

SÉCURISATION RN5 - CILAOS

SECTEUR ALOÈS – ILET FURCY ANALYSE COMPARATIVE DES VARIANTES

22 août 2019



Informations relatives au document

INFORMATIONS GÉNÉRALES

Auteur(s)	Anthony SIMON
Volume du document	
Version	V2
Référence	xx
Numéro CRM	xx
Chrono	xx

HISTORIQUE DES MODIFICATIONS

Version	Date	Rédigé par	Visé par	Modifications
V1	26-07-2019	Rédacteurs multiples	Anthony SIMON	Version initiale
V2	08-08-2019	Rédacteurs multiples	Anthony SIMON	Compléments suite à réunion MOA/MOE du 31-07-19
V3	22/08/2019	Rédacteurs multiples	Anthony SIMON	Compléments études écologiques

DESTINATAIRES

Nom	Entité
Arnaud CLAUDE	RÉGION RÉUNION - DEGT
Philippe BOUTELET	RÉGION RÉUNION - DEGT
Stéphanie LEBRETON	RÉGION RÉUNION - DEGT

1 - OBJET DE LA NOTE	5
2 - CONSTATS A L'ISSUE DES EXPERTISES INITIALES	6
2.1 - Cartographie des tracés soumis à la concertation préalable	6
2.2 - Actualisation des études hydrauliques – MC1	7
2.3 - Études de trajectographie – MC2	7
2.4 - Techniques routières	8
3 - ANALYSE DES VARIANTES.....	9
3.1 - Variantes VN1	9
3.1.1 - Cas du tunnel routier de 1 000 mètres sur le fuseau VN1A	9
3.1.2 - Enjeux hydrauliques	11
3.1.3 - Enjeux écologiques.....	14
3.1.3.1 - Plateau Roland.....	16
3.1.3.2 - Lit vif de la rivière.....	16
3.1.3.3 - Variante en tunnel (VN1A)	16
3.1.3.4 - Analyse des variantes.....	17
3.1.4 - Enjeux trajectographiques.....	19
3.1.4.1 - Contexte géologique.....	20
3.1.4.2 - Enjeux trajectographiques pour VN1b (PR7+200 à 8+200) rive droite.....	33
3.1.4.3 - Enjeux trajectographiques pour VN1c (PR7+200 à 9).....	36
3.1.5 - Comparaison multicritère	45
3.1.6 - Focus sur le franchissement du Bras de Cilaos par la variante VN1C	49
3.1.6.1 - Contexte.....	49
3.1.6.2 - Solutions envisageables	51
3.1.6.3 - Coûts envisageables des solutions présentées.....	54
3.2 - Variantes VN2	55
3.2.1 - Enjeux hydrauliques	55
3.2.2 - Enjeux écologiques.....	58
3.2.2.1 - Analyse des variantes.....	59
3.2.3 - Enjeux trajectographiques.....	61
3.2.3.1 - Contexte géologique.....	61
3.2.3.2 - Enjeux trajectographiques pour VN2a (PR9 à 9+400).....	66
3.2.3.3 - Enjeux trajectographiques pour VN2c (PR9 à 9+400).....	70
3.2.3.4 - Enjeux trajectographiques pour VN2b (PR9 à 9+400)	74
3.2.4 - Comparaison multicritère	82

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) et intègre également les premiers éléments relatifs aux enjeux milieux naturels.

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.

2 - CONSTATS A L'ISSUE DES EXPERTISES INITIALES

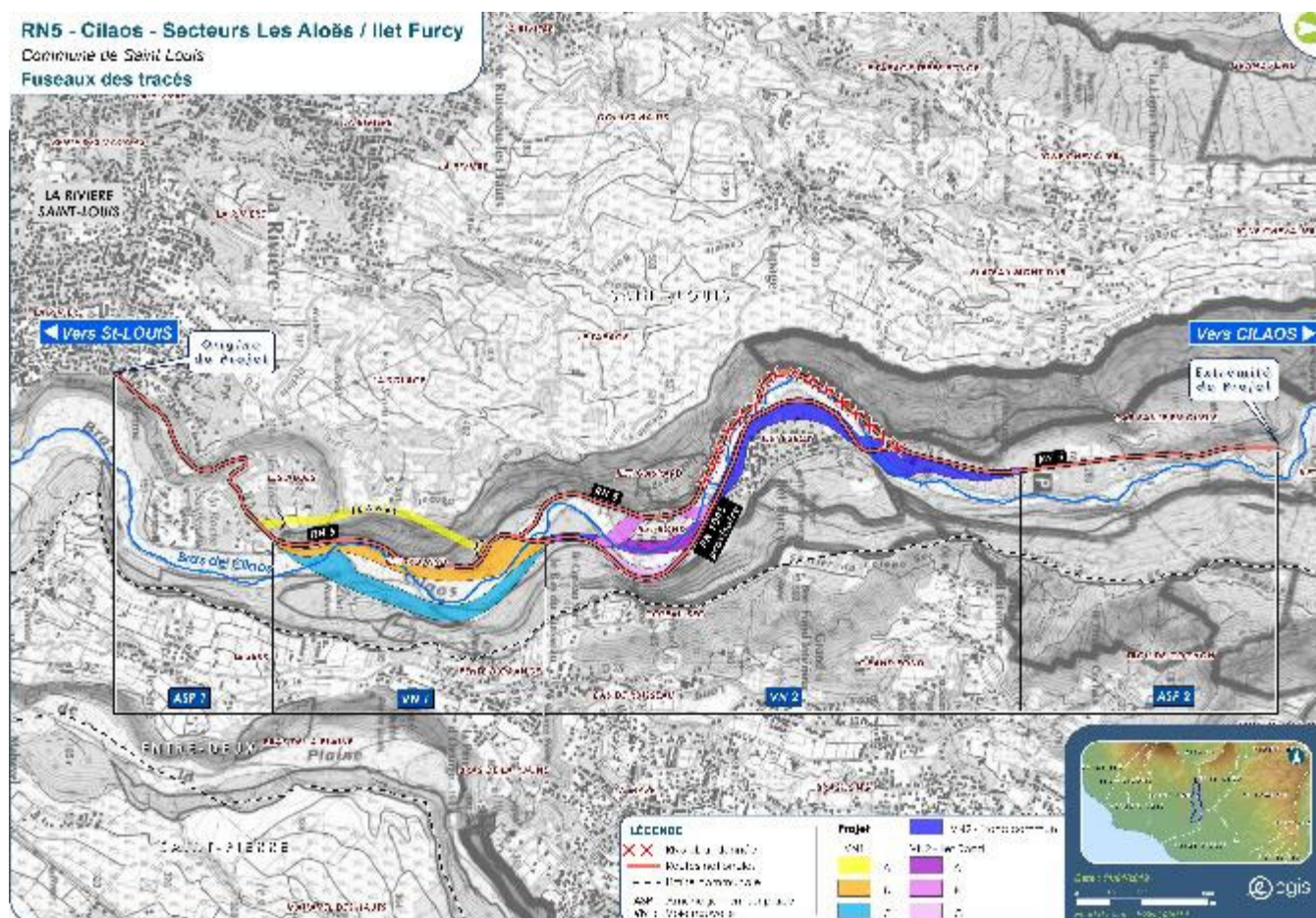
Suite à la notification du marché en décembre 2018, trois missions complémentaires (MC1/2/3) ont permis de réaliser la production d'études d'expertises sur le 1^{er} semestre 2019, et d'organiser la phase de concertation préalable.

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 VN 2 : VN2A/VN2B/VN2C



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 à 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 influencer 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'îlet Furcy**. Cette problématique sera à corriger par une prolongation de la route digue en amont de l'accès à l'îlet.

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.

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

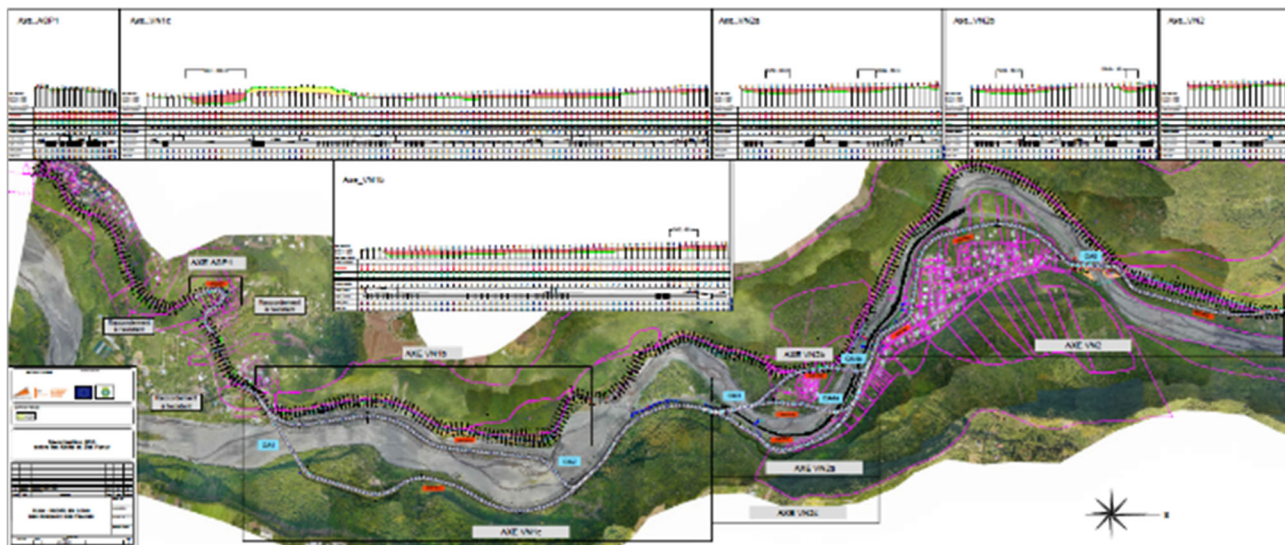
2.4 - Techniques routières

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 un 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.

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.



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. Quant à la solution VN1A intégrant un tunnel de 1 000 mètres, ce cas est traité indépendamment ci-dessous en raison du caractère particulier de cet ouvrage souterrain.

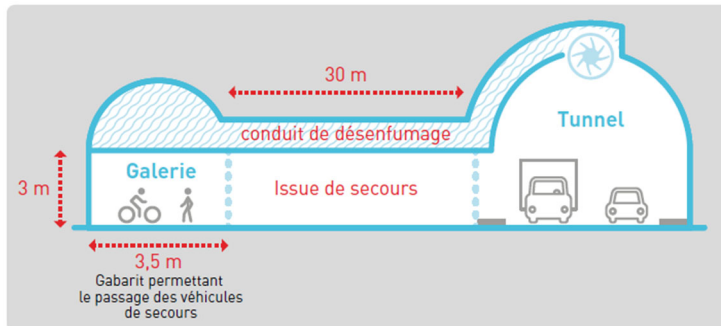
3.1.1 - Cas du tunnel routier de 1 000 mètres sur le fuseau VN1A

La circulaire n°2000-63 du 25 août 2000, la loi du 3 janvier 2002 (loi SIST), le décret n°2005-701 du 24 juin 2005 et la circulaire interministérielle n°2006-20 du 29 mars 2006 relatifs à la sécurité des tunnels routiers d'une longueur supérieure à 300 mètres, doivent être appliqués à la variante VN1A. Ces dispositifs législatifs intègrent notamment les conclusions relatives aux catastrophes des tunnels du Mont-Blanc de 1999 et du Saint-Gothard en 2001, et conduisent à la mise en œuvre de procédures restrictives et de moyens d'exploitation n'existant pas actuellement à La Réunion.

Par ailleurs, du fait que le Transport des Matières Dangereuses (TMD) devra forcément être autorisé dans ce tunnel en raison notamment de la présence d'une station-service à Cilaos et que la RN5 est

son seul axe de desserte, des dispositifs particuliers de sécurité doivent être intégrés à la conception de l'ouvrage (cf circulaire n°2000-83 relative au TMD).

L'élément de construction le plus impactant est la nécessité de réaliser une galerie de secours, en parallèle du tunnel routier bidirectionnel. En effet, le tunnel des Aloès ayant une longueur de 1 000 mètres et se situant sous un rempart, ceci ne permet pas de réaliser des abris intermédiaires ayant des communications directes vers l'extérieur. Ainsi, en application de l'annexe 2 de la circulaire n°2000-63, vu que le trafic routier est supérieur à 2 000 véhicules par jour et que l'ouvrage a une longueur supérieure à 500 mètres, ce tunnel non urbain doit prévoir des aménagements pour l'évacuation des usagers et accès des secours avec une interdistance de 400 mètres. Il serait ainsi nécessaire de créer une ou deux issues de secours reliées à une galerie creusée en parallèle du tunnel pour gérer les cas d'évacuation.



Par ailleurs, les enjeux de maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers de plus de 300 et 500 mètres impliquent la mise en œuvre de dispositifs de ventilation, de désenfumage et d'alimentation électrique secourue lourds en investissement, et particulièrement coûteux à entretenir, ce qui représenterait une charge importante pour les finances du gestionnaire de l'infrastructure. Ceci s'ajoutant aux moyens humains et matériels d'exploitation spécifiques devant être prévus à demeure à proximité du tunnel.

Tableau 4 : TUNNEL NON URBAIN A UN TUBE BIDIRECTIONNEL ET A TRAFIC NON FAIBLE DE GABARIT > 3,50 m

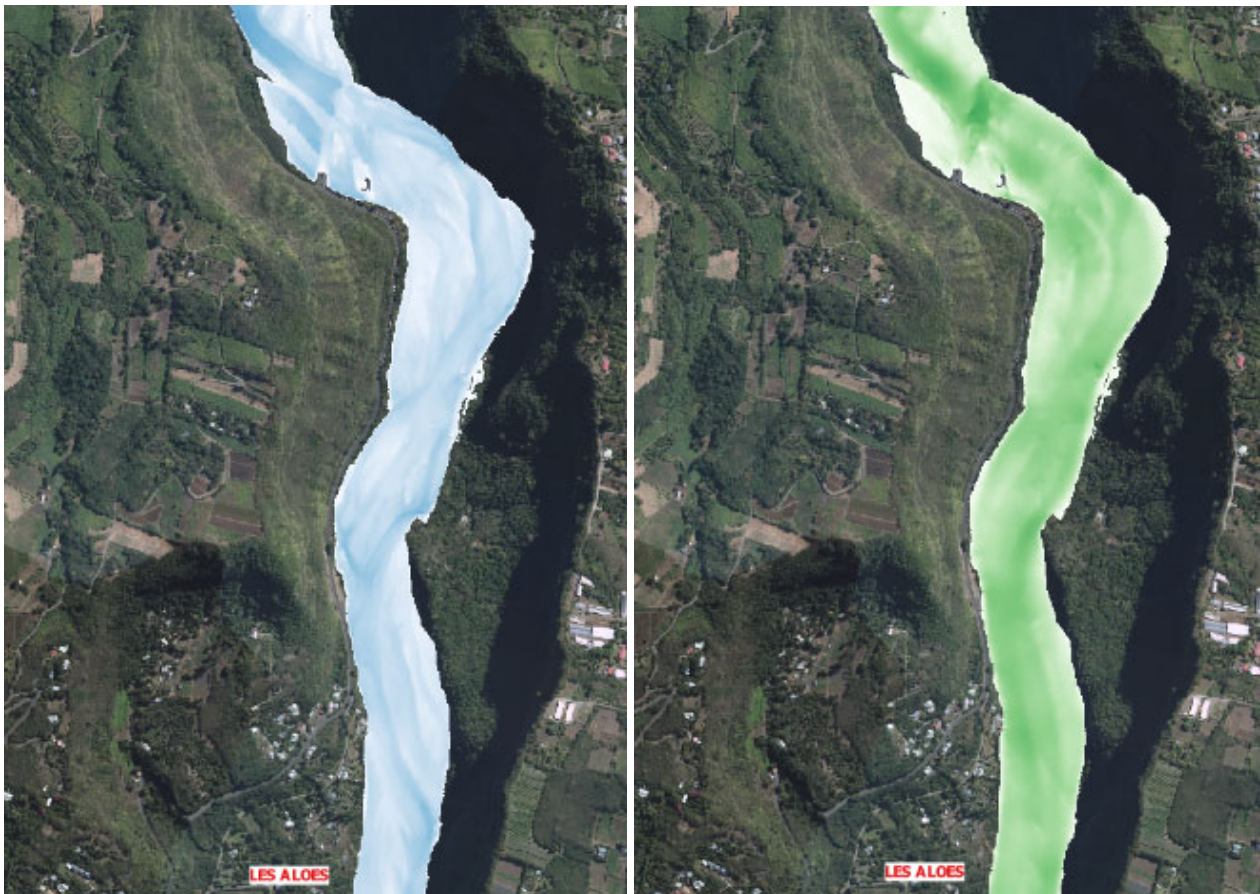
NON URBAIN 1 TUBE bidirect.	300 m	500 m	800 m	1000 m	1500 m	3000 m	5000 m
DISPOSITIONS DE GENIE CIVIL							
TROTTOIRS	§ 2.1.2	Obligatoires de chaque côté					
ISSUES / ACCES DE SECOURS	§ 2.2	-		Obligatoires tous les 400 m			
si profondeur < 15 m	§ 2.2.1	-		Communications directes avec l'extérieur obligatoires			
autres possib. si profondeur >= 15 m	§ 2.2.2	-		Galerie de sécurité ou abris (avec cheminement d'accès protégé de l'incendie)			
DISPOSITIFS POUR VS en tunnel	§ 2.3.1	-	-	-	Possibilité de retournement tous les 800 m		
aux têtes	§ 2.3.2	Avant chaque entrée, emplacement de stationnement à droite et possibilité de retournement					
NICHES DE SECURITE	§ 2.4	Tous les 200 m de chaque côté et face à face					
NICHES INCENDIE	§ 2.5	-		De préférence distinctes des niches de sécurité, tous les 200 m (d'un seul côté)			
HELISURFACE	§ 2.6	-	-	-	-	Si accès difficiles : à chaque tête si poss.	
GARAGES	§ 2.8	-	-	-	Tous les 800 m si réduction du nombre de files au droit d'un véhicule arrêté		
EQUIPEMENTS DE SECURITE							
ALIMENTATION ELECTRIQUE	§ 3.1	Prises dans les niches de sécurité + alimentation secourue sans coupure + alimentation secourue de puissance (obligatoire seulement si ventilation)					
VENTILATION SANITAIRE	§ 3.2.1	Concentration en CO < 150 ppm et K < 9.10 ⁻³ m ⁻¹ en cas de blocage accidentel de la circulation					
VENTILATION DE DESENFUMAGE : LONGITUDINALE	§ 3.2.2	-	Oblig. sauf compens.	Obligatoire			
	§ 3.2.2.a	-	Acceptée avec mesures compensatoires	Interdite			
-(SEMI-) TRANSVERSALE	§ 3.2.2.b	-		Acceptée			
contrôle du courant d'air		-	-	-	-	Obligatoire	
ECLAIRAGE / BALISAGE LUMINEUX	§ 3.3	Eclairage de sécurité + plots de balisage lumineux tous les 10 m de chaque côté					
POSTES D'APPEL D'URGENCE	§ 3.4	Dans les niches de sécurité (tous les 200 m de chaque côté) + dans les issues / accès de secours					
LUTTE CONTRE INCENDIE extincteurs	§ 3.5.1	2 extincteurs dans chaque niche de sécurité (tous les 200 m de chaque côté)					
alimentation en eau	§ 3.5.2	-		Bouche ou poteau d'incendie tous les 200 m (d'un seul côté)			
DETECTION D'INCENDIE	§ 3.6	-	Selon cas (cf 7.3.2)	Obligatoire si degré D1, D2, ou D3 de perm., éventuelle si D4		Eventuelle	
SIGNALISATION des disp. de sécurité	§ 3.7.1	Obligatoire (lumineuse et permanente en tunnel)					
d'arrêt aux têtes	§ 3.7.2	Obligatoire 50 m avant chaque entrée					
d'arrêt avec barrière + PMV aux têtes		-	-	Obligatoire si surveillance humaine (degré D3 ou D4)		Obligatoire	
d'arrêt avec PMV en tunnel		-	-	-	Tous les 800 m si surv. (degré D3 ou D4)		Tous les 800 m
d'affectation de voie	§ 3.7.3	-	-	Tous les 400 m si degré D3 ou D4 de permanence / surveillance et si plus d'une voie par sens			
RETRANSMISSION RADIO	§ 3.8	-	-	Au moins des VS		Au moins VS : usagers si surv. (D3 ou D4) VS + usagers	
SURVEILLANCE TV ET D.A.I.	§ 3.9	Obligatoires si surveillance humaine (degré D3 ou D4)					Obligatoires
EXPLOITATION							
DEGRE DE PERMANENCE/SURVEILL.	§ 5.1.1	Degrés D1 à D4 autorisés - choix selon tunnel, trafic et TMD					Surv. permanente obligatoire (degré D4)
MOYENS DE SECOURS SPECIFIQUES	§ 5.1.2	Nécessité à apprécier selon tunnel, trafic, TMD et éloignement des moyens de secours publics					Obligat. aux 2 têtes

