



Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/1000

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	15	15-1	16	17	18	19	20	21
Altitudes TN	196.24	194.35	192.14	188.13	187.21	190.86	191.35	195.36
Altitudes Projet		200.06	200.89	202.08	203.46	204.85	206.23	207.61
Ecarts TN - Projet	-3.19	-5.71	-8.55	-13.95	-16.25	-13.99	-14.88	-12.26
Distances partielles		27.27	22.73	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00
Distances cumulées	700.00	727.27	750.00	800.00	850.00	900.00	950.00	1000.00
Pentes et rampes								RAMPE L = 575.60 m P = 2.77
Alignements droits et courbes	: A = 110.23 L = 52.83 m					DROITE L = 342.20 m		
Dévers gauche	-0.01 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %
Dévers droit	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

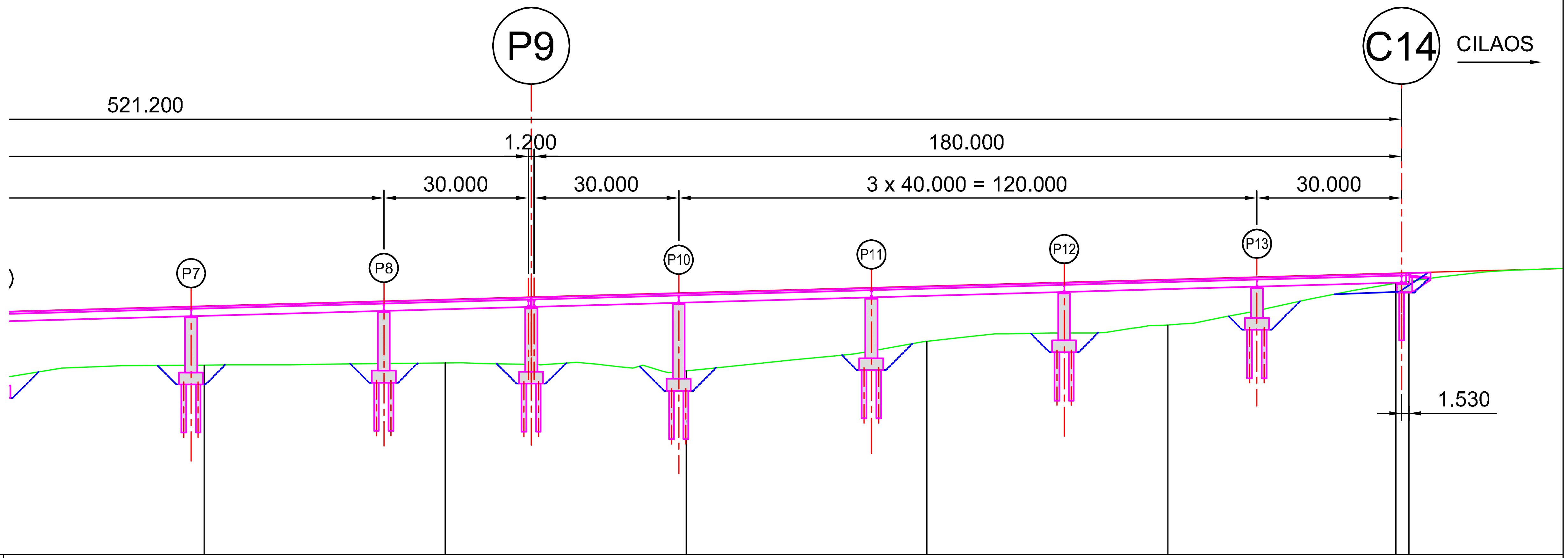
ECEP

S.E.C.M.O.

OA2 - Ouvrage Ilet Rond

Coupe longitudinale 1/2

OA2 - Ouvrage Ilet Rond - Amont



Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/1000

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	21	22	23	24	25	25-1	26	
Altitudes TN	195.35	195.84	194.16	200.33	203.67	212.31	212.70	
Altitudes Projet	207.61	209.00	210.38	211.77	213.15	214.46	214.53	
Ecarts TN - Projet	-12.26	-13.16	-16.23	-11.44	-9.48	-2.15	-1.84	
Distances partielles	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	47.27	2.73	50.00
Distances cumulées	1000.00	1050.00	1100.00	1150.00	1200.00	1247.27	1250.00	
Pentes et rampes	RAMPE L = 575.60 m P = 2.77 %							
Alignements droits et courbes					ARC R = 200.00 m L = 250.73 m			
Dévers gauche	2.50 %	2.50 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	
Dévers droit	-2.50 %	0.76 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	2.67 %	

ARCADIS

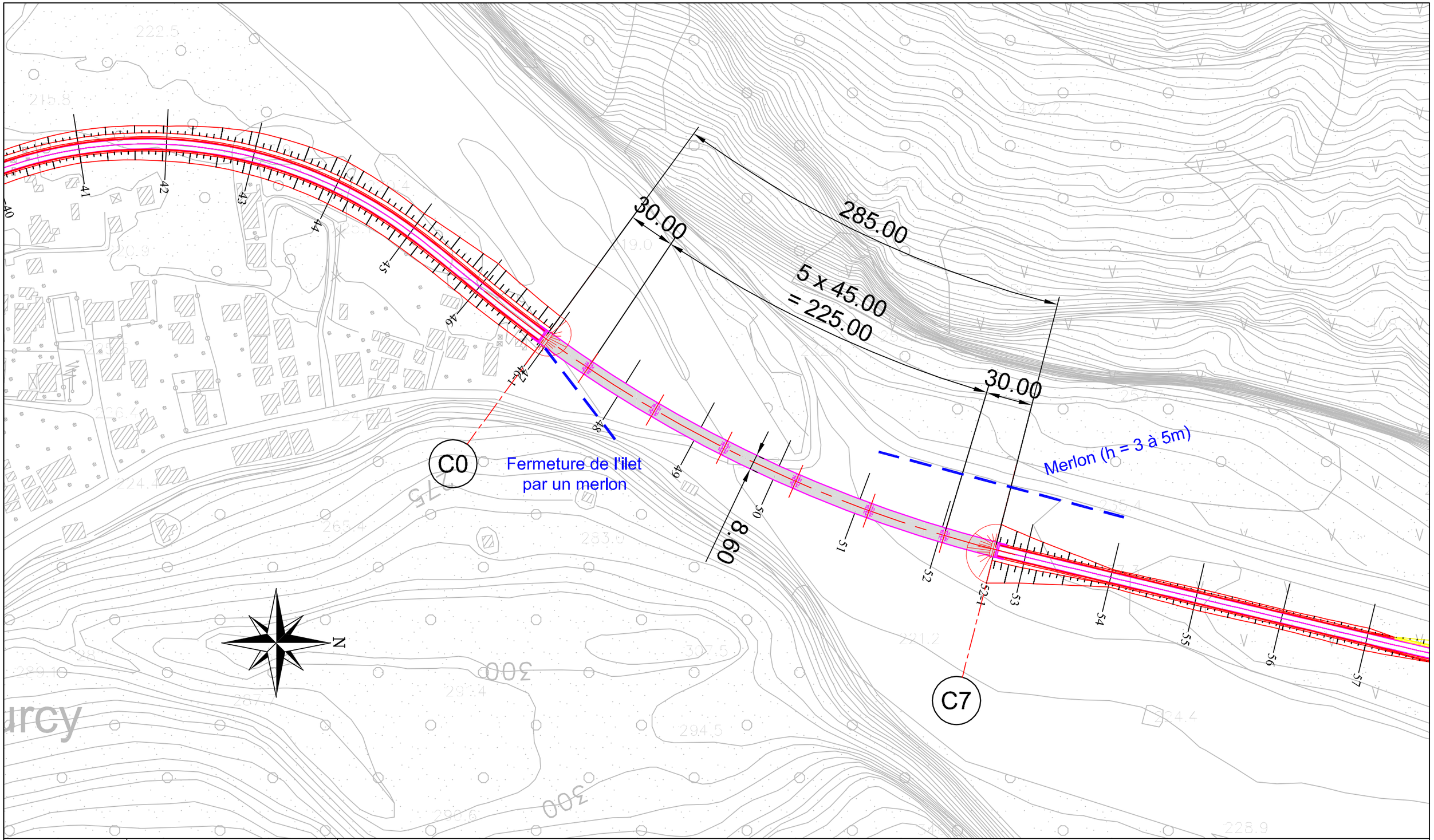
ECEP

S.E.C.M.O.

