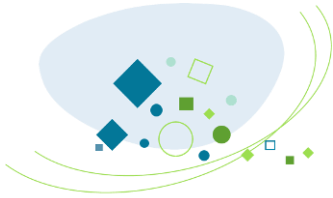


# Confortement de la falaise de la plage de Massacan – Phase 2

## **Annexe 7**

La Garde (83) - Confortement de la falaise de la Plage de  
Massacan / Phase 2 – Parcelles AW378-366, AW259, AW258,  
AW257, AW256, AW283-347AW378- 366-259-258-256-283-347  
- Mission G2 PRO – ANTEA Octobre 2022.



**Mairie de la Garde**



# **La Garde (83) - Confortement de la falaise de la Plage de Massacan / Phase 2 – Parcelles AW378-366, AW259, AW258, AW257, AW256, AW283-347**

Mission G2 PRO



Rapport n°B119138 – Octobre 2022


Projet suivi par Hadrien ROCHE – 06.01.04.21.24 – hadrien.roche@anteagroup.fr

## Fiche signalétique

La Garde (83) - Confortement de la falaise de la Plage de Massacan / Phase 2 – Parcelles AW378-366, AW259, AW258, AW257, AW256, AW283-347  
Mission G2 PRO

CLIENT	SITE
Mairie de la Garde	Falaise de la plage de Massacan
Rue Jean-Baptiste Lavène 83130 LA GARDE	Chemin du fort Sainte Marguerite Parcelles AW378-366-259-258-256-283-347
Nom : Mme Sandrine MICHEL Tél : 04.94.08.98.33 Mail : smichel@ville-lagarde.fr	

RAPPORT D'ANTEA GROUP	
Responsable du projet	Hadrien ROCHE
Interlocuteur commercial	Hadrien ROCHE
Implantation chargée du suivi du projet	Implantation d'Aubagne 04.42.08.70.80 secretariat.marseille-fr@anteagroup.com
Rapport n°	B/119138
Version n°	B
Votre commande et date	Notification du 28 avril 2022
Projet n°	PACP220063

	Nom	Fonction	Date	Signature
Rédaction	Pauline BROUTY Hadrien ROCHE	Ingénieurs géologues	septembre 2022	
Approbation	Olivier RENAULT	Ingénieur géologue	septembre 2022	
Relecture qualité	Marie-Laure ANTONUCCI	Secrétariat	septembre 2022	

## Suivi des modifications

Indice Version	Date de révision	Nombre de pages	Nombre d'annexes	Objet des modifications
<b>A</b>	15/09/2022	77	7	Création et diffusion
<b>B</b>	21/10/2022	92	7	Création et diffusion



# Sommaire

1. Introduction.....	9
1.1. Généralité.....	9
1.2. Documents de référence.....	10
2. Le projet dans son contexte .....	12
2.1. Objectif du projet .....	12
2.2. Description de la zone d'étude.....	12
2.3. Contexte géologique .....	15
2.4. Contexte structural.....	16
2.1. Contexte hydrogéologique.....	17
2.2. Contexte sismique .....	17
2.3. Contexte environnemental .....	17
2.4. Contexte historique du secteur d'étude .....	18
2.4.1. Mouvements de terrain répertoriés .....	18
2.4.2. Définition de l'aléa « recul des falaises ».....	18
2.4.3. Travaux de sécurisation de la falaise .....	19
3. Evaluation des aléas par zones.....	21
3.1. Aléa rocheux – Définition .....	21
3.1.1. Classes d'instabilité .....	21
3.1.2. Aléa de rupture .....	21
3.1.3. Aléa « atteinte des enjeux existants » .....	22
3.1.4. Risque rocheux.....	22
3.2. Observations par zones .....	22
3.2.1. Exploitation des données disponibles.....	22
3.2.2. Parcelles AW 378 – 366 (SANS/JAUZE-BALOY/FRESNE/JORDAN).....	23
3.2.3. Parcelle AW 259 (LAURENT).....	34
3.2.4. Parcelle AW 258 (ACCARIE).....	41
3.2.5. Parcelles AW 257 (BERETS) .....	45
3.2.6. Parcelle AW 256 (MONTBARBON) .....	48
3.2.7. Parcelle AW 283-347 (LAFARGE).....	52
4. Présentation des solutions de confortement.....	57
5. Données et hypothèses retenues pour le dimensionnement de la paroi clouée .....	59
5.1. Données géométriques .....	59
5.2. Données lithologiques.....	59
5.3. Modèle géotechnique .....	60

5.4. Données hydrologiques.....	60
5.5. Surcharges .....	60
5.1. Corrosion .....	60
5.2. Clouage et clous .....	60
5.3. Parement en béton projeté.....	62
<b>6. Méthodologie de calcul pour la stabilité générale .....</b>	<b>63</b>
6.1. Calculs de stabilité de la paroi clouée .....	63
6.1.1. Outil de calcul.....	63
6.1.2. Coefficients de sécurité partiels.....	63
6.1.3. Mécanismes de rupture .....	63
6.1.4. Vérifications de la stabilité.....	64
6.1.5. Vérifications sur les ancrages.....	65
6.2. Calculs des aciers du parement en béton projeté.....	66
<b>7. Présentation des résultats des calculs.....</b>	<b>67</b>
<b>8. Dimensionnement des confortements des compartiments instables .....</b>	<b>72</b>
8.1. Méthodologie.....	72
8.2. Hypothèses géotechniques .....	72
8.3. Caractéristiques des ancrages.....	73
8.1. Confortement secteur AW378-366/M3.....	73
8.2. Confortement compartiment AW378-366/M6.....	74
8.3. Confortement compartiment AW259/M2 .....	76
8.4. Confortement compartiment AW258/M4 .....	76
8.5. Autres compartiments instables .....	77
<b>9. Détail des travaux par parcelle .....</b>	<b>79</b>
9.1. Parcelle AW378 – 366 (SANS / JAUZE–BALOY / FRESNE / JORDAN) .....	79
9.2. Parcelle AW259 (LAURENT).....	80
9.3. Parcelle AW258 (ACCARIE).....	81
9.4. Parcelle AW257 (BERETS).....	82
9.5. Parcelle AW256 (MONTBARBON) .....	83
9.6. Parcelle AW283-347 (LAFARGE).....	84
<b>10. Sécurisation provisoire et surveillance.....</b>	<b>85</b>
10.1.Sécurisation provisoire.....	85
10.2.Surveillance/instrumentation .....	85
<b>11. Accès au chantier en phase travaux .....</b>	<b>86</b>
11.1.Secteur Ouest.....	86
11.2.Secteur Est.....	86
11.2.1. Accès collectif.....	86

11.2.2. Accès individuel.....	88
12. Planning de réalisation .....	89
13. Préchiffrage global.....	90

## Table des figures

Figure 1 : Localisation du site sur la carte IGN à 1/25 000.....	9
Figure 2 : Parcelle à l'étude sur plan de masse du site au 1/200 <sup>ème</sup> (échelle non conservée).....	10
Figure 3 : Vue aérienne du secteur à l'étude .....	12
Figure 4 : Vue panoramique de la falaise côté Ouest .....	13
Figure 5 : Vue panoramique de la falaise côté Est .....	14
Figure 6 : Vue panoramique de la falaise côté Est .....	14
Figure 7 : Extrait de la carte géologique à 1/50 000 <sup>ème</sup> de Toulon.....	15
Figure 8 : Carte de l'aléa sismique du département du Var.....	17
Figure 9 : Extrait de la carte d'aléa IMSRN (août 2016) validée par le BRGM pour les parcelles AW 366- AW 378 – AW 259 .....	18
Figure 10 : Extrait de la carte d'aléa BRGM (mai 2019) pour les parcelles AW 258 – 257 – 256 – 283 – 347.....	19
Figure 11 : Photo de la paroi clouée au droit des parcelles AW 285-348 et 286-287.....	20
Figure 12 : Photo de la paroi clouée au droit des parcelles AW 481 – 261 – 260.....	20
Figure 13 : Photo du secteur Est – Parcelles AW 378 - 366 .....	23
Figure 14 : Photo des désordres constatés au droit de l'escalier .....	24
Figure 15 : Photo d'une cicatrice d'un éboulement récent .....	24
Figure 16 : Photo de L1 (parcelle AW 378 – 366).....	25
Figure 17 : Photo de L2 (parcelle AW 378 – 366).....	26
Figure 18 : Suite photo de L2 (parcelle AW 378 – 366).....	27
Figure 19 : Photo de L3 (parcelle AW 378 – 366).....	28
Figure 20 : Photo de L3 (parcelle AW 378 – 366).....	29
Figure 21 : Photo de L4 (parcelle AW 378 – 366).....	29
Figure 22 : Photo de L4 (parcelle AW 378 – 366).....	30
Figure 23 : L4 – Calcaire cargneulisé (parcelle AW 378 – 366).....	30
Figure 24 : Photo de L4 et L5.....	31
Figure 25 : Identification des aléas sur les parcelles AW 378 - 366 .....	32
Figure 26 : Photo de la parcelle AW-259.....	34
Figure 27 : Photo du talus L1 sous la propriété AW-259.....	35
Figure 28 : Photo de l'escalier d'accès à la plage sous la propriété AW-259.....	36
Figure 29 : Photo des désordres constatés sur la propriété AW-259 .....	37
Figure 30 : Photo de L2.....	38
Figure 31 : Photo de L3.....	39
Figure 32 : Identification des aléas au droit de la parcelle AW 259.....	40
Figure 33 : Identification des aléas sur les parcelles AW 258 .....	41
Figure 34 : Photo de M2 et M3 – Parcelle AW 258.....	42
Figure 35 : Photo de M4 – Parcelle AW 258.....	43
Figure 36 : Identification des aléas sur les parcelles AW 258 .....	44
Figure 37 : Identification des aléas sur la parcelle AW 257 .....	45
Figure 38 : Photo de la falaise au droit de la parcelle AW 257 .....	46
Figure 39 : Identification des aléas sur la parcelle AW 257 .....	47

Figure 40 : Identification des aléas sur la parcelle AW 256 .....	48
Figure 41 : Photo de la falaise au droit de la parcelle AW 256 .....	49
Figure 42 : Photo de M2.....	50
Figure 43 : Identification des aléas sur la parcelle AW 256 .....	51
Figure 44 : Identification des aléas sur les parcelles AW 283-347 .....	52
Figure 45 : Photo de M3 - Parcelles AW 283-347 .....	53
Figure 46 : Photo de M3 - Parcelles AW 283-347 .....	54
Figure 47 : Photo de M4.....	54
Figure 48 : Signe de paléo-karst - Parcelles AW 283-347 .....	55
Figure 49 : Identification des aléas sur les parcelles AW 283-347 .....	56
Figure 50 : localisation des profils de travail.....	59
Figure 51 : Secteur AW378-366/M3.....	74
Figure 52 : Secteur AW378-366/M3.....	74
Figure 53 : Compartiments AW378-366/M6.....	75
Figure 54 : Compartiments AW378-366/M3.....	76
Figure 55 : Falaise sous les parcelles AW378-366 – Vue en élévation des confortements .....	79
Figure 56 : Falaise sous la parcelle AW259 – Vue en élévation des confortements.....	80
Figure 57 : Falaise sous la parcelle AW258 – Vue en élévation des confortements.....	81
Figure 58 : Falaise sous la parcelle AW257 – Vue en élévation des confortements.....	82
Figure 59 : Falaise sous la parcelle AW256 – Vue en élévation des confortements.....	83
Figure 60 : Falaise sous la parcelle AW283-347 – Vue en élévation des confortements.....	84
Figure 61 : Installation schématique des emprises de chantier.....	86
Figure 62 : Installation schématique des emprises de chantier secteur Est – accès collectif.....	87
Figure 63 : Installation schématique des emprises de chantier secteur Est – accès individuel.....	88

## Table des tableaux

Tableau 1 : Documents de référence .....	11
Tableau 2 : Classes d’instabilités en fonction du volume.....	21
Tableau 3 : Échelle qualitative de probabilité d’occurrence.....	21
Tableau 4 : Échelle temporelle de rupture proposée .....	21
Tableau 5 : Niveau d’aléa proposé.....	22
Tableau 6 : Aléa atteinte des enjeux existants.....	22
Tableau 7 : Niveau de risque gravitaire.....	22
Tableau 8 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 378 – AW 366.....	33
Tableau 9 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 259 .....	40
Tableau 10 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 258 .....	44
Tableau 11 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 257 .....	47
Tableau 12 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 256 .....	51
Tableau 13 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 283-347.....	56
Tableau 14 : Synthèse des compartiments/secteurs instables identifiés et des parades retenues .....	58
Tableau 15 : modèle géotechnique de synthèse .....	60
Tableau 16 : Coefficients partiels.....	63
Tableau 17 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P2, P2PRIM et P3 .....	67
Tableau 18 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P5, P6 et P7 .....	68
Tableau 19 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P8, P9 et P10 .....	69
Tableau 20 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P11 et P12 .....	70
Tableau 21 : Synthèse des longueurs de ligne d’ancrage sur les 12 secteurs.....	71
Tableau 22 : Confortement des compartiments instables.....	72
Tableau 23 : modèle géotechnique de synthèse .....	73

Tableau 24 : Caractéristiques des ancrages pour le confortement de masses rocheuses .....	73
Tableau 25 : Vérification des efforts repris par les ancrages – AW378-366/M6 .....	75
Tableau 26 : Vérification au calcul pour les barres de $\varnothing$ 32 mm.....	75
Tableau 27 : Vérification du confortement de AW258/M4 .....	77
Tableau 28 : Vérification des efforts repris par les ancrages – AW283-347/M3 .....	78
Tableau 29 : Vérification au calcul pour les barres $\varnothing$ 32 mm.....	78
Tableau 30 : Récapitulatif des confortements sous les parcelles AW378-366 .....	79
Tableau 31 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW259.....	80
Tableau 32 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW258.....	81
Tableau 33 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW257.....	82
Tableau 34 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW256.....	83
Tableau 35 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW283-347 .....	84
Tableau 36 : Planning prévisionnel .....	89
Tableau 37 : Préchiffrage au stade G2PRO .....	90

## Table des annexes

Annexe I :	Extrait de la norme NFP 94-500
Annexe II :	Profils étudiés
Annexe III :	Cartes d'aléa mouvement de terrain du BRGM
Annexe IV :	Vérification du confortement de masse / rétrocalages – Calculs Talren
Annexe V :	Vérification béton armé – Calcul GEOSPAR
Annexe VI :	Plan d'élévation des secteurs 1 à 12 – 1/200 <sup>ème</sup>
Annexe VII :	Fiche compartiment – AW258/M4



# 1. Introduction

## 1.1. Généralité

Dans le cadre de la suite des travaux de sécurisation de la falaise de Massacan, la Mairie de la Garde a confié la mission de Maitrise d’Œuvre à Antea Group, mandataire du groupement.

Située sur le littoral de la commune de la Garde (83), la falaise de la plage de Massacan s’étend sur un linéaire d’environ 350 m occupée par une succession de propriétés privés en tête de falaise.



Figure 1 : Localisation du site sur la carte IGN à 1/25 000

Ce secteur est à l’étude depuis le début des années 2000 et la stabilité de la crête de falaise est jugée préoccupante en raison de la proximité des enjeux. En 2014, un important éboulement s’est produit sous l’une de ces propriétés - parcelle AW288 - entraînant son évacuation. A la suite de cet événement et à partir d’une carte de l’aléa « recul de falaise » élaborée en 2019 par le BRGM qui concerne 12 parcelles, la Mairie de la Garde a entrepris des travaux de sécurisation de la crête de falaise des propriétés concernées.

En 2021, des travaux de sécurisation de type paroi clouée ont été réalisés sur les parcelles AW 481, AW 261, AW 260, AW 348-285 et AW 286-287.

Dans la continuité de ces travaux, une nouvelle phase de sécurisation amorcée par la Mairie de la Garde prévoit le traitement des parcelles suivantes :

- AW 378 (Mr et Mme SANS / Mr et Mme JAUZE-BALOY)
- AW 366 (Mme FRESNE / Mme JORDAN)
- AW 259 (Indivision LAURENT)
- AW 258 (Mr et Mme ACCARIE)

- AW 257 (Mme BERETS)
- AW 256 (Mme MONTBARBON)
- AW 283 – 347 (Mme LAFARGE)

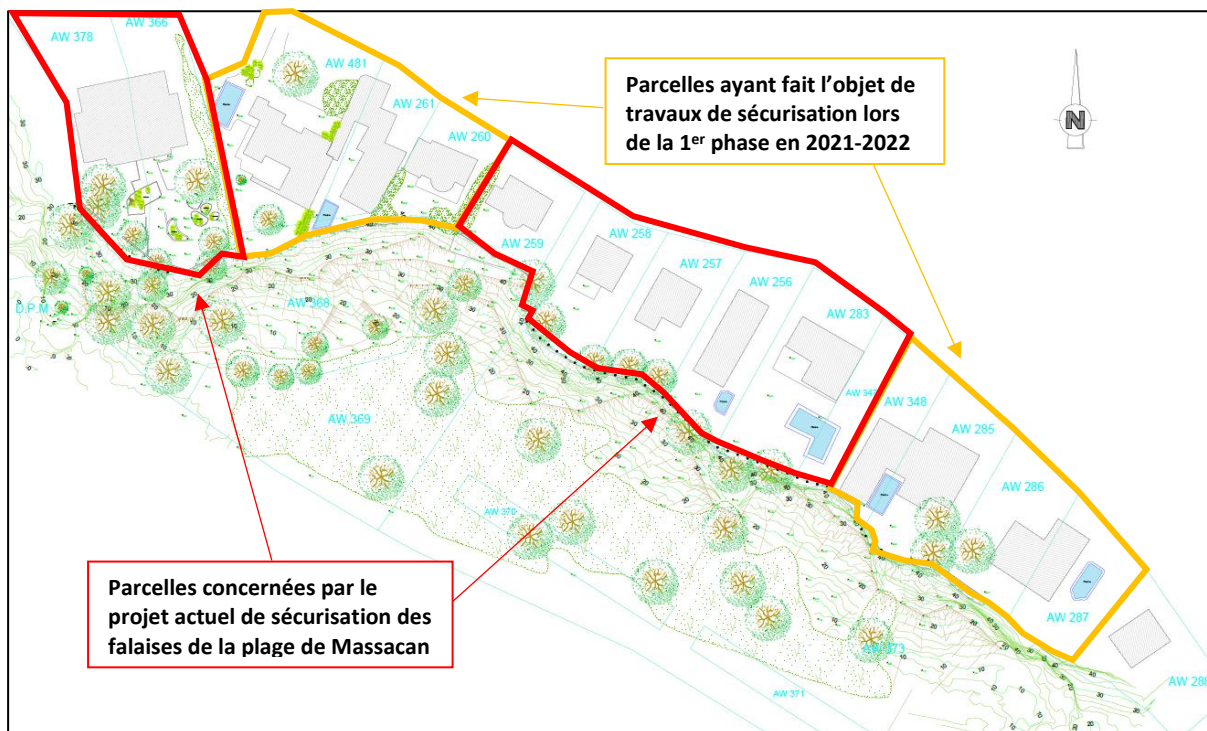


Figure 2 : Parcelle à l'étude sur plan de masse du site au 1/200<sup>ème</sup> (échelle non conservée)

A ce stade du projet, la présente étude correspond à une mission de type G2 PRO tel que le prévoit la norme N FP 94-500 de novembre 2013 et détaille ci-après les points suivants :

- Le contexte du site d'étude ;
- L'analyse des aléas ;
- Les préconisations et les solutions techniques ;
- La justification des techniques de confortement retenues.

## 1.2. Documents de référence

Les documents consultés dans le cadre de l'étude sont les suivants :

N°	Auteur/date /références	Titre du document
[1]	Ministère de l'éducation Nationale – 5 juillet 1935	Terrain du lotissement Terre Promise - Arrêté de classement Site inscrit
[2]	BRGM 76 SGN 299 PRC - juillet 1976	Falaise Sainte Marguerite – La Garde – Etude de stabilité et définition des travaux de confortement et de protection
[3]	CEGE - 30 septembre 2002	Commune de la Garde – Falaise de la Terre Promise – Mise en sécurité de la plage de Massacan
[4]	ANTEA - Mars 2006 – Rapport N°A38495 version B –	Falaise de Massacan La Garde – Maitrise d'œuvre des travaux de protection de la plage et l'accès piétonnier – Etude d'avant-projet

N°	Auteur/date /références	Titre du document
[5]	AUDE - Septembre 2008	Travaux de mise en sécurité de la falaise et de la plage de Massacan avec réhabilitation de l'accès piétonnier et aménagement de la plateforme – Etude d'impact
[6]	LRPC – juin 2010	Commune de la Garde - Sentier littoral – Centre d'Hémodialyse Sainte Marguerite – Evaluation de l'aléa chutes de blocs
[7]	ANTEA GROUP – Rapport N°67242/A – Juillet 2012	Rapport de diagnostic et AVP géotechnique
[8]	IMS RN – Référence N°2015/L1/83/1906 indice 1 du 31/08/2016	Etude géologique et géotechnique falaise de Massacan à La Garde - Rapport de mission géotechnique G5
[9]	IMS RN – Référence N°2015/L1/83/1906 indice 1 du 24/11/2016	Sécurisation des parcelles vis-à-vis du risque d'effondrement - Rapport de mission géotechnique G2 PRO
[10]	BRGM/RP-66447-FR de Décembre 2016	Expertise du dossier « falaise de Massacan »
[11]	BRGM 22 mai 2017	Note complémentaire au rapport BRGM RP-66447-FR
[12]	BRGM/RP-68796-FR de Mai 2019	Hiérarchisation de l'aléa rocheux – Site de Massacan à La Garde (83) – Rapport Final –
[13]	BRGM - Courrier du 17 septembre 2019	Compléments techniques au rapport BRGM RP-66447-FR
[14]	ANTEAGROUP- Novembre 2019 - Rapport A101902	Falaise de de Massacan – confortement de la falaise au droit des propriétés ARION, PONSOT et VENTE - Mission de diagnostic géotechnique G5 – Ville de la Garde (83)
[15]	ECOMED 2019	Diagnostic écologique du projet de sécurisation des falaises de la plage de Massacan – Ville de la Garde
[16]	Suivi topographique et photographique réalisé le 08 février 2019 – IMSRN	Suivi du recul de la falaise de Massacan – CR n°9
[17]	Suivi topographique et photographique réalisé le 18 juillet 2019 – IMSRN	Suivi du recul de la falaise de Massacan – CR n°12
[18]	Suivi topographique et photographique réalisé le 16 janvier 2020 – GINGER CEBTP	Suivi du recul de la falaise de Massacan – CR n°14
[19]	SINTEGRA Réf 13667 05/02/2020	MASSACAN – Lever LIDAR et orthophotoplan
[20]	ANTEA GROUP – Rapport N°105079/B – Septembre 2020	Rapport G2 PRO - Confortement de la falaise de la plage de Massacan
[21]	NUAGE 3D – 05/2022	Relevé topographique au scan 3D – Plan de masse 1/200 <sup>ème</sup>

Tableau 1 : Documents de référence



## 2. Le projet dans son contexte

### 2.1. Objectif du projet

Le projet consiste en priorité à sécuriser les parcelles identifiées vis-à-vis des risques d'éboulement majeur. De tels événements sont susceptibles d'affecter les enjeux (habitations, terrasses, piscines) situés en tête de falaise.