3.1.2 - 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

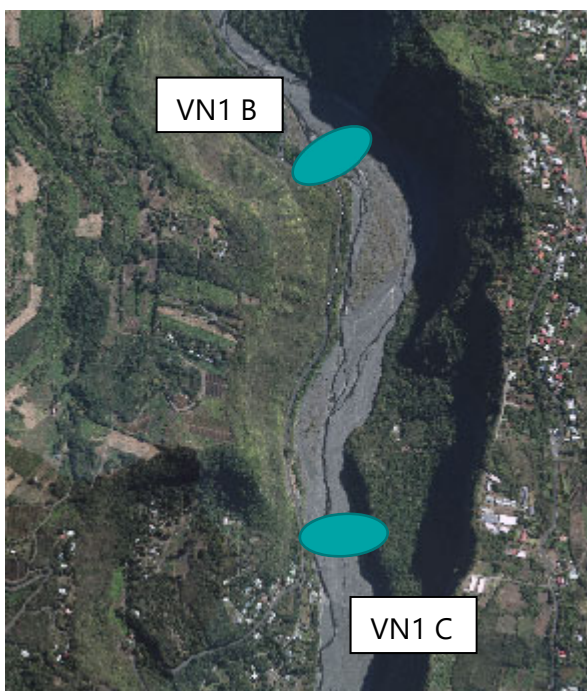


Représentation des hauteurs d'eau et des vitesses d'écoulement sur le linéaire du tracé VN1 (crue centennale)

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'îlet 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'îlet 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.

3.1.3 - Enjeux écologiques

Les variantes sont analysées au regard des critères listés ci-dessous. Ces critères ne sont pas exhaustifs mais permettent d'approcher la sensibilité globale de chaque variante. L'analyse des enjeux écologiques n'étant pas aboutie à ce stade du projet, il est donc possible que des réajustements interviennent ultérieurement et remettent partiellement en cause les premières conclusions établies ci-après.

■ Flore :

- ✓ Flore protégée : la protection réglementaire des espèces implique des contraintes administratives supplémentaires au projet et le Code de l'Environnement oblige le pétitionnaire à veiller à ne pas porter à la conservation des espèces concernées. Des mesures ERC fortes sont alors attendues.
- ✓ Flore patrimoniale rare à peu commune (menacée mais non protégée en 2019) : au-delà de l'aspect strictement réglementaire, des espèces patrimoniales rares non protégées (pour diverses raisons) peuvent être impactées par le projet et nécessiteront également une prise en compte ajustée au niveau de la démarche ERC.

- ✓ Espèces exotiques envahissantes : les espèces invasives sont une problématique forte sur les îles océaniques comme La Réunion.

■ **Habitats naturels spontanés** : il s'agit de déterminer l'intérêt des habitats en présence et les surfaces impactées par la variante analysée.

■ **Faune**

- ✓ Avifaune terrestre : il s'agit de déterminer la potentialité du site à accueillir des populations d'oiseaux nicheurs : qualité de l'habitat, espèces concernées, surfaces favorables...
- ✓ Avifaune marine : il s'agit de déterminer la potentialité du site à accueillir des populations d'oiseaux marins en reproduction (Phaéton, Puffins, Pétrels)
- ✓ Avifaune aquatique : il s'agit d'évaluer l'intérêt du site pour les oiseaux utilisant les zones humides (rivière ici) pour s'alimenter et se reproduire.
- ✓ Herpétofaune : il s'agit d'évaluer l'enjeu lié à l'herpétofaune (reptiles)
- ✓ Arthropodes : il s'agit d'évaluer l'intérêt des habitats pour accueillir un cortège d'arthropodes patrimoniaux
- ✓ Chiroptères : il s'agit essentiellement d'évaluer l'intérêt du site pour les chauves-souris insectivores : type d'activité, reproduction.

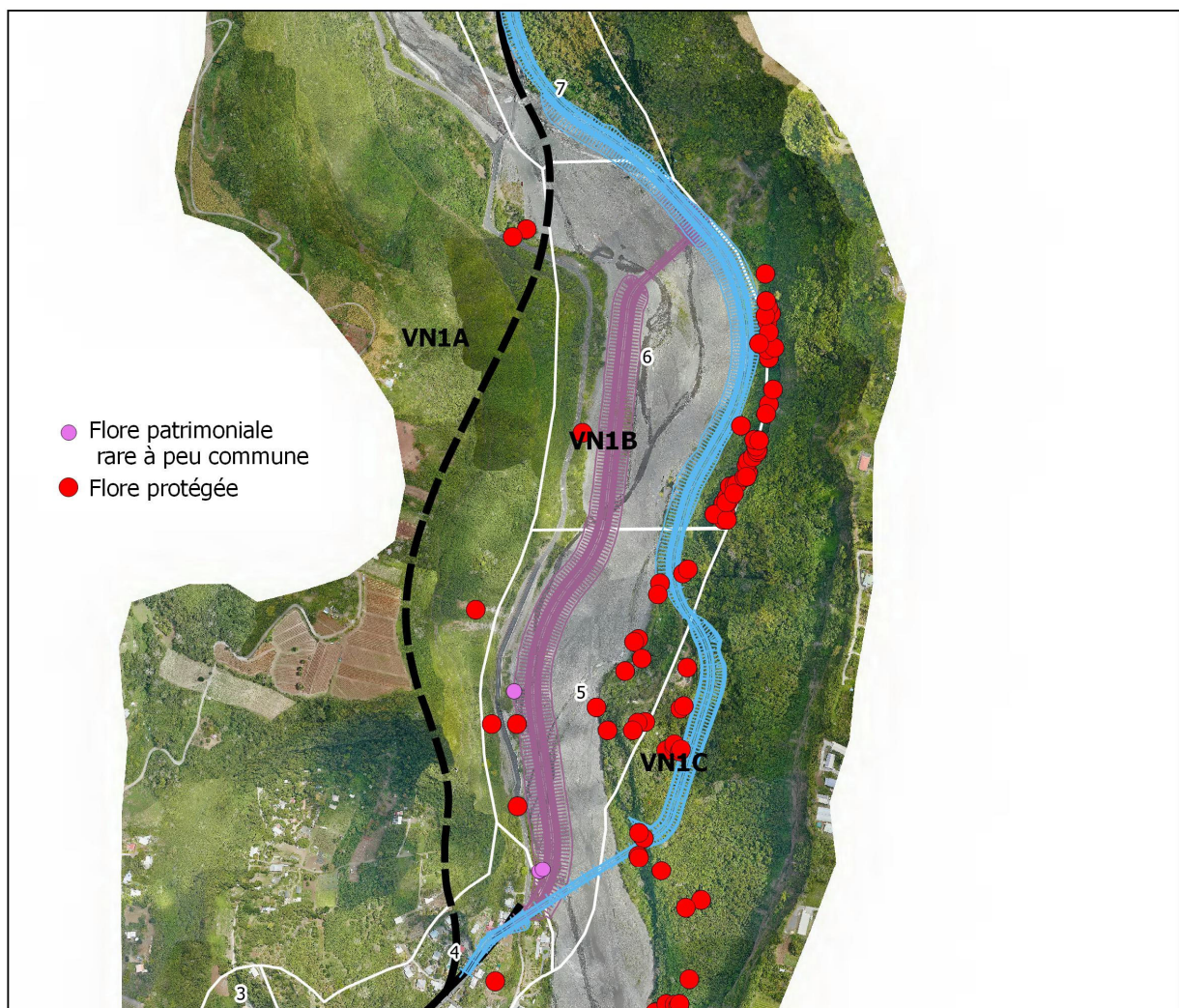




FIGURE 1. A GAUCHE, LA FALAISE FRANCHIE PAR LA VARIANTE C EN RIVE GAUCHE ; A DROITE, LA KETMIE À FEUILLES OVALES, PROTÉGÉ ET ABONDANT DANS LA ZONE

3.1.3.1 - Plateau Roland

En rive gauche du Bras de Cilaos, la variante VN1C vient escalader le plateau Roland, culminant à environ 20 à 30 mètres d'altitude au-dessus du lit de la rivière, surplombé lui-même par une falaise de 100 à 150 mètres de hauteur. Les milieux naturels sont essentiellement composés d'espèces exogènes, issues soit d'une recolonisation spontanée après défrichement (plateau) ou d'un processus d'invasion biologique (glacis, remparts +/- abruptes). Toutefois, de nombreuses espèces patrimoniales sont encore présentes, s'agissant d'espèces communes (Bois d'olive, bois de gaulette, les fougères *Adiantum rhizophorum* et *Pellaea viridis*...) à rares et protégées (Ketmie à feuilles ovales, *Hibiscus ovalifolius*, localement abondant, le latanier rouge, *Latania lontaroides*, le Bois de Chenille *Monarrhenus pinifolius* (en falaise) ou encore des espèces de fougères terrestres *Adiantum hirsutum*, *Adiantum philipsianum*...)

Les habitats recouvrant le secteur sont arborés (boisés) et constituent un support pour la faune (oiseaux nicheurs), ainsi que les falaises pour l'avifaune marine (Phaétons, Pétrels, Puffins) et les chauves-souris insectivores.

3.1.3.2 - Lit vif de la rivière

La rivière abrite des habitats temporaires remaniés par les crues. Les espèces caractéristiques sur cette portion de rivière sont *Boehmeria penduliflora* et *Cenchrus purpureus*. L'enjeu flore est quasi nul, avec la présence majoritaire d'espèces introduites. Quelques cypéracées et onagracées indigènes sont présentes mais communes pour La Réunion.

L'enjeu réside dans le support que la rivière constitue pour l'alimentation des oiseaux d'eau (Butor strié) et des limicoles (Chevaliers, Courlis) et la reproduction (Butor).

3.1.3.3 - Variante en tunnel (VN1A)

Les prospections ont été limitées sur la variante VN1A du fait des fortes contraintes techniques. La présente analyse s'appuie donc sur les potentialités, notamment au droit des têtes de tunnel, quasi-seul impact dommageable pour la biodiversité locale.



FIGURE 2. LIT DE LA RIVIÈRE EN RIVE DROITE : PRÉSENCE D'ARBRES SUSPENDUS AU DESSUS DE L'EAU FAVORABLE AU BUTOR STRIÉ

3.1.3.4 - Analyse des variantes

Enjeux écologiques		Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
Flore	Flore protégée	Impact limité mais probable sur quelques individus (<i>Hibiscus ovalifolius</i>). Têtes de tunnel non prospectées en détail : perception des enjeux plus faible que pour les autres variantes : présence possible de <i>Monarrhenus pinifolius</i>	Impact limité sur la flore protégée mais il est probable que quelques individus soient détruits	Impact probable sur de nombreuses stations et plusieurs espèces protégées (<i>Latanier rouge</i> , <i>Hibiscus ovalifolius</i> , <i>Adiantum hirsutum</i> , <i>Adiantum philipsianum</i>) Présence d'une population de <i>Monarrhenus pinifolius</i> en falaise au-dessus de la variante (pose de filets envisagée)
	Flore patrimoniale rare à peu commune (menacée mais non protégée en 2019)	Perception des enjeux plus limité que sur les autres variantes : espèces patrimoniales très probables sur les têtes de tunnel	Destruction de plusieurs stations de la fougère <i>Doryopteris pilosa</i>	Présence probable d'espèces patrimoniales rares non protégées (recueil des enjeux plus complexe sur les portions de falaise et les zones boisées → sous-évaluation des enjeux)
	Espèces exotiques envahissantes	Milieus déjà très dégradés, nombreuses EEE en présence, les impacts seront limités a priori	Milieus déjà très dégradés, nombreuses EEE en présence, les impacts seront limités a priori	Milieus déjà très dégradés, nombreuses EEE en présence, les impacts seront limités a priori

Enjeux écologiques		Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
Habitats naturels spontanés		Falaises impactées (tête de tunnel), habitat favorable aux reliques d'espèces indigènes et aux oiseaux marins. Toutefois, la majorité du tracé se situant en tunnel, les impacts restent très limités par ailleurs sur les habitats naturels.	Petites falaises et micro habitats en pied de route ponctuellement impactés en rive droite. Variante se situant cependant en grande partie dans le lit vif où les habitats naturels sont temporaires et cycliquement remaniés par les crues : impact limité.	Plusieurs habitats sont impactés directement par cette variante : pied de falaise (éboulis), falaises, boisements secondarisés. Ces habitats sont spontanés mais composés essentiellement d'essences exogènes. Densité en espèces indigènes communes (Doratoxylon, Ficus rubra, Pouzolzia, Adiantum rhizophorum, ...) Impacts indirects sur la falaise de l'Entre Deux située au-dessus de la route (sécurisation envisagée)
Faune	Avifaune terrestre	Présence en reproduction des 2 espèces indigènes et protégées commune : Oiseau lunette gris et Tourterelle malgache. Surfaces favorables très limitées sur la variante.	Présence en reproduction des 2 espèces indigènes et protégées commune : Oiseau lunette gris et Tourterelle malgache. Surfaces favorables très limitées sur la variante.	Présence en reproduction des 2 espèces indigènes et protégées communes : Oiseau lunette gris et Tourterelle malgache. Surfaces favorables importantes. Présence d'une espèce forestière protégée : Terpsiphone bourbonensis, le Moucherolle de La Réunion. Falaises amont propices à la Salangane et l'Hirondelle de Bourbon (aucun site de reproduction avéré)
	Avifaune aquatique	RAS	Présence du Butor Strié (reproduction probable) et limicole (Chvalier guignette) au droit de l'ouvrage à créer dans la rivière : enjeu modéré à fort	Présence du Butor Strié (reproduction probable) et limicole (Chvalier guignette) au droit de l'ouvrage à créer dans la rivière : enjeu modéré à fort
	Avifaune marine	Impact potentiel sur les têtes de tunnel (nidifications d'oiseaux marins) : à confirmer le cas échéant. Falaises déchiquetées, végétalisées et surfaces limitées	RAS	Impact direct sur une falaise propice au Phaéton à Bec Jaune Passage en pied d'une grande falaise propice aux oiseaux marins (dont Puffins de Baillon) : enjeu à confirmer en septembre/octobre 2019
	Herpétofaune	Présence du Furcifer pardalis (Caméléon Panthère) : espèce protégée mais introduite, enjeu limité	Présence du Furcifer pardalis (Caméléon Panthère) : espèce protégée mais introduite, enjeu limité	Présence du Furcifer pardalis (Caméléon Panthère) : espèce protégée mais introduite, enjeu limité

Enjeux écologiques		Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
	Arthropodes	Peu d'habitats naturels impactés. Espèces indigènes communes (absence d'habitats indigènes favorables à l'expression d'un cortège d'espèces patrimoniales rares) Présence de Papilio phorbanta très probable, espèce protégée mais commune à assez à peu commune et montrant un caractère anthropophile.	Cortège d'odonates bien représenté mais relativement peu diversifié	Espèces indigènes communes (absence d'habitats indigènes favorables à l'expression d'un cortège d'espèces patrimoniales rares) Présence de Papilio phorbanta très probable, espèce protégée mais commune à assez à peu commune et montrant un caractère anthropophile
	Chiroptères	Gîtes probables sur les falaises en tête de tunnel (non mis en évidence à ce jour)	Rivière = zone de chasse active	Présence d'une colonie de Petit Molosses dans la falaise surplombant la variante

3.1.4 - 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

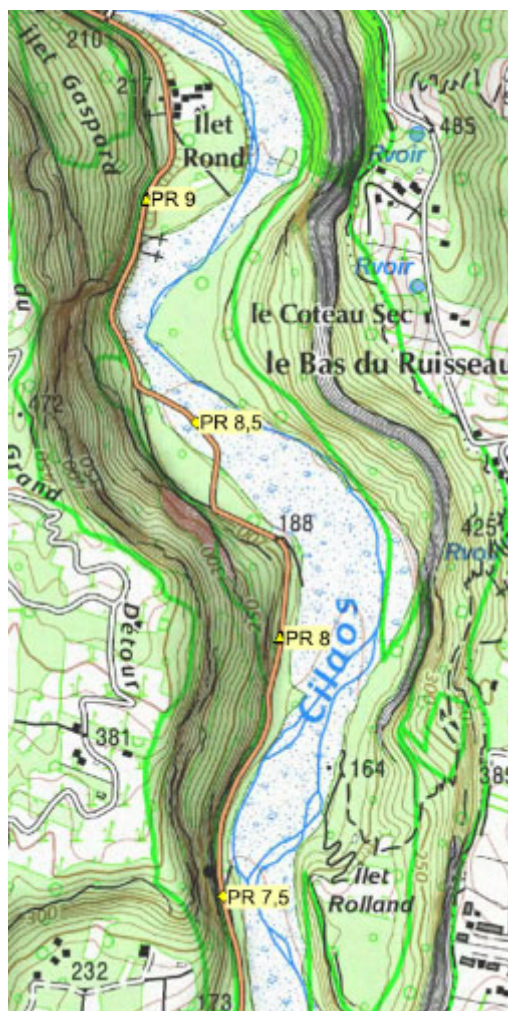
3.1.4.1 - Contexte géologique

3.1.4.1.1 - 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 première route de Cilaos construite et 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

LOCALISATION DU TRONÇON ÉTUDIÉ DANS LE CADRE DES VARIANTES

3.1.4.1.2 - 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 bréchique 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 2).