REGION REUNION VALORISONS NOS ATOUTS

OA2 - Ouvrage Ilet Rond

Coupe longitudinale 2/2



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

ECEP

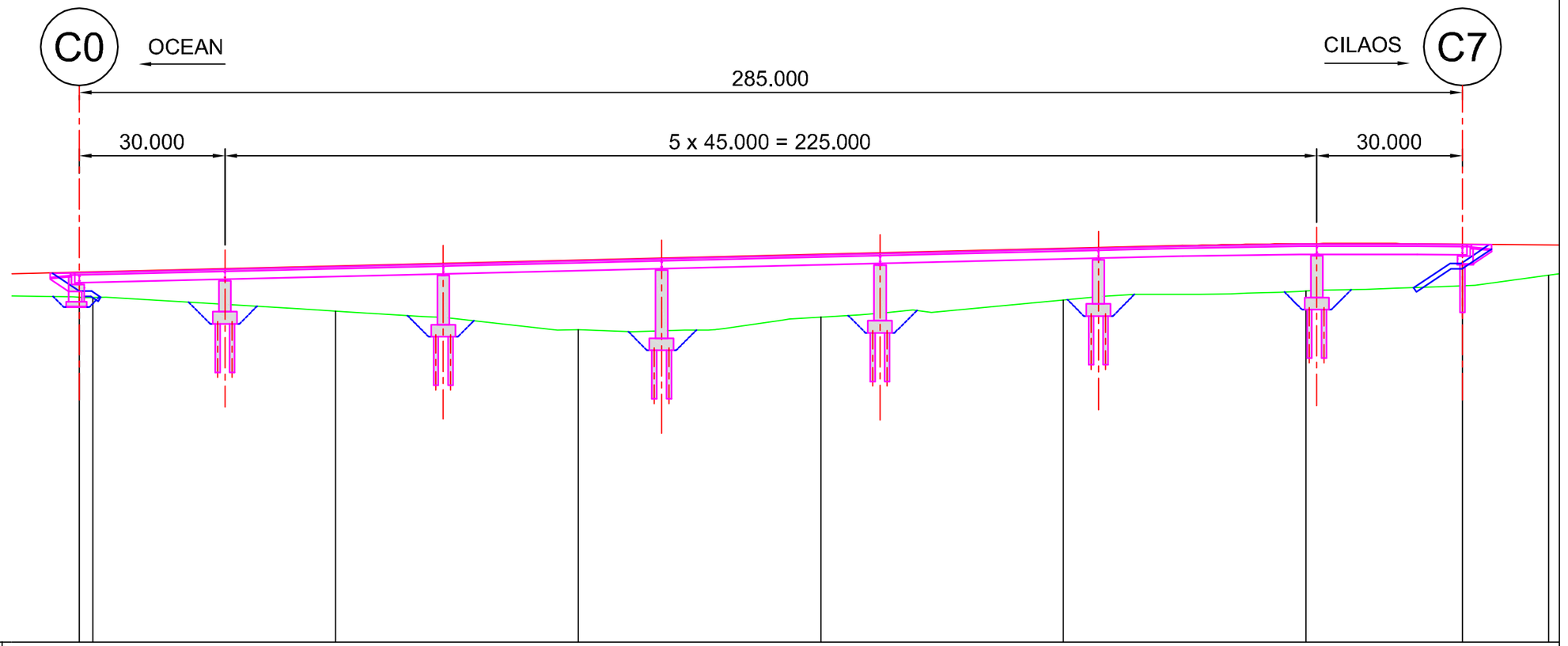
S.E.C.M.O.

Fond photogrammétrique 1/5000 - Prise s de vue de décembre 2007
SINTEGRA - Géomètres-Experts

OA3 - Ouvrage Furcy

Vue en plan

Echelle : 1/2000



Echelle en X : 1/1000

Echelle en Y : 1/1000

PC : 156.00 m

Numéro de profils en travers	46-1 47	48	49	50	51	52	52-1	53
Altitudes TN	227.03 226.94	224.11	220.28	222.90	226.45	228.27	229.36	231.53
Altitudes Projet	232.15 232.22	233.42	234.63	235.84	237.05	238.04	237.95	237.80
Ecarts TN - Projet	-5.12 -5.27	-9.31	-14.35	-12.94	-10.59	-9.77	-8.59	-6.27
Distances partielles	2.80	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	32.20	17.80
Distances cumulées	2297.20 2300.00	2350.00	2400.00	2450.00	2500.00	2550.00	2582.20	2600.00
Pentes et rampes	RAMPE L = 288.76 m P = 2.41 %					RP = -1500.00 L = 48.41		
Alignements droits et courbes	ARC R = 750.00 m L = 340.01 m							
Dévers gauche	2.50 % 2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %	2.50 %
Dévers droit	-2.50 % -2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %	-2.50 %

REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

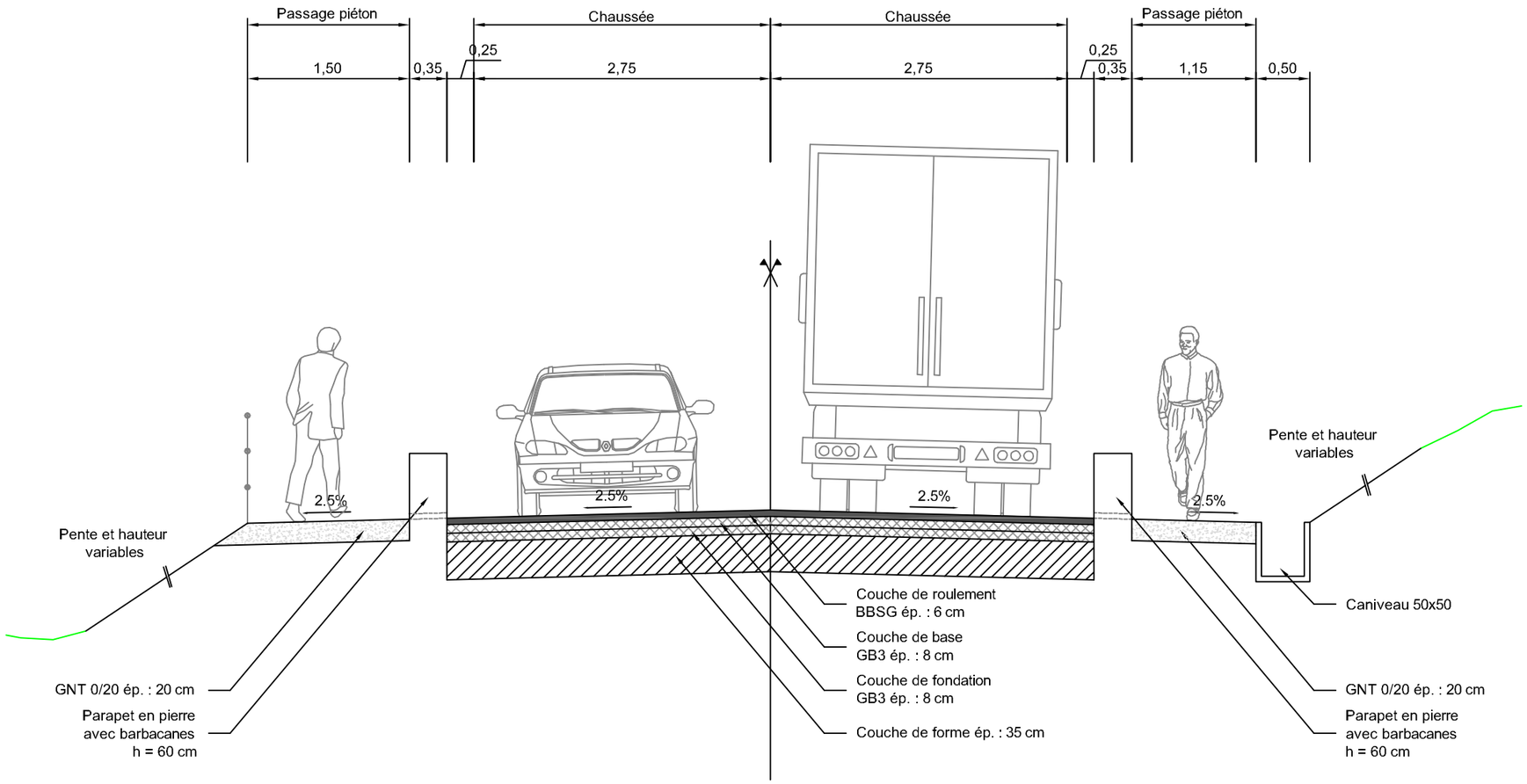
ECEP

S.E.C.M.O.