Pour la Mairie de la Garde, la sécurisation de la plage de Massacan, actuellement interdite au public en raison des risques d'éboulement, n'est pas considérée comme un objectif prioritaire dans le cadre de ce marché.

### 2.2. Description de la zone d'étude

La falaise de Massacan s'étend sur une longueur de 350 m pour une hauteur variant entre quelques mètres et 50 m. Sa direction moyenne est le N130°. Elle a fait l'objet d'une exploitation au 19<sup>ème</sup> siècle pour la construction du port de Toulon.



Figure 3 : Vue aérienne du secteur à l'étude

La zone d'étude est séparée en deux secteurs :

- Secteur Ouest : Parcelles AW 378 – 366 ;
- Secteur Est : Parcelles AW 259 – 258 – 257 – 256 – 283 – 347.

### Secteur Ouest :

Les parcelles AW 378-366 sont situées à l'extrémité ouest des falaises qui surplombent les plages de Massacan. Dans cette zone, la falaise forme un léger arrondi de 38 m de long sur environ 30 m de paroi sub-verticale.



**Figure 4 : Vue panoramique de la falaise côté Ouest**

### Secteur Est :

Ce secteur est continu entre les parcelles AW 259 et AW347 sur une distance de 114 m linéaires en crête de falaise. La morphologie de la falaise est scindée en deux pentes bien distinctes : la partie supérieure de falaise constituée du substratum rocheux, est sub-verticale tandis que la partie sous-jacente est formée d'un talus d'éboulis fortement incliné (>45°). La limite entre les deux pentes varie entre 6 m et 20 m par rapport à la crête de falaise à la faveur d'une hauteur de talus changeante.





Figure 5 : Vue panoramique de la falaise côté Est



Figure 6 : Vue panoramique de la falaise côté Est



## 2.3. Contexte géologique

D'après la carte géologique de Toulon éditée par le BRGM au 1/50 000<sup>ème</sup>, la falaise de Massacan est constituée de formations appartenant au Trias moyen (**t6-4 Muschelkalk**) composée de deux types de lithologies :

- A la base : des calcaires et des dolomies ;
- Au sommet : des cargneules et des calcaires de nature bréchique.

Les calcaires et dolomies sont globalement massifs au contraire des brèches et cargneules dont les propriétés mécaniques sont plus faibles et peuvent parfois présenter un aspect extrêmement friable.

Le pendage des formations (**S0** : N 100-120°/50-60° NE) est globalement rentrant dans le terrain : ce sont surtout les calcaires et dolomies qui présentent une stratification marquée, à l'inverse des cargneules et des brèches du sommet dont le pendage est fruste, voire invisible.

A l'échelle régionale, les formations du Muschelkalk sont en contact anormal avec les phyllades du Cap Sicié (formations notées **x4** et **x6** sur la carte géologique). On remarque que le contact s'effectue par le biais d'accidents géologiques peu ou prou parallèles à la falaise de Massacan (N130°) ainsi que selon la direction moyenne N45°.

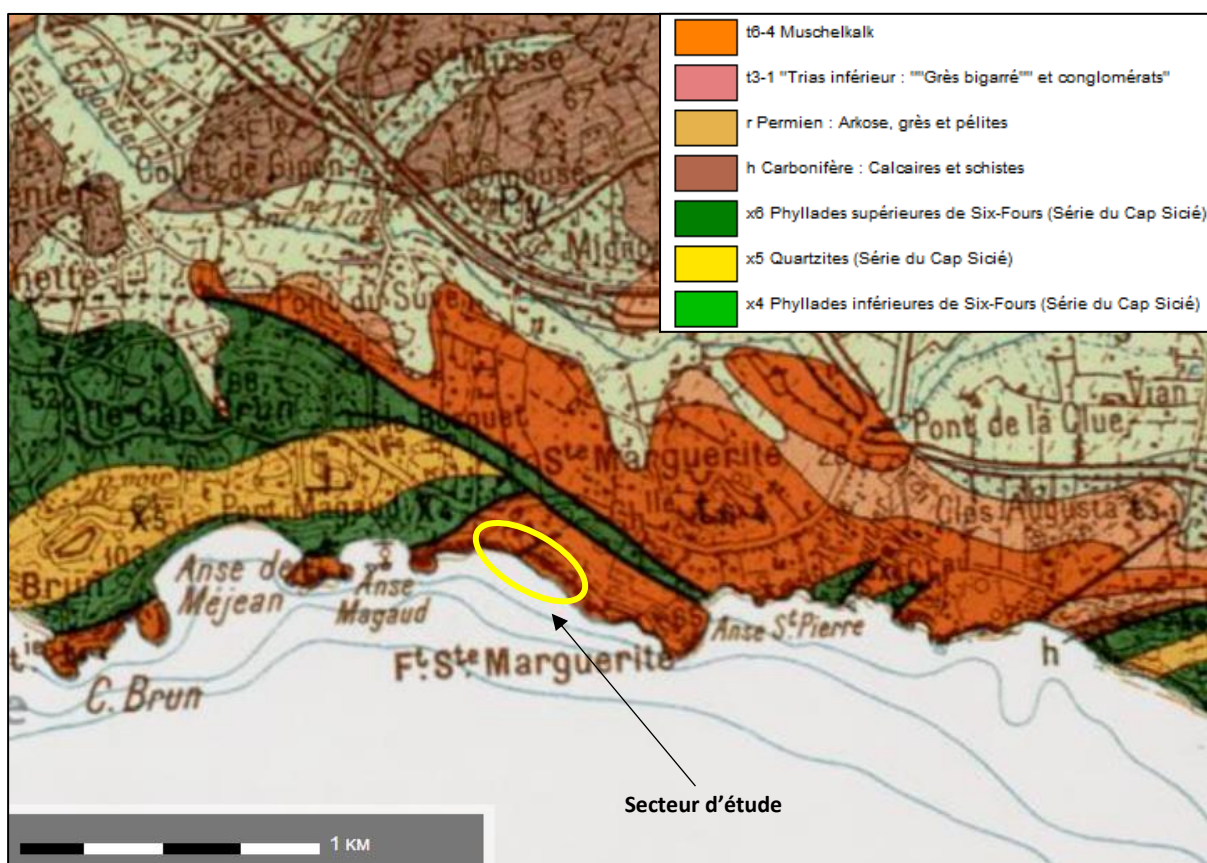


Figure 7 : Extrait de la carte géologique à 1/50 000<sup>ème</sup> de Toulon

## 2.4. Contexte structural

*Les éléments ci-après proviennent des inspections de falaise effectuées successivement par les géologues Antea Group au cours de leur différentes études réalisées au mois de mars 2006, juillet 2020 et de juin 2022 ainsi que des documents [2], [8] et [12].*

La falaise est affectée par plusieurs familles de discontinuités dont les principales sont :

- **S0** : En moyenne N 100-125°/35° à 50-60° NE correspondant au plan de stratification de la falaise qui est globalement rentrant dans la falaise. On peut remarquer que, dans la partie inférieure des talus, le pendage des couches diminue pour atteindre 20° NE ; cette diminution du pendage traduit un phénomène de déstabilisation de certains compartiments rocheux affaissés/disloqués par effet de fauchage des couches. Ce litage est bien exprimé dans les calcaires et dolomies présentes à la base de la falaise où il présente une fréquence métrique mais celui-ci est fruste dans les cargneules et calcaires bréchiques présents sur la partie supérieure. L'orientation du pendage est globalement favorable à la stabilité en grand mais il engendre aussi quelques surplombs dont la stabilité peut s'avérer précaire. On notera qu'au droit du secteur Est étudié dans la présente étude, les strates de calcaire et de dolomie sont recouvertes par les éboulis et n'affleurent pas.
- **F1** : N90-110°/50-70° SO qui forme de grands plans avals ; l'un de ces plans est à l'origine de l'éboulement de 2014 sous la propriété BINON. La fréquence de ces plans reste toutefois aléatoire. Leur extension est de quelques mètres, exceptionnellement 10 m comme c'est le cas du « glissoir » de l'éboulement de 2014. Cette même famille est également à l'origine de la fracturation d'un dièdre au droit de la parcelle AW 258.
- **F2** : N130° à N145° sub-vertical, proche de la direction de pendage, qui se combine très bien avec F1 et peut également produire des ruptures de surplombs. Cette famille peut engendrer la présence de crevasses comme celle bien visible sous le CROSSMED. Une crevasse de 30 cm de largeur est par ailleurs présente dans la falaise entre les parcelles AW 261 et AW481 ;
- **F3/4** : Des plans N10° à N50° à pendages sub-verticaux ou orientés vers l'ouest. Ces plans sont peu ou prou orthogonaux à la direction moyenne de la falaise. Ces plans sont à l'origine de décrochements dans la falaise. En première approche, il semble que deux accidents de cette famille matérialisent les extrémités Est et Ouest de la zone d'éboulis (zone fauchée) dans laquelle a été construit l'escalier d'accès. Ces plans sont conformes à l'une des directions régionales de fracturation.

Ce sont principalement les familles de discontinuités F1 et F2 qui sont à l'origine des instabilités constatées sur la falaise de Massacan.

## 2.1. Contexte hydrogéologique

D'un point de vue hydrogéologique, les fronts rocheux/talus d'éboulis ne montrent pas de venues d'eau significatives (visite en juin 2022). Cette situation s'explique par le caractère globalement perméable des formations et le pendage amont a priori défavorable à l'écoulement des eaux vers la falaise. Des écoulements ponctuels sont cependant possibles pendant les épisodes de précipitations intenses ainsi qu'à l'interface des zones rocheuses et des zones plus argileuses (bancs ou crevasses argilisées).

## 2.2. Contexte sismique

D'après les décrets d'octobre 2010 n°1254 et n°1255 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, la commune de la Garde est située en zone d'aléa faible : les aménagements envisagés sont situés en zone sismique 2.

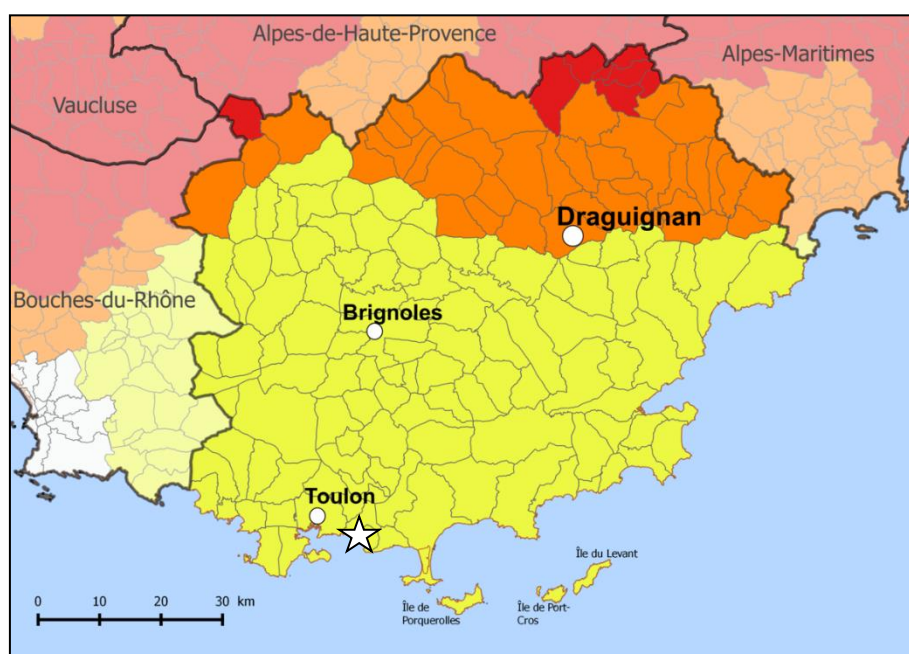


Figure 8 : Carte de l'aléa sismique du département du Var

D'après l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicable aux bâtiments de la classe dite « à **risque normal** », les confortements visent à protéger des bâtiments d'habitation individuelle de catégorie d'importance II.

Dans ce contexte, aucune accélération de calcul  $a_g$  n'est à prendre compte pour un sol de type rocheux.

## 2.3. Contexte environnemental

D'un point de vue environnemental, le site fait partie intégrante du site inscrit des terrains du lotissement de Terre Promise à la Garde.

Il fait également partie de l'aire d'adhésion du Parc national de Port Cros.

Compte tenu de la présence de certaines espèces cibles (Cf rapport ECOMED), les travaux devront se dérouler de préférence sur la période allant du mois de septembre au mois de janvier (inclus).



## 2.4. Contexte historique du secteur d'étude

### 2.4.1. Mouvements de terrain répertoriés

Des chutes de roches de plusieurs mètres cubes se sont produites entre 1970 et 1980 notamment au droit du chemin d'accès et ont conduit la Mairie de La Garde à condamner l'accès à la plage.

Le 10 décembre 2014, un éboulement de 500 m<sup>3</sup> de roche s'est produit sous la parcelle AW 288 (propriété BINON) entraînant l'évacuation de la propriété. L'éboulement est dû à la combinaison de fractures : plan N110°/70° SW relayé à l'arrière par un plan sub-vertical parallèle à la falaise. Les images d'archives montrent que le compartiment avait un aspect surplombant et proéminent et qu'il était bien découpé latéralement par le réseau de fractures. Sa rupture était estimée possible à court terme (Cf. Rapport ANTEA 67242/A en 2012).

La parcelle AW 261 présentait des signes d'instabilité de type tassement matérialisés par la présence de nombreuses fissures. Dans une moindre mesure, les parcelles AW 481 et 260 présentaient également des désordres. Ces trois propriétés ont fait l'objet d'une sécurisation de la crête de falaise durant la première phase de travaux entrepris par la Mairie.

Des désordres sont également constatés sur le flanc Ouest de parcelle AW 378 où des éboulements se sont produits et ont déstructuré en partie l'escalier qui mène à la plage.

### 2.4.2. Définition de l'aléa « recul des falaises »

A la demande de la Mairie de la Garde, le BRGM dans son expertise du 05/2019 - document [12] - a défini une hiérarchisation de l'aléa rocheux et élaboré une carte de l'aléa « recule de falaise ». Sur le secteur Ouest, le BRGM a repris la carte d'aléa de l'étude du B.E IMSRN (document [8]).

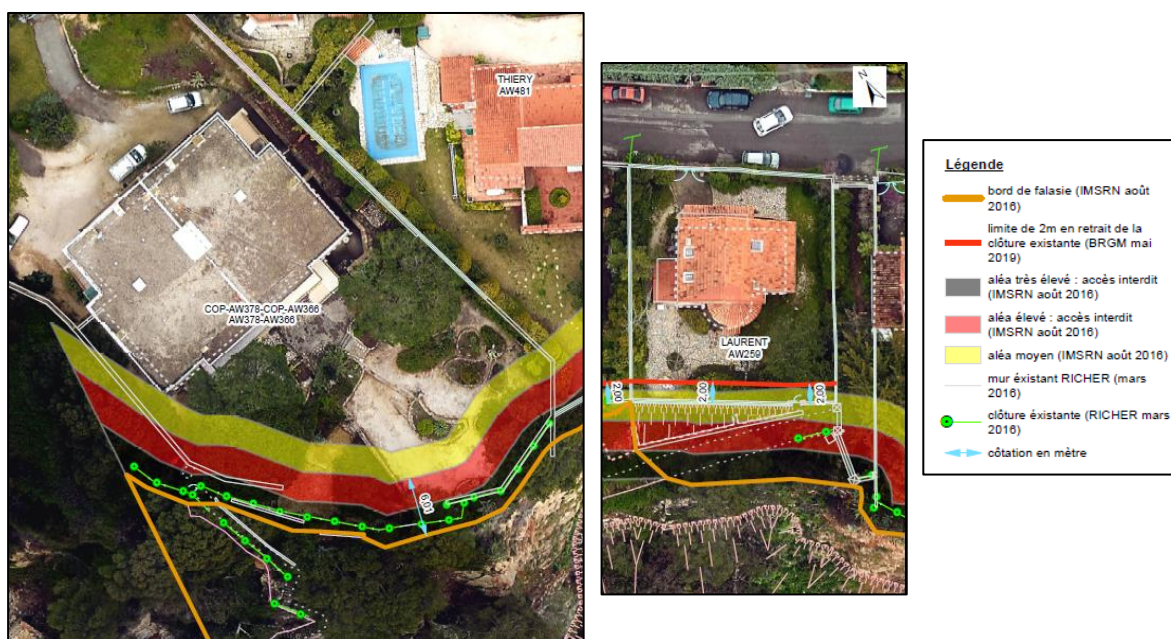


Figure 9 : Extrait de la carte d'aléa IMSRN (août 2016) validée par le BRGM pour les parcelles AW 366- AW 378 – AW 259

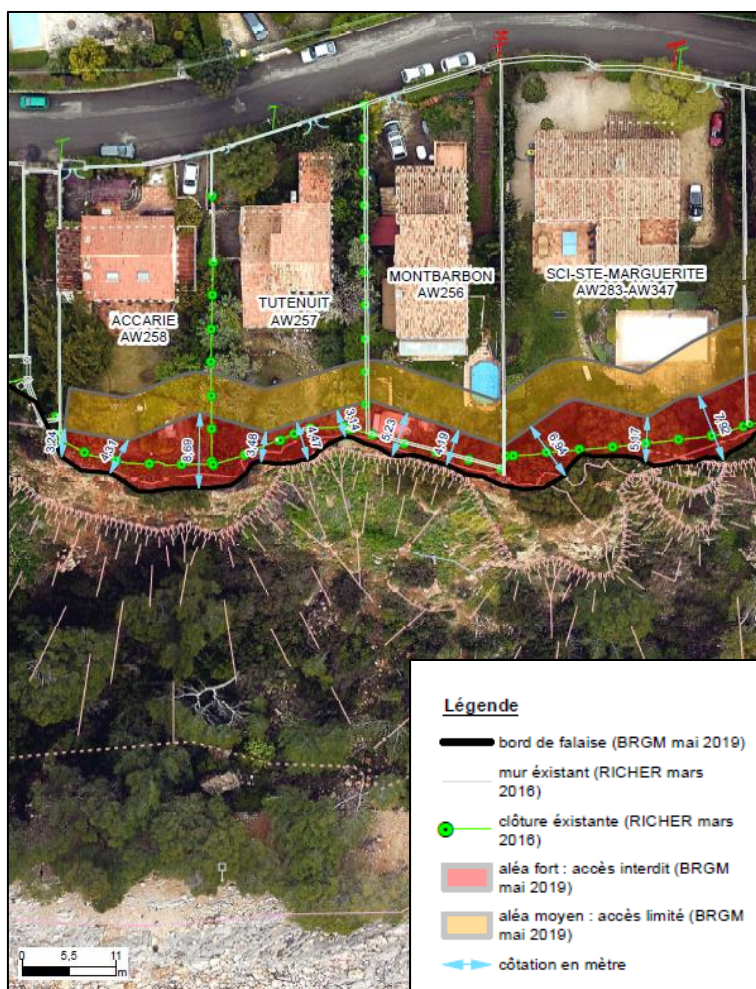


Figure 10 : Extrait de la carte d'aléa BRGM (mai 2019) pour les parcelles AW 258 – 257 – 256 – 283 – 347

### 2.4.3. Travaux de sécurisation de la falaise

Les études réalisées successivement ces 20 dernières années ont permis de cartographier le risque d'éroulement de la crête de falaise qui concerne à ce jour 12 propriétés.

En 2020, la Mairie de la Garde a fait le choix de procéder à la sécurisation de la tête de falaise en phasant les travaux.

Entre septembre 2021 et mars 2022, la première phase de travaux a été réalisée au droit des parcelles qui présentaient l'aléa le plus important (parcelles AW 491, 260, 259, 348, 285, 286, 287).

Une solution technique de type paroi clouée au sein des cargneules blanches et des calcaires bréchiqes a été définie pour sécuriser la crête de falaise.





Figure 11 : Photo de la paroi clouée au droit des parcelles AW 285-348 et 286-287



Figure 12 : Photo de la paroi clouée au droit des parcelles AW 481 – 261 – 260

## 3. Evaluation des aléas par zones

### 3.1. Aléa rocheux – Définition

#### 3.1.1. Classes d'instabilité

Les différentes classes d'instabilité sont définies par leur volume.