Le plateau se raccorde au rempart par un glacis incliné à 66 % environ (34 °) (cf. photographie 1).



PHOTOGRAPHIE 1 : LE PLATEAU PERCHÉ 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 3) ;
- sur la partie basse du plateau à 250m au Sud des bâtiments (photographie 4). 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 5 et 6) où elles sont recouvertes par des colluvions à blocs.



PHOTOGRAPHIE 2 : REMPART BRÈCHIQUE « DÉCHIQUETÉ » À L'EST DU PLATEAU DE L'ILET ROLAND

*PHOTOGRAPHIE 3 : MASSE BRÈCHIQUE
OBSERVÉE SUR LE SENTIER DE L'ENTRE-DEUX,
À ALTITUDE + 230 NGR*

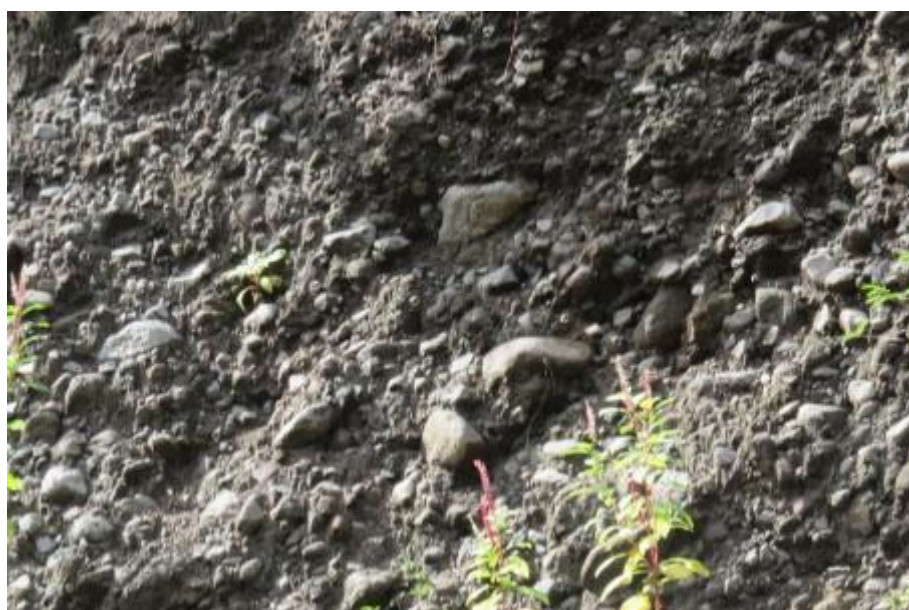




PHOTOGRAPHIE 4 : MASSES BRÉCHIQUES RENCONTRÉES SUR LE PLATEAU D'ILET ROLAND



PHOTOGRAPHIE 5 :
TALUS ALLUVIONNAIRE
EN AMONT DES
BÂTIMENTS ENTERRÉS DE MR TURPIN



PHOTOGRAPHIE 6 : ALLUVIONS MAL TRIÉES (DÉTAIL DE LA PHOTO CI-DESSUS)

3.1.4.1.3 - 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 7 : BLOCS DE BASALTE DE 2 M³ RENCONTRÉS SUR LE PLATEAU D'ILET ROLAND



PHOTOGRAPHIE 8 : BLOCS DE BASALTE DE 1 À 3 M³ RENCONTRÉS SUR LE PLATEAU D'ILET ROLAND

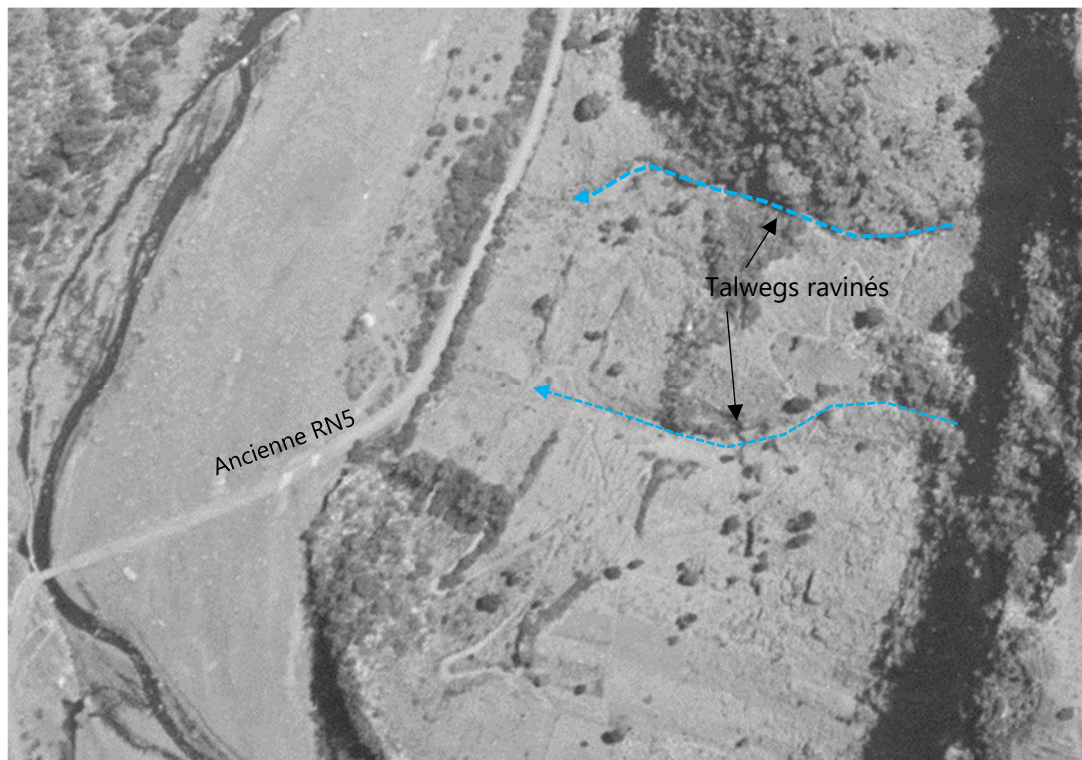
3.1.4.1.4 - Les éboulements en masse

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 m³ contenant des blocs de grande dimension. Ces phénomènes restent probables dans ce type de relief bréchique. 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.

3.1.4.1.5 - 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.

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



TALWEGS RAVINÉS DANS LE VERSANT SITUÉS AU PIED DU REMPART BRÈCHIQUE (CLICHÉ IGN 1950)

3.1.4.1.6 - 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 disparaît au Nord dans le coude de la rivière ;
- un dépôt localisé d'alluvions anciennes plaqué contre le pied du rempart.

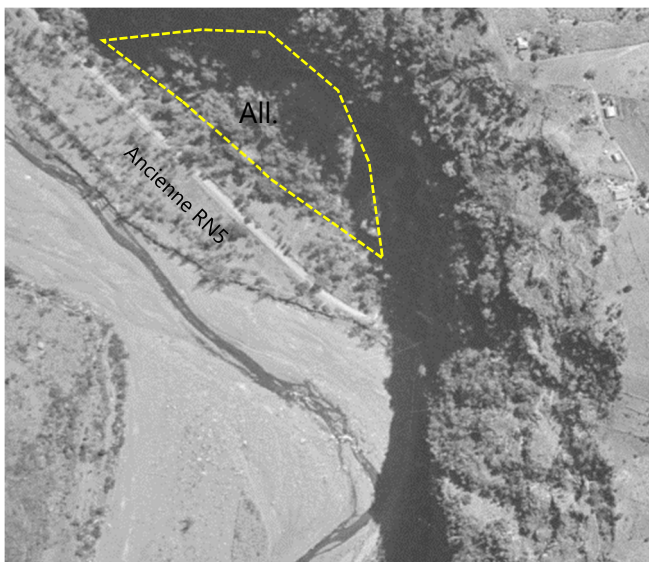
Ce rempart est le siège de nombreuses chutes de blocs qui se détachent périodiquement des parois verticales et du versant amont.

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 11 et 12).

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.



ANCIENNE RN5 DISPARUE AU DROIT DU DÉPÔT ALLUVIONNAIRE ET DANS LE COUDE DE LA RIVIÈRE



PHOTOGRAPHIE 9 : REMPART DANS LE COUDE AU NORD D'ILET ROLAND



PHOTOGRAPHIE 10 : DÉPÔT D'ALLUVIONS ANCIENNES PRÉSERVÉES EN AMONT DU COUDE DE LA RIVIÈRE



PHOTOGRAPHIE 11 : EPAULEMENT BASALTIQUE EN PIED DE REMPART



PHOTOGRAPHIE 12 : ANCIENNE RN5 FONDÉE DANS LES COULÉES BASALTiques EN PIED DE REMPART



PHOTOGRAPHIE 13 . DÉPÔT D'ALLUVIONS ANCIENNES ADOSSÉ AU PIED DU REMPART



PHOTOGRAPHIE 14 : PISTE RÉCEMMENT TAILLÉE DANS LES ALLUVIONS GRAVELO-SABLEUSES

3.1.4.1.7 - 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.



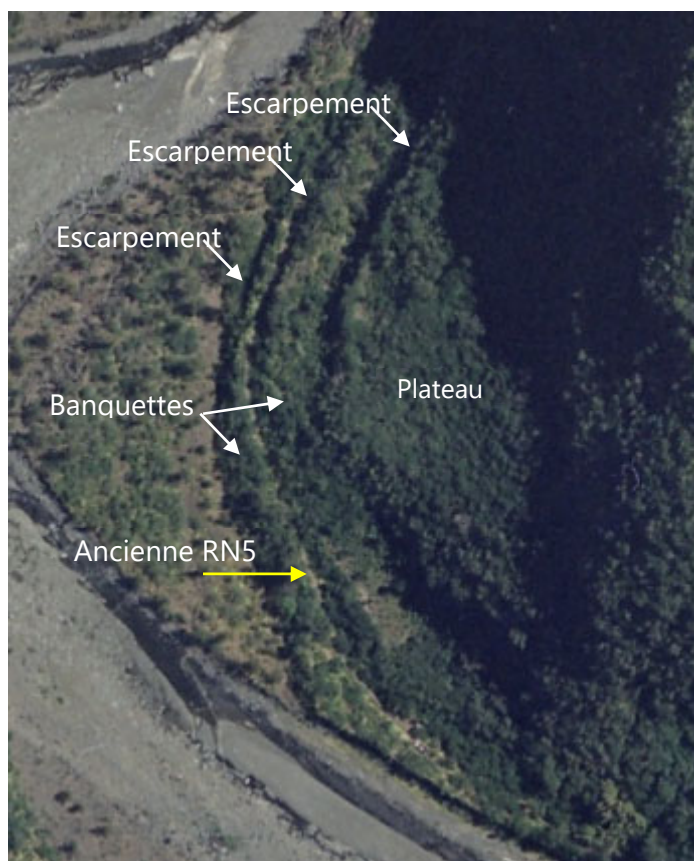
LIT ENGRAVÉ DE LA RIVIÈRE AU SUD D'ILET ROND

L'ancienne RN5, toujours présente et parfaitement conservée, a été implantée sur la première banquette au pied d'un second escarpement basaltique de 10 à 15 m de hauteur au-dessus de la RN 1005.

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'envoient sous les alluvions anciennes.

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



BANQUETTES BASALTQUES EN AMONT DE LA RN 1005 (CLICHÉ IGN 1973)



*PHOTOGRAPHIE 15 : ESCARPEMENT
BASALTIQUE 1 EN BORDURE AMONT
DE LA RN 1005*

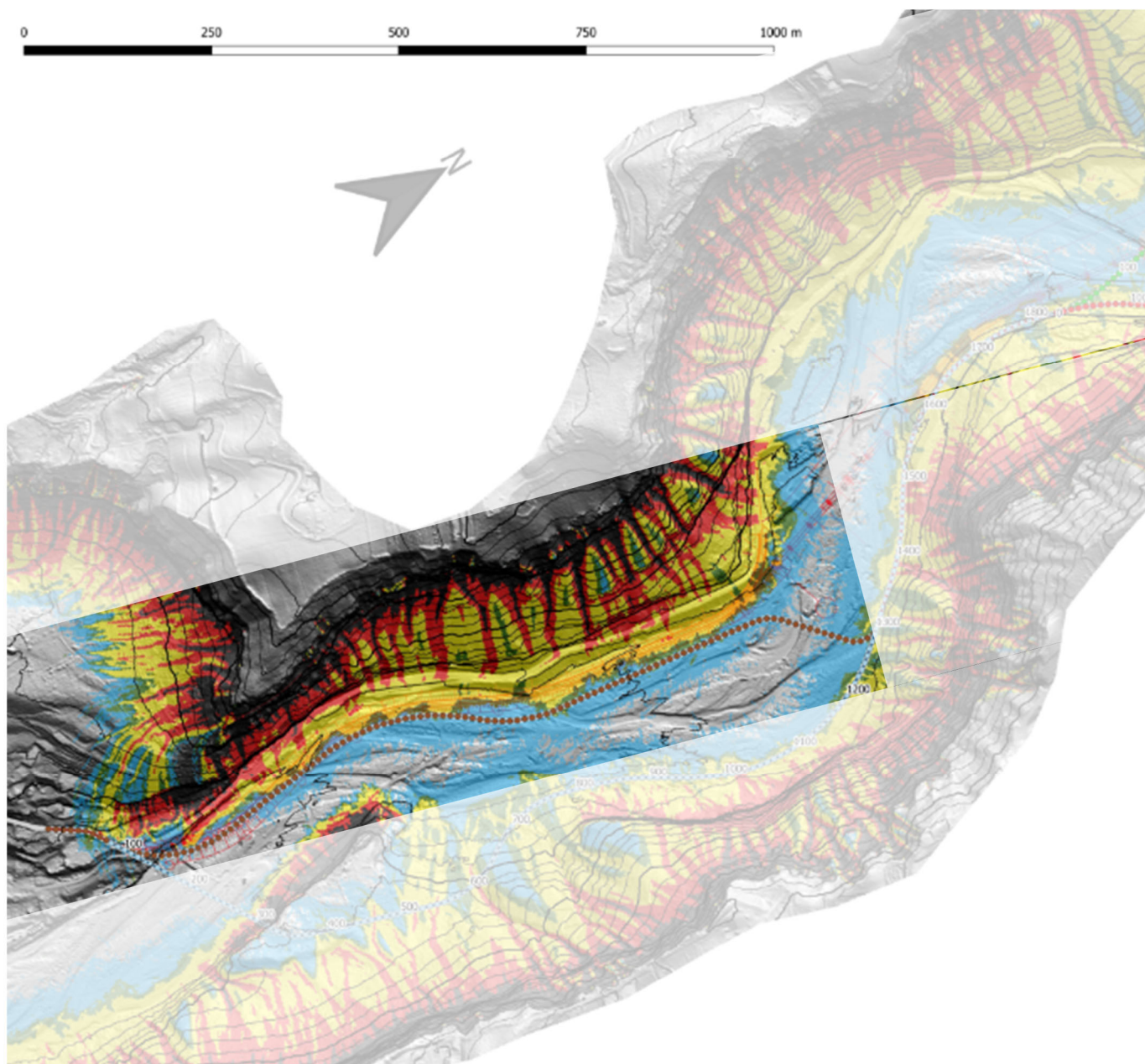


PHOTOGRAPHIE 16 : ANCIENNE RN5 IMPLANTÉE AU PIED DE L'ESCARPEMENT BASALTIQUE 2

3.1.4.2 - 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.

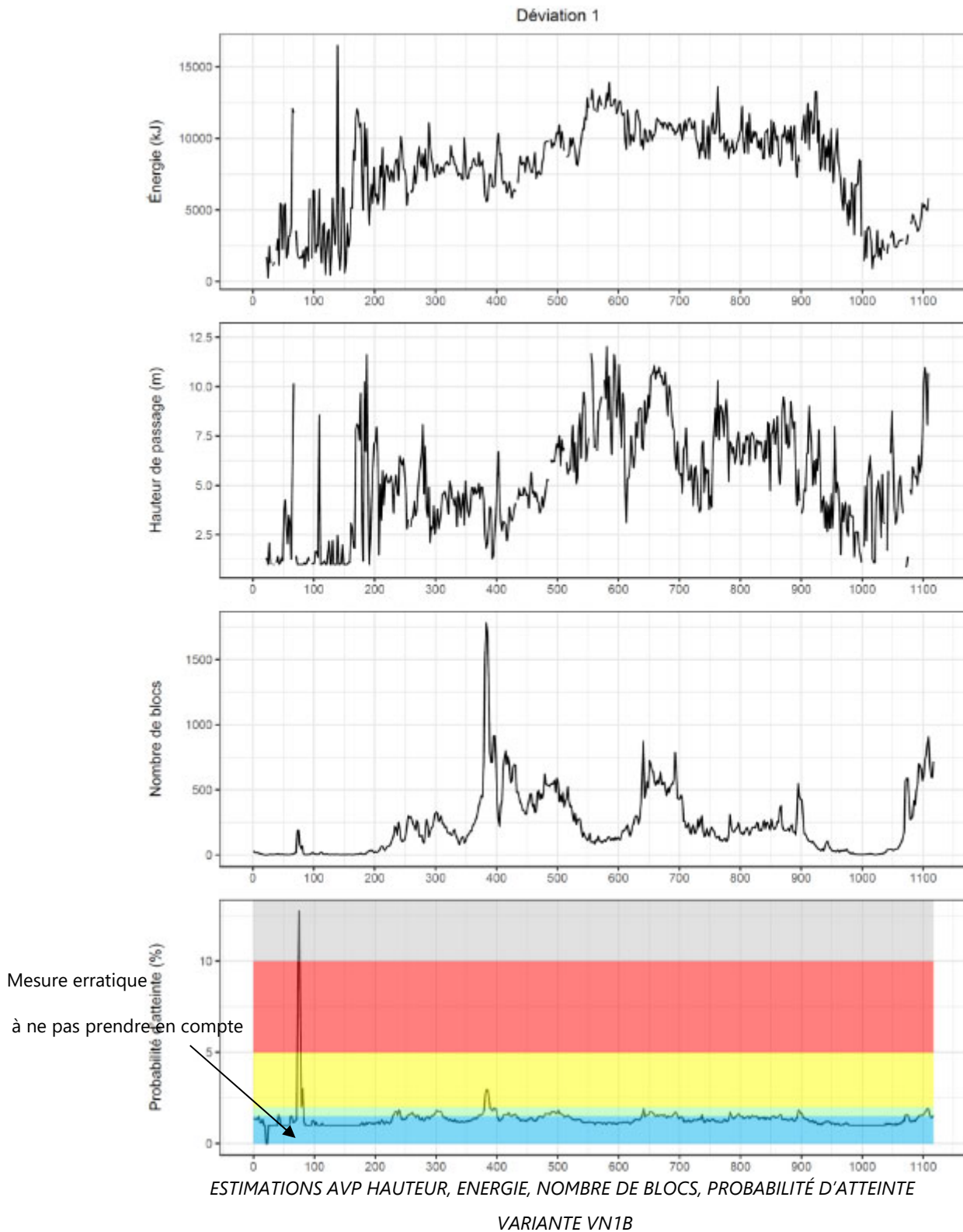
Les blocs qui atteignent le projet proviennent de la rive droite, sauf à l'extrémité amont au niveau de l'ouvrage de franchissement OA2 où des blocs proviennent de la rive gauche.