OA3 - Ouvrage Furcy

Coupe longitudinale

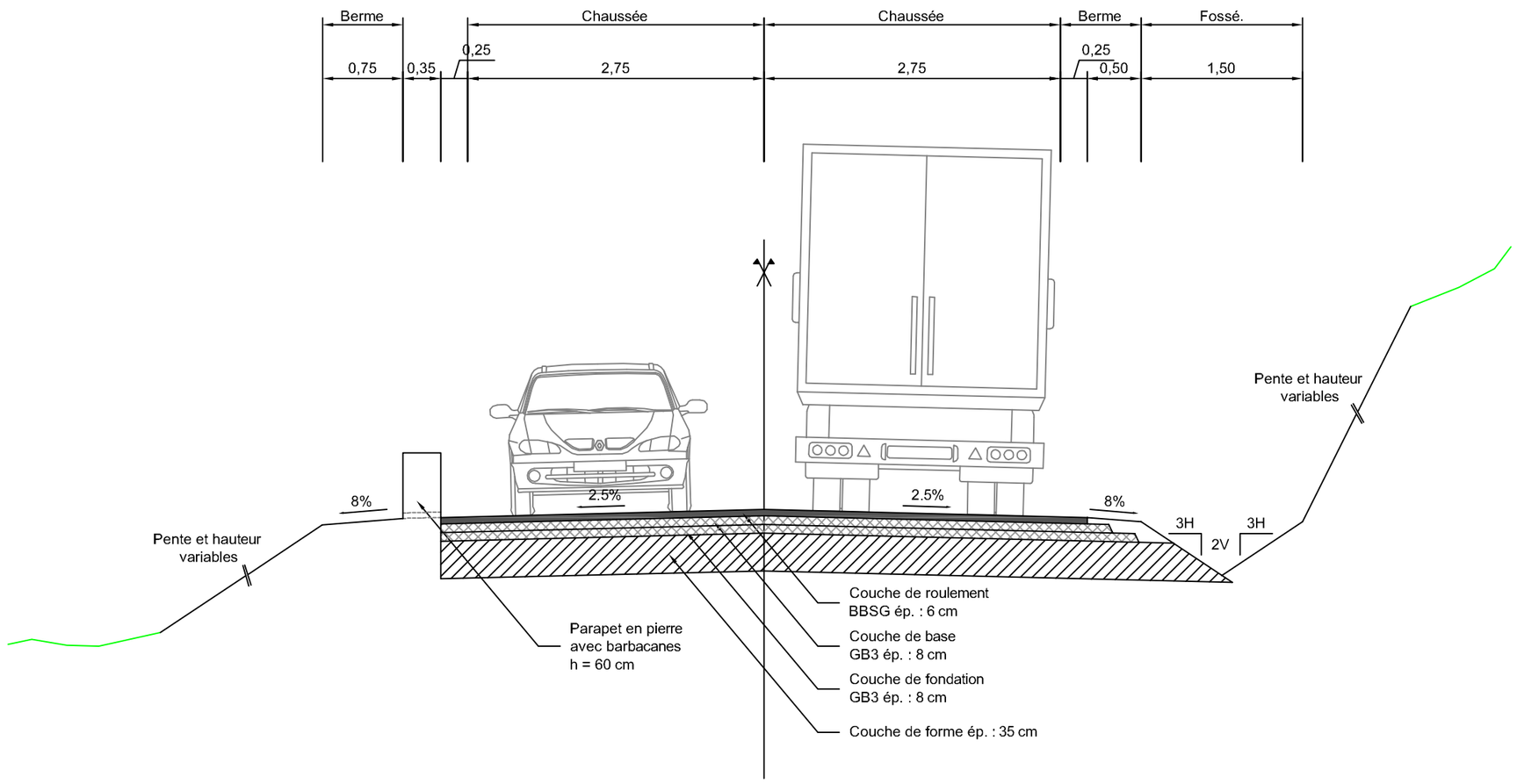
PROFILS EN TRAVERS



Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers type (avec passage piéton)

Echelle : 1/50



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

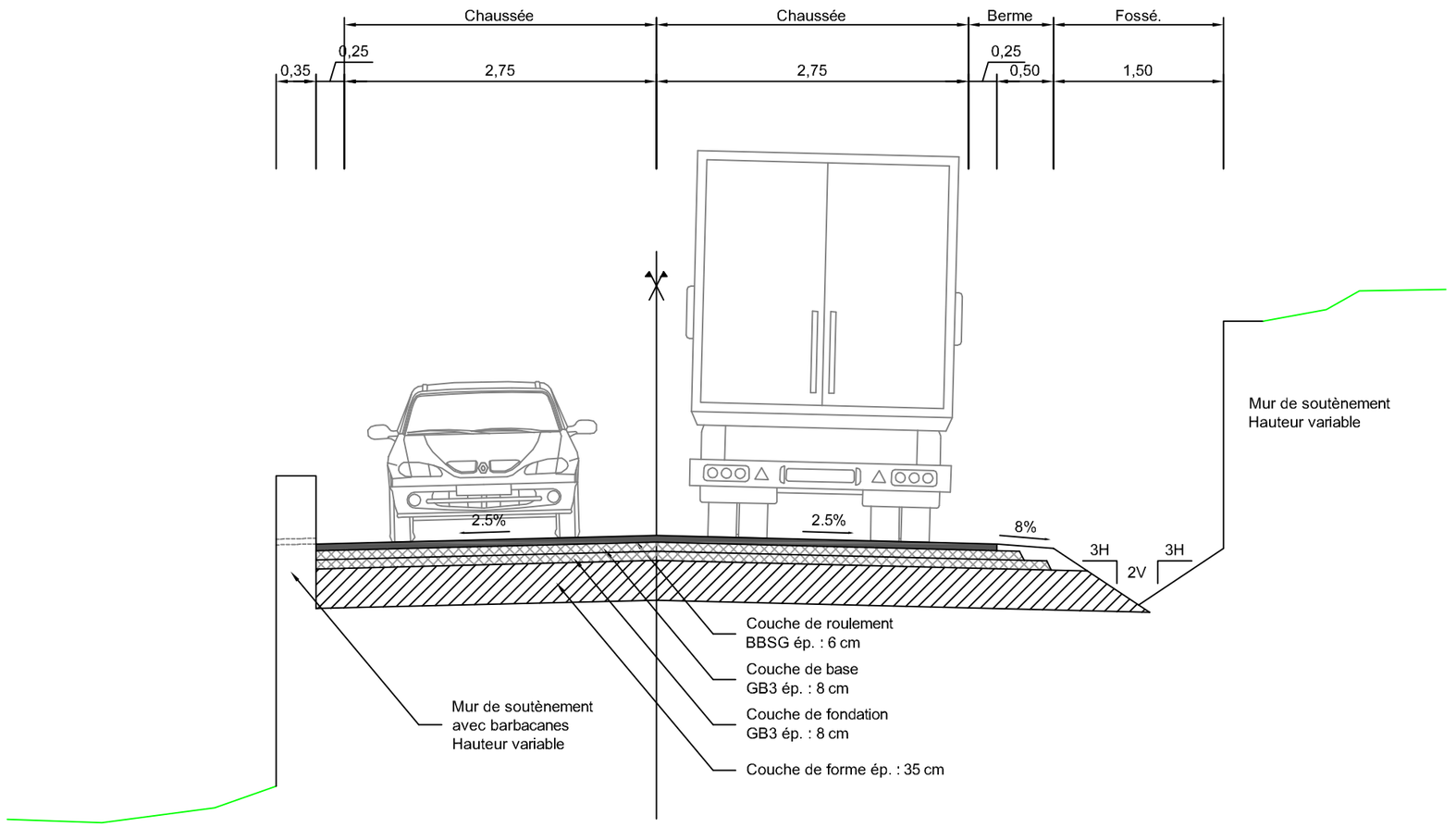
ECEP

S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers type (sans passage piéton)

Echelle : 1/50



REGION REUNION
VALORISONS NOS ATOUTS

ARCADIS

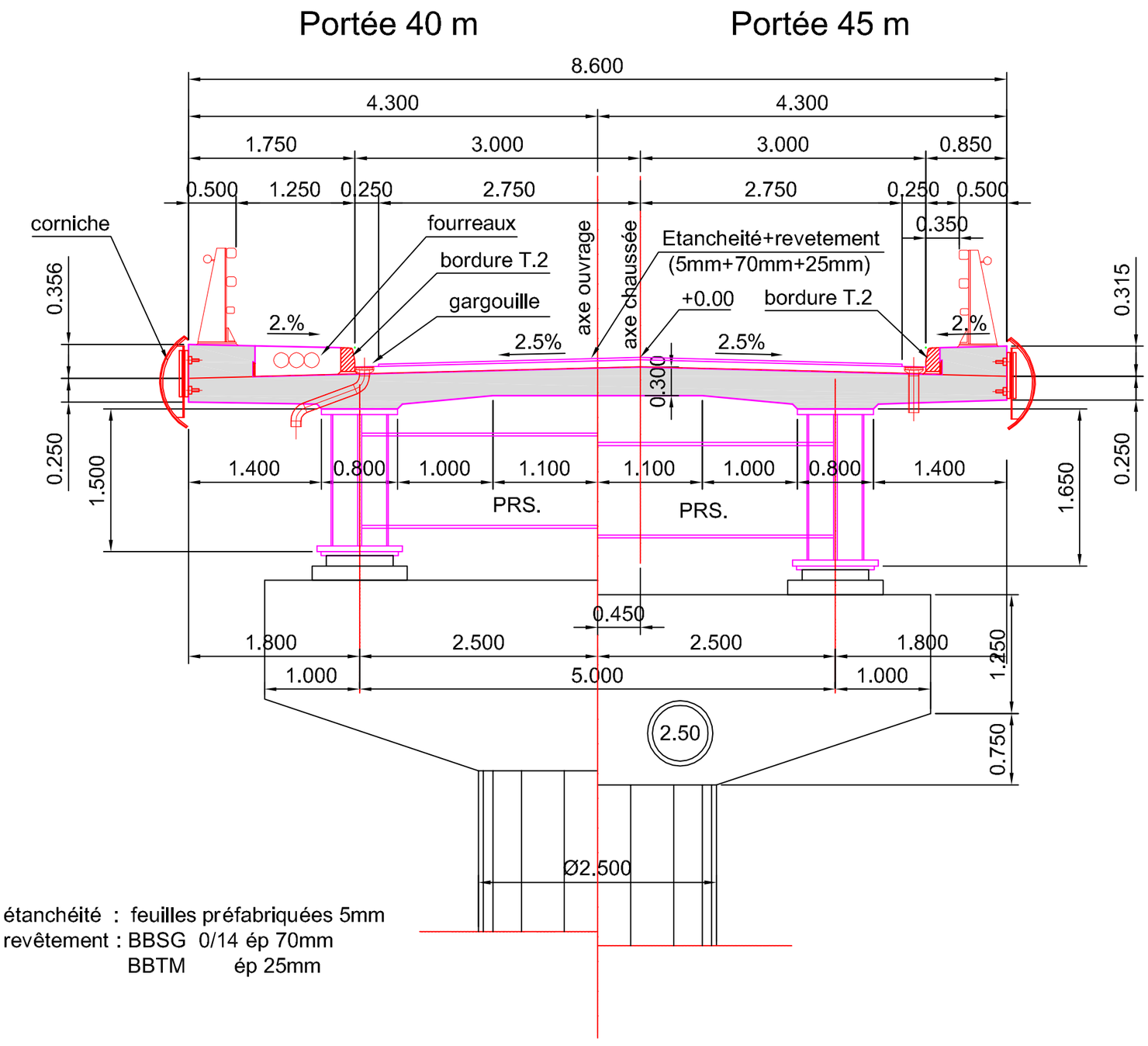
ECEP

S.E.C.M.O.