Classe	Volume
Chute de pierres	Quelques dm <sup>3</sup>
Chute de blocs	De quelques dm <sup>3</sup> à quelques dizaines de m <sup>3</sup>
Eboulement en masse	Supérieur à une centaine de m <sup>3</sup>
Eboulement en grande masse	Supérieur à la centaine de milliers de m <sup>3</sup>

Tableau 2 : Classes d'instabilités en fonction du volume

#### 3.1.2. Aléa de rupture

L'aléa se caractérise par une probabilité de rupture (ou d'occurrence) et un délai de survenance d'un phénomène donné.

❖ Probabilité de rupture (ou d'occurrence) = probabilité pour qu'un phénomène se produise.

Probabilité d'occurrence	Description
Très élevée	L'occurrence du phénomène paraît évidente. Sa non-occurrence serait exceptionnelle
Elevée	L'occurrence du phénomène semble plus probable que sa non-occurrence
Modérée	La probabilité d'occurrence est égale à la non-occurrence
Faible	La non-occurrence est la plus probable
Très faible	La non-occurrence du phénomène paraît évidente. L'occurrence serait exceptionnelle

Tableau 3 : Échelle qualitative de probabilité d'occurrence

❖ Le délai

Délai	Description
Imminent	Quelques heures à quelques mois
Très court terme	Environ 2 ans
Court terme	5 -10 ans
Moyen terme	20-50 ans
Long terme	100 ans ou plus

Tableau 4 : Échelle temporelle de rupture proposée

❖ L'aléa de rupture

		Probabilité d'occurrence				
		Très faible	Faible	Modéré	Elevée	Très élevée
Délai	Imminent	X	X	X	Très élevé	Très élevé
	Très court terme	X	X	Elevé	Elevé	Très élevé
	Court terme	X	Moyen	Moyen	Elevé	Elevé
	Moyen terme	Faible	Faible	Moyen	Moyen	Elevé
	Long terme	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen

Tableau 5 : Niveau d'aléa proposé

### 3.1.3. Aléa « atteinte des enjeux existants »

	La probabilité d'atteinte de l'enjeu est quasi nulle	L'enjeu est atteint exceptionnellement	La probabilité d'atteinte de l'enjeu est plus forte que la non atteinte	La non-atteinte de l'enjeu serait exceptionnelle
Aléa « atteinte »	Très faible à nul	Faible	Moyen	Fort

Tableau 6 : Aléa atteinte des enjeux existants

### 3.1.4. Risque rocheux

		Aléa de rupture			
		Faible	Moyen	Fort	Très fort
Aléa « atteinte »	Très faible à nul	Très faible à nul	Très faible à nul	Faible	Faible
	Faible	Faible	Faible	Moyen	Moyen
	Moyen	Faible	Moyen	Fort	Fort
	Fort	Moyen	Moyen	Fort	Très fort

Tableau 7 : Niveau de risque gravitaire

## 3.2. Observations par zones

Le relevé géologique de terrain a été réalisé les 15, 16, 17 juin et le 18 juillet 2022 en technique acrobatique sur falaise par un géologue.

### 3.2.1. Exploitation des données disponibles

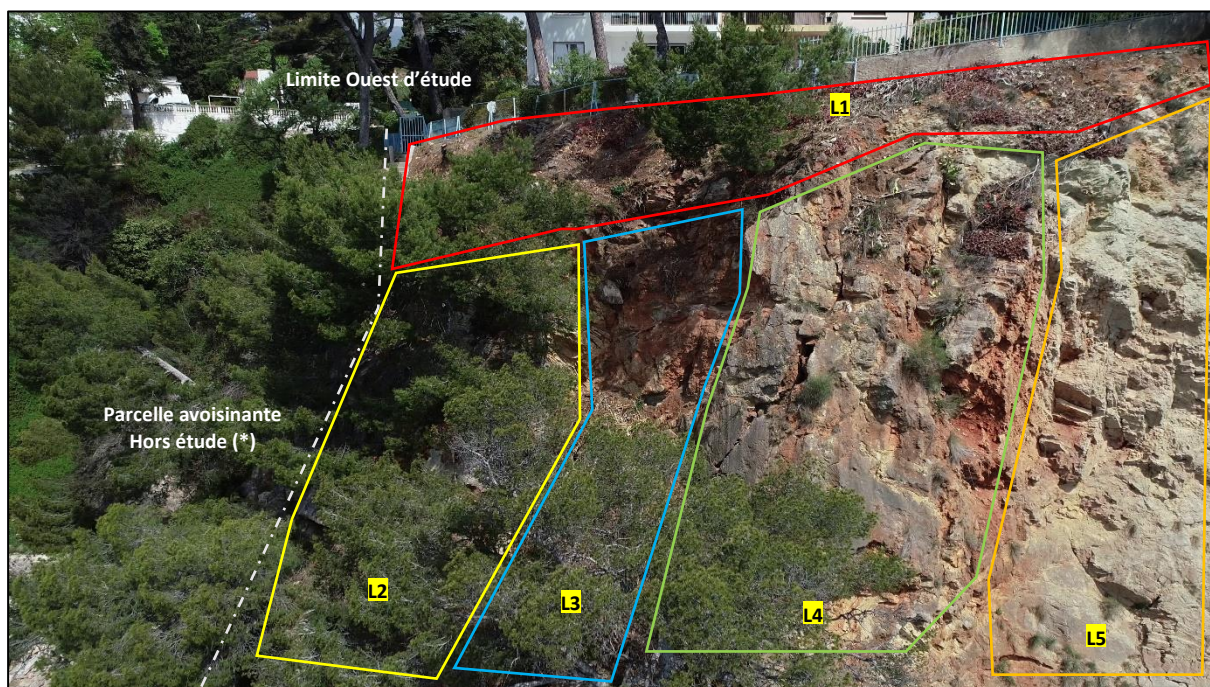
En complément du relevé de terrain, 13 coupes de la falaise notées P1 à P12 ont été tracées sur le relevé topographique (document [21]), dont le plan d'implantation est illustré en **Annexe II**. Ces profils permettent d'analyser la morphologie de la falaise, de recaler les différents faciès rencontrés et de dimensionner les ouvrages de confortement nécessaire (Cf. Chap 6).



### 3.2.2. Parcelles AW 378 – 366 (SANS/JAUZE-BALOY/FRESNE/JORDAN)

La falaise sous les parcelles AW 378 et AW 366 est constituée de calcaires bréchiqes et cargneulisés ocre-beige. La hauteur totale de la falaise est de l'ordre d'une vingtaine de mètres pour une largeur de 38 m.

D'un point de vue lithologique, on constate une alternance horizontale et verticale de faciès. La description de ces variations est illustrée sur la figure suivante puis commentée par la suite :



(\*) Secteur hors étude décrit ci-après ;

**L1** : talus rocheux tantôt cargneulisé (sur la partie est), tantôt bréchiq (vers l'ouest) ;

**L2** : Strates calcaires très fracturé au pendage amont ;

**L3** : Pan de falaise de cargneules rouge ;

**L4** : Calcaire fracturé en plusieurs compartiments dont un dièdre rocheux prédécoupé par deux discontinuités ;

**L5** : Calcaire cargneulisé blanchâtre.

Figure 13 : Photo du secteur Est – Parcelles AW 378 - 366

A l'extrême Ouest, la parcelle voisine identifiée (\*) sur la figure 13 ne fait pas partie des limites de l'étude et n'a pas fait l'objet d'un analyse approfondie (débroussaillage, relevé topographique, relevé géologique, modélisation, etc...).

Toutefois, lors de notre visite de terrain, nous avons constaté la présence de désordres gravitaires et des signes de déplacements relativement récents. L'érosion de ce pan de falaise semble plutôt rapide au vu de la nature des désordres constatés. De plus, l'érosion de ce pan de falaise est dirigée en direction de la parcelle AW 378 et menace directement deux ouvrages à court/moyen terme :

- l'escalier menant à la mer
- La terrasse située près du chemin d'accès qui contourne le bâtiment.





Figure 14 : Photo des désordres constatés au droit de l'escalier



Figure 15 : Photo d'une cicatrice d'un éboulement récent

Nous recommandons au maître d'ouvrage d'informer les propriétaires de cette parcelle voisine pour qu'ils procèdent à la réalisation d'une étude géotechnique par un B.E spécialisé afin de sécuriser et de stopper l'érosion de la paroi.

❖ **L1 :**

On y retrouve des blocs calcaires plus ou moins sains fracturés, parfois cimentés par une matrice argileuse et partiellement recouverts par de la terre végétale. On note que le talus présente une forte pente mais n'est pas vertical sur les premiers mètres.





Figure 16 : Photo de L1 (parcelle AW 378 – 366)

❖ **L2 :**

Situé le long des escaliers, ce pan de falaise est constitué de strates calcaires à pendage amont très fracturées dont certains compartiments semblent désolidarisés de la paroi et parfois renversés.





Figure 17 : Photo de L2 (parcelle AW 378 – 366)





Figure 18 : Suite photo de L2 (parcelle AW 378 – 366)

❖ **L3 :**

Le pan de falaise **L3** résulte du basculement de compartiments calcaires le long d'une discontinuité orientée N115° pendage 55°S appartenant à la famille de fracture **F1**.

Les cargneules rouges observées sont constituées de brèches calcaires argileuses très friables.

On notera également la présence d'une cavité probablement de type karstique le long de la discontinuité situé en contrebas entre **L2** et **L3**.







Figure 19 : Photo de L3 (parcelle AW 378 – 366)





Figure 20 : Photo de L3 (parcelle AW 378 – 366)

❖ **L4 :**

Ce pan de falaise est principalement constitué d'un dièdre calcaireux prédécoupé par deux grandes discontinuités. Ce compartiment est en surplomb et fragilisé par un important réseau de fractures ouvertes. Plus à l'Est, on retrouve des écailles rocheuses de calcaire cargneulisé de couleur rouge.



Figure 21 : Photo de L4 (parcelle AW 378 – 366)





Figure 22 : Photo de L4 (parcelle AW 378 – 366)



Figure 23 : L4 – Calcaire cargneulisé (parcelle AW 378 – 366)



❖ **L5:**

Sur environ 20 m de haut, ce pan de falaise est constitué de calcaire bréchiq ue cargneulisé très friable de couleur blanche.

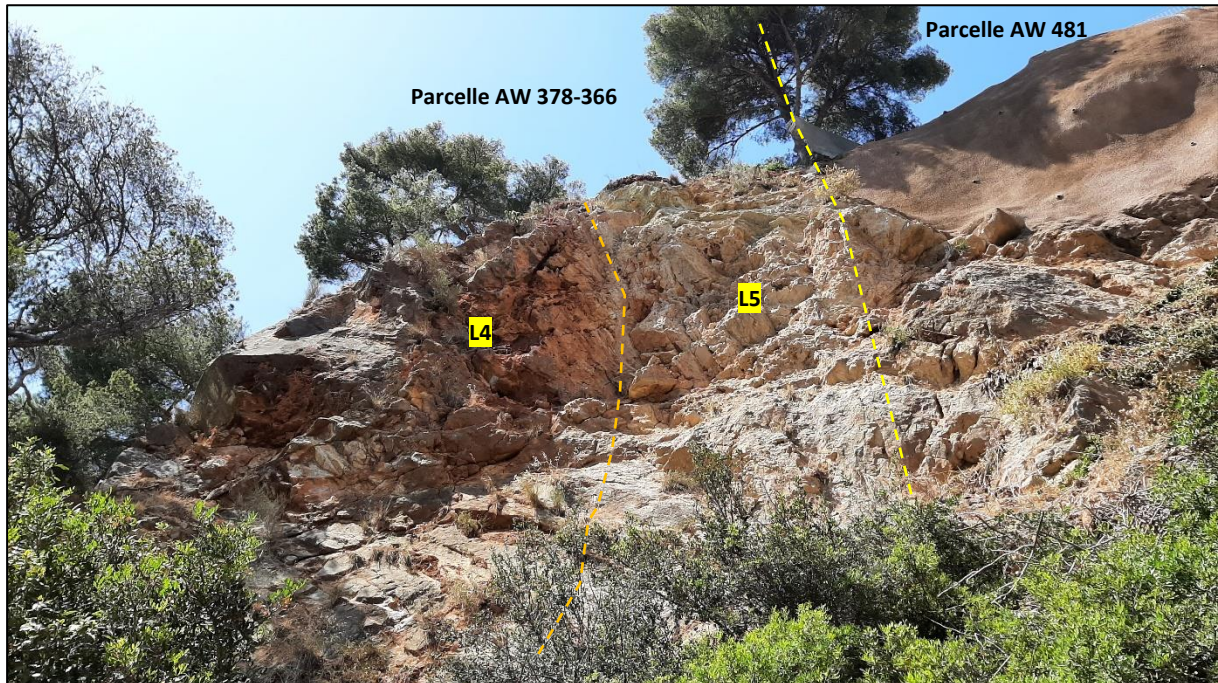


Figure 24 : Photo de L4 et L5



**Définition de l'aléa :**

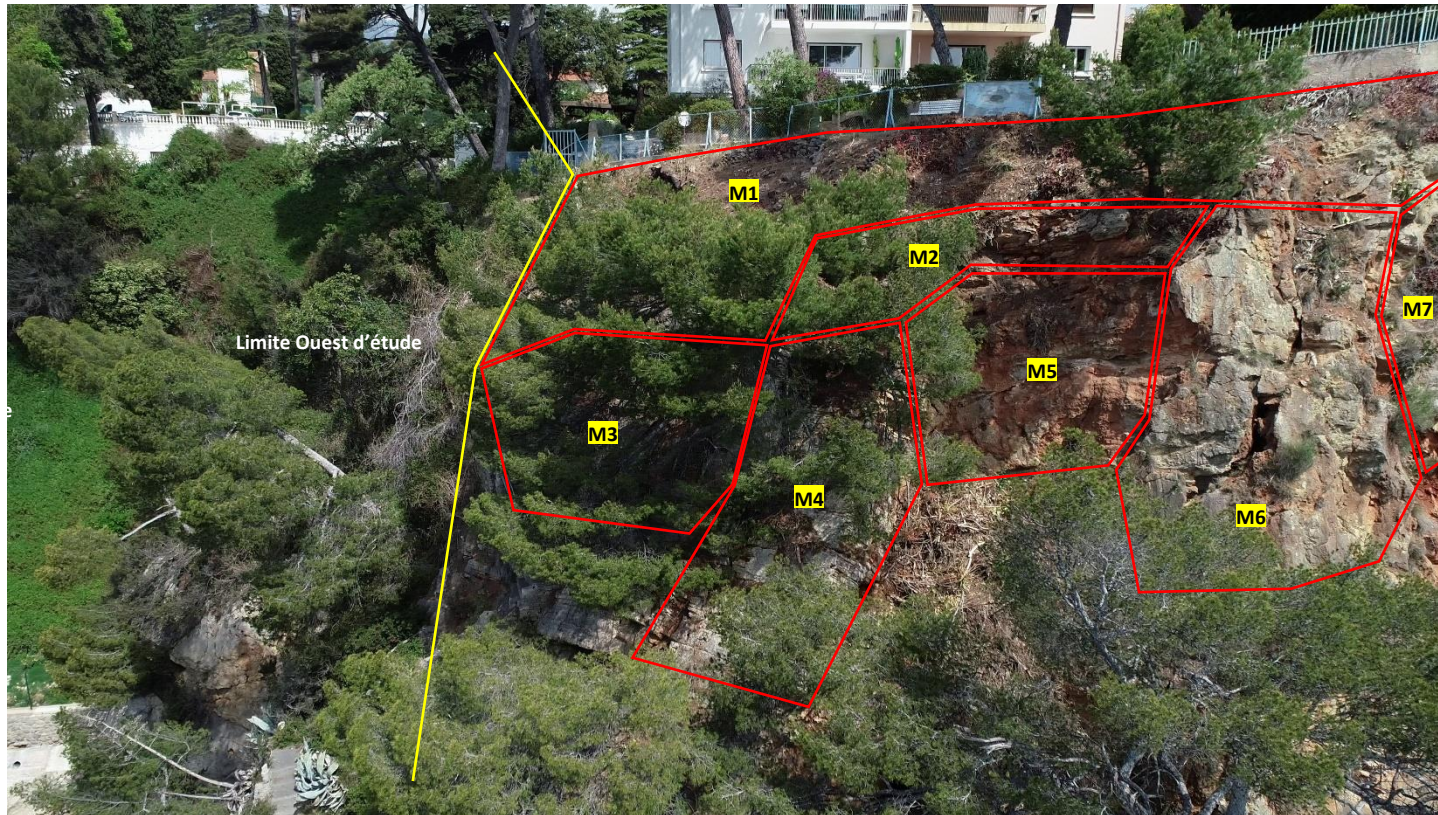


Figure 25 : Identification des aléas sur les parcelles AW 378 - 366

Secteur/instabilité	Description	Surfaces / volumes concernés	Probabilité d'occurrence	Délai	Aléa de rupture	Probabilité d'atteinte de l'enjeu (*)	Risque résultant
AW378-366/M1	Talus de blocs calcaires fracturé, cimentés par une matrice argileuse et recouvert par de la terre végétale	-	Très élevée	Moyen terme	Fort	Forte	Fort
AW 378-366/M2	Blocs calcaires et conglomérat de matériaux instables	-	Très élevée	Moyen terme	Fort	Forte	Fort
AW 378-366/M3	Blocs calcaires fracturés	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Moyen	Fort
AW 378-366/M4	Banc de calcaire prédécoupé par une discontinuité (F1)	-	Très élevée	Court à moyen terme	Fort	Faible	Moyen
AW 378-366/M5	Falaise de calcaire bréchiq ue friable avec risque de chutes de blocs	-	Elevée	Court terme	Fort	Moyen	Fort
AW 378- 366/M6	Blocs calcaires fracturés	10 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Moyen	Fort
AW 378- 366/M7	Falaise de calcaire bréchiq ue friable avec risque de chutes de blocs	-	Elevée	Moyen terme	Moyen	Forte	Fort

(\*) Passage/parcelle AW 378 - 366

Tableau 8 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 378 – AW 366

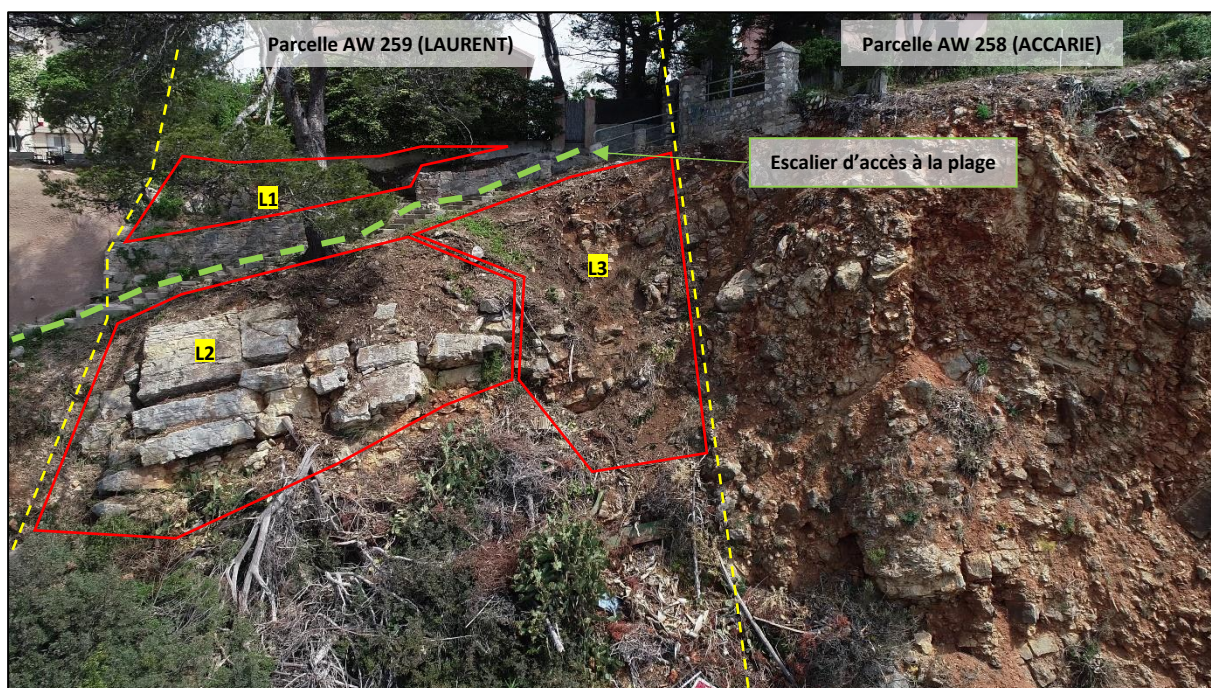


### 3.2.3. Parcelle AW 259 (LAURENT)

La parcelle AW 259 est située juste au-dessus du chemin d'accès à la plage de Massacan. Ce secteur ne se présente pas sous la forme d'une pente verticale mais plutôt sous celle d'un talus rocheux avec plusieurs lithologies présentes.

Globalement, le talus rocheux en tête de paroi présente une déclivité de 40° dans la continuité des éboulis de pente situés en pied de talus.

La rupture de pente de l'interface entre le substratum et les éboulis se trouve à 10 m de haut et à 12 m de distance par rapport à la parcelle AW 259.



**L1** : Substratum rocheux fracturé ;

**L2** : Blocs calcaires désolidarisés ;

**L3** : Brèche calcaire

Figure 26 : Photo de la parcelle AW-259

#### ❖ **L1 et propriété AW-259 :**

Entre l'escalier d'accès à la place et la propriété AW-259, L1 est un talus calcaire très fracturé voire chaotique dont la stratification est difficilement visible. On constate également la présence de matériaux rapportés probablement mis en place pour venir compenser une dépression du terrain pour la réalisation du muret et de la clôture qui surmonte la crête du talus.