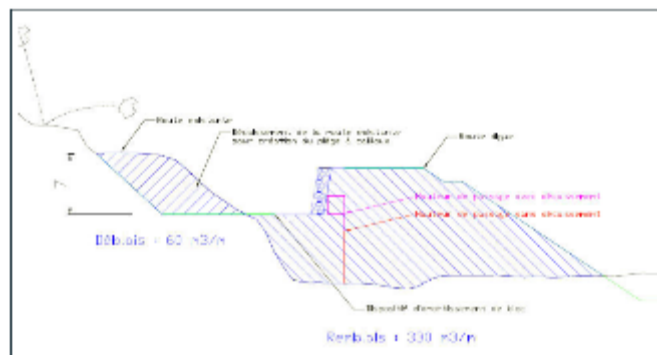
DÉTAILS TRACÉ VARIANTE VN1B

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%).

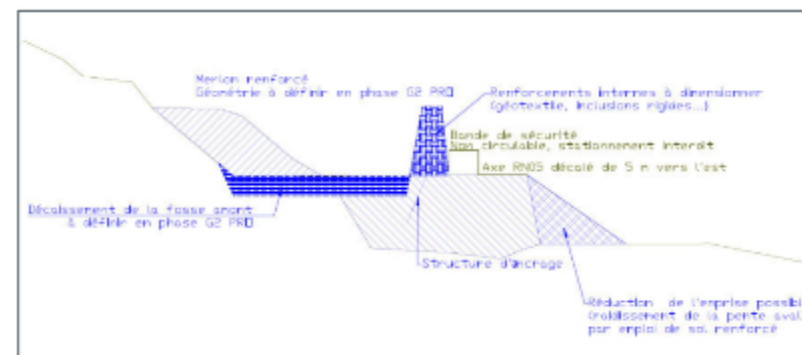
Le détail des énergies, hauteur de passage, nombre de blocs et probabilité d'atteinte - reach probability associés est présenté dans la figure ci-dessous et page suivante :



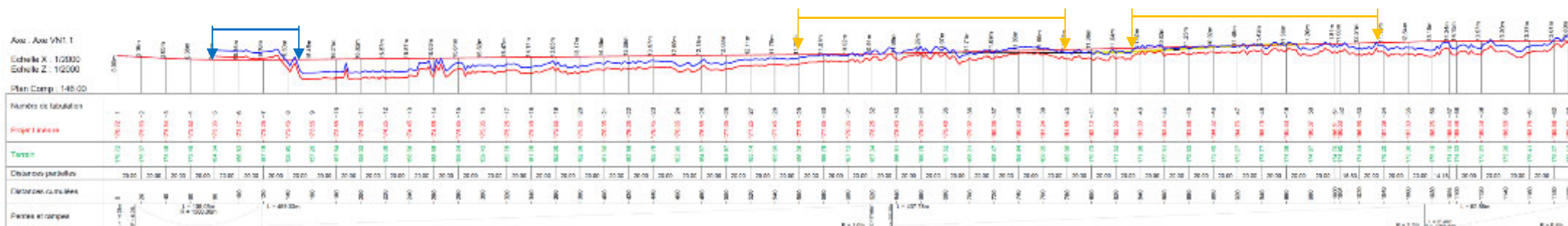
Une protection amont de type merlon pare blocs de 1 m de hauteur sera à étudier sur le second tronçon (PK840 à PK1040).



Zones de hauteur insuffisantes



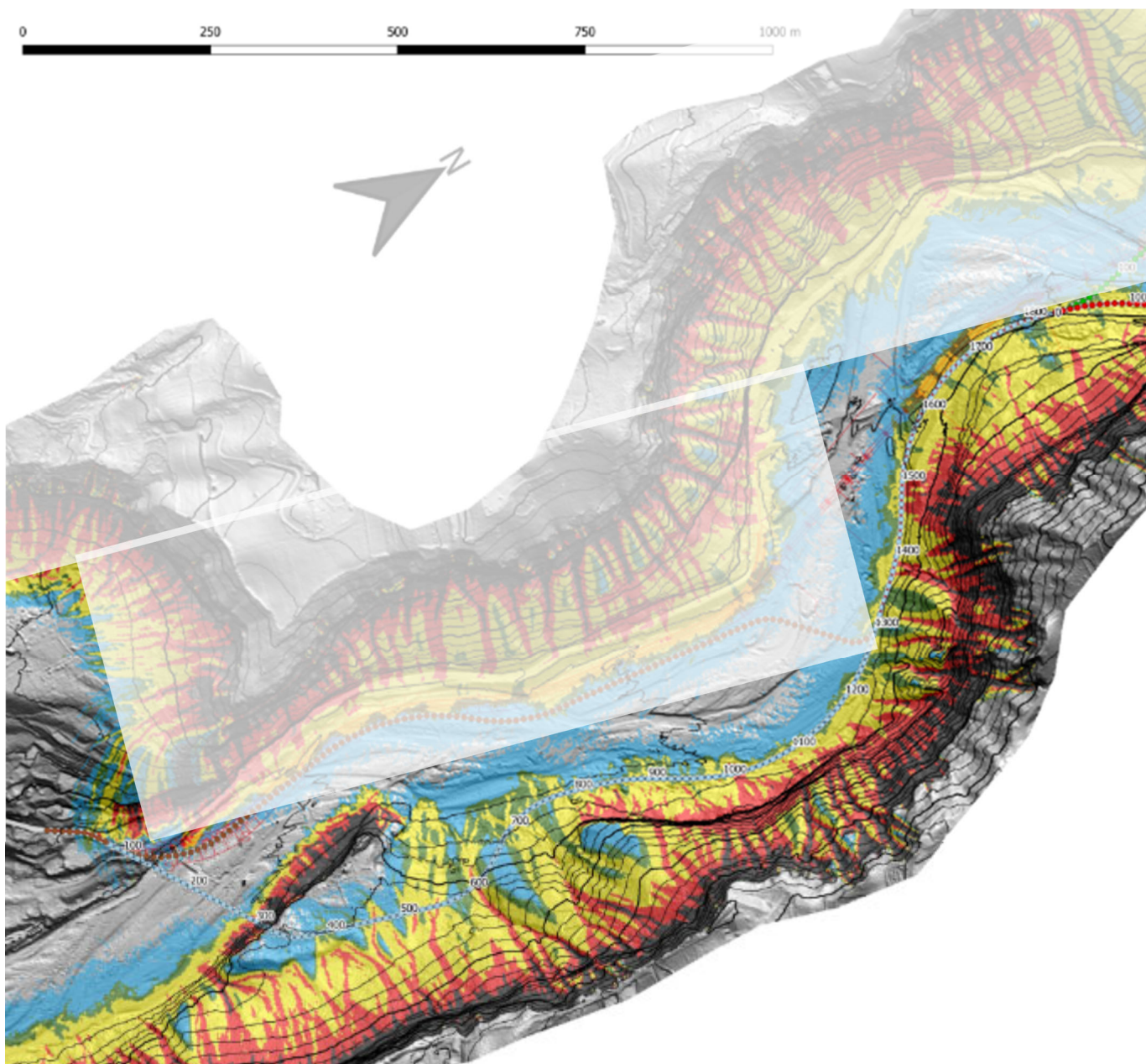
Zones de hauteur insuffisantes Zones de hauteur insuffisantes



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT À LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE VN1B

3.1.4.3 - 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.



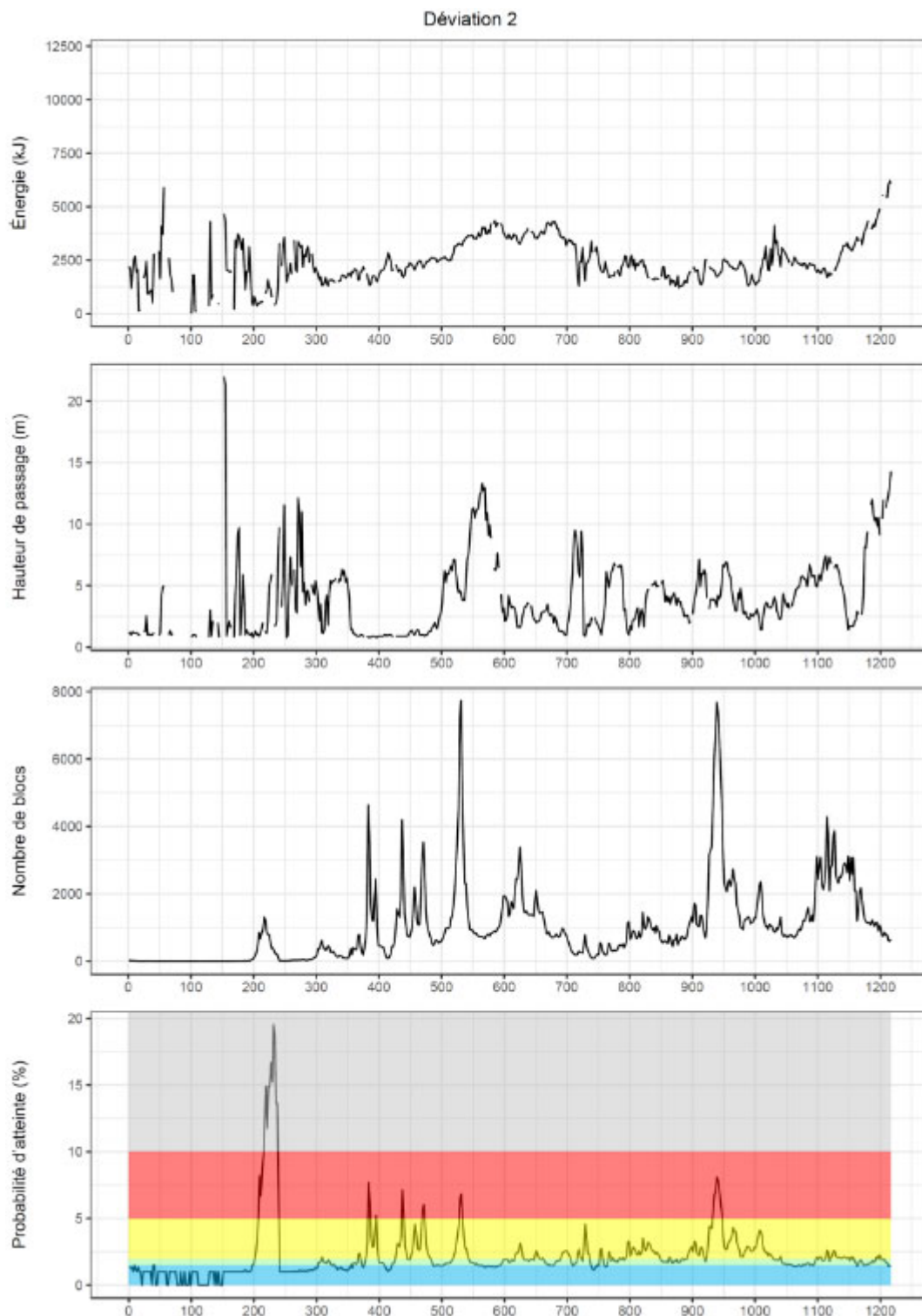
DÉTAILS TRACÉ VARIANTE VN1C

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.

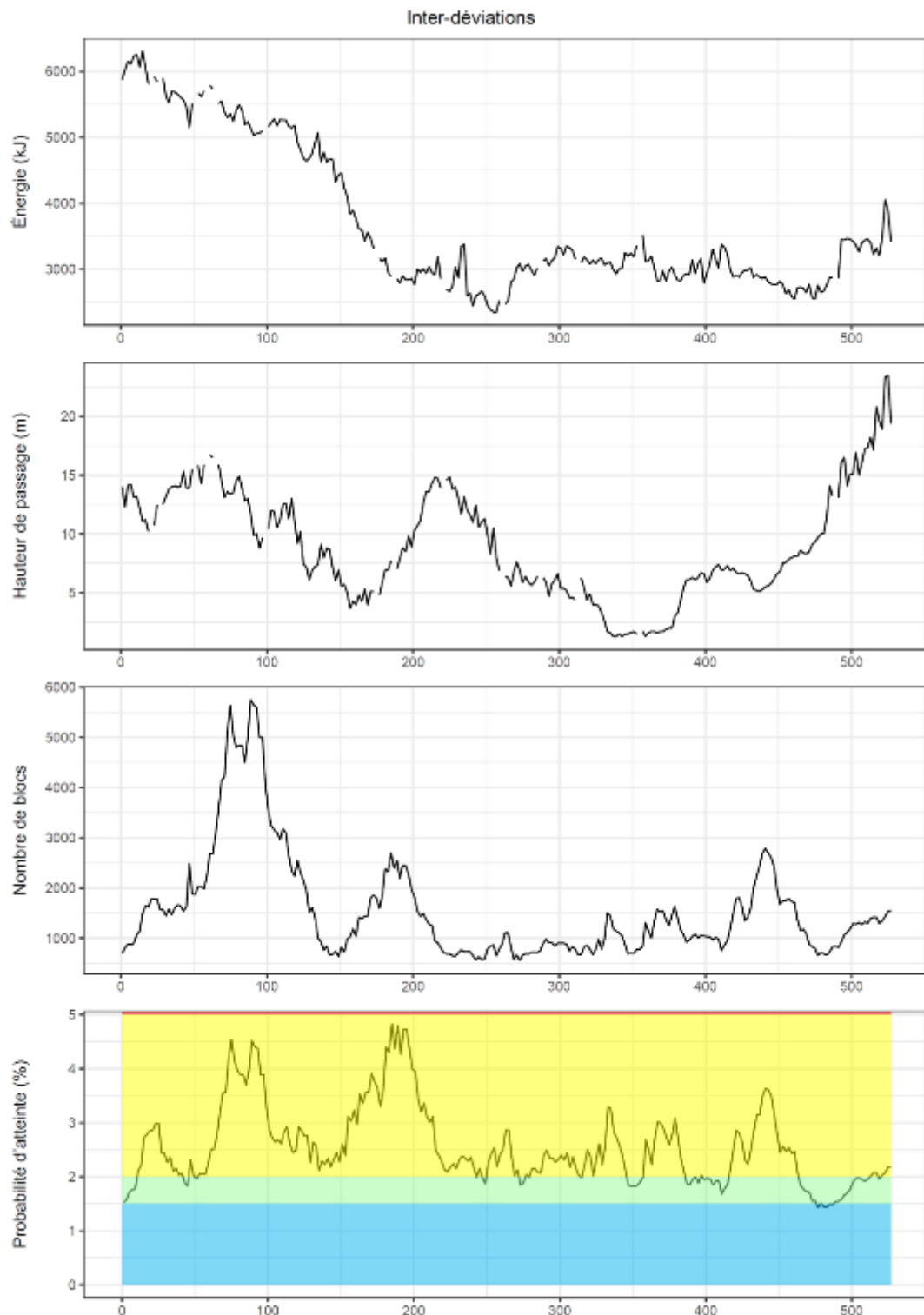
Les énergies de passage sont globalement moins fortes ici, avec des blocs de 2m3 et 2500kJ en moyenne, qu'en VN1b (8m3 et 7500kJ).



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITÉ 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.



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITÉ 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 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 estimés à ce stade sont :

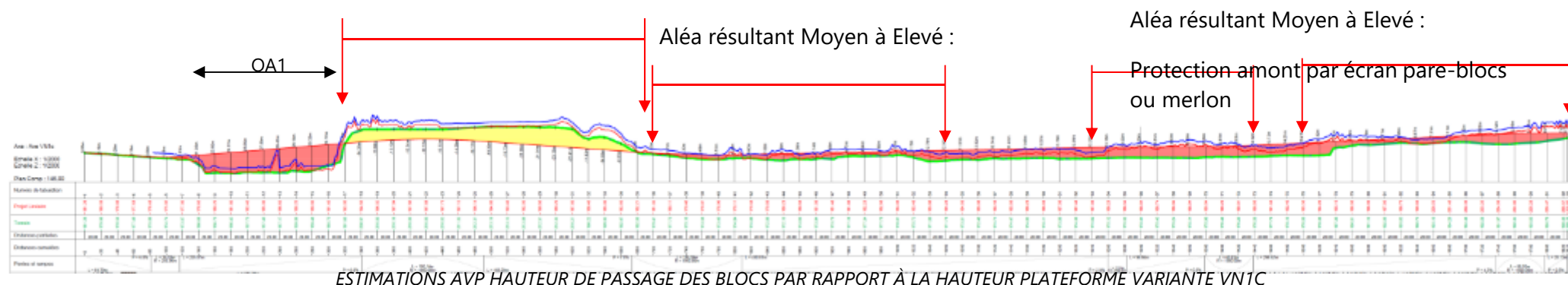
VN1c aval = 600 m d'écrans forte capacité + confortement des talus de la tranchée de déblais