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers type (avec mur de soutènement)

Echelle : 1/50

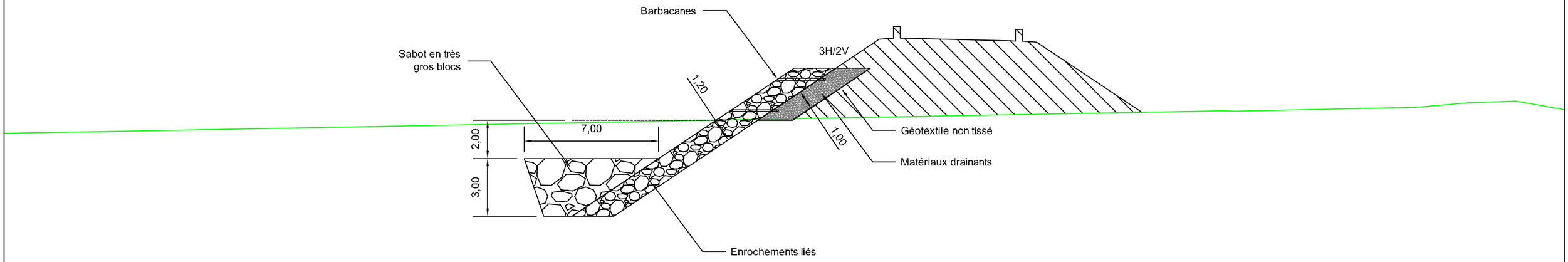


étanchéité : feuilles préfabriquées 5mm
revêtement : BBSG 0/14 ép 70mm
BBTM ép 25mm

Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers type (sur ouvrage mixte)

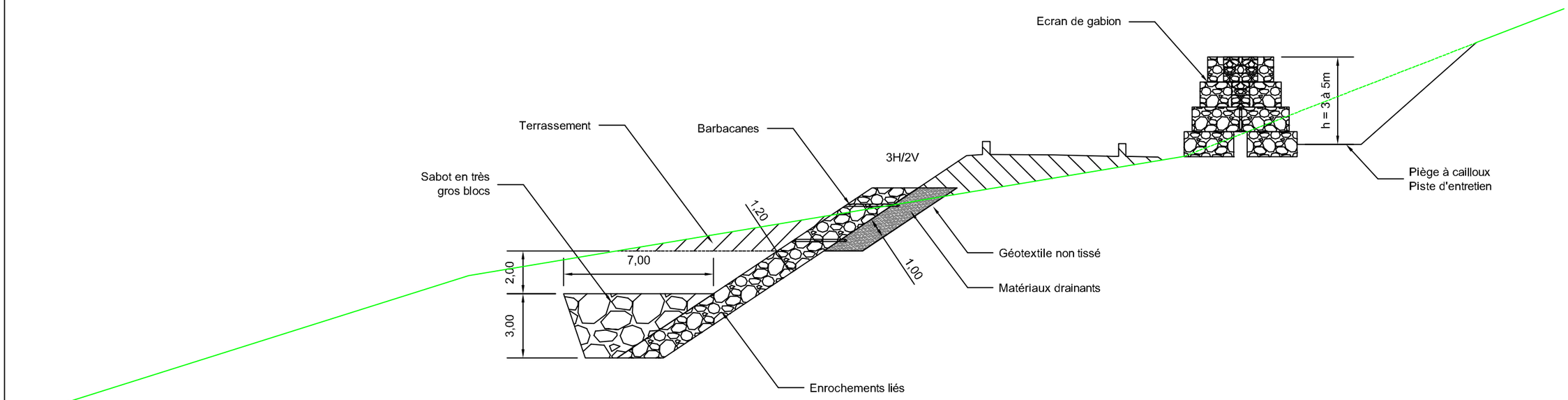
Echelle : 1/50



Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers particulier (PT42)

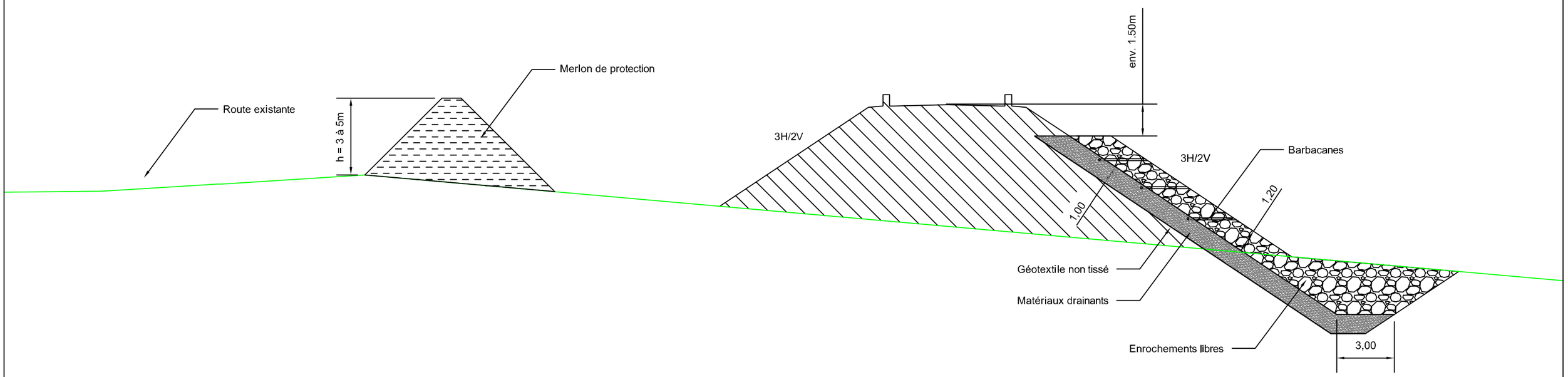
Echelle : 1/200



Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers particulier (PT13)

Echelle : 1/200



Section 2 - Contournement Ilet Rond et Ilet Furcy

Profil en travers particulier (PT53)

Echelle : 1/200

ANNEXE 7

Extrait de la base de données BDMVT du BRGM

longitude	latitude	identifiant	lieu-dit	date	largeur départ	dénivelée	amplitude déplacement	pente moyenne avant rupture	nombre approché blocs	volume maxi bloc	volume total	cod dimension blocs	lib dimension blocs	cod degré altération	commentaire
55,458145	-21,219849	12700773		01/01/1980											
55,459087	-21,26004	12700800		29/01/1989											
55,455765	-21,22646	12700803		01/02/1930											
55,452854	-21,211267	12700806		22/04/2029											
55,45266	-21,21235	12700809		27/12/2029											
55,453743	-21,221203	12700813		22/03/1930											
55,460052	-21,219398	12700814		01/02/1938											
55,45339	-21,21935	12700815		24/01/1938											
55,41447	-21,244553	12700817		10/01/1930											
55,4591	-21,261162	12700831		01/03/1958											
55,45766	-21,248787	12700834		01/01/1960											
55,460133	-21,255516	12700836		01/03/1962											
55,447132	-21,194664	12700837		01/03/1964											
55,453907	-21,239943	12700838		01/03/1964											
55,45569	-21,225212	12700839		01/03/1964											
55,452274	-21,211718	12700846		01/02/1977											
55,452274	-21,211718	12700848		01/11/1980											
55,45333	-21,220253	12700850		22/07/1984											
55,45717	-21,250105	12700859		29/01/1989											
55,455925	-21,227976	12700862		29/01/1989											
55,452843	-21,22662	12700864		29/01/1989											
55,455254	-21,222557	12700866		29/01/1989											
55,45381	-21,217138	12700869		29/01/1989											
55,455715	-21,26591	12700888		29/01/1989											
55,456196	-21,265007	12700889		29/01/1989											
55,45688	-21,250828	12701217		04/07/2000											
55,446312	-21,197174	12701218		27/07/1999											
55,4574	-21,2518	12701251	Ilet Gaspard, RN5, PR8 + 700, au droit d'un coude du Bras de Cilaos	04/07/2000	20	150	20				1000				Long:20 m (niche arrachement) Larg:20 m (arrachement) Vol:1000 m3
55,454	-21,2116	12701268	RN 5 PR 14 +700 Petite Caverne	01/02/2006											
55,4462	-21,1963	12701269	RN 5 - PR 17 + 600 Cap Rouge	01/02/2006											
55,4463	-21,1948	12701270	RN5 - PR 17 +800 Tunnel du Pavillon	01/02/2006											
55,4493	-21,192	12701271	RN5 - PR 18 + 800 Rampe du Pavillon	01/02/2006							20				Vol:20 m3
55,45335	-21,239456	12701280	RN5 - PR 10+500	01/03/2007	30		30				500				Long:30 m Larg:30 à 40 m Vol:500 m3 avec foisonnement
55,44097	-21,235174	12701389		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,438713	-21,235481	12701390		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,437344	-21,238384	12701391		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,43416	-21,245699	12701392		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,431004	-21,245222	12701393		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,42782	-21,254044	12701394		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,42782	-21,254131	12701395		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,453827	-21,278395	12701396		01/01/2002							0				Vol:décamétrique
55,407623	-21,219763	12701398		01/01/2002							0				Vol:décamétrique