Un mur en pierre maçonné vient soutenir ce talus. Hormis la présence de fissures, le muret ne présente pas de signe d'instabilité plus important.

L'escalier d'accès à la plage est situé sous le muret du talus L1 et présente des désordres de type affaissement et décollement.





**Blocs rocheux fracturé – Terrain en place**



**Matériaux rapportés**



**Figure 27 : Photo du talus L1 sous la propriété AW-259**





**Figure 28 : Photo de l'escalier d'accès à la plage sous la propriété AW-259**

Également, lors de notre inspection de la parcelle AW-259 le 02/09/2022, des désordres au niveau de la partie sud-ouest de la terrasse ont été constatés. Trois fissures ouvertes de plusieurs millimètres globalement parallèles à la crête de falaise, mesurées respectivement à 1,5 m, 3 m et 7 m de distance de la paroi. Un léger décalage de niveau suggère un affaissement de cette partie de la terrasse.

Ces désordres sont à l'origine de mouvements du substratum qui évoluent sous l'effet d'un phénomène de fauchage de compartiments rocheux généralisé sur ce secteur.

Ce phénomène intervient depuis le bas de la paroi. Des compartiments rocheux s'effondrent de la partie basse de la falaise et génèrent des vides, une intense fracturation puis un réagencement des bancs de calcaire sus-jacent.

Par ailleurs, le reste de structure ne semble pas impactée par des mouvements de terrain.





Figure 29 : Photo des désordres constatés sur la propriété AW-259

❖ L2:

Bancs de blocs calcaires fracturés et désolidarisés du substratum. Des surplombs et d'importants espaces entre les compartiments, de l'ordre de la dizaine de centimètres, sont à noter.



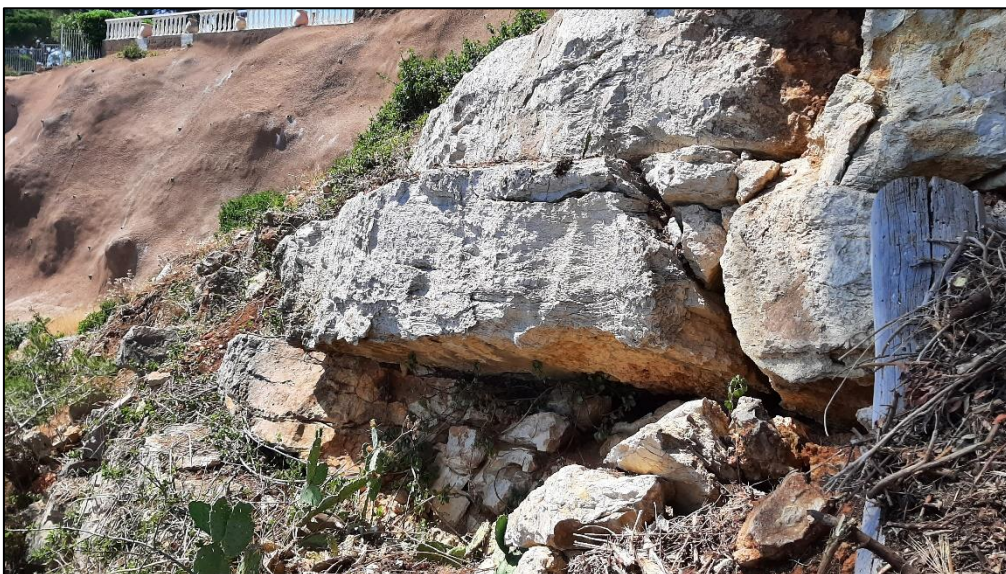


Figure 30 : Photo de L2



❖ **L3:**

Le faciès L3 est un conglomérat bréchiq ue constitué de blocs calcaires cimentés par matrice argileuse rouge. La granulométrie des blocs calcaires est très hétérogène, variant du centimètre au mètre.

Ces matériaux sont décomprimés en surface et très friables.



**Figure 31 : Photo de L3**



**Définition de l'aléa :**



Figure 32 : Identification des aléas au droit de la parcelle AW 259

Secteur/ instabilité	Description	Surfaces / volumes concernés	Probabilité d'occurrence	Délai	Aléa de rupture	Probabilité d'atteinte de l'enjeu (*)	Risque résultant
AW259/M1	Substratum rocheux fracturé	50 m <sup>2</sup>	Modérée	Moyen terme	Moyen	Forte	Moyen
AW369/M2	Blocs calcaires désolidarisés et renversés	30 m <sup>2</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW369/M3	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort

(\*) Parcelle AW259 / Escalier d'accès

Tableau 9 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 259



### 3.2.4. Parcelle AW 258 (ACCARIE)

A l'aplomb de la parcelle AW 258, la falaise est sub-verticale sur des hauteurs comprises entre 14 m et 21 m.

L'ensemble de la paroi est formé de matériaux bréchiques constitués de blocs calcaires à matrice argileuse.

Plusieurs compartiments présentent des signes d'instabilités avancés liés à l'intense fracturation du secteur. A ce stade, l'argile déposée au contact des discontinuités permet de contenir ces compartiments.



Figure 33 : Identification des aléas sur les parcelles AW 258

L'aléa **M1** est défini par la chute de blocs rocheux instables. L'érosion des matériaux friables et notamment de la matrice argileuse, favorise le décollement de compartiments rocheux. La dimension des blocs varie du litre au mètre cube.

Les compartiments **M2**, **M3** et **M4** sont décrits ci-après.



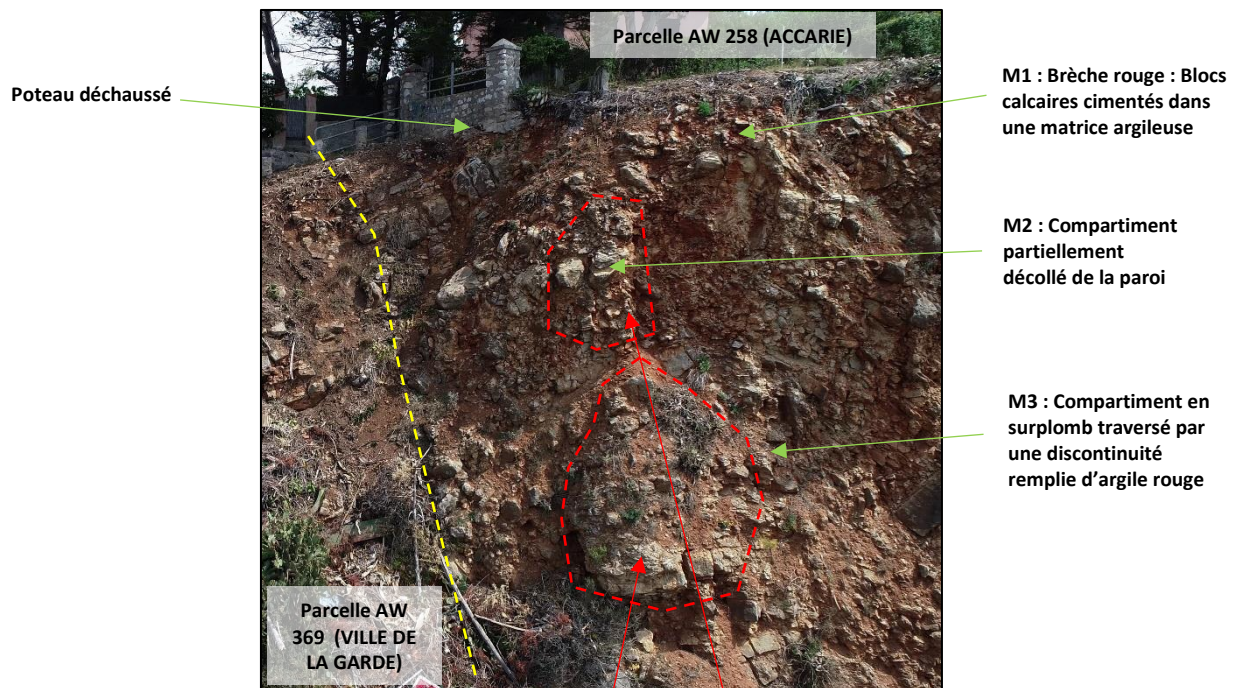
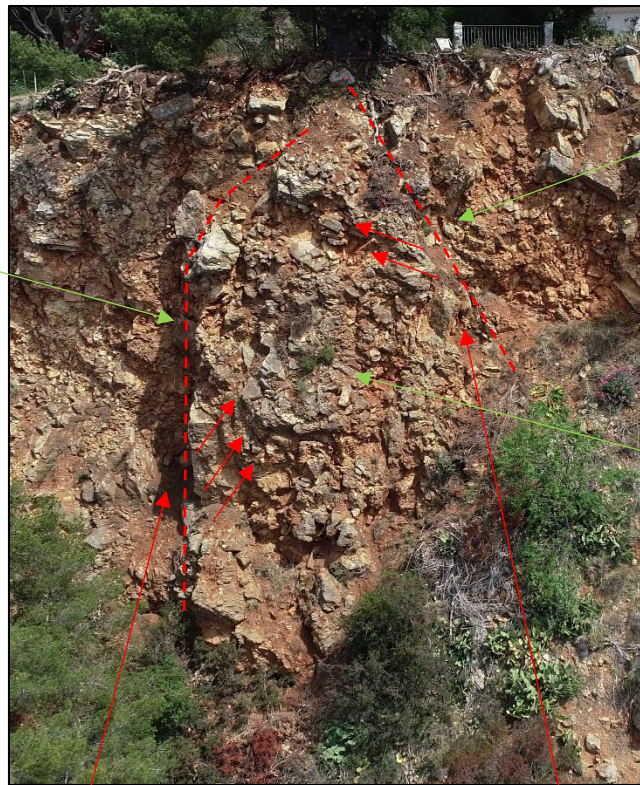


Figure 34 : Photo de M2 et M3 – Parcelle AW 258

Le volume du compartiment **M2** est estimé à 2-3 m<sup>3</sup> et celui de **M3** à 5 m<sup>3</sup>.



**Discontinuité type F1 :**  
Fracturation ouverte et  
remplie par des argiles  
rouges à quelques  
anfractuosités



**Discontinuité type F2**

**M4 : Intersection des  
deux discontinuités**  
Volume estimé à 200 m<sup>3</sup>



**Figure 35 : Photo de M4 – Parcelle AW 258**



**Définition de l'aléa :**

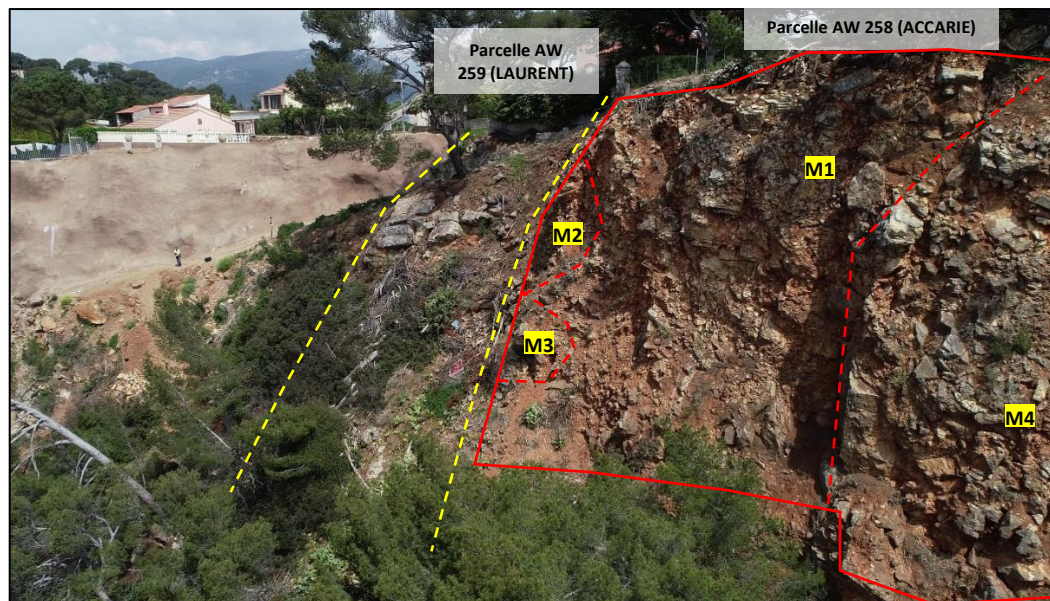


Figure 36 : Identification des aléas sur les parcelles AW 258

Secteur/ instabilité	Description	Surfaces / volumes concernés	Probabilité d'occurrence	Délai	Aléa de rupture	Probabilité d'atteinte de l'enjeu (*)	Risque résultant
AW258/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW258/M2	Compartiment partiellement décollé sur son flanc ouest	2-3 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW258/M3	Compartiment fracturé de part et d'autre et en surplomb	5 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Faible	Moyen
AW258/M4	Écaille brèchique fracturée de part et d'autre par une fracture de plusieurs dizaines de cm d'épaisseur remplie d'argile	120 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort

(\*) Jardin/parcelle AW 258

Tableau 10 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 258

### 3.2.5. Parcelles AW 257 (BERETS)

La falaise à l’aplomb de la parcelle AW 257 est de nature bréchique, identique à la parcelle décrite précédemment. Des blocs calcaires de granulométrie variable (du centimètre au mètre) sont cimentés dans une matrice argileuse indurée.

La partie supérieure de la falaise est sub-verticale au droit du substratum puis s’incline fortement à partir des éboulis au niveau de la rupture de pente.

Les hauteurs de falaise varient de 10 m à 20 m de haut.

Propre à ces matériaux, l’aléa le plus important est la chute de blocs par érosion de la matrice argileuse. Compte tenu du contexte local, ces phénomènes possèdent de courtes périodes de retour. De nombreux compartiments sont instables et leur chute contribue à l’instabilité globale de la paroi.

A la faveur de l’important réseau de discontinuité que l’on connaît dans ce secteur, des instabilités de plus grande envergure ne sont pas à exclure. Toutefois, aucun signe de discontinuité d’ampleur n’a été constaté sur cette zone sur la parcelle AW 257.

On notera la présence de vides au niveau de la rupture de pente entre le substratum et les éboulis dont l’origine provient probablement d’un dévers partiellement comblé par les éboulis. Ces vides sont observés à plusieurs endroits de la falaise à l’échelle du site.

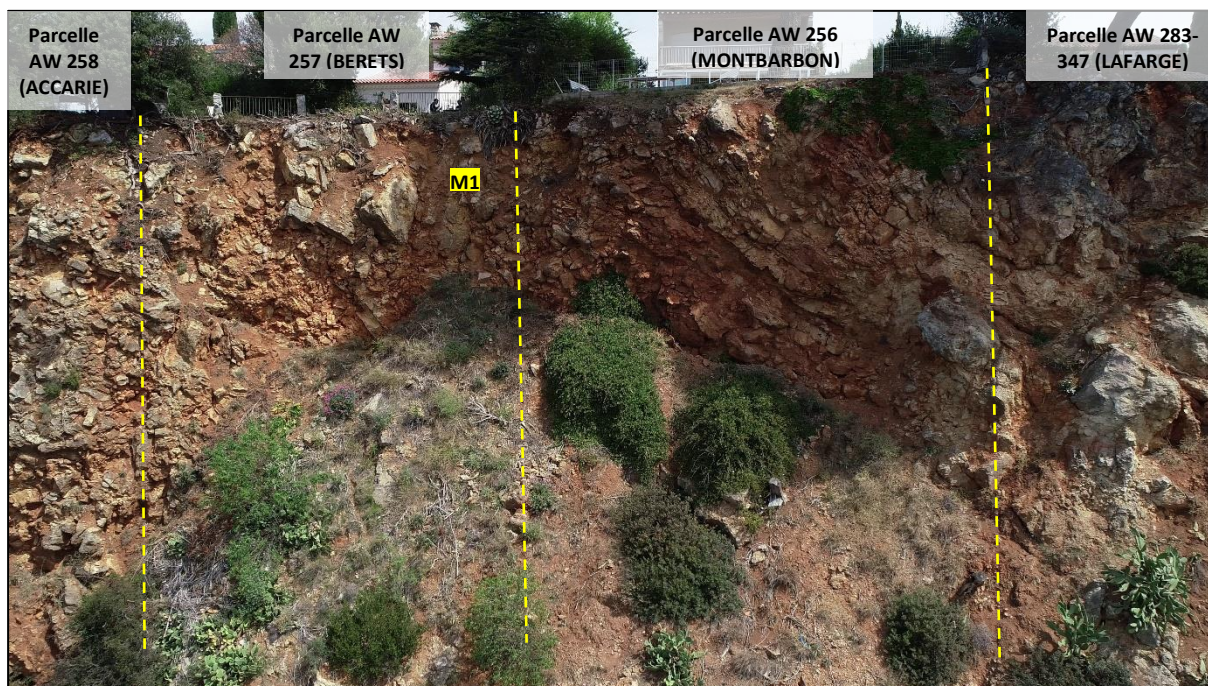


Figure 37 : Identification des aléas sur la parcelle AW 257





**Figure 38 : Photo de la falaise au droit de la parcelle AW 257**



**Définition de l'aléa :**

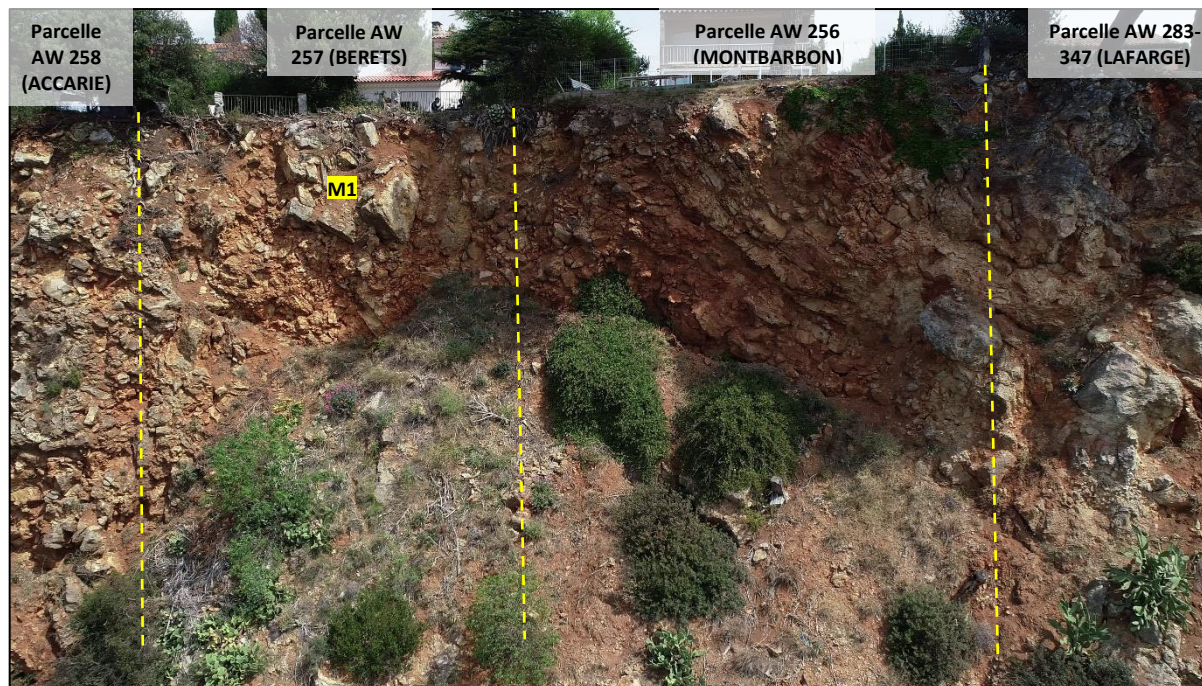


Figure 39 : Identification des aléas sur la parcelle AW 257

Secteur/ instabilité	Description	Surfaces / volumes concernés	Probabilité d'occurrence	Délai	Aléa de rupture	Probabilité d'atteinte de l'enjeu (*)	Risque résultant
AW257/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	<b>Fort</b>	<b>Forte</b>	<b>Fort</b>

(\*) Jardin/parcelle AW 257

Tableau 11 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 257



### 3.2.6. Parcelle AW 256 (MONTBARBON)

La falaise à l’aplomb des parcelles AW 256 est de nature bréchique, identique à la parcelle décrite précédemment. Des blocs calcaires de granulométrie variable (du centimètre au mètre) sont cimentés dans une matrice argileuse indurée.

La partie supérieure de la falaise est sub-verticale au droit du substratum puis s’incline fortement à partir des éboulis au niveau de la rupture de pente.

Les hauteurs de falaise varient de 10 m à 20 m de haut.

Propre à ces matériaux, l’aléa le plus important est la chute de blocs par érosion de la matrice argileuse. Compte tenu du contexte local, ces phénomènes possèdent de courtes périodes de retour. De nombreux compartiments sont instables et leur chute contribue à l’instabilité globale de la paroi.

A la faveur de l’important réseau de discontinuité que l’on connaît dans ce secteur, des instabilités de plus grande envergure ne sont pas à exclure. Toutefois, aucun signe de discontinuité d’ampleur n’a été constaté sur cette zone sur les parcelles AW 256.

On notera la présence de vides au niveau de la rupture de pente entre le substratum et les éboulis dont l’origine provient probablement d’un dévers partiellement comblé par les éboulis. Ces vides sont observés à plusieurs endroits de la falaise à l’échelle du site.