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

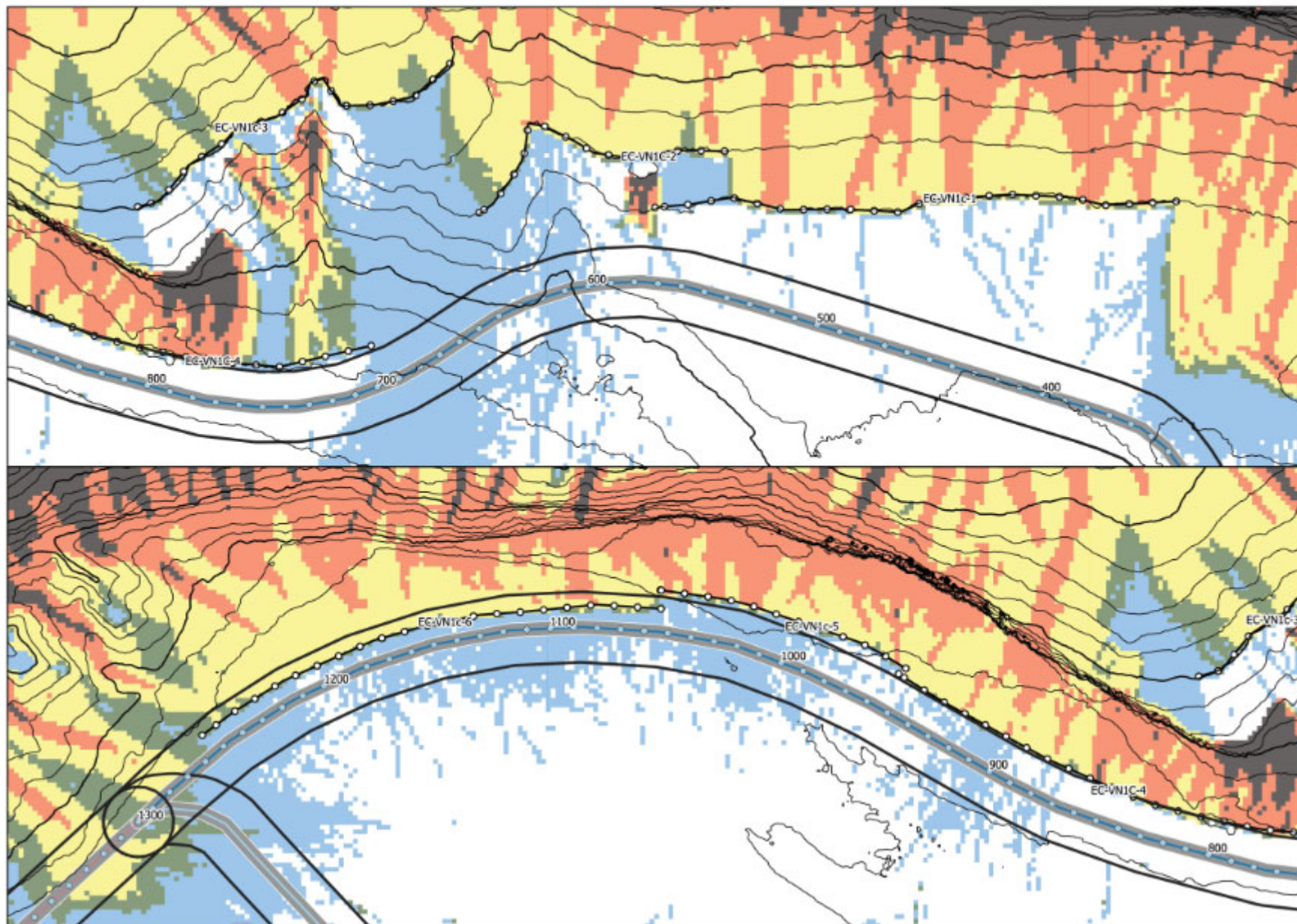
VN1 entre OA2 et OA3 = 300 m d'écrans forte capacité + 600 m d'écrans forte capacité ou de merlon

Zone de déblais – Aléa résultant Très Faible à Elevé :

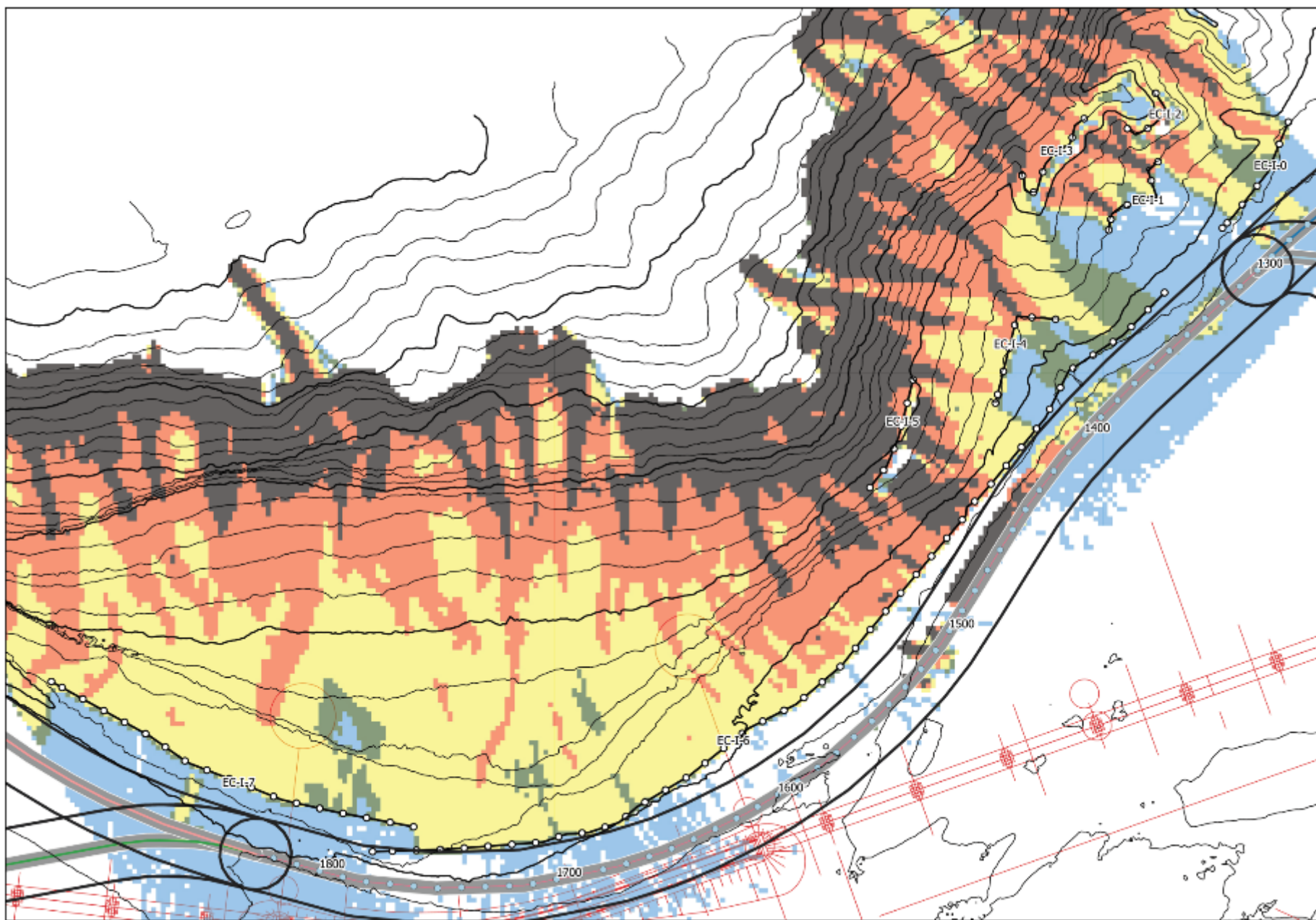
Protection pare-blocs en amont



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT À LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE VN1C



ECRANS DE PROTECTION VARIANTE VN1C



ECRANS DE PROTECTION FIN DE LA VARIANTE VN1C ENTRE OA2 ET OA3

Comparaison VN1b / VN1c

VN1b

Avantages :

- Moins exposé aux chutes de blocs (entre 3x moins en relatif et 5 x plus moins en valeur absolue)
- 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 hydrauliques 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 (entre 3x plus en relatif et 5 x plus en valeur absolue)
- 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 cout est quasi doublé)
- Cout 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.

3.1.5 - 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 m³ 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 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : 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 m³, 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

Solution	Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
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. - Présence du Butor strié dans le lit de la rivière	- Franchissement d'une falaise de 20 mètres en rive gauche (site favorable au Phaéton, présence d'espèces de flore protégée) - Boisements secondaires avec présence d'espèces patrimoniales communes et/ou protégées, parfois abondantes, supportant 3 oiseaux nicheurs en alimentation / reproduction - Présence d'une falaise surplombant le plateau et la variante favorable à l'avifaune (puffins, phaéton) et aux chiroptères (présence d'un gîte) - Présence du Butor strié dans le lit de la rivière
Impacts sur le milieu humain	La tête Sud 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, - absence de desserte d'Ilet Rolland - plus d'accès aux paysages remarquables	- Cette solution recoupe une piste et un sentier de randonnée vers l'Ilet 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.

Solution		Variante 1A : tunnel + ouvrage	Variante 1B : route digue + ouvrage	Variante 1C : voie nouvelle + ouvrage
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
Enjeux d'exploitation		- Tunnel impliquant des moyens et des coûts d'exploitation très importants, n'existant pas actuellement à La Réunion.	- Route-digue très exposée aux enjeux hydrauliques et nécessitant des travaux réguliers de résorption de désordres sur les protections contre l'affouillement, après les épisodes de crue	- Mise en œuvre de grands linéaires de protections contre les chutes de blocs en rive gauche et d'un ouvrage d'art d'une longue portée, impliquant la nécessité d'une continuité d'intervention pour l'entretien de ces ouvrages.
Coûts des travaux (en millions d'euros)		75	30	30

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

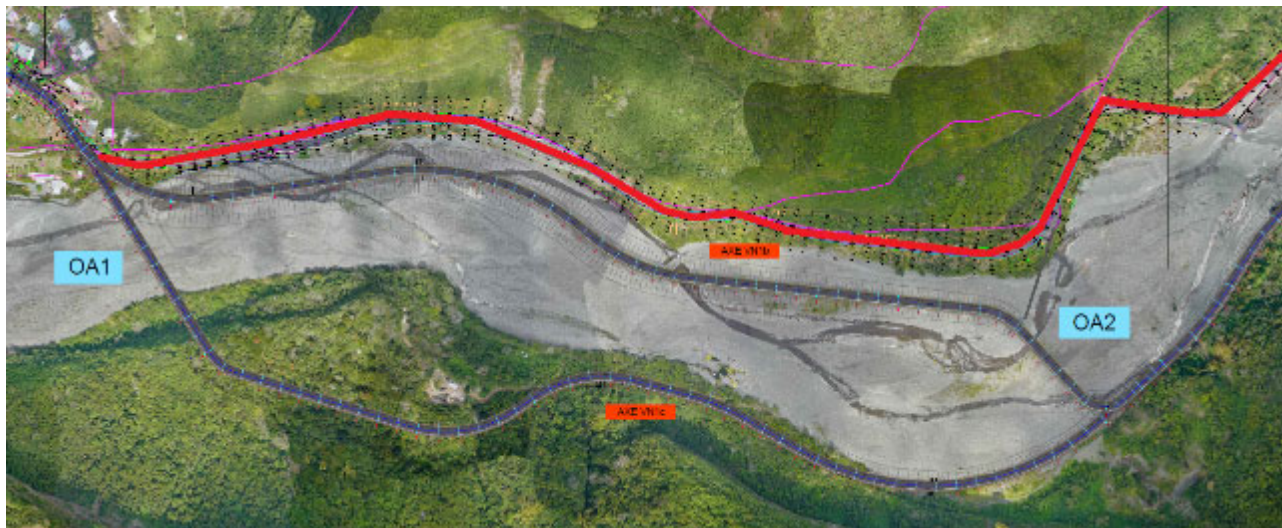
Cette note s'organise de la façon suivante :

- 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.

3.1.6.1 - 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).

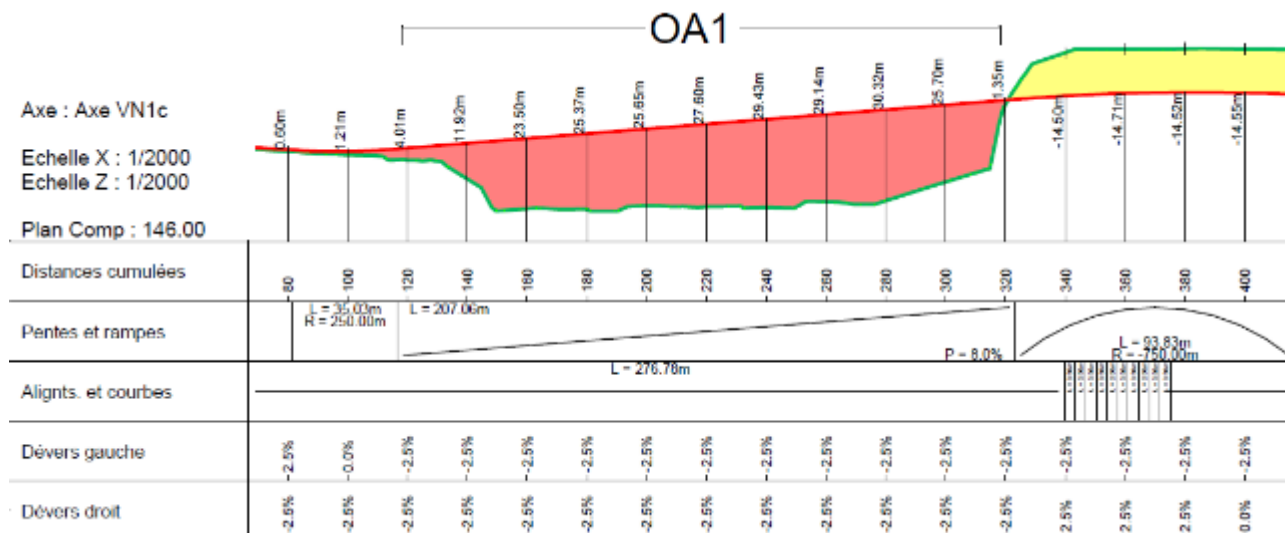
Dans le cadre d'une analyse de variante, la question de basculer en rive gauche dès la sortie des Aloès est étudiée. Cette solution nouvelle permet de sécuriser la RN5 en rejoignant, via un important ouvrage d'art, le versant opposé, lui-même moins exposé à l'aléa de chute de blocs. Un important déblai 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'île 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.

3.1.6.2 - Solutions envisageables

3.1.6.2.1 - 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 %) :

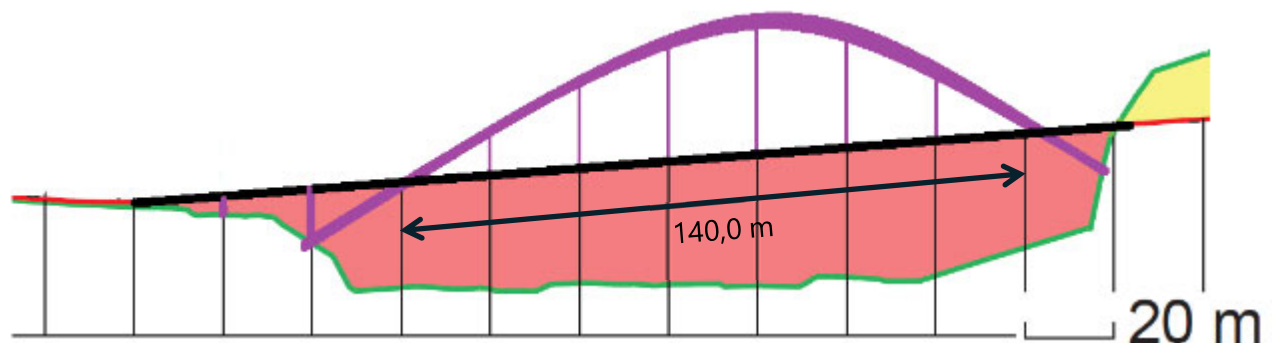
Ce degré d'inclinaison pour un ouvrage d'une portée avoisinant les 200 mètres est extrêmement rare et requerra un aménagement particulier de l'ouvrage, notamment :

- .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).

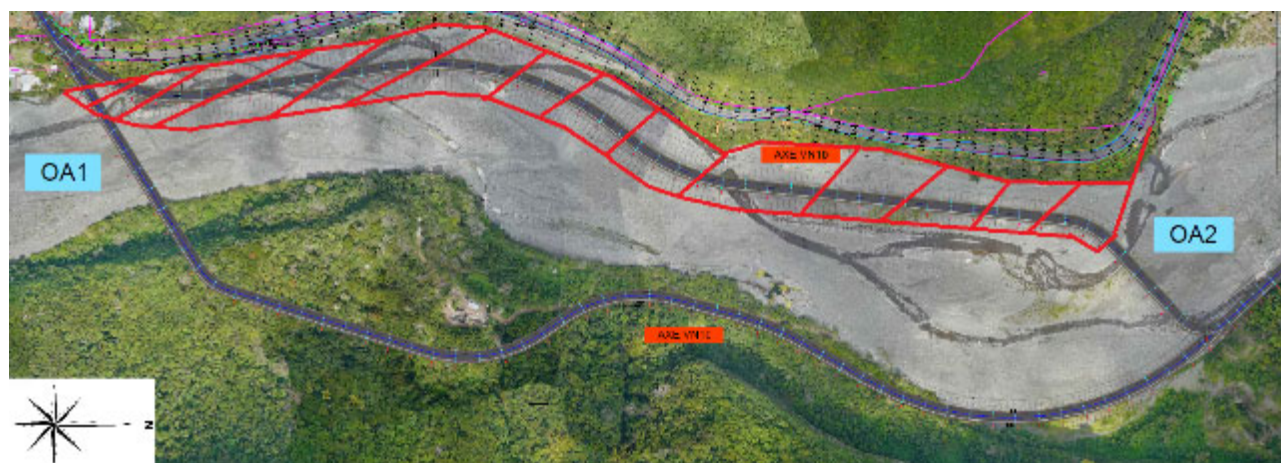
Une solution de type bow-string monumental (hauteur de l'arc très importante) se heurte à d'évidentes difficultés de réalisation. Elle est de plus rendue très complexe par le différentiel altimétrique des deux culées. La culée basse présenterait ainsi de fortes spécificités.

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

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

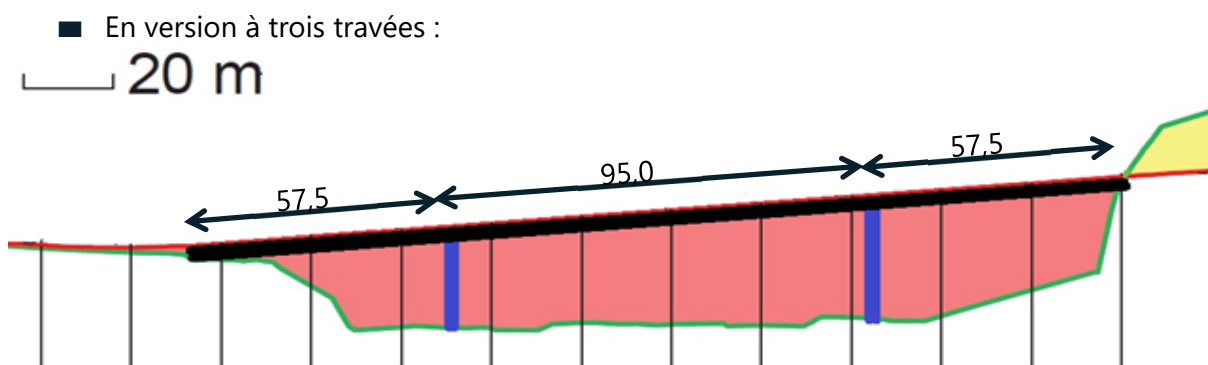
La solution de base du marché est une digue de 12 m de hauteur moyenne, réservant une surface structurelle (profil transversal de la RN et talus du remblais) de plus de 250 m² et condamne, de plus, une part importante de la zone ouest de la section hydraulique du bras de Cilaos (cf. représentation ci-dessous).

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 intégrerait 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 :



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.