longitude	latitude	identifiant	lieu-dit	date	largeur départ	dénivelée	amplitude déplacement	pente moyenne avant rupture	nombre approché blocs	volume maxi bloc	volume total	cod dimension blocs	lib dimension blocs	cod degré altération	commentaire
55,451836	-21,241617	12701789	RN5, PR10 + 200	10/06/2008		60					4				Vol:4-5m3
55,4507	-21,240904	12701790	RN5, PR10 + 200	16/06/2008							20				Vol:20 m3
55,45377	-21,239151	12701791	RN5, PR 10 + 600	01/01/2008							3				Vol:3 à 5 m3
55,45871	-21,261358	12701813	lieu dit les Aloès	24/10/2009							50				Vol:50 - 60 m3
55,45798	-21,254402	12701814	RN5, PR 8 + 500	01/01/2002							6000				Vol:6000 m3
55,457394	-21,249306	12701815	RN5, PR9	05/12/2009							10				Vol:10 à 15 m3
55,446392	-21,197798	12701821	Cap rouge	27/03/2010							60				Vol:60 m3
55,454018	-21,26767	12701822	RN5, PR 6 + 200	28/03/2010							0				Vol:bloc > 1 m3
		12701866									5				Vol:5 m3
		12701869									2				Vol:2 m3 Poids:deux blocs de 200 kg
		12702135									6				Vol:6-7 m3
55,4541	-21,211887	12702143	RN5, PR 14, 650	13/08/2010											Vol:dont bloc de 5 m3
55,44612	-21,19659	12702144	RN5, PR 17, 630	12/08/2010							400				T et 5 à 6 blocs de 2 T
55,45522	-21,24571	12702146	RN5, PR 9, 600	13/09/2010											Vol:dont bloc de 2 m3
55,458637	-21,260885	12702147	RN5, PR 7, 500	05/10/2010											Vol:deux blocs de 2 m3
55,459187	-21,258783	12702150	RN5, PR 7 + 800	01/01/2007											
55,4574	-21,2465	12702158	RN5 ? PR 1+350	31/01/2011							5				Vol:5 m3 Poids:6 blocs principaux pesant chacun entre 50 et 300 kg
55,4495	-21,1915	12702159	RN5 ? PR 18+900	31/01/2011											Vol:quelques m3
55,453983	-21,211409	12702674	RN5, PR14 +700	22/02/2011							15				Vol:15 m3
55,454353	-21,221745	12702675	RN5, PR12 +800	19/04/2011							2				Vol:2 m3
55,45164	-21,240173	12702676	RN5, PR10 +200	19/04/2011							15				Vol:15 m3
55,4467	-21,19843	12702677	RN5, PR17 +400	20/04/2011											Poids:2 T
55,453545	-21,2448	12702678	RN5, PR9 +800	19/04/2011							2				Vol:2m3
55,457893	-21,24854	12702691	RN 5, PR9 + 900	09/11/2011							0				Vol:blocs > m3
		12702692													
		12702693													
		12702694													
		12702695													
55,4557	-21,2658	12702698	RN5 PR6 + 600	01/01/1999											
55,459034	-21,261683	12702699	RN5 PR7 + 400	01/01/1998							10				Vol:chute de 2 gros blocs de 5 m3
55,459904	-21,256264	12702703	RN5 PR8 + 000	01/01/1998							2				Vol:bloc de 2 m3
55,45744	-21,25417	12702704	RN5 PR8 + 300	01/01/1990							2500				Vol:2500m3
55,456627	-21,251205	12702705	RN5 PR8 + 700	01/01/1962							1000				Vol:1000 m3
55,45403	-21,244793	12702706	RN5 PR9 + 700	01/01/1989											
55,455475	-21,228807	12702708	RN5 PR11+ 700	01/01/2002											
55,45514	-21,2225	12702709	RN5 PR12+ 400	01/01/1982											
55,453648	-21,211557	12702711	RN5 PR14+ 700	01/01/1998											Vol:50
55,453648	-21,211557	12702712	RN5 PR14+ 700	01/01/2002							10				Vol:10 m3
55,447487	-21,202976	12702713	RN5 PR16+ 200	01/01/2002											Poids:1 à 2 T
		12702811									0.5				Vol:0,5 m3
55,453613	-21,244665	12702829	RN5 PR9+ 800	26/04/2012											Vol:présence de blocs de 2 m3
55,451775	-21,243057	12702832	RN5 PR10+ 050	18/11/2012							5				Vol:5 m3
55,458904	-21,260504	12702839	RN5 PR 7 + 600	07/02/2013											Poids:bloc de 200 kg
55,45888	-21,260096	12702840	RN5 PR 7 + 650	08/02/2013							3				Vol:3 m3 Poids:bloc de 8500 - 600 kg
55,452694	-21,239862	12702841	RN5 PR10 + 400	10/02/2013											

longitude	latitude	identifiant	lieu-dit	date	largeur départ	dénivelée	amplitude déplacement	pente moyenne avant rupture	nombre approché blocs	volume maxi bloc	volume total	cod dimension blocs	lib dimension blocs	cod degré altération	commentaire
55,452656	-21,211489	12702842	RN5 Petite Caverne	13/02/2013							20				Vol:20 m3
55,45303	-21,243988	12702845	RN5 PR9 + 900	19/02/2013											Poids:4 - 5 T
55,455673	-21,245853	12702909	Ilet Furcy - PR9+600	01/11/2014							10				
55,452755	-21,220804	12702911	Cap Paille en Queue - PR12+950	09/11/2013							10				
55,45375	-21,245565	12702913	Ilet Furcy - Pr9+800	05/12/2013							10				
55,45257	-21,238419	12702914	Ilet Furcy - PR10+350	05/12/2013							5				
55,45293	-21,268772	12702915	PR6+030	02/01/2014											quelques blocs (le plus gros de l?ordre de 500 kg environ)
55,45841	-21,260963	12702916	PR7+500	02/01/2014											quelques blocs de 500 kg environ
55,45637	-21,252815	12702917	PR8+800	02/01/2014					<10						1 bloc de 9 tonnes
55,454136	-21,245749	12702918	PR9+700	02/01/2014											plusieurs blocs (de 500 kg à 1 tonne)
55,45308	-21,245108	12702919	PR9+850	02/01/2014											boueuse
55,45512	-21,225252	12702920	PR12+250	02/01/2014											plusieurs blocs de 500 kg à 2-3 tonnes
55,453568	-21,21711	12702921	PR13+270	02/01/2014											quelques blocs + coulée de boue
55,45714	-21,243608	12702959	Ilet Furcy - Prox, École	05/02/2014											clairement identifiés. Quelques blocs
55,45869	-21,261599	12702964	RN5 - PR7+500	08/11/2014				90			10				
55,453945	-21,245565	12702965	RN5 - PR9+800 - Ilet Furcy	05/11/2013				90			5				
55,45406	-21,24506	12703002	secteur de l?Ilet Furcy	24/02/2016		100		60		1	15				
55,45263	-21,2365	12703027		22/08/2016											
55,45263	-21,2365	12703028		22/08/2016							100				
55,45521	-21,22478	12703033		19/08/2017		220					2	3	Petite à très petite		
55,45425	-21,22278	12703034		02/10/2017		120					750				
55,4472	-21,20419	12703081	après Petit Serré, dans le secteur de ti sel	30/12/2017		40									
55,45215	-21,24373	12703082	ilet furcy	28/05/2018							2				
		12703087									7				(estimation de volume réévaluée à la baisse par rapport au compte-rendu d?urgence). Le plus gros élément observé représente un volume unitaire de l?ordre de 7 m3. Des racines, d?un diamètre important, sont constatées au sein du cône d?éboulis.
55,453686	-21,210968	12703089	petit-serré	23/11/2017											
55,45802	-21,259193	12703164	Route de Cilaos - RN5 - PR7+700 - Aloes	19/01/2018											
55,45906	-21,261753	12703165	Route de Cilaos - RN5 - PR7+400 - Aloes	24/01/2018											
55,45375	-21,244362	12703167	Route de Cilaos - RN5 - PR9+800	19/01/2018											
55,450584	-21,242792	12703168	Route de Cilaos - RN5 - PR10+100	19/01/2018											
55,454914	-21,238634	12703169	Route de Cilaos - RN5 - PR10+700	19/01/2018											
55,45194	-21,241835	12703170	Route de Cilaos - RN5 - PR10+200 - Ilet Furcy	27/01/2018											
55,45339	-21,211754	12703172	Route de Cilaos - RN5 - PR14+750 Petite Cav	19/01/2018											
55,450798	-21,20796	12703174	Route de Cilaos - RN5 - PR15+400 - Ilet Aug	19/01/2018											
55,451447	-21,238628	12703180	Route de Cilaos - RN5 - PR10+400	19/01/2018											
55,458908	-21,254864	12703181	Route de Cilaos - RN5 - PR8+300 - Zone d'év	19/01/2018											
55,453285	-21,221252	12703288	RN5-PR12+850	27/04/2018											
55,4545	-21,23793	12703289	RN5-PR10+700	27/04/2018											

ANNEXE 8

Vue générale des tracés alternatifs VN1b/c et VN2a/b/c et Reach Probability associée

0 250 500 750 1000 m

N

PR 9

PR 8

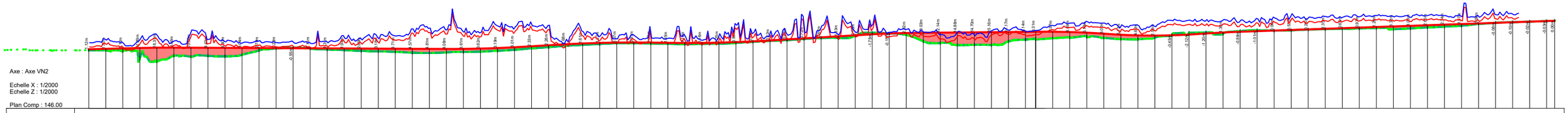
Ilet Rond

Ilet Rolland

ANNEXE 9

Profils en long avec les hauteurs de passage des blocs au droit de l'axe chaussée projeté.