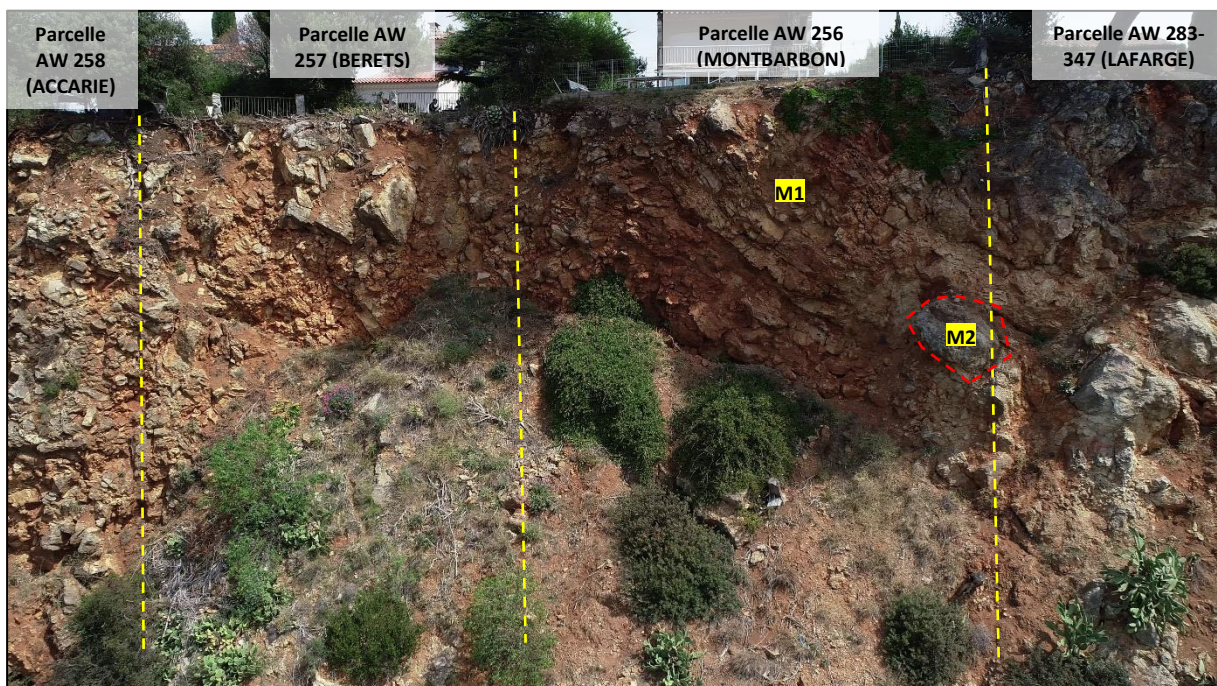


Figure 40 : Identification des aléas sur la parcelle AW 256





Figure 41 : Photo de la falaise au droit de la parcelle AW 256





Figure 42 : Photo de M2

Le compartiment **M2** est un bloc calcaire d'environ 2 m<sup>3</sup> désolidarisé de la paroi.

**Définition de l'aléa :**

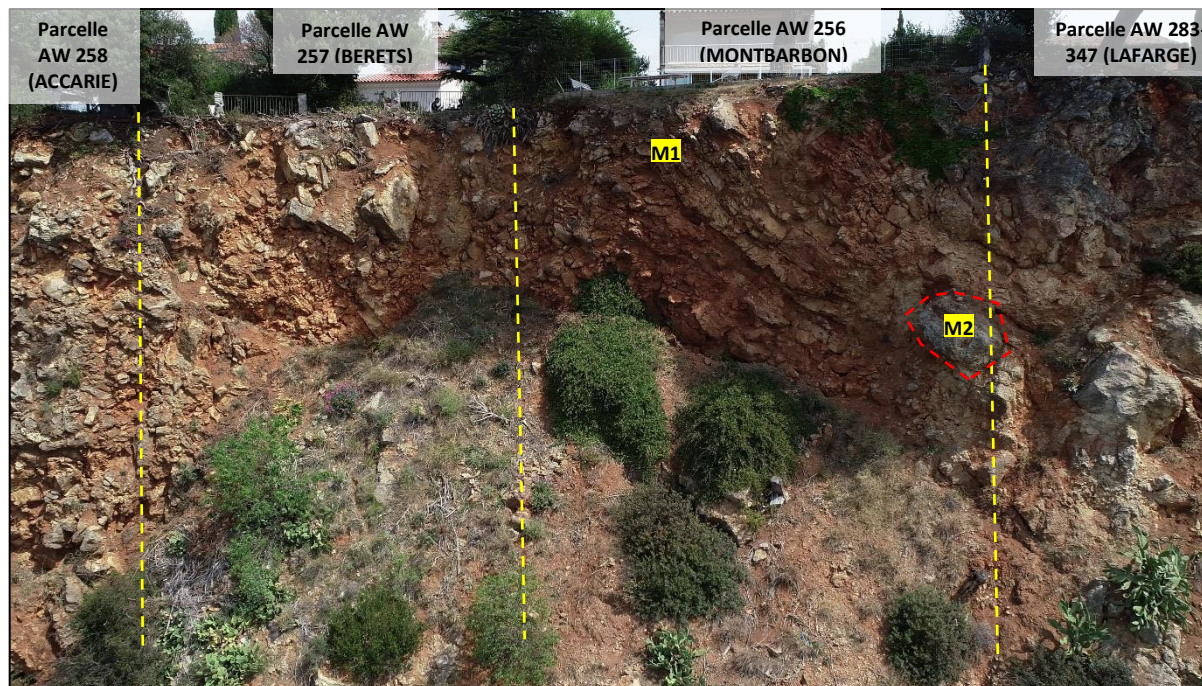


Figure 43 : Identification des aléas sur la parcelle AW 256

Secteur/ instabilité	Description	Surfaces / volumes concernés	Probabilité d'occurrence	Délai	Aléa de rupture	Probabilité d'atteinte de l'enjeu (*)	Risque résultant
AW257-256/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW257-256/M2	Bloc désolidarisé	2 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Faible	Moyen

(\*) Jardin/parcelle AW 257-256

Tableau 12 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 256



### 3.2.7. Parcelle AW 283-347 (LAFARGE)

La falaise sous les parcelles AW 283-347 présente une première partie sub-verticale d'environ 15 m de hauteur suivi d'un talus constitué d'éboulis.

La partie ouest de la falaise est constituée de matériaux bréchiques de type calcaire argileux rouge comme vu précédemment et notée ici **M1** et **M3** sur la figure suivante. Dans ce secteur, des compartiments fauchés et crevassés présentent d'importants signes d'instabilités.

Sur la partie Est de la falaise on retrouve des matériaux de calcaire bréchiq ue de type cargneule blanche à l'aspect poudreux et au pendage frustré (**M2**). Sous ce faciès et au-dessus des éboulis, des bancs de calcaire dolomitiques plus compacte et stratifiés sont rencontrés. La paroi présente un léger devers dans ce secteur.

Enfin, on note la présence de spéléothèmes qui témoignent d'un paléo-karts dont le développement n'est pas visible à l'affleurement.

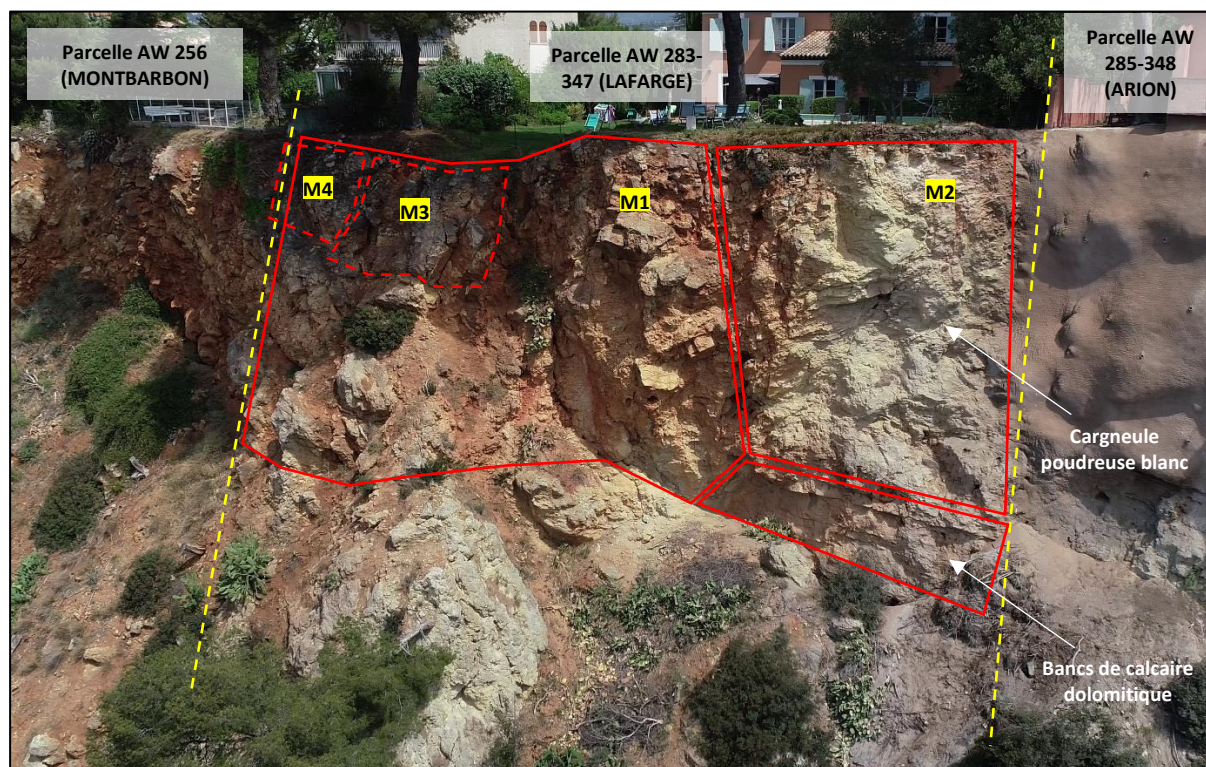


Figure 44 : Identification des aléas sur les parcelles AW 283-347

Le compartiment **M3** est un amas de blocs calcaires chaotiques fracturés et en cours de décollement. Des discontinuités plus ou moins remplies d'argiles contournent ces compartiments. Le volume total est estimé à une centaine de m<sup>3</sup>.

Le compartiment **M4** est caractérisé par une fracture ouverte d'environ 5 cm située sous la masse. La discontinuité n'est pas visible sur la partie supérieure du compartiment. Toutefois, l'extrapolation du plan de rupture vers l'amont se situerait non loin de la clôture existante. Le volume total de **M4** se situe entre 2 et 5 m<sup>3</sup>.



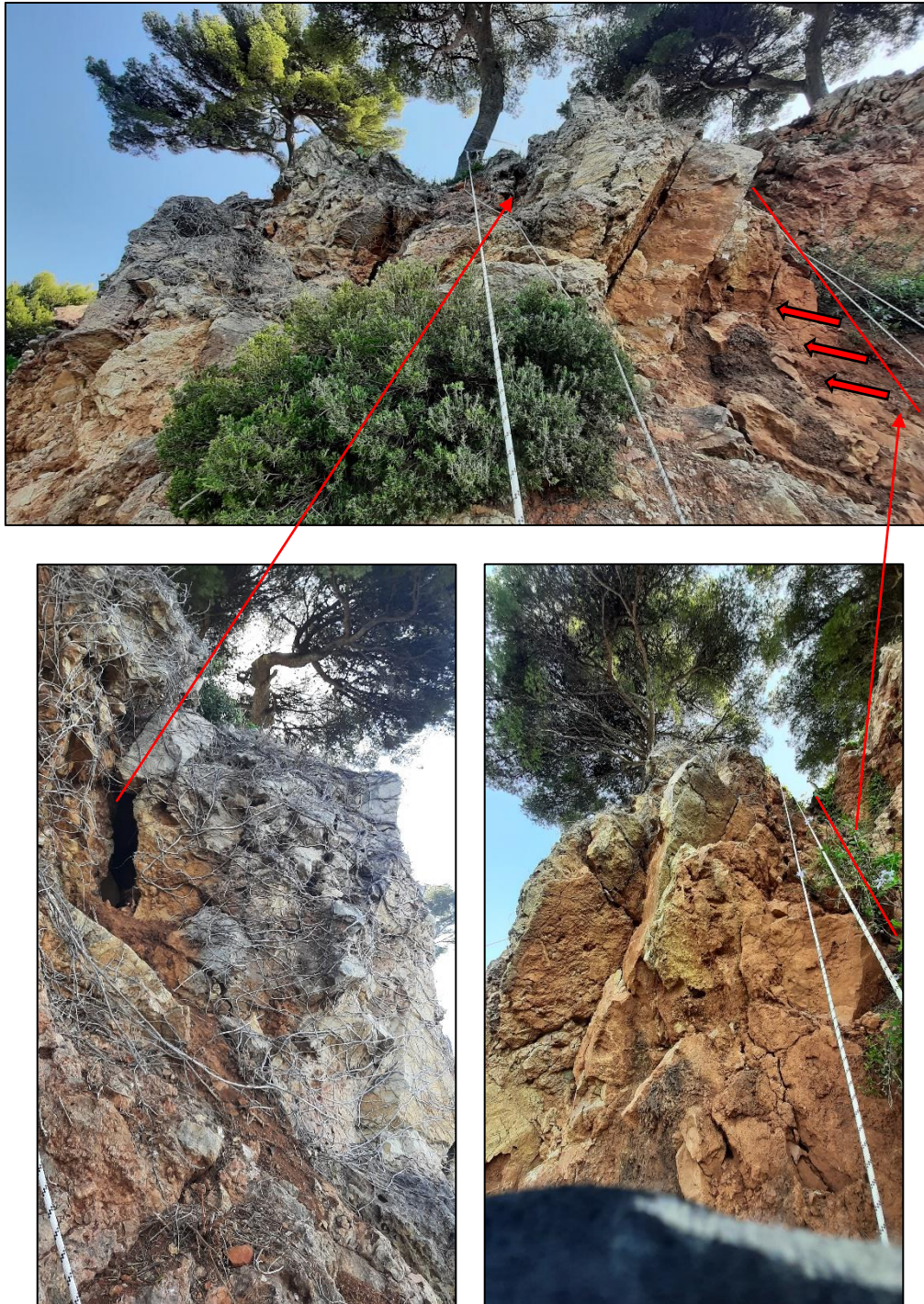


Figure 45 : Photo de M3 - Parcelles AW 283-347





Figure 46 : Photo de M3 - Parcelles AW 283-347



Figure 47 : Photo de M4





Figure 48 : Signe de paléo-karst - Parcelles AW 283-347



**Définition de l'aléa :**

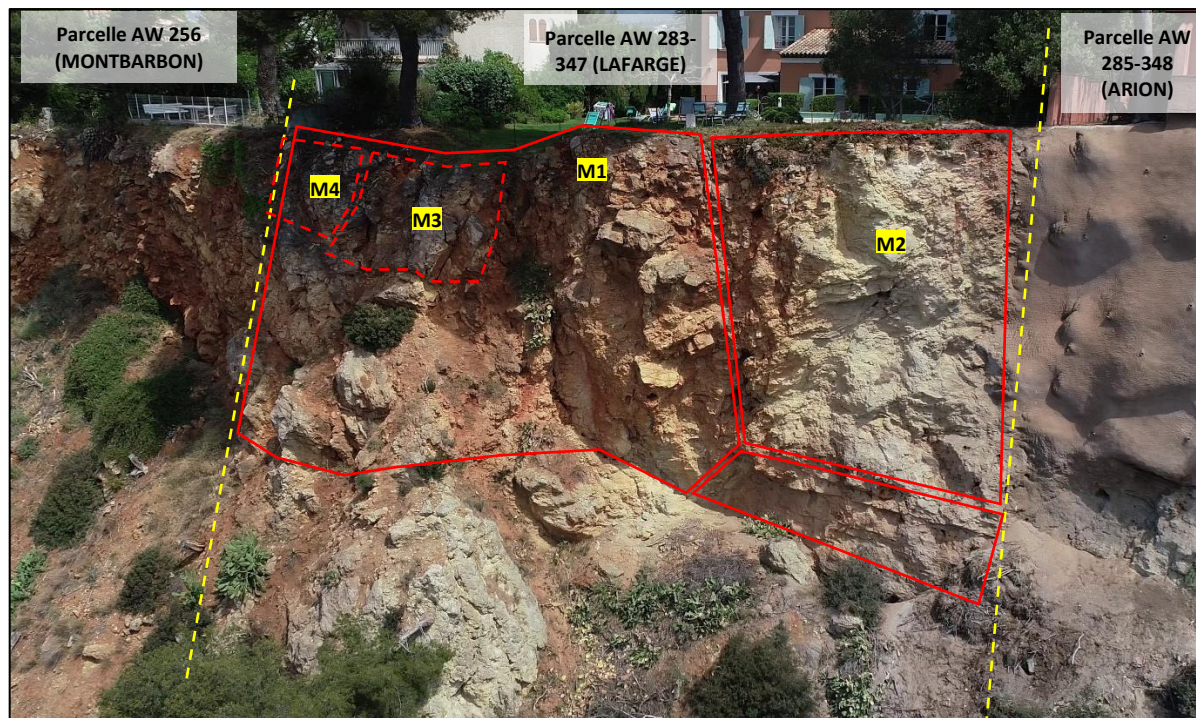


Figure 49 : Identification des aléas sur les parcelles AW 283-347

Secteur/ instabilité	Description	Surfaces / volumes concernés	Probabilité d'occurrence	Délai	Aléa de rupture	Probabilité d'atteinte de l'enjeu (*)	Risque résultant
AW283-347/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW283-347/M2	Falaise de cargneule blanche poudreuse très friable	Dizaine de m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW283-347/M3	Amas de blocs calcaire instables	40 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort
AW283-347/M4	Compartiment partiellement décollé sur son pourtour aval	2-5 m <sup>3</sup>	Très élevée	Court terme	Fort	Forte	Fort

(\*) Jardin/parcelle AW 283-347

Tableau 13 : Définition du niveau de risque – Parcelle AW 283-347

## 4. Présentation des solutions de confortement

Les différentes études déjà réalisées sur le site (en particulier, celles menées par l'IMS RN et le BRGM) font état d'un risque de chute de roches et d'éboulements **élevé à très élevé** en bordure de la crête de falaise. Ces conclusions sont corroborées par les observations de terrain effectuées par Antea Group, ainsi que par les événements historiques répertoriés et mentionnés plus haut.

A partir de la cartographie de l'aléa « mouvement du terrain » du BRGM de 2019 (document [12]), l'objectif visé est d'assurer la stabilité générale de la crête de falaise.

Ainsi, la solution technique retenue est la réalisation d'**une paroi clouée associée à un parement en béton armé**.

Cette solution permettra de sécuriser les mouvements de terrain d'ampleur (C.f paragraphe 6.1.3 pour les hypothèses de ruptures retenues), mais aussi de stopper l'érosion de surface engendrée par le caractère friable et peu cohésif des matériaux.

Également, des blocs/écailles rocheuses instables ont été identifiées sur le périmètre d'étude. En plus de la paroi clouée qui constitue une solution de sécurisation pour la stabilité générale, le confortement ponctuel de ces compartiments est complémentaire à la solution de confortement globale de la crête de falaise. Les confortements ponctuels sont développés au paragraphe 8.