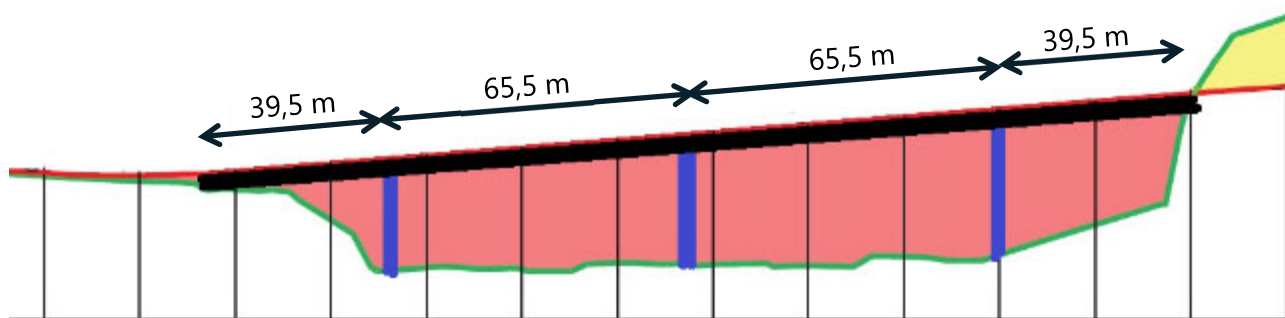
La solution mixte pourrait présenter des difficultés lors de sa réalisation car sa mise en place par lançage apparaît quasi impossible :

- .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.

3.1.6.3 - 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 : $210 \times 7,4 = 1550 \text{ m}^2$

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

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.

3.2.1 - Enjeux hydrauliques

- 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 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'îlet 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'îlet 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'îlet 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'îlet Rond	Variante 2B : contournement Ouest l'îlet 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'îlet 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'îlet. 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.

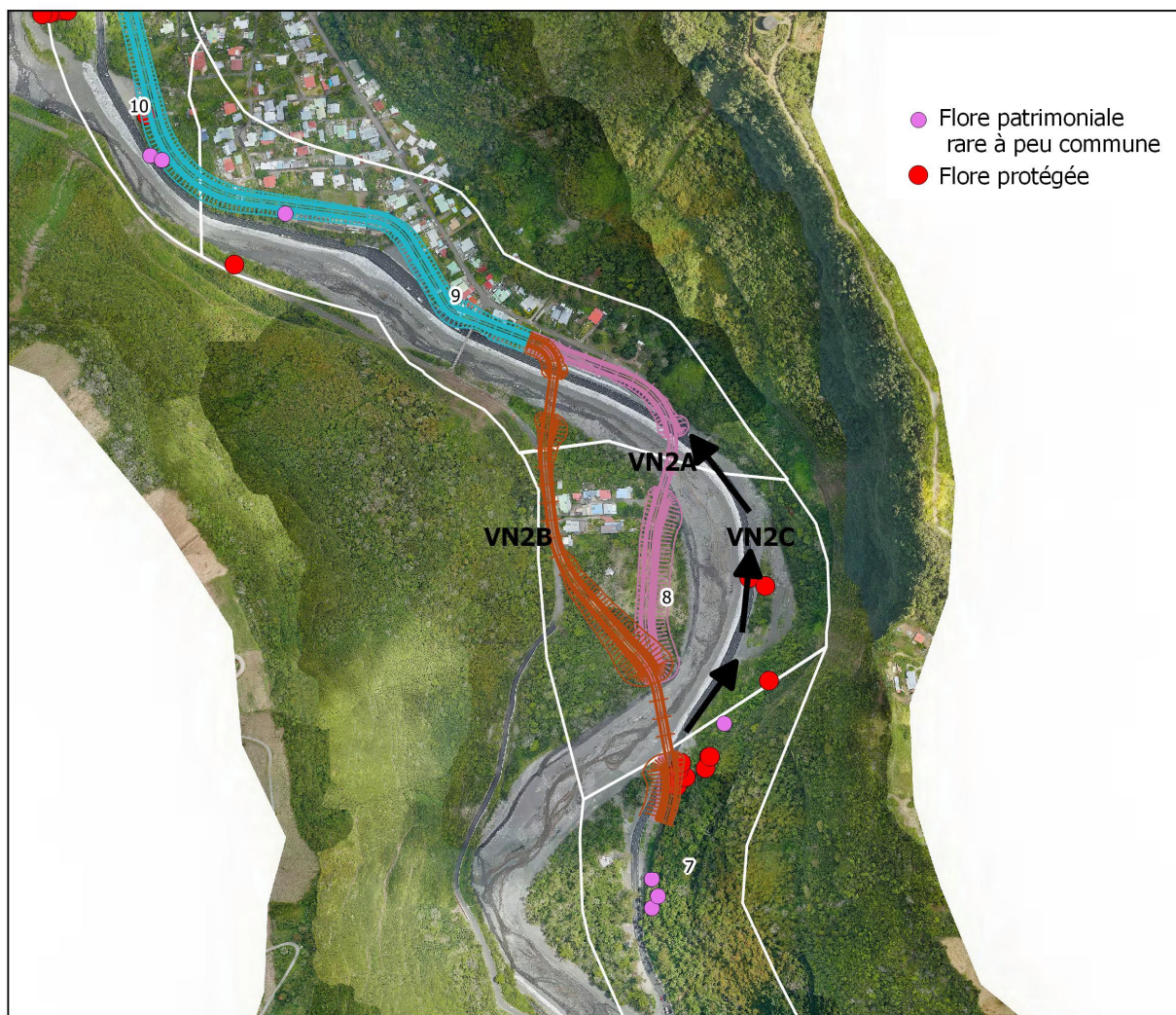
- Le tracé devra éviter une implantation dans le lit de la rivière en s'inscrivant sur la terrasse face à l'îlet Rond. Ceci dans l'objectif de profiter le plus possible des berges rocheuses existantes sur ce parcours.
- Le tracé VN2C devra donc être repoussé coté rempart sur un linéaire de 220 m de 20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

3.2.2 - Enjeux écologiques

Sur les critères utilisés, se reporter au §3.1.3 - page 14.

Les variantes VN2A et VN2B montrent une sensibilité similaire, faible à modéré. La sensibilité de la variante VN2C est fortement dépendante des modalités de sécurisation au regard de la falaise la surplombant. Voir détails dans le tableau ci-après.



3.2.2.1 - Analyse des variantes

Enjeux écologiques		Variante 2A : contournement Est d'ilet Rond	Variante 2B : contournement Ouest l'ilet Rond	Variante 2C : reprise du tracé de la route actuelle
Flore	Flore protégée	Pas d'enjeu lié aux espèces protégées a priori (hors pose de filets en falaises surplombantes)	Pas d'enjeu lié aux espèces protégées a priori (hors pose de filets en falaises surplombantes)	Si aménagement de sécurisation en pied de falaise, impact possible sur quelques stations d' <i>Hibiscus ovalifolius</i> , espèce protégée localement abondante. Si sécurisation des falaises, <i>Monarrhenus pinifolius</i> en falaise et <i>Terminalia bentzoë</i> .
	Flore patrimoniale rare à peu commune (menacée mais non protégée en 2019)	Pas d'enjeu mis en évidence, très peu d'espèces indigènes dans ces habitats secondarisés (notons <i>Pellaea viridis</i> , <i>Olea lancea</i>)	Pas d'enjeu mis en évidence, très peu d'espèces indigènes dans ces habitats secondarisés (notons <i>Pellaea viridis</i> , <i>Olea lancea</i>)	Présence de <i>Doryopteris pilosa</i> (fougère)

Enjeux écologiques		Variante 2A : contournement Est d'îlet Rond	Variante 2B : contournement Ouest l'îlet Rond	Variante 2C : reprise du tracé de la route actuelle
	Espèces exotiques envahissantes	Milieux déjà très dégradés, nombreuses EEE en présence, les impacts seront limités a priori	Milieux déjà très dégradés, nombreuses EEE en présence, les impacts seront limités a priori	Milieux déjà très dégradés, nombreuses EEE en présence, les impacts seront limités a priori
Habitats naturels spontanés		Boisements secondarisés très dégradés, offrant peu de potentialités pour la flore indigène	Boisements secondarisés très dégradés, offrant peu de potentialités pour la flore indigène	Habitats sur les emprises déjà détruits, impacts supplémentaires limités
Faune	Avifaune terrestre	Présence en reproduction des 2 espèces indigènes et protégées communes : Oiseau lunette gris et Tourterelle malgache. Surfaces favorables limitées mais non négligeables.	Présence en reproduction des 2 espèces indigènes et protégées communes : Oiseau lunette gris et Tourterelle malgache. Surfaces favorables limitées mais non négligeables.	Falaises amont propices à la Salangane des Mascareignes et l'Hirondelle de Bourbon (aucun site de reproduction avéré) : sécurisation probablement nécessaire
	Avifaune marine	Franchissement de petites falaises propices aux Phaéton en bord de rivière	Petites falaises propices aux Phaéton en bord de rivière	Sécurisation probable du rempart en rive gauche : enjeu Puffins de Baillon et Phaéton à Bec jaune avéré
	Avifaune aquatique	Présence du Butor Strié (alimentation) dans la rivière : enjeu faible à modéré, reproduction possible	Présence du Butor Strié (alimentation) dans la rivière : enjeu faible à modéré, reproduction possible	RAS
	Herpétofaune	Présence du Furcifer pardalis (Caméléon Panthère) : espèce protégée mais introduite, enjeu limité	Présence du Furcifer pardalis (Caméléon Panthère) : espèce protégée mais introduite, enjeu limité	Présence du Furcifer pardalis (Caméléon Panthère) : espèce protégée mais introduite, enjeu limité
	Arthropodes	Espèces indigènes communes (absence d'habitats indigènes favorables à l'expression d'un cortège d'espèces patrimoniales rares) Présence de Papilio phorbanta très probable, espèce protégée mais commune à assez à peu commune et montrant un caractère anthropophile. Rivière : cortège d'odonates bien représenté mais relativement peu diversifié	Espèces indigènes communes (absence d'habitats indigènes favorables à l'expression d'un cortège d'espèces patrimoniales rares) Présence de Papilio phorbanta très probable, espèce protégée mais commune à assez à peu commune et montrant un caractère anthropophile. Rivière : cortège d'odonates bien représenté mais relativement peu diversifié	Peu d'habitats naturels impactés. Espèces indigènes communes (absence d'habitats indigènes favorables à l'expression d'un cortège d'espèces patrimoniales rares) Présence de Papilio phorbanta très probable, espèce protégée mais commune à assez à peu commune et montrant un caractère anthropophile.

Enjeux écologiques		Variante 2A : contournement Est d'îlet Rond	Variante 2B : contournement Ouest l'îlet Rond	Variante 2C : reprise du tracé de la route actuelle
	Chiroptères	Zone de chasse, aucun gîte recensé, potentialités limitées	Zone de chasse, aucun gîte recensé, potentialités limitées	Gîtes potentiels sur les falaises surplombant la variante (sécurisation de la falaise envisagée)

3.2.3 - 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

3.2.3.1 - Contexte géologique

3.2.3.1.1 - Ilet Rond

L'îlet 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 années 70, 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'îlet contre l'érosion de la rivière. La position du substratum basalitique sous l'îlet Rond est inconnue (présence ou non d'une banquette basalitique).



EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DE LA TERRASSE D'ILET ROND



PHOTOGRAPHIE 17 : COULÉES BASALTIQUES DE LA BERGE EN AMONT D'ILET ROND



PHOTOGRAPHIE 18 : TERRASSE ALLUVIONNAIRE ANCIENNE D'ILET ROND

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

Des chutes de blocs de plusieurs m³ 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 m 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 19 : PIÈGE À BLOCS (MUR EN GABIONS ET FOSSE) CONSTRUIT EN AMONT DES HABITATIONS D'ÎLET ROND

3.2.3.1.2 - 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 îlot 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 21).



PHOTOGRAPHIE 20 : PIED DU REMPART EN RIVE GAUCHE D'ILET ROND



PHOTOGRAPHIE 21 : MERLON ÉRIGÉ EN AMONT DE LA RN 1005

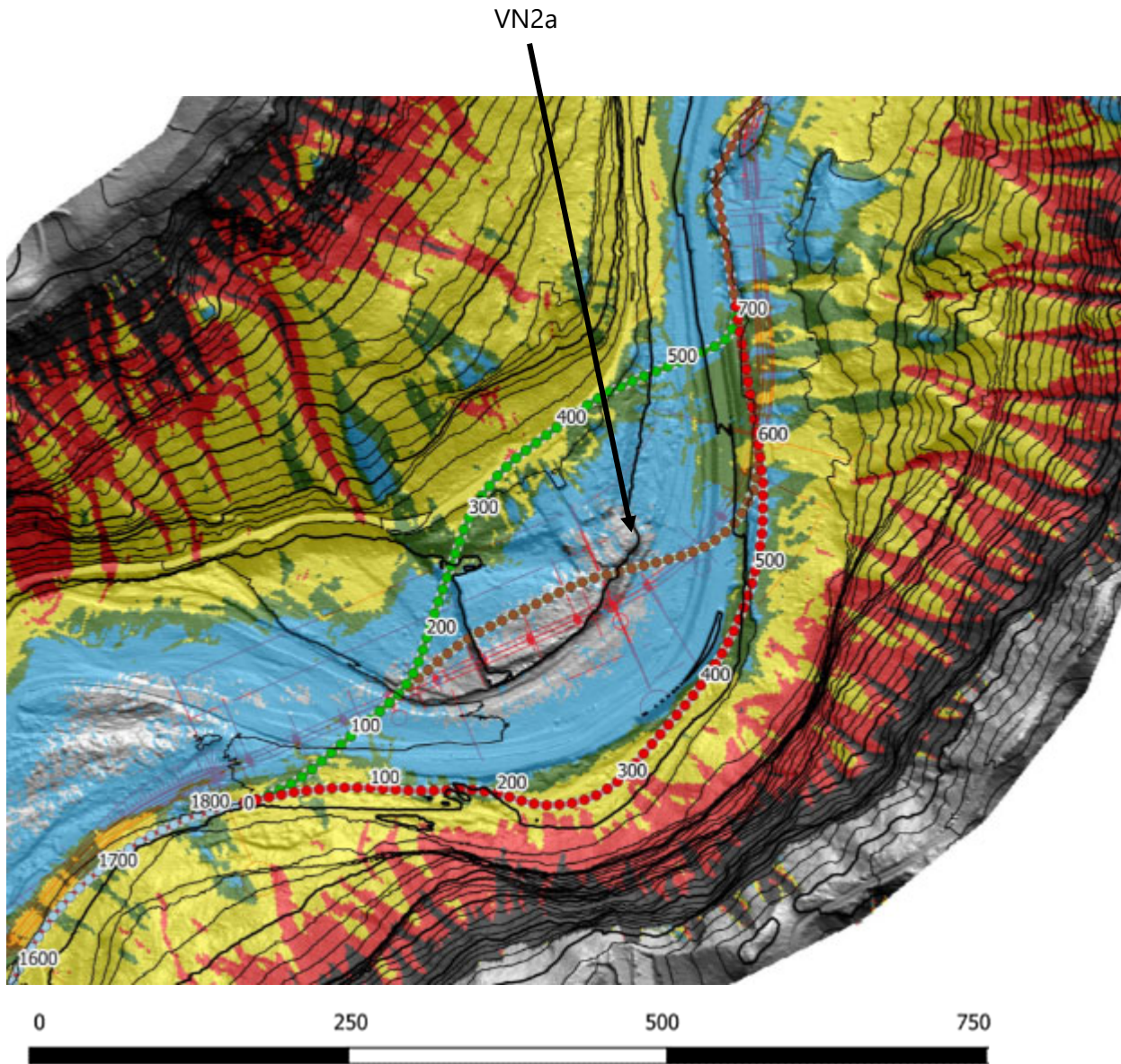


PHOTOGRAPHIE 22 : FOSSE AU PIED DE LA BANQUETTE BASALTIQUE AU SUD DU COUDE RIVE GAUCHE D'ILET ROND (PARTIE DU MÉANDRE ABANDONNÉ).

3.2.3.2 - 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.

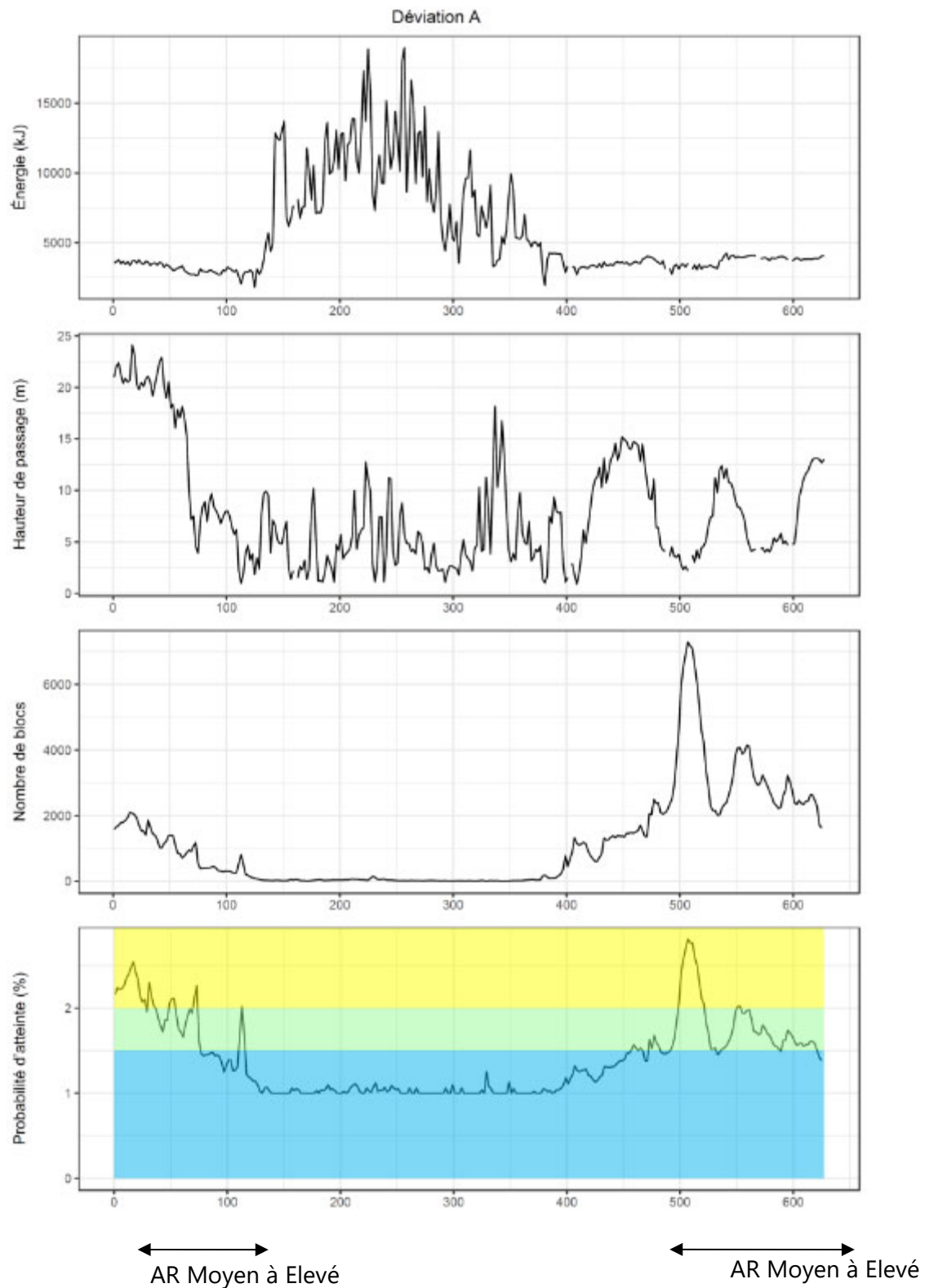
Il s'agit de la solution la moins exposée en terme de probabilité d'atteinte - reach probability. 350 m environ sont en aléa Très Faible.