A noter : Hauteurs selon topographie actuelle, sans prise en compte du remblai/déblai projeté)



Axe : Axe VN2

Echelle X : 1/2000
Echelle Z : 1/2000

Plan Comp : 146.00

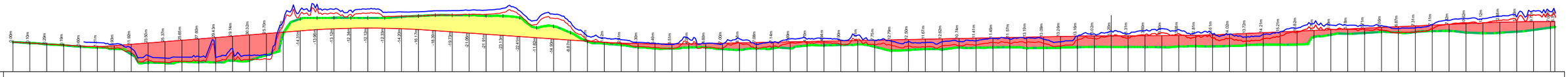
Numéro de tabulation	
Terrain	
Projet Linéaire	
Pentes terrain	
Distances partielles	
Distances cumulées	
Pentes et rampes	
Alignts. et courbes	
Dévers gauche	
Dévers droit	

Mentaur4 Genius

Axe : Axe VN1c

Echelle X : 1/2000
Echelle Z : 1/2000

Plan Comp : 146.00



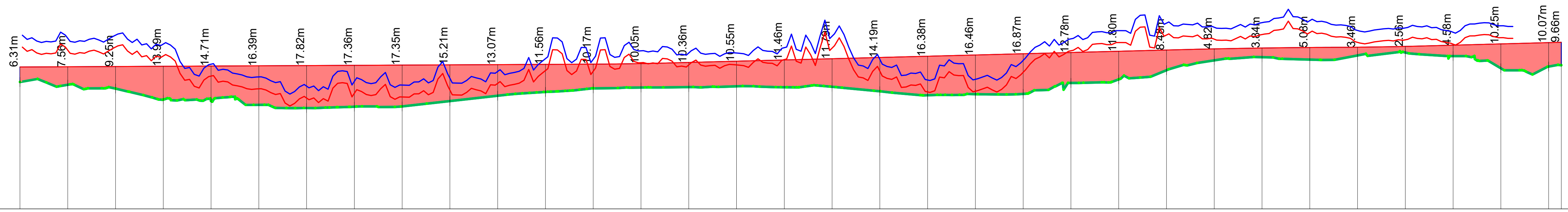
Numéro de tabulation	
Projet Linéaire	
Terrain	
Distances partielles	
Distances cumulées	
Pentes et rampes	
Alignts. et courbes	
Dévers gauche	
Dévers droit	

Mesures Geneus

Axe : Axe VN2a

Echelle X : 1/2000
Echelle Z : 1/2000

Plan Comp : 146.00



Numéro de tabulation	Projet Linéaire	Terrain	Distances partielles	Distances cumulées	Dévers gauche	Dévers droit
1	205.60	199.29	20.00	0	-2.5%	-2.5%
2	205.70	198.14	20.00	20	-2.5%	-2.5%
3	205.80	196.55	20.00	40	-2.5%	-2.5%
4	205.90	191.91	20.00	60	-2.5%	-2.5%
5	206.00	191.29	20.00	80	-2.5%	-2.5%
6	206.10	189.71	20.00	100	-2.5%	-2.5%
7	206.20	188.38	20.00	120	-2.5%	-2.5%
8	206.30	188.94	20.00	140	-2.5%	-2.5%
9	206.40	189.05	20.00	160	-2.5%	-2.5%
10	206.50	191.29	20.00	180	-2.5%	-2.5%
11	206.60	193.53	20.00	200	-2.5%	-2.5%
12	206.70	195.14	20.00	220	-2.5%	-2.5%
13	206.80	196.63	20.00	240	-2.5%	-2.5%
14	207.04	196.99	20.00	260	-2.5%	-2.5%
15	207.53	197.16	20.00	280	-2.5%	-2.5%
16	208.05	197.50	20.00	300	-2.5%	-2.5%
17	208.57	197.11	20.00	320	-2.5%	-2.5%
18	209.09	197.30	20.00	340	-2.5%	-2.5%
19	209.61	195.42	20.00	360	-2.5%	-2.5%
20	210.13	193.75	20.00	380	-2.5%	-2.5%
21	210.65	194.19	20.00	400	-2.5%	-2.5%
22	211.17	194.30	20.00	420	-2.5%	2.5%
23	211.69	198.91	20.00	440	-2.5%	2.5%
24	212.21	200.41	20.00	460	-2.5%	2.5%
25	212.73	204.25	20.00	480	-2.5%	2.5%
26	213.22	208.40	20.00	500	-2.5%	2.5%
27	213.58	209.74	20.00	520	-2.5%	2.5%
28	213.81	208.72	20.00	540	-2.5%	-2.5%
29	213.93	210.47	20.00	560	-2.5%	-2.5%
30	214.25	211.69	20.00	580	-2.5%	-2.5%
31	214.78	210.20	20.00	600	-2.5%	-2.5%
32	215.32	205.07	20.00	620	-2.5%	-2.5%
33	215.86	205.79		640	-2.5%	-2.5%
34	216.00	206.34		645	-2.5%	-2.5%

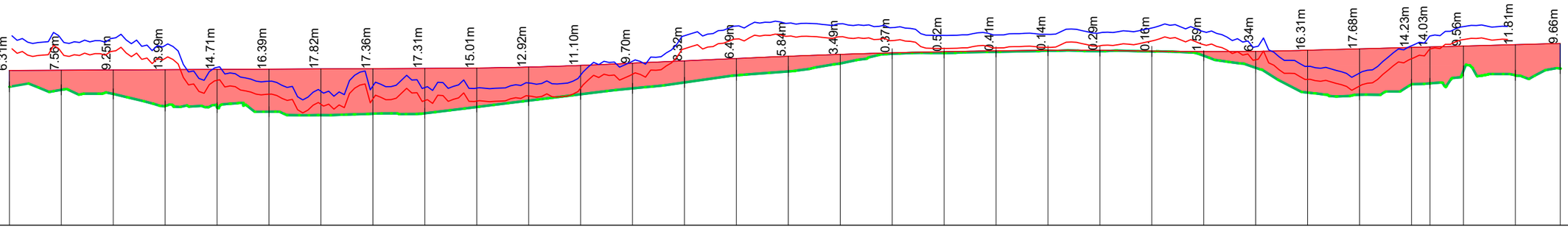
Pentes et rampes

L = 239.23m, P = 0.5%
L = 31.55m, R = 1500.00m
L = 215.21m, P = 2.6%
L = 63.11m, R = -3000.00m
L = 4.64m, P = 0.5%
L = 33.00m, R = 1500.00m
L = 58.66m, P = 2.7%

Alignts. et courbes

L = 11.09m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 5.80m; L = 101.16m; L = 40.04m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 2.99m; L = 78.31m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 2.57m; L = 65.37m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 11.89m; L = 116.83m

Mensura Genius



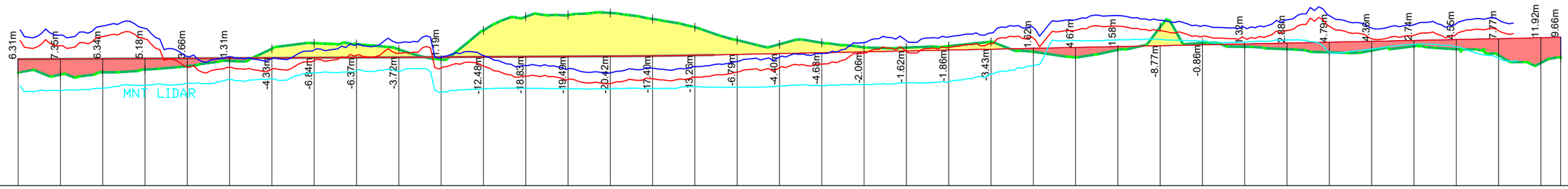
Axe : Axe VN2b

Echelle X : 1/2000
Echelle Z : 1/2000

Plan Comp : 146.00

Numéro de tabulation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Projet Linéaire	205.60	205.70	205.80	205.90	206.00	206.10	206.20	206.30	206.40	206.53	206.90	207.53	208.40	209.30	210.20	211.06	211.78	212.38	212.84	213.16	213.36	213.35	213.06	212.85	212.95	213.37	213.91	214.45	214.65	214.99	215.53	216.00
Terrain	199.29	198.14	196.55	191.91	191.29	189.71	188.38	188.94	189.09	191.52	193.98	196.43	198.70	200.98	203.71	205.22	208.29	212.01	212.31	212.76	213.22	213.06	212.91	211.27	206.62	197.07	196.24	200.22	200.62	205.43	203.72	206.34
Distances partielles	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	12.89	20.00	17.29	
Distances cumulées	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	547	560	580	597
Pentes et rampes	L = 170.00m P = 0.5%	L = 60.02m R = 1500.00m	L = 54.07m P = 4.5%	L = 120.05m R = -3000.00m	L = 20.00m	R = -1000.00m L = 19.81m	P = 1.5%	L = 52.50m R = 1250.00m	L = 99.89m P = 2.7%																							
Alignts. et courbes	L = 11.09m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 5.80m	L = 16.10m	L = 61.82m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.63m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 5.62m	L = 75.61m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 8.39m	L = 58.15m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 3.93m	L = 73.24m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 4.02m	L = 10.01m
Dévers gauche	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%
Dévers droit	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-0.72%	2.5%	2.5%	-2.5%