Instabilités/secteurs	description	Parade
Confortement stabilité générale		
AW378-366/M1	Talus de blocs calcaires fracturé, cimentés par une matrice argileuse et recouvert par de la terre végétale	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paroi clouée</li> <li>• Parement en BA</li> </ul>
AW 378-366/M2	Blocs calcaires et conglomérat de matériaux instables	
AW 378-366/M4	Banc de calcaire prédécoupé par une discontinuité (F1)	
AW378-366/M5	Falaise de calcaire bréchiq ue friable avec risque de chutes de blocs	
AW378- 366/M7	Falaise de calcaire bréchiq ue friable avec risque de chutes de blocs	
AW259/M1	Substratum rocheux fracturé	
AW369/M3	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	
AW258/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	
AW257/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	
AW256/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	
AW283-347/M1	Falaise de brèche calcaire à matrice argileuse	
AW283-347/M2	Falaise de cargneule blanche poudreuse très friable	
Confortement ponctuel		
AW378-366/M3	Blocs calcaires fracturés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage ponctuel</li> </ul>
AW378- 366/M6	Blocs calcaires fracturés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage ponctuel</li> </ul>
AW369/M2	Blocs calcaires désolidarisés et renversés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage ponctuel</li> <li>• Paroi clouée</li> <li>• Parement en BA</li> <li>• Remplissage par du gros béton</li> </ul>
AW258/M2	Compartiment partiellement décollé sur son flanc ouest	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purge mécanique</li> <li>• Paroi clouée / Parement en BA</li> </ul>
AW258/M3	Compartiment fracturé de part et d'autre et en surplomb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage de la chandelle</li> </ul>



AW258/M4	Dièdre brèchique issu de l'intersection de deux discontinuités	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage de l'écaille</li> </ul>
AW256/M2	Bloc désolidarisé	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Purge mécanique</li> <li>• Paroi clouée</li> <li>• Parement en BA</li> </ul>
AW283-347/M3	Amas de blocs calcaire instables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage de l'amas</li> </ul>
AW283-347/M4	Compartiment partiellement décollé sur son pourtour aval	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clouage de l'écaille</li> </ul>

**Tableau 14 : Synthèse des compartiments/secteurs instables identifiés et des parades retenues**

## 5. Données et hypothèses retenues pour le dimensionnement de la paroi clouée

### 5.1. Données géométriques

Un levé topographique 3D de la falaise a été réalisé dans le cadre de la présente mission. Les profils de travail sont numérotés de 1 à 12 et sont localisés sur la carte ci-dessous :

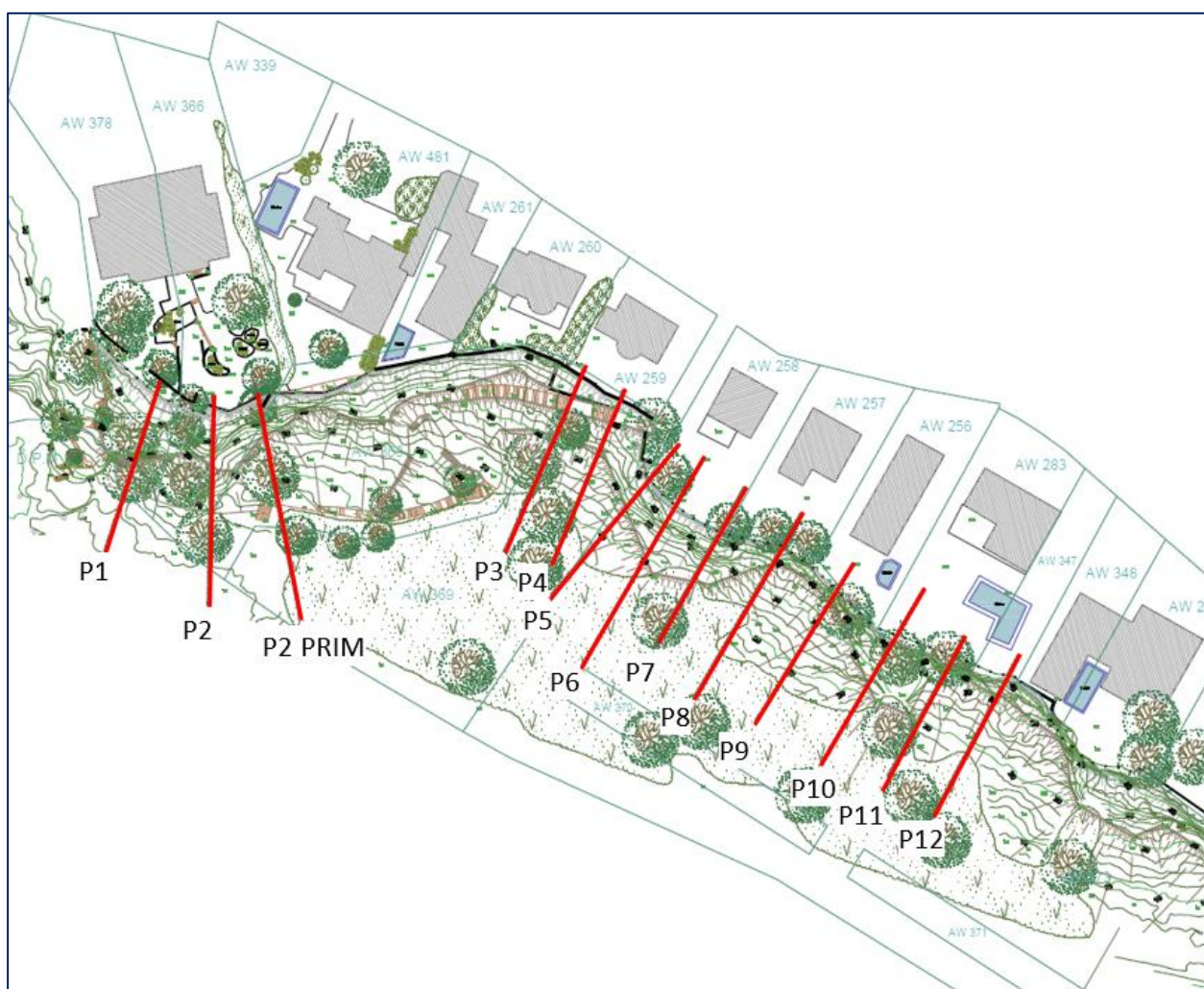


Figure 50 : localisation des profils de travail

Les profils sont illustrés en **Annexe II**.

### 5.2. Données lithologiques

Les horizons lithologiques observés sur site seront reportés sur les modèles de calcul, en tenant compte des observations de terrain et des études réalisés avant les travaux de la phase 1.

Les reconnaissances se sont limitées aux observations de surface et aucun sondage destructif ou d'essai in situ n'a été réalisé dans le cadre de cette étude.



### 5.3. Modèle géotechnique

Le modèle géotechnique utilisé pour l'ensemble des calculs est le suivant :

Lithologie	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\varphi$ (°)	c (kPa)	$q_{s,clous}$ (kPa)
Brèche rouge – 2	25	40 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	500 <sup>(2)</sup>
Calcaires altérés et fracturés	25	40 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	500 <sup>(2)</sup>
Calcaires altérés et très fracturés	25	35 <sup>(1)</sup>	8 <sup>(1)</sup>	275 <sup>(2)</sup>
Calcaire cargneulisé	25	35 <sup>(1)</sup>	30 <sup>(1)</sup>	350 <sup>(2)</sup>
Calcaire dolomitique	25	40 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(1)</sup>	/
Cargneule blanche	25	35 <sup>(3)</sup>	40 <sup>(3)</sup>	500 <sup>(4)</sup>
Éboulis	22	35 <sup>(1)</sup>	0 <sup>(1)</sup>	/

<sup>(1)</sup> caractéristiques mécaniques obtenues par rétro-calage sur Talren V6

<sup>(2)</sup> valeurs clouterre – A confirmer par les essais de convenance ;

<sup>(3)</sup> caractéristiques mécaniques issues de l'étude G2PRO – Phase 1 [20] ;

<sup>(4)</sup> valeur vérifiée par les essais d'arrachement phase 1.

Tableau 15 : modèle géotechnique de synthèse

Notons par ailleurs que la justification au séisme n'est pas nécessaire dans le cadre de cette étude, comme mentionné au paragraphe 2.2.

### 5.4. Données hydrologiques

Aucun niveau piézométrique n'est pris en compte dans les calculs.

### 5.5. Surcharges

Les propriétés n'étant pas situées dans la zone d'instabilité, aucune surcharge n'est considérée.

#### 5.1. Corrosion

L'emploi d'une gaine de protection de type P2 est à ce stade considéré. La corrosion des barres a donc été négligée dans les calculs.

#### 5.2. Clouage et clous

Les clous sont disposés, hors mention spécifique contraire, selon le maillage suivant :

- Espacement horizontal : 3 mètres,
- Espacement vertical : 2,5 mètres.

Le diamètre des forages est de 115 mm, et les clous sont disposés avec une inclinaison de :

- 20° au niveau de la ligne en tête de falaise,
- 15° si nécessaire au niveau de la deuxième ligne,
- 10° sur toutes les autres lignes.

Les clous présentent les caractéristiques suivantes :

- Diamètre : 32 mm,
- Section : 804 mm<sup>2</sup>,
- Protection contre la corrosion : P2,
- Contraintes :  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$  -  $f_{tk} = 550 \text{ N/mm}^2$ ,
- Poids : 6,31 kg/ml,
- Résistance en traction  $R_{td} = 318 \text{ kN}$ ,
- Résistance en cisaillement  $V_{pl,Rd} = 147 \text{ kN}$ .

La résistance ultime d'interaction en traction  $R_{t;d}$  est calculée selon la formule suivante (conformément à la NF P 94-270 – armature en acier de construction, partie fileté) :

$$R_{t;d} = \frac{k_t \times f_{u,a} \times A_s}{\gamma_{M2}}$$

Avec :

- $k_t$  : coefficient issu de la NF EN 1993-5/NA, égal à 0.6 si l'on ne tient pas compte des effets de flexion, et 0.9 sinon.
- $f_{u,a}$  : valeur caractéristique de la résistance à la rupture de l'acier.
- $A_s$  : section résistante de la partie fileté (section à fond de filet).
- $\gamma_{M2}$  : facteur partiel pour la résistance à la rupture de l'acier, issu de la NF EN 1993-1.1/NA, et égal à 1.25.

La valeur de calcul de la résistance au cisaillement  $V_{pl,Rd}$  est calculée selon la formule suivante (conformément à la NF EN 1993-1-1) :

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \times (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Avec :

- $A_v$  : aire de cisaillement (obtenue avec  $A_v = 2 \times A_s / \pi$ ).
- $f_y$  : limite élastique de l'acier.
- $\gamma_{M0} = 1$ .

#### Remarque :

Pour les profils P7 et P11, les clous utilisés présenteront les caractéristiques suivantes :

- Diamètre : 40 mm,
- Section : 1257 mm<sup>2</sup>,
- Protection contre la corrosion : P2,
- Contraintes :  $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$  -  $f_{tk} = 550 \text{ N/mm}^2$ ,
- Poids : 9,86 kg/ml,
- Résistance en traction :  $R_{td} = 504 \text{ kN}$ ,
- Résistance en cisaillement :  $V_{pl,Rd} = 234 \text{ kN}$ .



### 5.3. Parement en béton projeté

Les calculs de justification du dimensionnement de la paroi clouée permettent d'extraire les efforts de traction dans les clous. Afin de reprendre ces efforts au niveau du parement, un système de plaques d'appui et treillis d'aciers doit être mis en place.

Dans la pratique, un béton fibré remplacera ce système. Les caractéristiques de ce béton seront néanmoins basées sur les sections d'acier des treillis soudés calculées, et feront l'objet d'une étude spécifique au stade de l'exécution, par l'Entreprise en charge de la mission G3.

Dans ce cadre, les caractéristiques suivantes sont retenues pour le parement :

- Épaisseur : 25 cm,
- Classe de béton : XS3,
- Résistance :  $f_{ck} = 30$  MPa,
- Enrobage (côté terre et côté air) : 5 cm,
- Nombre de treillis : 2,
- Type d'acier des treillis : S 500, classe A,
- Dimension des plaques d'appui : 30 cm \* 30 cm,
- Limite élastique des plaques d'appui : 500 MPa,
- Épaisseur du béton sous plaque : 18 cm.

## 6. Méthodologie de calcul pour la stabilité générale

### 6.1. Calculs de stabilité de la paroi clouée

#### 6.1.1. Outil de calcul

La stabilité de la paroi clouée est vérifiée à l'aide du logiciel de calcul TalRen v6, commercialisé par Terrasol.

S'agissant d'un milieu rocheux, les surfaces de ruptures étudiées sur TalRen v6 sont de type planaires ou polygonales. Elles ont été définies à partir des observations de terrains et de la cartographie de l'aléa existante (Cf. paragraphe 6.1.3). Les paramètres géotechniques ont été calés par rapport à ces ruptures supposées en recherchant un facteur de sécurité proche de 1.2/1.3 en paramètres unitaires (voire légèrement inférieur ou supérieur selon le contexte) et supérieur à 1 à l'Eurocode.

#### 6.1.2. Coefficients de sécurité partiels

Les coefficients partiels utilisés dans le cadre de l'étude de stabilité générale sont issus de l'approche de calcul 3 pour la vérification des états-limites de stabilité générale (GEO) et de stabilité mixte (GEO et STR). La combinaison des ensembles de facteurs partiels à appliquer est la suivante :

**A2 + M2 + R3**

Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient	Nom	Coefficient
$\Gamma_{min}$	1,000	$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma_{s1}$	1,000	$\Gamma_{\phi}$	1,250	$\Gamma_{c'}$	1,250	$\Gamma_{cu}$	1,400
$\Gamma_Q$	1,300	$\Gamma_{qsl,clou,ab}$	1,800	$\Gamma_{qsl,clou,es}$	1,380	$\Gamma_{qsl,tirant,ab}$	1,400	$\Gamma_{qsl,tirant,es}$	1,000	$\Gamma_{qsl,bande}$	1,100
$\Gamma_{pl}$	1,400	$\Gamma_{a,clou}$	1,000	$\Gamma_{a,tirant}$	1,250	$\Gamma_{a,bande}$	1,250	$\Gamma_{buton}$	1,250	$\Gamma_{s3}$	1,100

Tableau 16 : Coefficients partiels

#### Remarque :

Le coefficient partiel sur le frottement latéral est pris égal à 1.38 car des essais ont déjà été réalisés dans certaines lithologies au cours de la mission d'exécution de la phase I. Les résultats obtenus à cette occasion sont volontairement minorés pour conserver un aspect sécuritaire. Ceux-ci seront par ailleurs vérifiés lors d'essais de conformité durant l'exécution des travaux de la phase II (tant pour les lithologies déjà testées que pour les lithologies non encore testées).

#### 6.1.3. Mécanismes de rupture

Le mécanisme de rupture le plus probable, exceptés les petits éboulements de surface, consiste en une rupture plane (ou selon une combinaison de discontinuités) de la falaise.

Les différentes analyses réalisées sur la falaise de Massacan (document [8] et [12]) ont conduit la Mairie de la Garde et le BRGM à statuer sur des zones d'aléas de rupture en crête de falaise :

- Coté Ouest : Méthodologie de l'IMSRN (document [8]) où les aléas de rupture **très élevés et élevés** se situent dans une bande de largeur 6 mètres à partir de la crête de falaise ;
- Coté Est : Méthodologie du BRGM (document [12]) où l'aléa de rupture **fort** se situe dans une bande de largeur comprise entre 1,6 m et 8 m à partir de la crête de falaise.

Les cartes d'aléas sont illustrées en **Annexe III**.



**Dans les modélisations qui suivent, notre approche consiste à conforter une surface de rupture se produisant dans un secteur dont l'aléa est jugé élevé à très élevé.**

Ainsi, dans les calculs, deux hypothèses de rupture sont généralisées pour chaque profil : Une première surface de rupture sera limitée à 4 mètres de la crête de falaise, tandis qu'une seconde surface de rupture sera positionnée à 6 mètres de la crête de falaise.

Les profils suivants feront l'objet d'un traitement spécifique, en raison de la cartographie présentée par le BRGM et de l'éloignement de la zone d'aléa fort :

- **Profil 7** (Parcelle AW 258) : la zone d'aléa fort se situe sur une bande de 8,69 mètres par rapport à la crête de falaise. Les lignes de rupture étudiées seront donc positionnées à 7 mètres et 9 mètres par rapport à la crête de falaise.
- **Profil 10** (Parcelle AW 283) : la zone d'aléa fort se situe sur une bande de 7 mètres par rapport à la crête de falaise. Les lignes de rupture étudiées seront donc positionnées à 5 mètres et 7 mètres par rapport à la crête de falaise.
- **Profil 12** (Parcelle AW 347) : la zone d'aléa fort se situe sur une bande de 8 mètres par rapport à la crête de falaise. Les lignes de rupture étudiées seront donc positionnées à 6 mètres et 8 mètres par rapport à la crête de falaise.

Le dimensionnement est effectué selon le mode de rupture le plus probable des armatures. Les modes de rupture suivants sont donc examinés :

- Traction uniquement,
- Cisaillement uniquement,
- Traction et cisaillement.

Cas particulier de la parcelle AW-259 :

La falaise qui surplombe cette propriété ne présente pas les caractéristiques topographiques (faible pente) et mécaniques (rocher fracturé) qui permettent de modéliser un glissement de terrain massif réaliste sur le logiciel TalRen.

Les faibles mouvements observés sont dus à une réorganisation des bancs calcaires sous l'action d'un fauchage lent de la falaise par le bas.

Notre approche consiste à justifier la sécurisation de la partie basse de la falaise (sous le chemin) en détériorant volontairement les propriétés mécaniques. Aussi, les blocs désolidarisés de la paroi ou très fracturés feront l'objet d'un confortement ponctuel.

Une sécurisation par principe sera appliquée sur la partie haute (au-dessus du chemin) en conservant le maillage du profil 3.

#### 6.1.4. Vérifications de la stabilité

**Stabilité mixte (ELU) :**

Cette stabilité est étudiée le long d'une ligne de rupture qui intègre une partie ou tout l'ouvrage, conformément à la NF P 94-270 (12). Le principe du calcul consiste à vérifier l'inégalité suivante :

$$T_{dst;d} \leq \frac{R_{st;d}}{\gamma_{S;d}}$$

Avec :

- $T_{dst;d}$  la valeur de calcul de l'effet déstabilisant des actions qui agissent sur le bloc limité par la surface de glissement étudiée,
- $R_{st;d}$  la valeur de calcul de l'effet stabilisant des actions qui s'opposent au glissement du bloc étudié,
- $\gamma_{R;d}$  le facteur partiel de modèle, dit de mobilisation de la résistance au cisaillement du sol (= 1.2).

**Stabilité générale (ELU) :**

Il s'agit de la vérification vis-à-vis d'un glissement englobant l'ouvrage. Cette stabilité n'est pas étudiée car le mode de rupture associé n'est pas pertinent dans le cadre de cette étude.

**Stabilité externe (ELU) :**

Il s'agit de la vérification de la stabilité de l'ouvrage en considérant ce dernier de manière monolithique, donc selon une ligne de rupture externe à l'ouvrage. Cette stabilité n'est pas étudiée car le mode de rupture associé n'est pas pertinent dans le cadre de cette étude.

### 6.1.5. Vérifications sur les ancrages

Les vérifications sur les ancrages sont menées conformément à la NF P 94-270 (11 – stabilité interne). Elles concernent la résistance structurale des ancrages et la résistance d'interaction entre le sol et les ancrages

Pour justifier la résistance structurale des clous, l'inégalité suivante doit être vérifiée :

$$T_{max;d} \leq R_{tc;d}$$

Avec :

$T_{max;d}$  : la valeur de calcul de l'effort de traction maximal du clou,

$R_{tc;d}$  : la valeur de calcul de la résistance ultime de traction dans la section courante du clou.

Pour justifier la résistance d'interaction entre le sol et les clous, l'inégalité suivante doit être vérifiée :

$$T_{max;d} \leq R_{f;d}$$

Avec :

$T_{max;d}$  : la valeur de calcul de l'effort de traction maximal du clou,

$R_{tc;d}$  : la valeur de calcul de la résistance ultime de l'interaction entre le sol et les clous au-delà de la ligne de traction maximale.

$$R_{f;d} = \frac{\tau_{max;k} \times P_s \times L_a}{\gamma_{M;f}}$$

$\tau_{max;k}$  : la valeur caractéristique de la contrainte maximale de cisaillement mobilisable sur la surface conventionnelle de contact entre le terrain et un lit de renforcement, assimilée au frottement latéral unitaire dans les lithologies traversées par le clou (Annexe G de la norme NF P 94-270),

$P_s$  : le périmètre conventionnel de cette surface, assimilé au diamètre de forage (Annexe G de la norme NF P 94-270),



$L_a$  : la longueur du clou au-delà de la ligne de traction maximale,  
 $\gamma_{M,f}$  : le facteur de sécurité partiel pour la résistance d'interaction des clous.

L'ensemble de ces vérifications est directement intégré au logiciel de calcul TalRen.

## 6.2. Calculs des aciers du parement en béton projeté

L'ensemble des justifications sont conduites à l'aide du logiciel Geospar, conformément à la norme NF EN 1992-1-1. Les hypothèses de calcul ont été présentées plus haut, et les efforts de calcul des clous sont issus des modélisations réalisées sur TalRen à l'ELU.

Pour obtenir l'effort de traction maximal ou parement  $\sigma_{par;d}$ , la formule suivante est utilisée (NF P 94-270 – E) :

$$\sigma_{par;d} = \alpha \times T_{max;d}$$

Avec :

$T_{max;d}$  : l'effort de traction maximale dans le clou, issu des calculs TalRen,

$s_v$  : l'espacement vertical des clous,

$s_h$  : l'espacement horizontal des clous,

$$\alpha = \min \left( 1; \max \left( 0,6; 0,4 + 0,2 \times \max (s_v; s_h) \right) \right) = 0,4 + 0,2 \times \max (s_v; s_h)$$

Le principe du calcul repose sur l'évaluation des sections d'acier minimales des treillis soudés à mettre en place pour reprendre les efforts au sein du parement, tant entre les clous qu'au niveau des plaques d'appui des clous.

## 7. Présentation des résultats des calculs

Les résultats des calculs TalRen et Geospar sont respectivement disponibles en **Annexe IV et V**.

Profils		P2	P2 PRIM	P3
<b>Données géométriques</b>				
Nombre de lits en élévation		4	5	4
L1		8 m	7 m	4 m
L2		8 m	7 m	3 m
L3		8 m	5 m	3 m
L4		7 m	4 m	3 m
L5		-	3 m	-
L6		-	-	-
L7		-	-	-
L8		-	-	-
Diamètre de forage		115 mm	115 mm	115 mm
Diamètre de l'armature		32 mm	32 mm	32 mm
Inclinaison	20°	20°	20°	20°
	10°	10°	10°	10°
	10°	10°	10°	10°
Espacement horizontal		3 m	3 m	3 m
Espacement vertical		2,5 m	2,5 m	2 m
<b>Rupture</b>				
Inclinaison globale de la rupture		51° / horizontale	50° / horizontale	42° / horizontale
Mobilisation principale des clous		Traction et cisaillement	Traction et cisaillement	Traction
<b>Stabilité mixte</b>				
Coefficient de sécurité en traction uniquement		1,22	1,36	1,47
Coefficient de sécurité en cisaillement uniquement		1,01	1,12	1,41
F ≥ 1 ?		Oui	Oui	Oui
<b>Vérifications sur les ancrages</b>				
Efforts de traction max (F ≥ 1)		120 kN	100 kN	30 kN
Résistance structurale clous		Ok	Ok	Ok
Résistance d'interaction sol-clou		Ok	Ok	Ok
<b>Parement</b>				
$\alpha$		1	1	1
Effort retenu au parement		120 kN	100 kN	30 kN
Moment max sur appui (ELU)		-15,9 kN,m/m	-14,2 kN,m/m	-6,49 kN,m/m
Moment max en travée (ELU)		9,43 kN,m/m	8,97 kN,m/m	2,88 kN,m/m
Section d'acier min côté terre		1,77 cm <sup>2</sup> /m (ST20)	1,58 cm <sup>2</sup> /m (ST20)	0,72 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)
Section d'acier min côté air		1,05 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	0,99 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	0,32 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)

**Tableau 17 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P2, P2PRIM et P3**

### Remarque :

- Profil 2PRIM :  $s_v = 2$  mètres entre L4 et L5, afin d'éviter l'absence de clous sur deux mètres de hauteur au pied de la portion à conforter ;
- P1 relativement similaire à P2 n'a pas été modélisé ;
- P4 très similaire à P3 n'a pas été modélisé.