DÉTAILS TRACÉS VARIANTES VN2A

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:

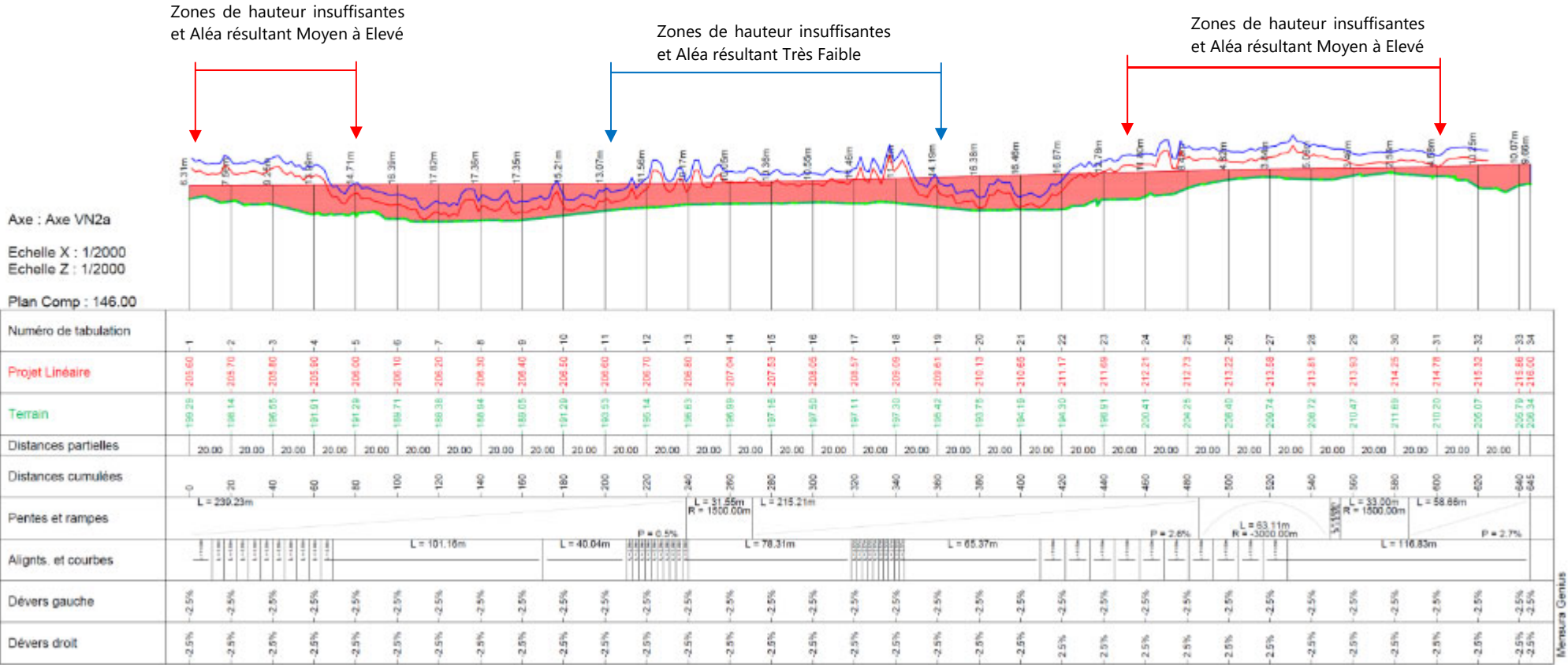
- 350 m du tracé sont en aléa résultant Très Faible.
- 300 m sont en aléa résultant Moyen à Elevé.
- Les 100 premiers mètres (côté aval 0 à 100) sont communs avec le tracé VN2b et seront étudiés avec VN2b.
- Les 100 derniers mètres (côté amont 600 à 700) sont communs avec le tracé VN2c et seront étudiés avec VN2c au paragraphe suivant.



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITÉ D'ATTEINTE - VARIANTE VN2A

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 es protections à mettre en oeuvre (PK 0 à 80 et PK450 à 600) sont présentés au paragraphe suivant.

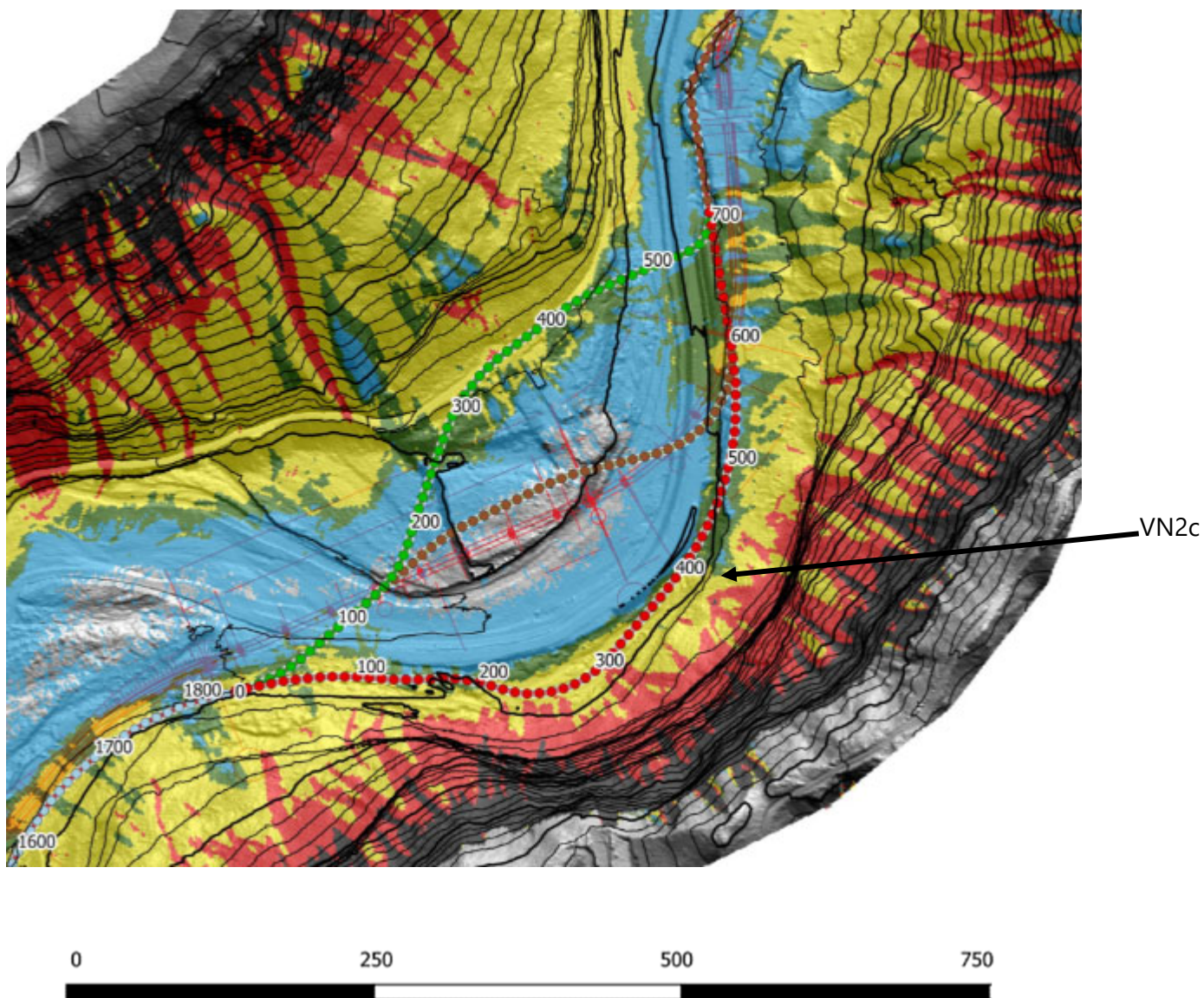


ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT À LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE VN2A

3.2.3.3 - 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.



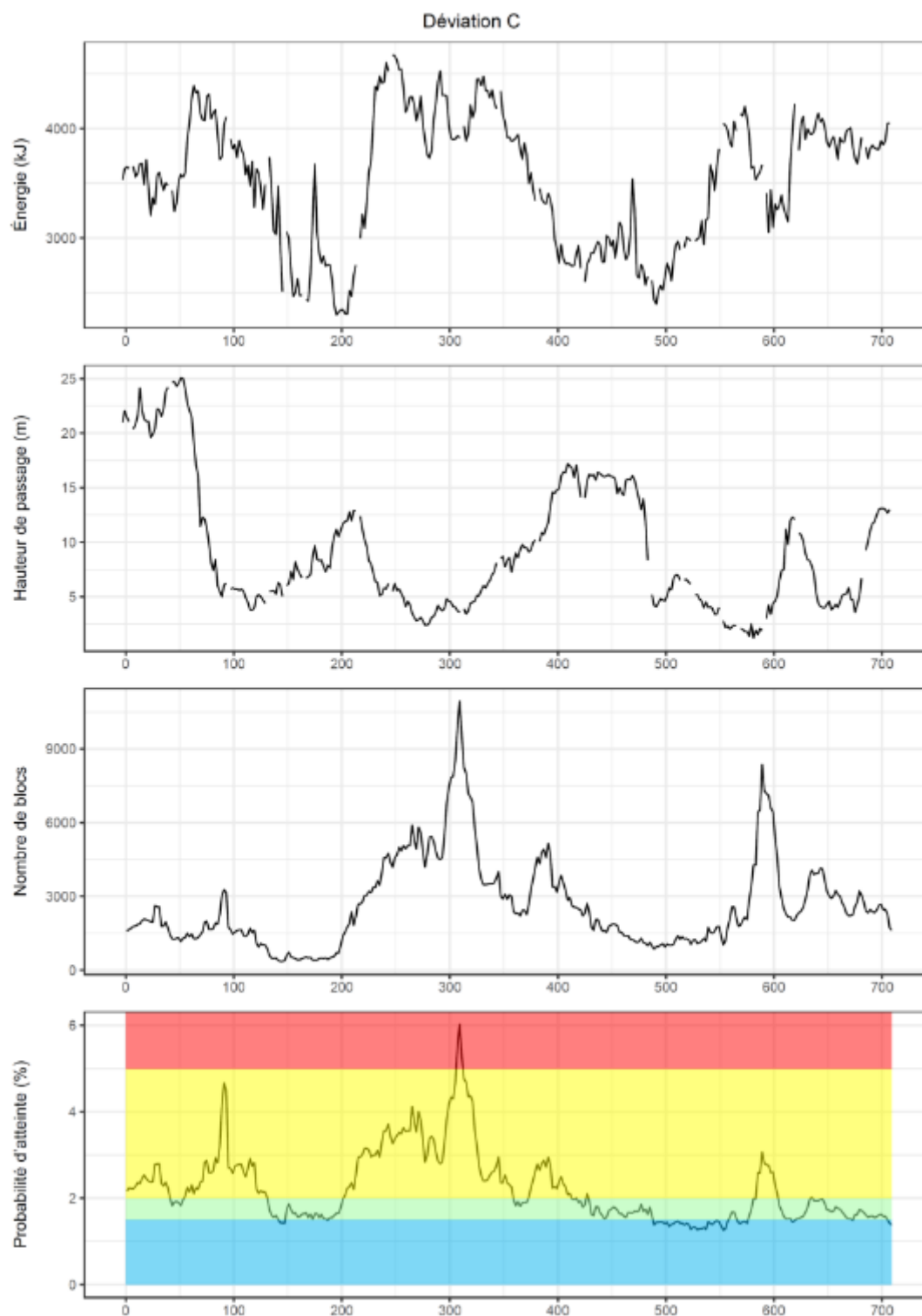
DÉTAILS TRACÉS VARIANTES VN2C

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 23%).

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.



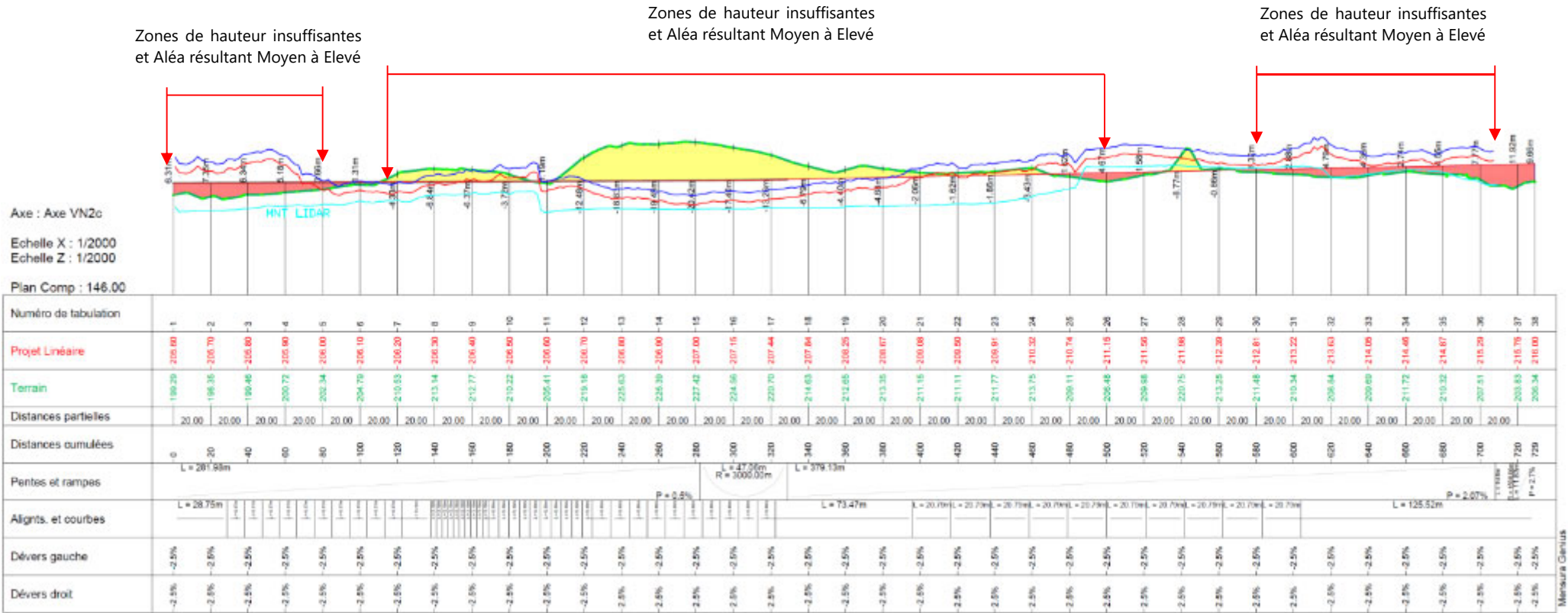
*ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITÉ D'ATTEINTE
VARIANTE VN2C*

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

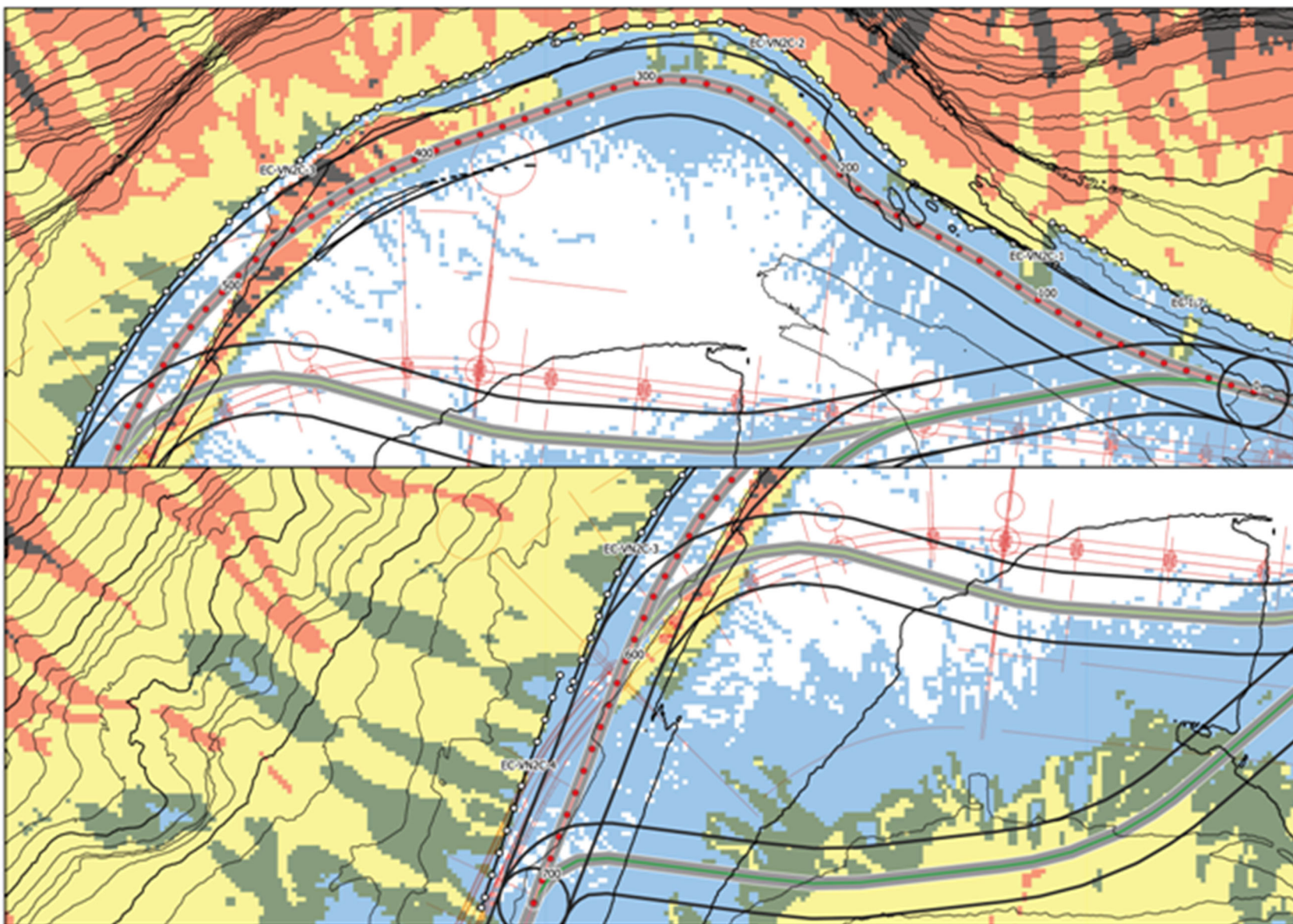
Les blocs proviennent de la rive gauche.