Mensura Genius



Axe : Axe VN2c

Echelle X : 1/2000
Echelle Z : 1/2000

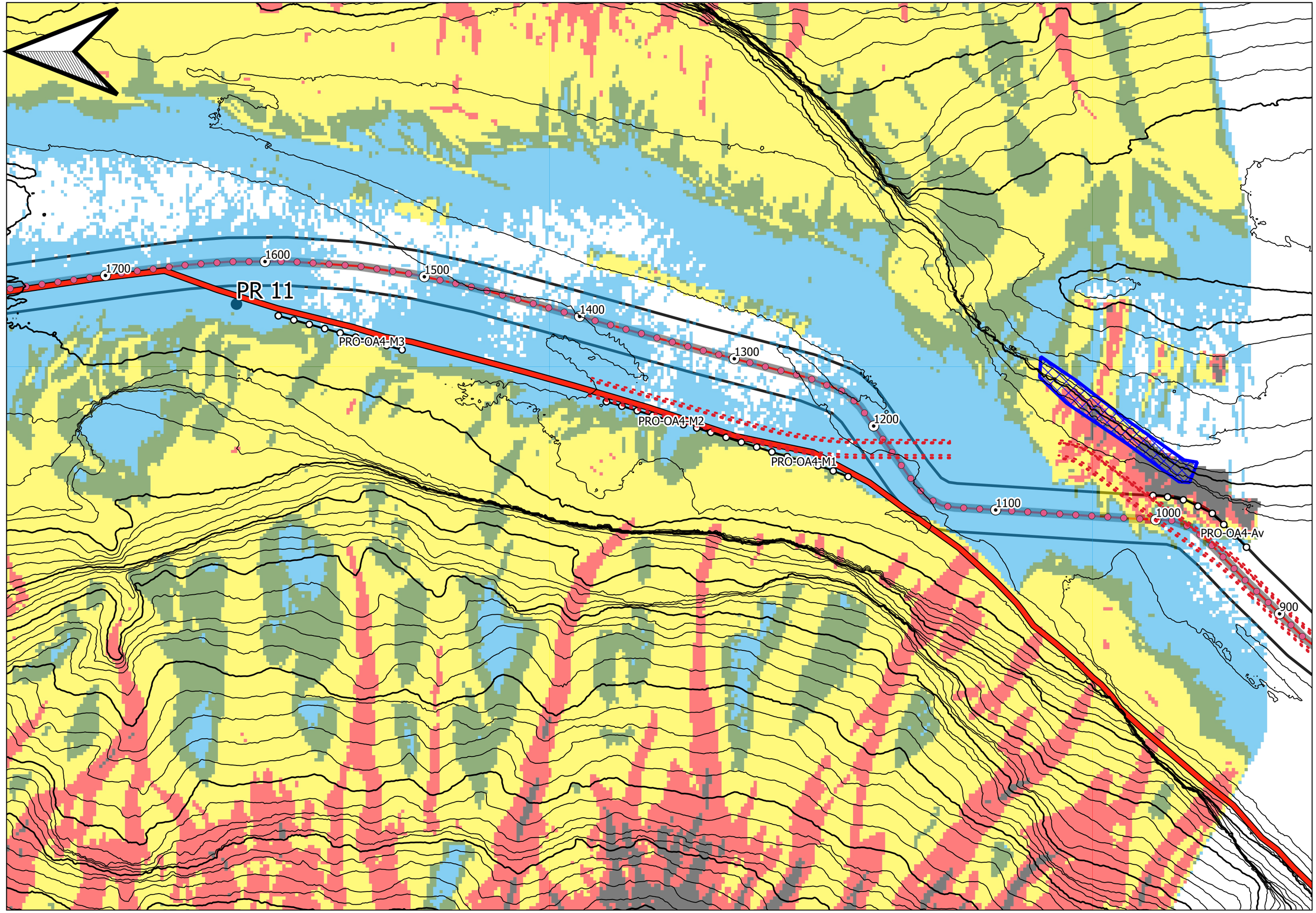
Plan Comp : 146.00

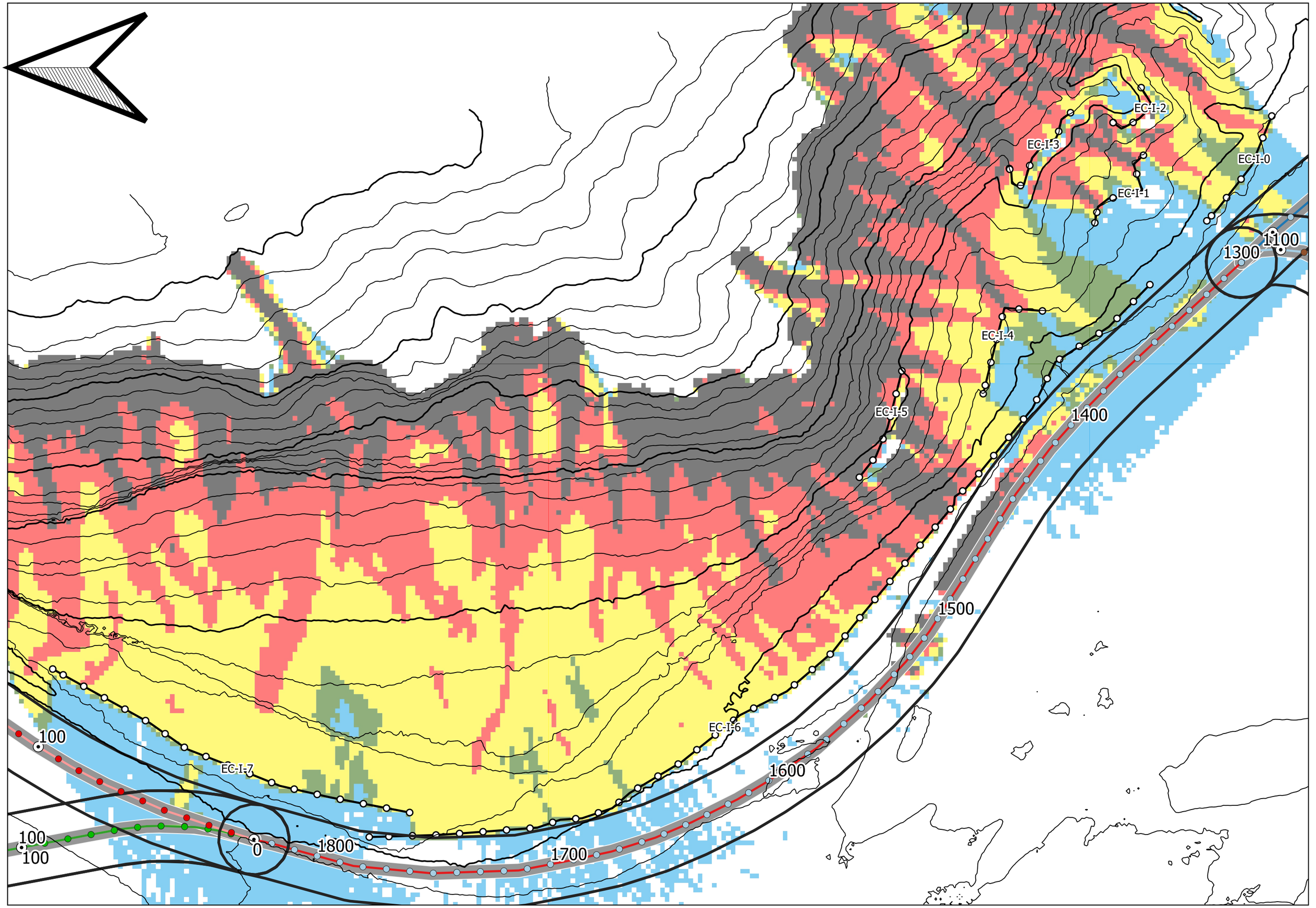
Numéro de tabulation	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
Projet Linéaire	205.60	205.70	205.80	205.90	206.00	206.10	206.20	206.30	206.40	206.50	206.60	206.70	206.80	206.90	207.00	207.15	207.44	207.84	208.25	208.67	209.08	209.50	209.91	210.32	210.74	211.15	211.56	211.98	212.39	212.81	213.22	213.63	214.05	214.46	214.87	215.29	215.75	216.00
Terrain	199.29	198.35	199.46	200.72	202.34	204.79	210.53	213.14	212.77	210.22	205.41	219.18	225.63	226.39	227.42	224.56	220.70	214.63	212.65	213.35	211.15	211.11	211.77	213.75	209.11	206.48	209.98	220.75	213.25	211.48	210.34	208.84	209.69	211.72	210.32	207.51	203.83	206.34
Distances partielles		20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	
Distances cumulées	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	520	540	560	580	600	620	640	660	680	700	720	729
Pentes et rampes	L = 281.98m														P = 0.5%	L = 47.06m R = 3000.00m		L = 379.13m																			P = 2.07%	L = 9.45m R = 1500.00m L = 11.83m	P = 2.7%	
Alignts. et courbes	L = 28.75m																	L = 73.47m			L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 20.79m	L = 125.52m							
Dévers gauche	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%
Dévers droit	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%	-2.5%