Profils		P5	P6	P7
<b>Données géométriques</b>				
Nombre de lits en élévation		6	7	8
L1		7 m	8 m	12 m
L2		7 m	8 m	12 m
L3		6 m	7 m	12 m
L4		5 m	6 m	11 m
L5		5 m	5 m	10 m
L6		4 m	5 m	9 m
L7		-	4 m	8 m
L8		-	-	7 m
Diamètre de forage		115 mm	115 mm	115 mm
Diamètre de l'armature		32 mm	32 mm	40 mm
Inclinaison	20°	20°	20°	20°
	10°	15°	15°	10°
	10°	10°	10°	10°
Espacement horizontal		3 m	2 m	2 m
Espacement vertical		2,5 m	2,5 m	2,5 m
<b>Rupture</b>				
Inclinaison globale de la rupture		58° / horizontale	52° / horizontale	51° / horizontale
Mobilisation principale des clous		Traction et cisaillement	Traction et cisaillement	Traction et cisaillement
<b>Stabilité mixte</b>				
Coefficient de sécurité en traction uniquement		1,58	1,91	2,78
Coefficient de sécurité en cisaillement uniquement		1,05	1,08	1,09
F ≥ 1 ?		Oui	Oui	Oui
<b>Vérifications sur les ancrages</b>				
Efforts de traction max (F ≥ 1)		100 kN	110	140 kN
Résistance structurale clous		Ok	Ok	Ok
Résistance d'interaction sol-clou		Ok	Ok	Ok
<b>Parement</b>				
$\alpha$		1	0,9	0,9
Effort retenu au parement		100 kN	99 kN	126 kN
Moment max sur appui		-12,4 kN,m/m	-14,9 kN,m/m	-15,2 kN,m/m
Moment max en travée		6,32 kN,m/m	4,43 kN,m/m	10,6 kN,m/m
Section d'acier min côté terre		1,38 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	1,66 cm <sup>2</sup> /m (ST20)	1,69 cm <sup>2</sup> /m (ST20)
Section d'acier min côté air		0,70 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	0,49 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	1,18 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)

Tableau 18 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P5, P6 et P7

### Remarques :

- Profil 6 : à proximité de la coupe de calcul, un huitième lit de clous sera ponctuellement ajouté pour suivre au mieux les variations topographiques de la zone à conforter. Il possèdera les caractéristiques du lit sus-jacent.

Profils		P8	P9	P10
<b>Données géométriques</b>				
Nombre de lits en élévation		4	5	6
L1		7 m	7 m	7 m
L2		7 m	6 m	7 m
L3		5 m	5 m	6 m
L4		4 m	4 m	5 m
L5		-	3 m	4 m
L6		-	-	3 m
L7		-	-	-
L8		-	-	-
Diamètre de forage		115 mm	115 mm	115 mm
Diamètre de l'armature		32 mm	32 mm	32 mm
Inclinaison	20°	20°	20°	20°
	10°	15°	15°	10°
	10°	10°	10°	10°
Espacement horizontal		3 m	3 m	3 m
Espacement vertical		2,5 m	2,5 m	2,5 m
<b>Rupture</b>				
Inclinaison globale de la rupture		54° / horizontale	63° / horizontale	47°/horizontale
Mobilisation principale des clous		Traction et cisaillement	Traction	Traction et cisaillement
<b>Stabilité mixte</b>				
Coefficient de sécurité en traction uniquement		2,10	1,90	1,91
Coefficient de sécurité en cisaillement uniquement		1,20	1,07	1,20
F ≥ 1 ?		Oui	Oui	Oui
<b>Vérifications sur les ancrages</b>				
Efforts de traction max (F ≥ 1)		50 kN	90 kN	50 kN
Résistance structurale clous		Ok	Ok	Ok
Résistance d'interaction sol-clou		Ok	Ok	Ok
<b>Parement</b>				
$\alpha$		1	1	1
Effort retenu au parement		50 kN	90 kN	50 kN
Moment max sur appui		-6,89 kN,m/m	-21,8 kN,m/m	-6,62 kN,m/m
Moment max en travée		4,31 kN,m/m	5,55 kN,m/m	3,93 kN,m/m
Section d'acier min côté terre		0,76 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	2,44 cm <sup>2</sup> /m (ST25C)	0,73 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)
Section d'acier min côté air		0,48 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	0,61 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)	0,43 cm <sup>2</sup> /m (ST15C)

**Tableau 19 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P8, P9 et P10**
**Remarque :**

- Profil 9 :  $s_v = 1,5$  mètre entre le lit 4 et le lit 5, afin d'éviter l'absence de clous sur deux mètres de hauteur au pied de la portion à conforter.



Profils		P11	P12
<b>Données géométriques</b>			
Nombre de lits en élévation		6	5
L1		8 m	9 m
L2		7 m	8 m
L3		6 m	7 m
L4		5 m	6 m
L5		5 m	5 m
L6		4 m	-
L7		-	-
L8		-	-
Diamètre de forage		115 mm	115 mm
Diamètre de l'armature		40 mm	32 mm
Inclinaison	20°	20°	20°
	15°	15°	15°
	10°	10°	10°
Espacement horizontal		3 m	3 m
Espacement vertical		2,5 m	2,5 m
<b>Rupture</b>			
Inclinaison globale de la rupture		65° / Horizontale	47°/Horizontale
Mobilisation principale des clous		Traction et cisaillement	Traction et cisaillement
<b>Stabilité mixte</b>			
Coefficient de sécurité en traction uniquement		1,19	1,46
Coefficient de sécurité en cisaillement uniquement		1,01	1,10
F ≥ 1 ?		Oui	Oui
<b>Vérifications sur les ancrages</b>			
Efforts de traction max (F ≥ 1)		310	140 kN
Résistance structurale clous		Ok	Ok
Résistance d'interaction sol-clou		Ok	Ok
<b>Parement</b>			
$\alpha$		1	1
Effort retenu au parement		310 kN	140 kN
Moment max sur appui		-43,9 kN,m/m	-33,9 kN,m/m
Moment max en travée		32,7 kN,m/m	14,8 kN,m/m
Section d'acier min côté terre		4,98 cm <sup>2</sup> /m (ST50)	3,82 cm <sup>2</sup> /m (ST40C)
Section d'acier min côté air		3,68 cm <sup>2</sup> /m (ST40C)	1,65 cm <sup>2</sup> /m (ST20)

**Tableau 20 : Résultats des calculs TalRen et Geospar sur les profils P11 et P12**
**Remarque :**

- Profil 11 : le logiciel de calcul utilisé ne permet pas de gérer les surplombs. Le profil est donc considéré parfaitement vertical ;
- Profil 12 :  $s_v = 1.7$  mètre entre le lit 6 et le lit 7, afin d'éviter l'absence de clous sur deux mètres de hauteur au pied de la portion à conforter.

Les résultats de chaque profil sont extrapolés sur autant de secteur.

Les plans d'implantation au 1/200<sup>ème</sup> des lignes et des colonnes de chaque secteur sont disponibles en **Annexe VI**.

Le tableau ci-après synthétise les longueurs de clou pour chaque secteur :

Ligne	Secteurs											
	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	
A	8	8	6	8	9	12	8	8	9	9	11	
B	9	8	5	8	9	12	8	7	8	9	10	
C	9	7	3	7	8	12	7	6	7	7	9	
D	8	5	3	6	6	11	8	5	6	6	7	
E		4		6	5	10		4	5	5	6	
F				4	5	9			4	4		
G					4	8						
H						7						

**Tableau 21 : Synthèse des longueurs de ligne d'ancrage sur les 12 secteurs.**

**Remarque :**

- Pour chaque ligne d'ancrage, la longueur des clous a été prolongée pour atteindre un ancrage d'au moins **3,0 m dans le rocher sain**, derrière la surface de rupture théorique ;
- Au droit du secteur 3, 2 lignes d'ancrage (7 ancrages à 6 m de profondeur) sont situées au-dessus de la ligne A et ne sont pas repris dans le tableau ci-dessus. Ils sont toutefois illustrés sur le plan d'implantation.



## 8. Dimensionnement des confortements des compartiments instables

### 8.1. Méthodologie

Pour rappel, les masses concernées sont les suivantes :

Instabilités	Description	Volume	Parade
AW 378-366/M3	Blocs calcaires fracturés	Dizaine de m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>15 ancrages ponctuels</li> </ul>
AW 378-366/M6	Blocs calcaires fracturés	10 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 ancrages ponctuels</li> </ul>
AW369/M2	Blocs calcaires désolidarisés et renversés	Dizaine de m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Remplissage par du gros béton</li> <li>7 ancrages de la paroi clouée</li> <li>7 ancrages ponctuels</li> <li>Parement en BA</li> </ul>
AW258/M2	Compartiment fracturé	2-3 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Paroi clouée</li> <li>Parement en BA</li> </ul>
AW258/M3	Compartiment fracturé de part et d'autre et en surplomb	5 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 ancrages de la paroi clouée</li> <li>Parement en BA</li> </ul>
AW258/M4	Écaille brèche fracturée de part et d'autre par une fracture de plusieurs dizaines d'épaisseur remplie d'argile	120 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>17 ancrages de la paroi clouée</li> <li>Parement en BA</li> </ul>
AW257/M2	Bloc désolidarisé	2 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Purge mécanique</li> <li>Paroi clouée / Parement en BA</li> </ul>
AW283-347/M3	Amas de blocs calcaire instables	40 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>7 ancrages de la paroi clouée</li> <li>Parement en BA</li> </ul>
AW283-347/M4	Compartiment partiellement décollé sur son pourtour aval	2-5 m <sup>3</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 ancrages de la paroi clouée</li> <li>Parement en BA</li> </ul>

Tableau 22 : Confortement des compartiments instables

Le confortement des blocs calcaires est justifié à partir de la résistance au cisaillement et des efforts latéraux de frottement des ancrages versus les efforts moteurs à reprendre.

Les compartiments qui présentent un plan de rupture franc seront vérifiés par une note de calcul qui intègre l'inclinaison les frottements du plan de rupture.

### 8.2. Hypothèses géotechniques

Lithologie	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (°)	c (kPa)	$q_{s,clous}$ (kPa)
Brèche rouge – 2	25	40 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	500 <sup>(2)</sup>
Calcaires altérés et fracturés	25	40 <sup>(1)</sup>	25 <sup>(1)</sup>	500 <sup>(2)</sup>
Calcaires altérés et très fracturés	25	35 <sup>(1)</sup>	8 <sup>(1)</sup>	275 <sup>(2)</sup>

Calcaire cargneulisé	25	35 <sup>(1)</sup>	30 <sup>(1)</sup>	350 <sup>(2)</sup>
Calcaire dolomitique	25	40 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(1)</sup>	/
Cargneule blanche	25	35 <sup>(3)</sup>	40 <sup>(3)</sup>	500 <sup>(4)</sup>
Éboulis	22	35 <sup>(1)</sup>	0 <sup>(1)</sup>	/

<sup>(1)</sup> caractéristiques mécaniques obtenues par rétro-calage sur Talren V6

<sup>(2)</sup> valeurs clouterre – A confirmer par les essais de convenance ;

<sup>(3)</sup> caractéristiques mécaniques issues de l'étude G2PRO – Phase 1 [20] ;

<sup>(4)</sup> valeur vérifiée par les essais d'arrachement phase 1.

Tableau 23 : modèle géotechnique de synthèse

### 8.3. Caractéristiques des ancrages

Le tableau ci-après récapitule les caractéristiques de deux typologies d'ancrage :

Typologie	Gewi Ø 28	Gewi Ø 32	Gewi Ø 40
Limite élastique de l'acier (MPa)	500	500	500
Limite à la rupture de l'acier (MPa)	550	550	550
Ø forage minimum (mm)	90	115	115
Force corrosive du sol	Protection P2	Protection P2	Protection P2
Résistance à la traction : Rtd (kN)	221	318	504
Résistance au cisaillement : Vpl,Rd (kN)	113	147	234

Tableau 24 : Caractéristiques des ancrages pour le confortement de masses rocheuses

### 8.1. Confortement secteur AW378-366/M3

Le secteur AW378-366/M3 présente un enchevêtrement de strates au pendage amont et de blocs rocheux très fracturés.

La réalisation d'un béton projeté n'est pas envisagé compte tenu de la nature des matériaux.

Toutefois, la plupart des compartiments identifiés dans ce secteur présentent une stabilité précaire et l'éboulement de certains éléments fragiliserait la crête de falaise.

Afin de stabiliser ce pan de falaise et pérenniser l'ouvrage sus-jacent, la paroi rocheuse devra faire l'objet d'un clouage systématique comme illustré sur la figure suivante sera réalisé.



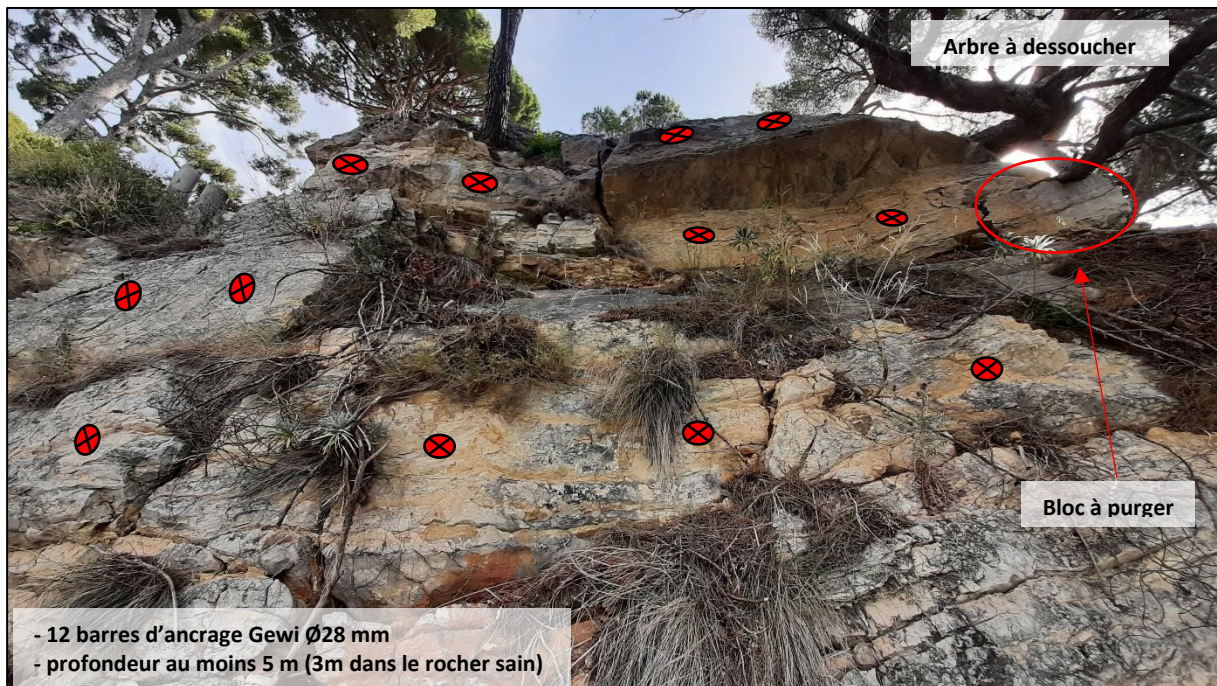


Figure 51 : Secteur AW378-366/M3

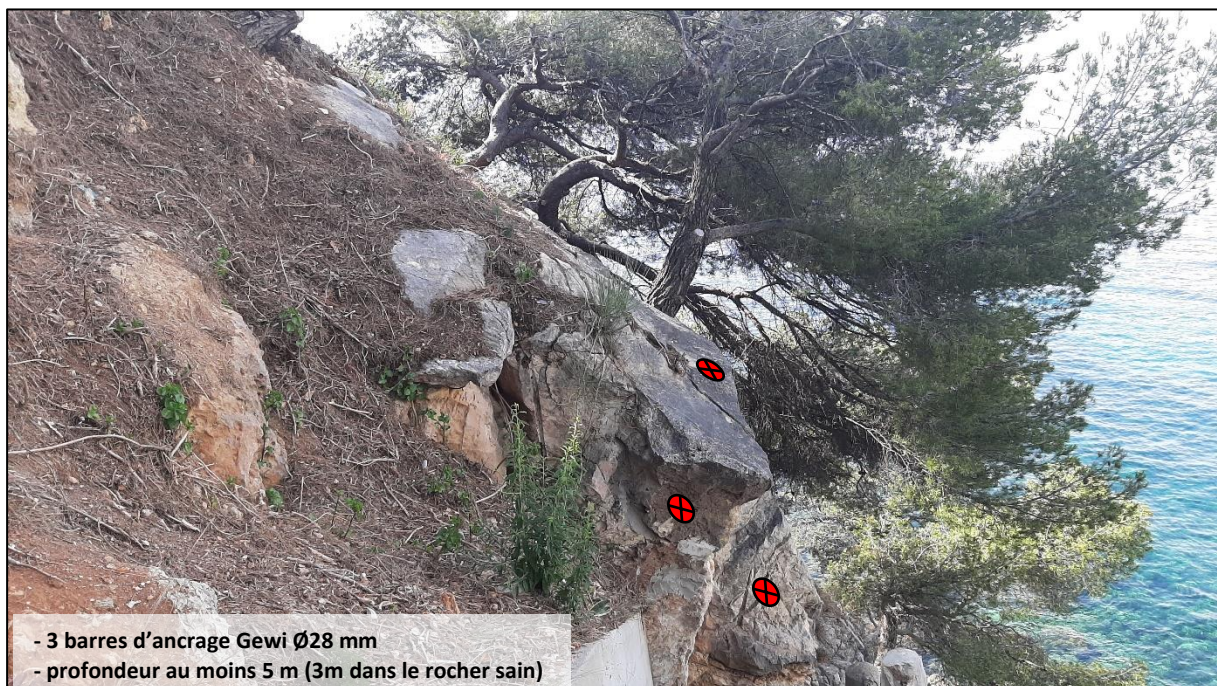


Figure 52 : Secteur AW378-366/M3

Les 15 ancrages seront des barres de  $\varnothing$  28 mm protégées par une protection P2 et ancrés à 5 m de profondeur.

## 8.2. Confortement compartiment AW378-366/M6

Le compartiment AW378-366/M6 est un bloc calcaire très fracturé en surplomb d'environ 10 m<sup>3</sup>



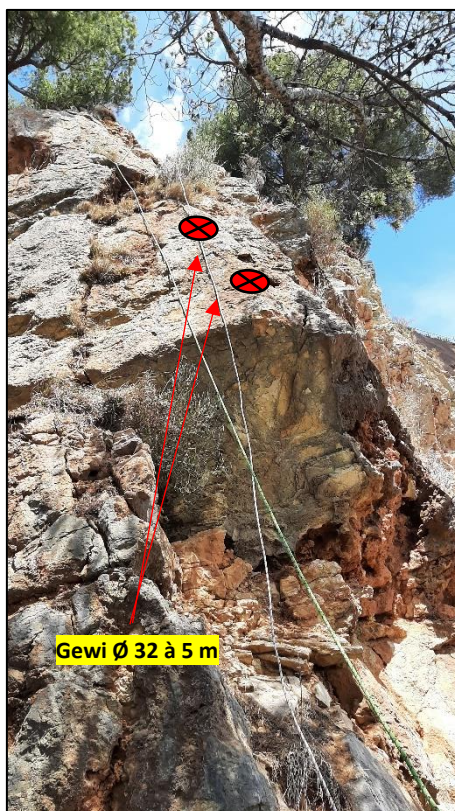


Figure 53 : Compartiments AW378-366/M6

Le tableau ci-après présente les efforts repris par les armatures :

Ancrage			Dimensionnement						Blocs	Vérif
Clou	Ø forage (mm)	Qs <sup>(1)</sup> (kN)	longueur clou (ml)	Longueur libre (ml)	Longueur scellée au rocher sain (ml) <sup>(2)</sup>	Longueur utile (ml) <sup>(2)</sup>	Nombre de clou	Total des efforts résistants (kN)	Efforts à reprendre (KN)	Vérif
Gewi Ø 32	115	275	5,0	2,0	3,0	2,0	2	397	250	Ok

<sup>(1)</sup> A contrôler par les essais préalables de convenance

<sup>(2)</sup> Compte tenu de la friabilité des matériaux en surface, le premier mètre est négligé

Tableau 25 : Vérification des efforts repris par les ancrages – AW378-366/M6

Vérification des résistances de barre :

Effort moteur (kN)	Résistance au cisaillement de la barre (kN)	Résistance au cisaillement total (kN)	Vérification
250	147	294	Ok

Tableau 26 : Vérification au calcul pour les barres de Ø 32 mm



### 8.3. Confortement compartiment AW259/M2

Sur ce secteur, le confortement de la falaise prévoit 2 ancrages à 6 m et 5 ancrages à 5 m (forage  $\varnothing$  90 mm / Gewi  $\varnothing$  32 mm). Ces ancrages seront positionnés sur les blocs et permettront leur confortement ponctuel.

7 autres ancrages de confortements ponctuels seront mis en œuvre comme illustré sur les figures ci-après. Il s'agira de barres Gewi  $\varnothing$  28 mm ancrées au minimum à 5 m de profondeur dont 3 m dans le rocher sain - forage  $\varnothing$  90 mm.



Figure 54 : Compartiments AW378-366/M3

Avant la réalisation des ancrages, un remplissage des vides devra être mis en œuvre. Entre 5 et 10 m<sup>3</sup> devraient être nécessaire.

### 8.4. Confortement compartiment AW258/M4

L'écaille instable identifiée sur ce secteur présente une surface d'environ 70 m<sup>2</sup> sur au maximum 1,7 m d'épaisseur pour un volume total maximal d'environ 120 m<sup>3</sup>. Les plans de rupture identifiés de part et d'autre de l'écaille semblent correspondre à l'intersection des familles de fracture F1 (N90-110) et F2 (130°) tous deux inclinés de 80° en direction du sud.