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...)).



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT À LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE VN2C

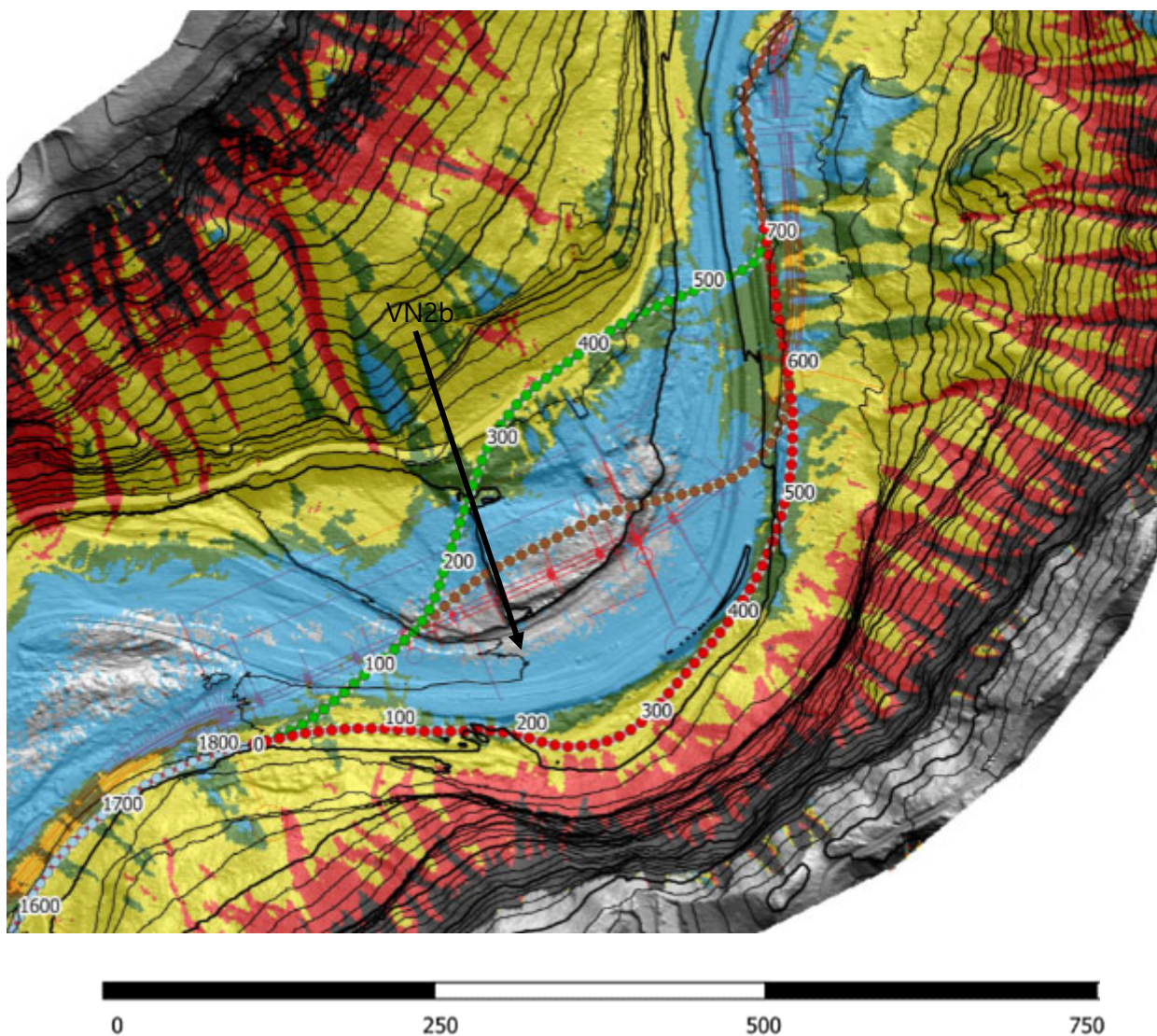


ECRANS DE PROTECTION VARIANTE VN1C

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

Il s'agit du tracé en rive droite.

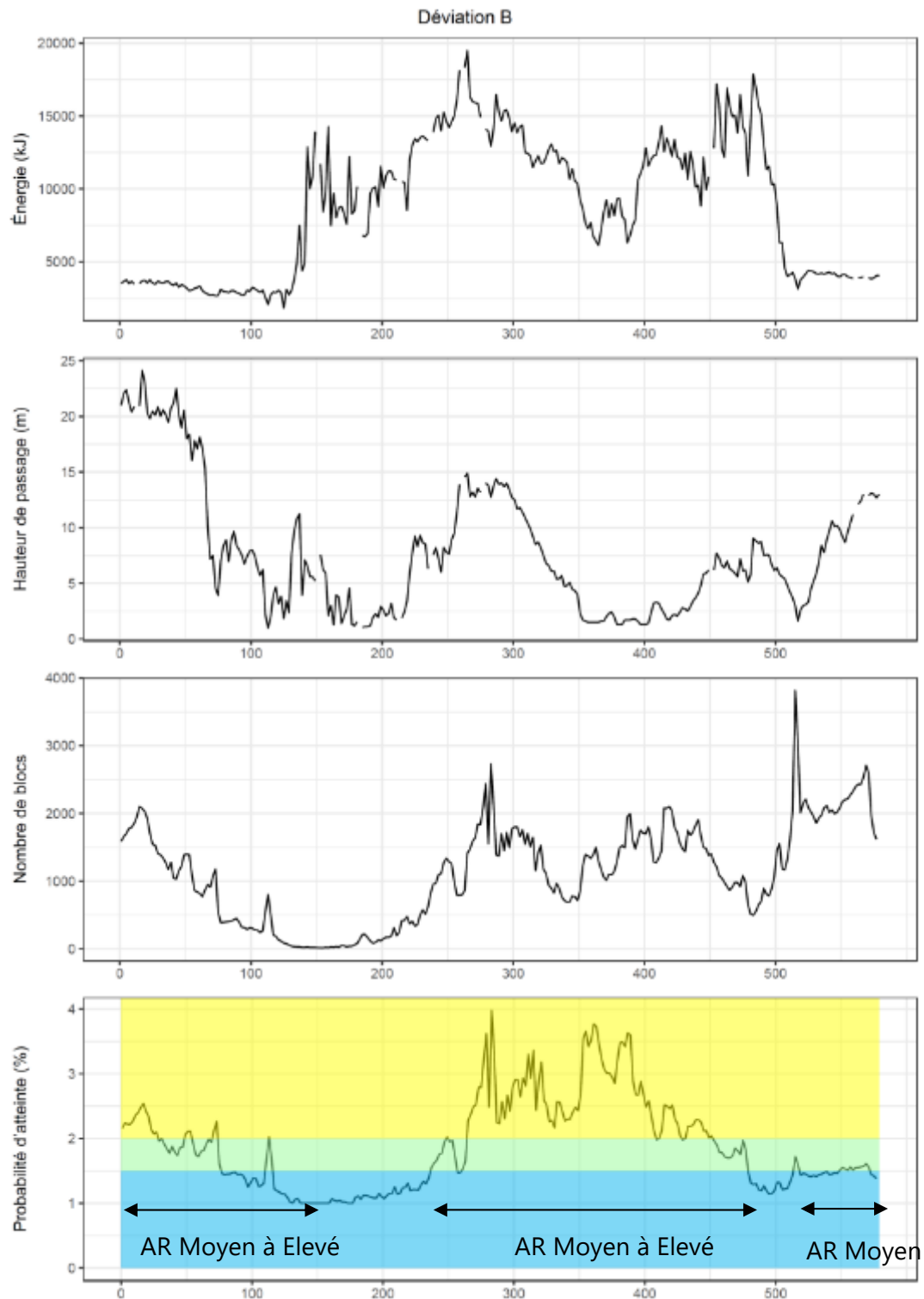
Les 100 premiers mètres sont communs avec VN2a.



DÉTAILS TRACÉS VARIANTES VN2B

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 ci-dessous:



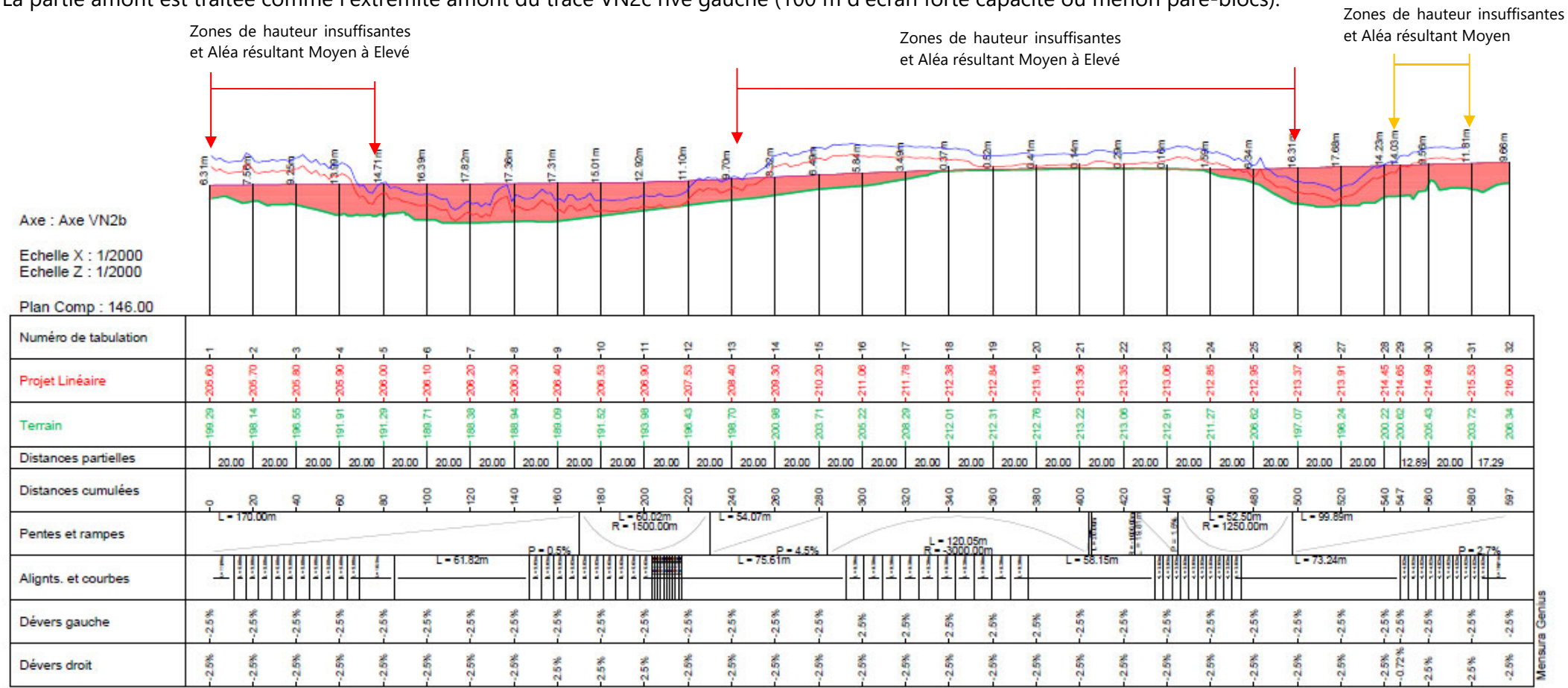
ESTIMATIONS AVP HAUTEUR, ENERGIE, NOMBRE DE BLOCS, PROBABILITÉ D'ATTEINTE
VARIANTE VN2B

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).

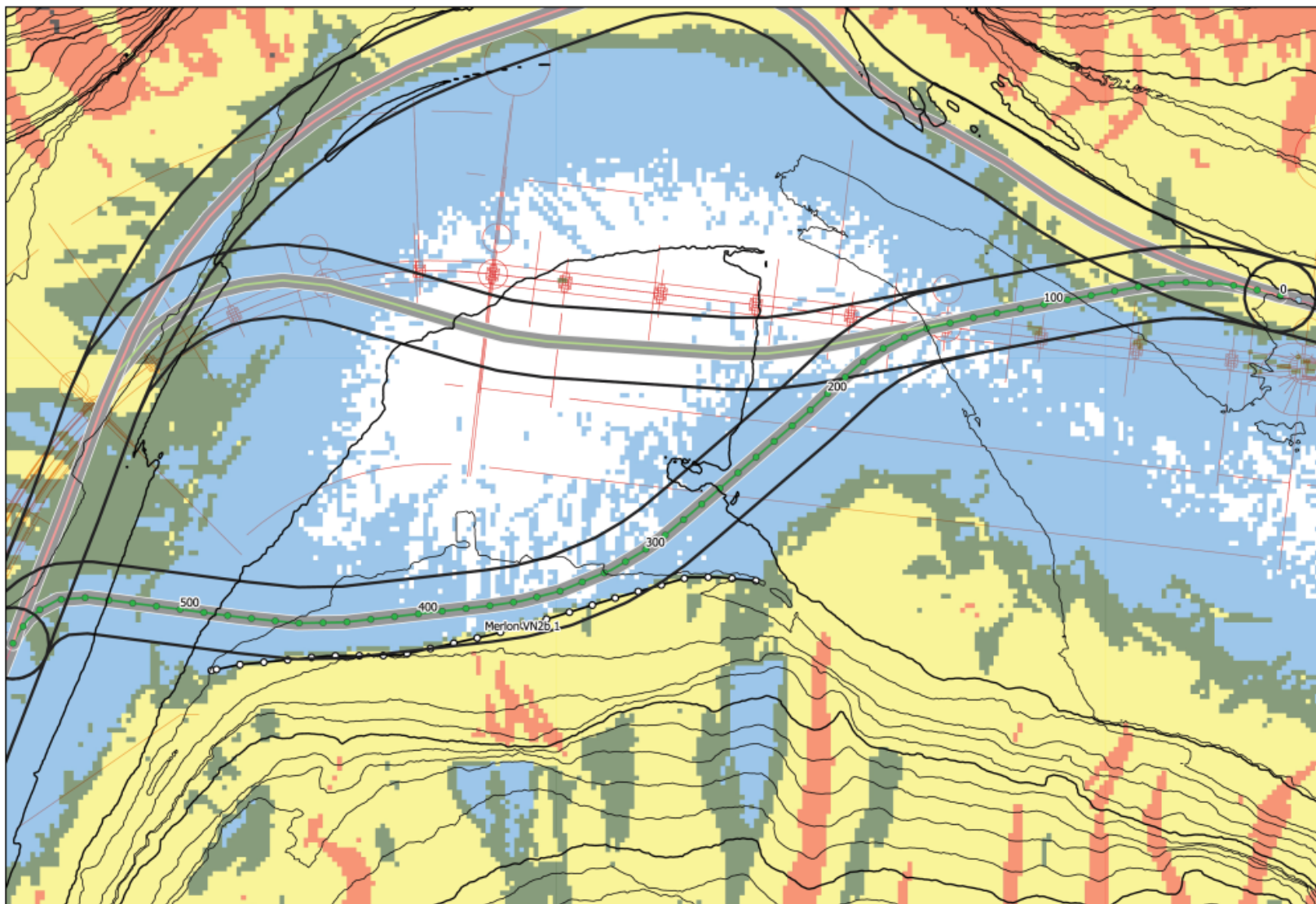
Le tronçon qui rejoint le tracé RN5 actuel est exposé au rempart rive gauche avec des fortes énergies et de forte hauteur de passage.

La mise en place d'un merlon de plus de 10 m de hauteur capacité 20 000kJ 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).



ESTIMATIONS AVP HAUTEUR DE PASSAGE DES BLOCS PAR RAPPORT À LA HAUTEUR PLATEFORME VARIANTE VN2B



ECRANS DE PROTECTION VARIANTE VN1C

Comparaison VN2a/b/c sur les enjeux de trajectographie

VN2a

Avantages :

Tracé le moins exposé aux chutes de blocs (358 482 ou 20%)

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

Inconvénients :

Contraintes hydrauliques

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 en terme de chute de blocs (324 766 ou 64% avec des énergies fortes)

Merlon pare bloc monumental 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 en terme de chute de blocs (943 685 ou 23% avec des énergies moyennes)

Solution utilisant les merlons pare blocs en variante aux écrans pas forcément possibles compte tenu des banquettes basaltiques en pied de rempart

Si emploi d'écrans pare-blocs :

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 de 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) (on peut envisager de doubler les lignes pour améliorer la sécurité et éviter de fermer la route lors des phases d'entretien ->coût 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 protections)	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'Îlet 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.

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
			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.

3.2.4 - 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.	Apport de matériaux conséquent en raison de la nécessité de réaliser une route-digue.
Impact sur les milieux naturels	- 2 franchissements de rivière (impact sur la faune piscicole) - Suppression de boisements secondaires offrant peu de potentialités quant à la flore indigène - Enjeux faune limités	- 2 franchissements de rivière (impact sur la faune piscicole) - Suppression de boisements secondaires offrant peu de potentialités quant à la flore indigène - Enjeux faune limités	- Faible impact sur les milieux naturels du fait de la conservation de la RN 1005. - Présence à proximité d'espèces protégées et falaises surplombantes abritant des colonies de Puffin de Baillon : enjeu potentiel fort en fonction des modalités de sécurisation de la route

Solution	VN2 A	VN2 B	VN2 C
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. Toutefois, le rempart de rive droite situé face à la passerelle est instable ce qui nécessite des protections contre les chutes de blocs.
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.
Enjeux d'exploitation	- Deux ouvrages d'art et une route-digue très exposés aux enjeux hydrauliques et nécessitant des travaux réguliers de résorption de désordres sur les protections contre l'affouillement, après les épisodes de crue	- Deux ouvrages d'art très exposés aux enjeux hydrauliques et nécessitant des travaux réguliers de résorption de désordres sur les protections contre l'affouillement des culées, après les épisodes de crue - Un mur de 15 mètres de haut en protection contre les chutes de blocs sur la RN5 au droit d'Îlet Rond, impliquant des enjeux de sécurité important au vu de la proximité du rempart.	- Une route-digue placée à l'extérieur d'un grand coude du Bras de Cilaos nécessitant des travaux réguliers de résorption de désordres sur les protections contre l'affouillement, après les épisodes de crue - Des dispositifs de protection contre les chutes de blocs impliquant une complexité d'intervention pour le personnel d'entretien en raison de la proximité du rempart de rive gauche particulièrement actif, et nécessitant ainsi un personnel qualifié pour ces opérations présentant un risque pour la sécurité.
Coût des travaux (en Millions d'€)	50	50	35

www.egis-group.com