Mensura Genius

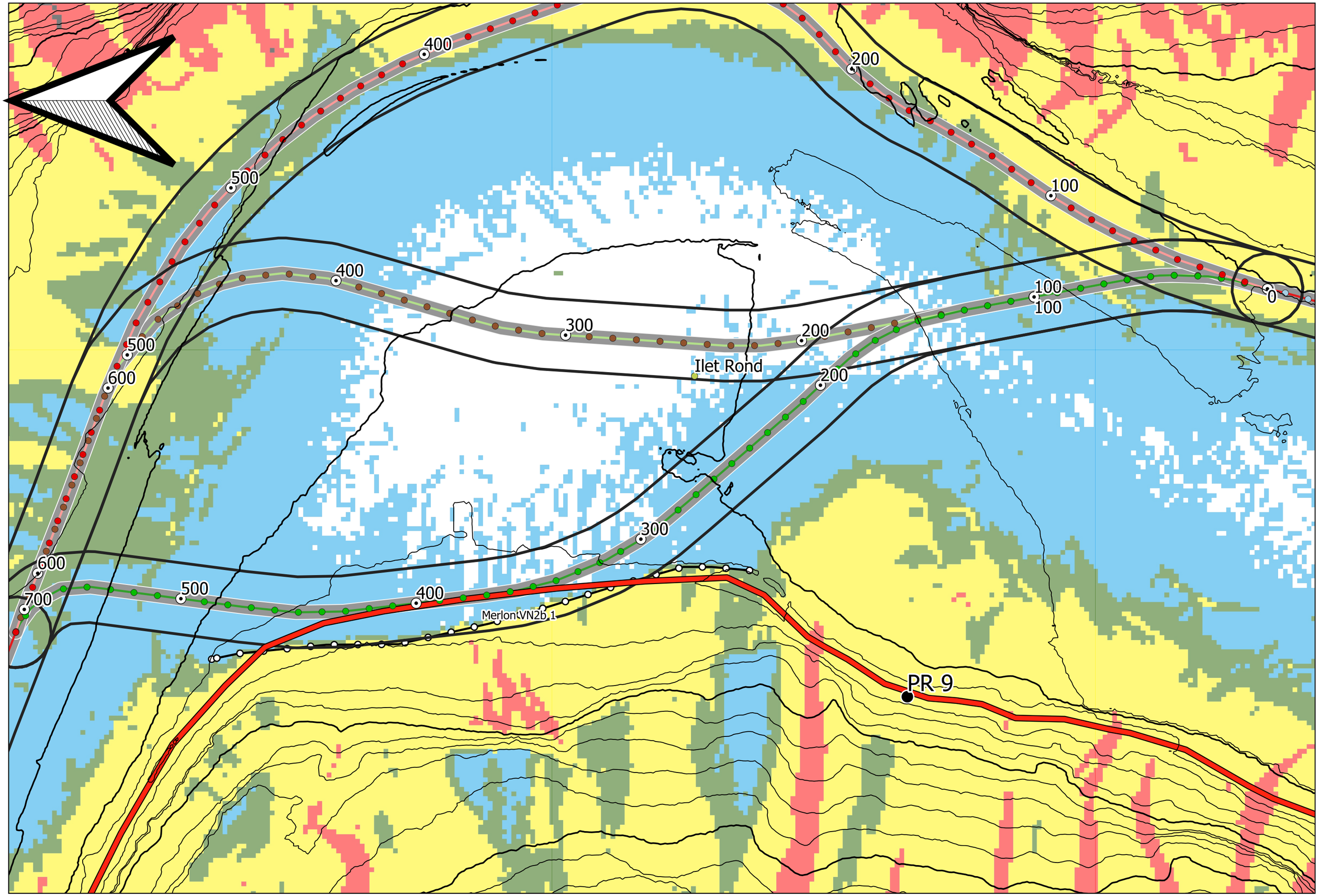
ANNEXE 10

Carnet de plan VN1b/c VN2a/b/c


1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
PR 11
PRO-OA4-M3
PRO-OA4-M2
PRO-OA4-M1
PRO-OA4-Av


EC-I-2
EC-I-3
EC-I-0
EC-I-1
1100
1300
EC-I-4
EC-I-5
1400
1500
EC-I-6
1600
EC-I-7
100
100
100
0
1800
1700

EC-VN1C-3
EC-VN1C-2
EC-VN1C-1
600
500
800
700
400
EC-VN1C-4
EC-VN1c-6
1100
EC-VN1c-5
EC-VN1c-3
1200
1000
900
1100
1300
EC-VN1C-4
800


400
500
200
100
0
400
300
200
100
100
500
600
Ilet Rond
200
300
600
500
400
700
Merlon VN2b 1
PR 9

EC-VN2C-2
EC-VN2C-3
EC-VN2C-1
EC-I-7
EC-VN2C-3
EC-VN2C-4
Ilet Rond

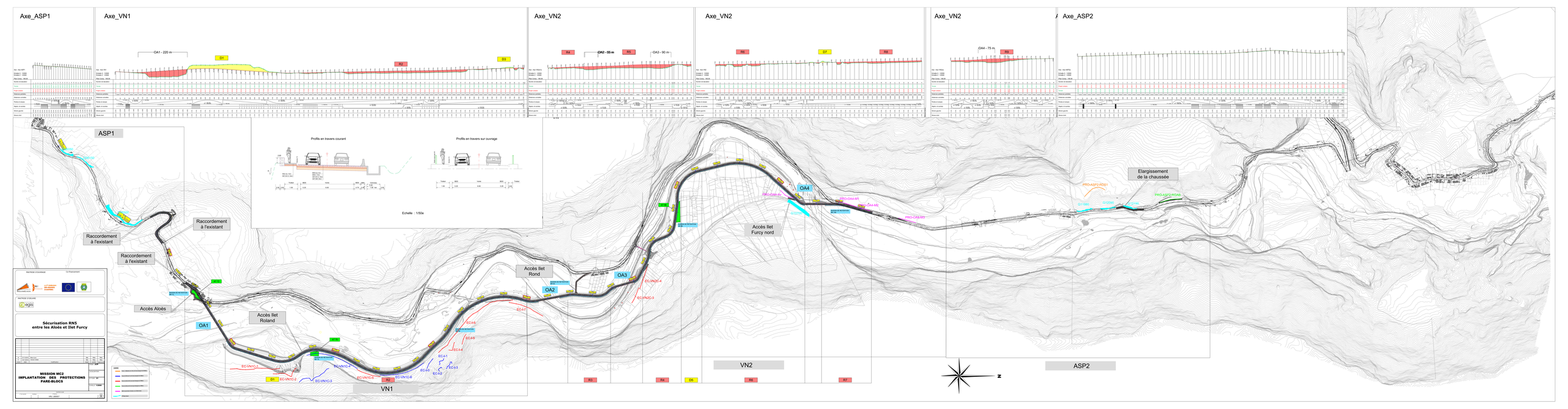
ANNEXE 11

Plan de synthèse des protections

Voie	Hauteur du centre de gravité des blocs (m)	Hauteur nominale de l'écran (m)	Énergie (kJ)	Nom	Écran obligatoire (pas de merlon possible)	Longueur (m)	PR début	PR fin
VN1C	6	7 à 8	5000	EC-VN1c-1	Oui	230	350	580
	6	7 à 8	5000	EC-VN1C-2	Oui	140	550	640
	7	8 à 9	5000	EC-VN1c-3	Oui	170	610	800
	7	8 à 9	8000	EC-VN1C-4	Non	250	700	960
	6	7 à 8	5000	EC-VN1c-5	Non	110	950	1060
	7	8 à 9	8000	EC-VN1c-6	Non	210	1050	1270
	7	8 à 9	8000	EC-I-3	Oui	50	1300	1360
	7	8 à 9	8000	EC-I-0	A étudier	60	1250	1300
	7	8 à 9	8000	EC-I-2	Oui	30	1280	1300
	7	8 à 9	8000	EC-I-1	Oui	50	1290	1330
	6	7 à 8	5000	EC-I-4	Oui	60	1370	1420
	6	7 à 8	5000	EC-I-5	Oui	50	1420	1470
	6	7 à 8	5000	EC-I-6	Non	430	1330	1780
	6	7 à 8	5000	EC-I-7	A préciser	70 +100	1760	Fin VN1C +100 dans VN2

Voie	Hauteur du centre de gravité des blocs (m)	Hauteur nominale de l'écran (m)	Énergie (kJ)	Nom	Écran obligatoire (pas de merlon possible)	Longueur (m)	PR début	PR fin
VN2A	6	7 à 8	5000	EC-I-7	variante merlon à étudier	110	0	60
	7	8 à 9	8000	EC-VN2C-1	variante merlon à étudier	80	90	160
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-3	variante merlon à étudier	80	440	540
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-4	variante merlon à étudier	110	530	Fin VN2A
VN2B	10	12	20000	Merlon VN2b 1	Merlon obligatoire	240	250	480
	6	7 à 8	5000	EC-I-7	variante merlon à étudier	60	0	60
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-4	variante merlon à étudier	60	660	720
VN2C	6	7 à 8	5000	EC-I-7	variante merlon à étudier	100	Fin VN1C	110
	7	8 à 9	8000	EC-VN2C-1	variante merlon à étudier	80	90	170
	7	8 à 9	8000	EC-VN2C-2	variante merlon à étudier	180	180	330
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-3	variante merlon à étudier	330	320	620
	6	7 à 8	5000	EC-VN2C-4	variante merlon à étudier	110	610	720

Voie	Hauteur du centre de gravité des blocs (m)	Hauteur nominale (m)	Énergie (kJ)	Nom	Longueur (m)	PR début	PR fin
VN2/ASP2	11	13	18000	PRO-OA4-M1	100	1190	1300
	8	10	15000	PRO-OA4-M2	50	1300	1350
	8	10	15000	PRO-OA4-M3	80	1500	1580


Axe_ASP1
Axe_VN1
Axe_VN2
Axe_VN2
Axe_VN2
Axe_ASP2
OA1 - 220 m
OA2 - 55 m
OA3 - 90 m
OA4 - 75 m
ASP1
VN1
VN2
ASP2
Profils en travers courant
Profils en travers sur ouvrage
Echelle : 1/50e
Raccordement à l'existant
Raccordement à l'existant
Raccordement à l'existant
Accès Aloès
Accès Ilet Roland
Accès Ilet Rond
Accès Ilet Furcy nord
Elargissement de la chaussée
OA1
OA2
OA3
OA4
Sécurisation RN5 entre les Aloès et Ilet Furcy
MISSION MC2
IMPLANTATION DES PROTECTIONS PARE-BLOCS

www.egis-group.com

egis

GROUPE Caisse des Dépôts