Compte tenu de l'irrégularité des plans de rupture mesurés, nous considérons un mode de rupture sur un seul plan incliné à 80°.

La feuille de calcul est illustrée en **Annexe VII**.

	Caractéristiques minimales pour le Confortement de l'écaille	Caractéristiques de la paroi clouée	Vérification
Nombre d'ancrage	17	26	Ok
Profondeur	4,5 m	7-12 m	Ok
Diam des barres	40 mm	40 mm	Ok
Diam de forage	70 mm	115 mm	Ok
Longueur scellement à l'arrière de la surface de rupture	2,8 m	3 m	Ok
Incli/horizontal	10°	10°	Ok
Qs	180 kPa	500 kPa	Ok

Tableau 27 : Vérification du confortement de AW258/M4

En conclusion, les caractéristiques de la paroi clouée prévue pour le confortement de masse vis-à-vis de l'aléa « glissement de terrain » est suffisant pour conforter l'écaille instable de surface identifiée.

## 8.5. Autres compartiments instables

### ✚ Confortement compartiment AW258/M2 :

Le confortement de la falaise prévoit 1 ancrage à 8 m au droit du compartiment identifié. Cet ancrage sera suffisant pour reprendre les efforts du bloc. En phase exécution, de l'emballotage provisoire sera dans doute nécessaire avant de forer sur ce compartiment.

### ✚ Confortement compartiment AW258/M3 :

Sur ce secteur, le confortement de la falaise prévoit 2 ancrages à 6 m au droit du compartiment identifié. Ces ancrages seront suffisants pour reprendre les efforts du bloc. En phase exécution, de l'emballotage provisoire sera dans doute nécessaire avant de forer sur ce compartiment.

### ✚ Confortement compartiment AW257-256/M2 :

Compartiment d'environ 2 m<sup>3</sup> désolidarisé de la paroi à purger mécaniquement (vérin, coussin d'air...).

### ✚ Confortement compartiment AW283-347/M3

Ce compartiment instable est un amas de blocs calcaires chaotiques fracturés et en cours de décollement dont le volume total est estimé à une quarantaine de m<sup>3</sup>. Ce secteur devra faire l'objet d'un emballotage provisoire pour sécuriser les opérations de forage.

### ✚ Confortement compartiment AW283-347/M4

Ce compartiment instable est une écaille ouverte par le dessous dont la discontinuité n'est pas visible sur la partie supérieure du compartiment. Sur ce secteur, 2 ancrages à 8 m en diamètre 32 mm sont prévus dans le cadre de la paroi clouée. Ces ancrages sont suffisants pour reprendre les efforts ponctuels du compartiment.



7 ancrages compris entre 8 et 9 m de profondeur en diamètre  $\varnothing$  32 mm sont prévus. Le tableau ci-après présente les efforts repris par les armatures :

Ancrage			Dimensionnement						Amas de bloc	Vérif
Clou	$\varnothing$ forage (mm)	Qs <sup>(1)</sup> (kN)	longueur clou (ml)	Longueur libre (ml)	Longueur scellée au rocher sain (ml) <sup>(2)</sup>	Longueur utile (ml) <sup>(2)</sup>	Nombre de clou	Total des efforts résistants (kN)	Efforts à reprendre (kN)	Vérif
Gewi $\varnothing$ 32	115	500	8,0	3,0	5,0	4,0	7	5 054	1 000	Ok

<sup>(1)</sup> A contrôler par les essais préalables de convenance

<sup>(2)</sup> Compte tenu de la friabilité des matériaux en surface, le premier mètre est négligé

Tableau 28 : Vérification des efforts repris par les ancrages – AW283-347/M3

Vérification des résistances de barre :

Effort moteur (kN)	Résistance au cisaillement de la barre (kN)	Résistance au cisaillement total (kN)	Vérification
2 500	147	1029	Ok

Tableau 29 : Vérification au calcul pour les barres  $\varnothing$  32 mm

## 9. Détail des travaux par parcelle

### 9.1. Parcelle AW378 – 366 (SANS / JAUZE-BALOY / FRESNE / JORDAN)

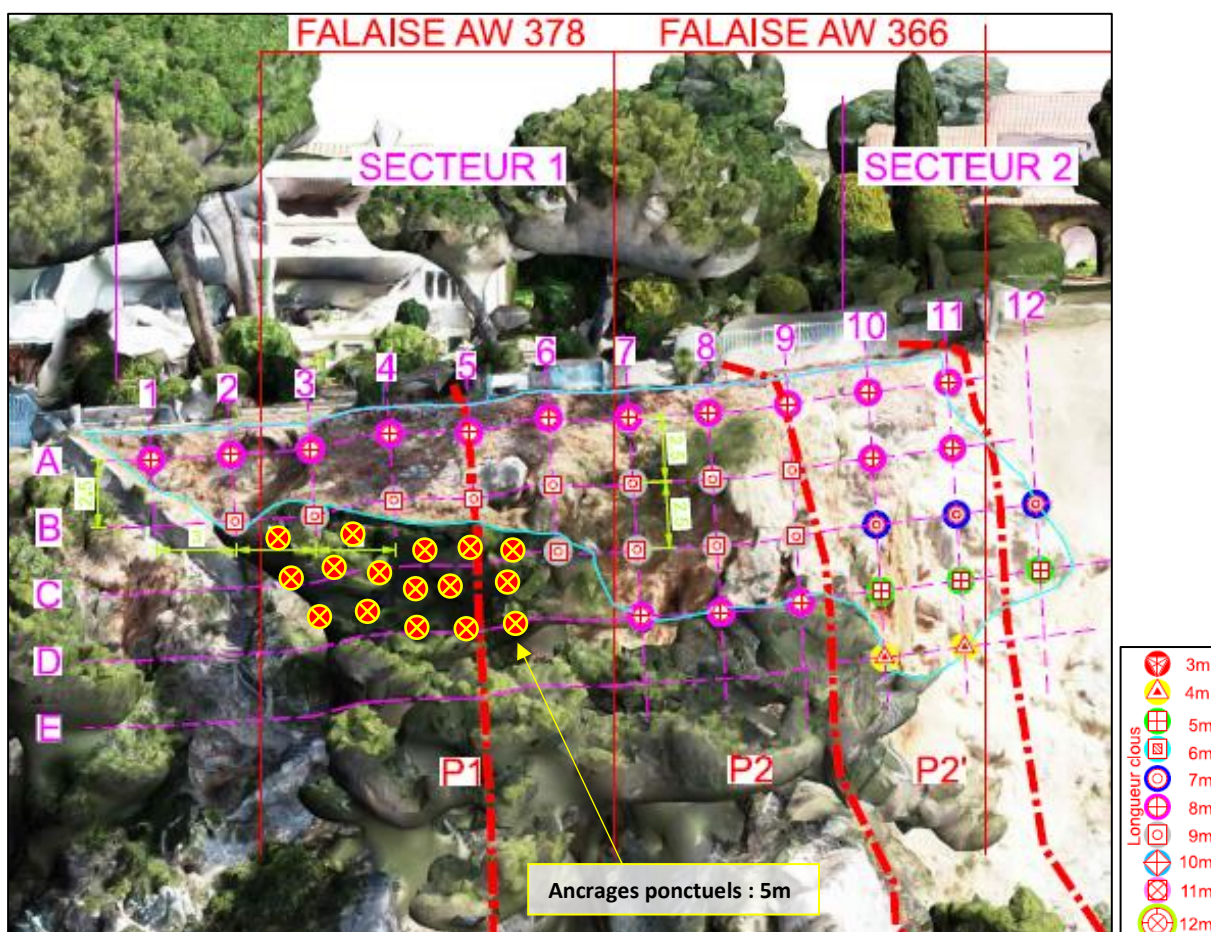


Figure 55 : Falaise sous les parcelles AW378-366 – Vue en élévation des confortements

Instabilités/secteurs	Risque actuel	Parade	Quantité
AW378-366/M1	<b>Fort</b>	Paroi clouée / Béton projeté	- 15 ancrages GEWI Ø32mm – 8 m de prof
AW378-366/M3	<b>Fort</b>		- 12 ancrages GEWI Ø32mm – 9 m de prof
AW378-366/M6	<b>Fort</b>		- 3 ancrages GEWI Ø32mm – 7 m de prof
AW378-366/M7	<b>Fort</b>		- 3 ancrages GEWI Ø32mm – 5 m de prof
AW 378-366/M2	<b>Fort</b>	Clouage ponctuel	- 2 ancrages GEWI Ø32mm – 4 m de prof
			- 15 ancrages GEWI Ø28mm – 5 m de prof

Tableau 30 : Récapitulatif des confortements sous les parcelles AW378-366



## 9.2. Parcelle AW259 (LAURENT)

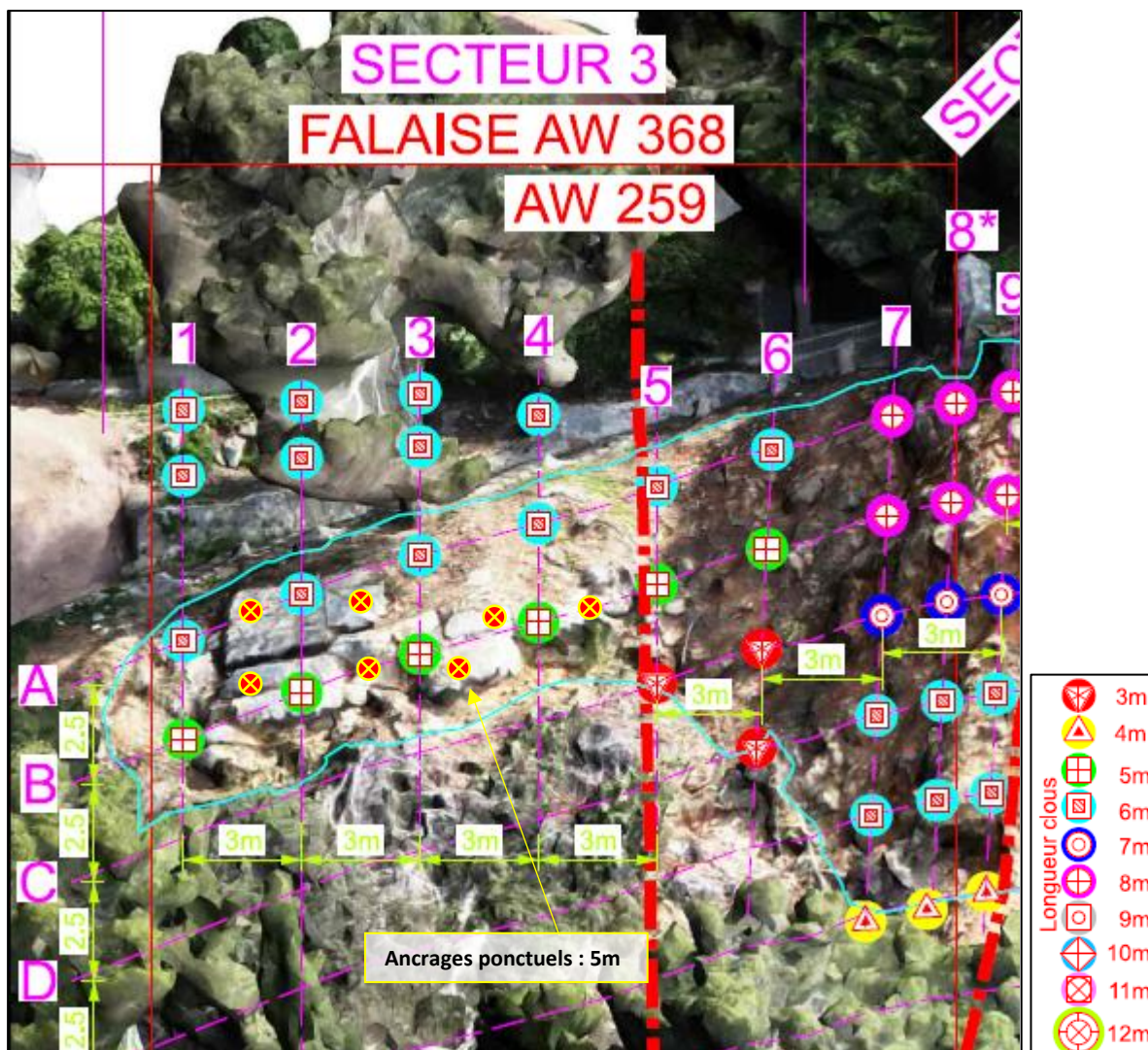


Figure 56 : Falaise sous la parcelle AW259 – Vue en élévation des confortements

Instabilités/secteurs	Risque actuel	Parade	Quantité
AW259/M1	<b>Fort</b>	Paroi clouée / Béton projeté / remplissage des vides en gros béton	- 6 ancrages GEWI Ø32mm – 8 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø32mm – 7 m de prof
AW369/M2	<b>Fort</b>		- 19 ancrages GEWI Ø32mm – 6 m de prof - 6 ancrages GEWI Ø32mm – 5 m de prof
AW369/M3	<b>Fort</b>	Clouage ponctuel	- 3 ancrages GEWI Ø32mm – 4 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø32mm – 3 m de prof
AW369/M3	<b>Fort</b>		- 7 ancrages GEWI Ø28mm – 5 m de prof

Tableau 31 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW259

### 9.3. Parcelle AW258 (ACCARIE)



Figure 57 : Falaise sous la parcelle AW258 – Vue en élévation des confortements

Instabilités/secteurs	Risque actuel	Parade	Quantité
AW258/M1	Fort	Paroi clouée / Béton projeté	- 6 ancrages GEWI Ø40mm – 12 m de prof
AW258/M2	Fort		- 2 ancrages GEWI Ø40mm – 11 m de prof
AW258/M3	Fort		- 2 ancrages GEWI Ø40 mm – 10 m de prof
AW258/M4	Fort		- 2 ancrages GEWI Ø40mm – 9 m de prof
			- 2 ancrages GEWI Ø40mm – 8 m de prof
		- 2 ancrages GEWI Ø40mm – 7 m de prof	
		- 10 ancrages GEWI Ø32mm – 9 m de prof	
			- 7 ancrages GEWI Ø32mm – 8 m de prof
			- 1 ancrages GEWI Ø32mm – 7 m de prof
			- 7 ancrages GEWI Ø32mm – 6 m de prof
			- 10 ancrages GEWI Ø32mm – 5 m de prof
			- 7 ancrages GEWI Ø32mm – 4 m de prof

Tableau 32 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW258



## 9.4. Parcelle AW257 (BERETS)

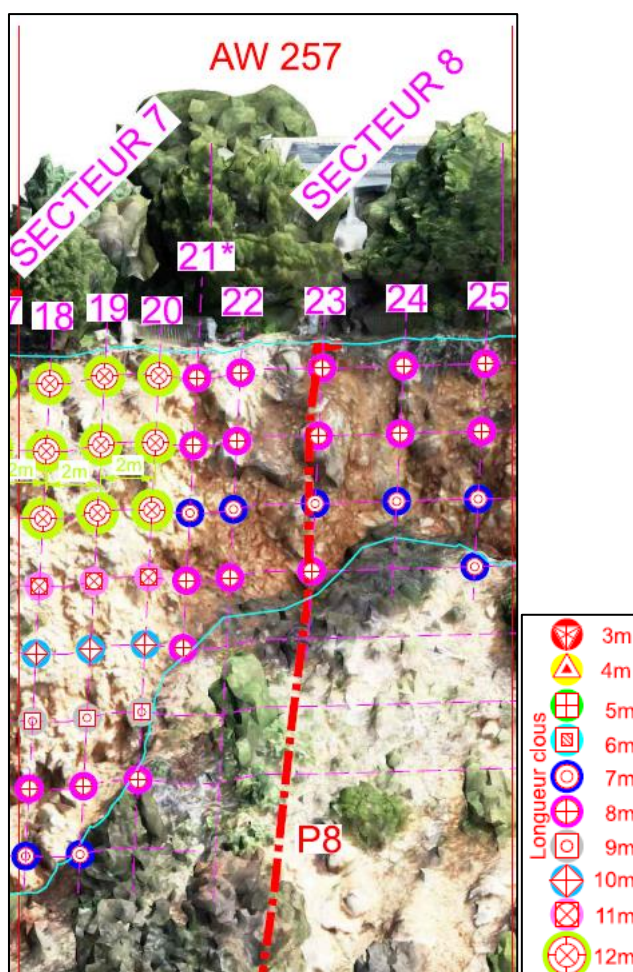


Figure 58 : Falaise sous la parcelle AW257 – Vue en élévation des confortements

Instabilités/secteurs	Risque actuel	Parade	Quantité
AW258/M4	<b>Fort</b>	Paroi clouée / Béton projeté	- 9 ancrages GEWI Ø40mm – 12 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø40mm – 11 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø40 mm – 10 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø40mm – 9 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø40 mm – 8 m de prof - 2 ancrages GEWI Ø40mm – 7 m de prof
AW257/M1	<b>Fort</b>		- 14 ancrages GEWI Ø32mm – 8 m de prof - 6 ancrages GEWI Ø32mm – 7 m de prof

Tableau 33 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW257

## 9.5. Parcelle AW256 (MONTBARBON)



Figure 59 : Falaise sous la parcelle AW256 – Vue en élévation des confortements

Instabilités/secteurs	Risque actuel	Parade	Quantité
AW257-256/M1	Fort	Paroi clouée / Béton projeté	- 1 ancrages GEWI Ø32mm – 9 m de prof
AW257-256/M2	Fort		- 5 ancrages GEWI Ø32mm – 8 m de prof - 5 ancrages GEWI Ø32mm – 7 m de prof - 5 ancrages GEWI Ø32mm – 6 m de prof - 5 ancrages GEWI Ø32mm – 5 m de prof - 3 ancrages GEWI Ø32mm – 4 m de prof

Tableau 34 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW256



## 9.6. Parcelle AW283-347 (LAFARGE)

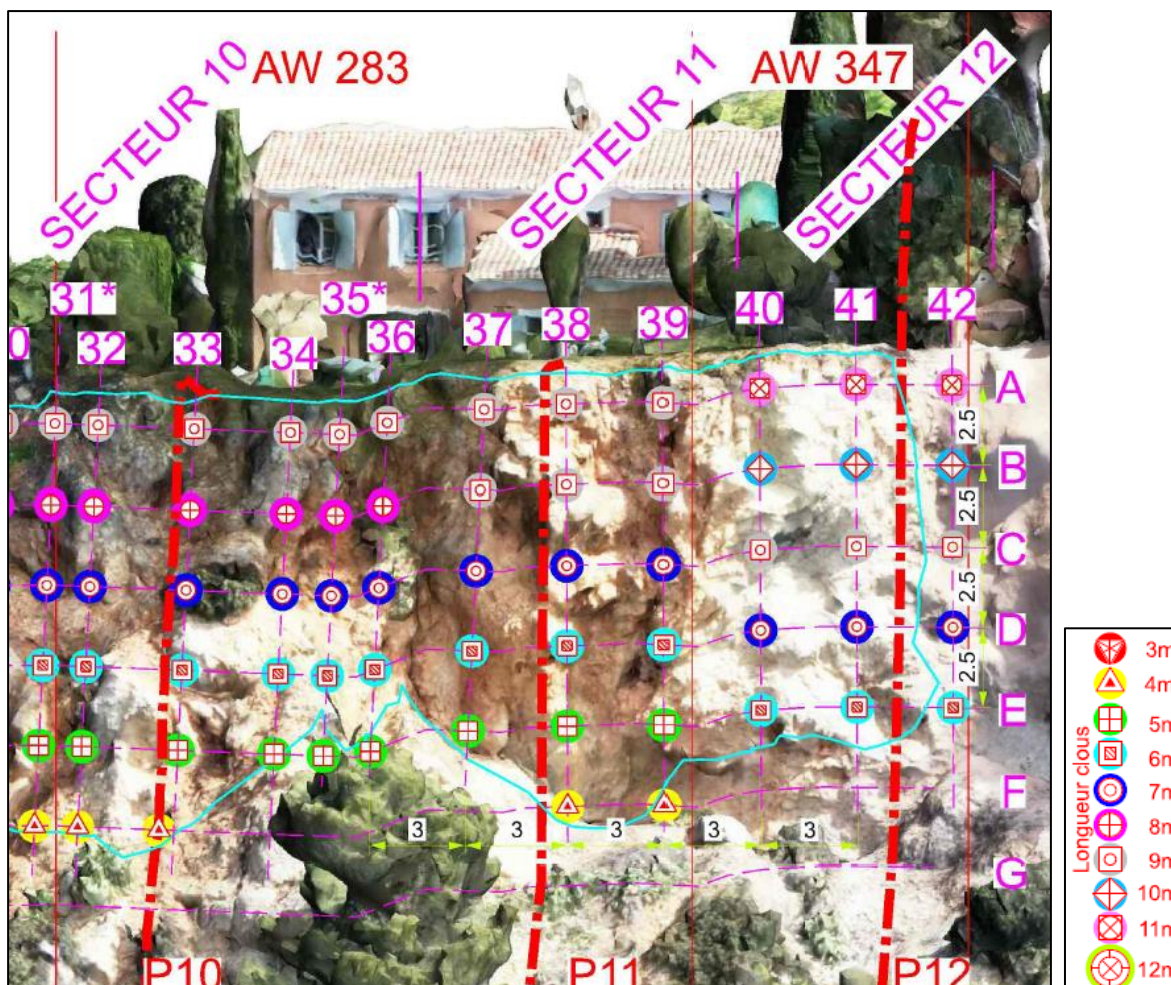


Figure 60 : Falaise sous la parcelle AW283-347 – Vue en élévation des confortements

Instabilités/secteurs	Risque actuel	Parade	Quantité
AW258/M4	Fort	Paroi clouée / Béton projeté	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 6 ancrages GEWI Ø40mm – 9 m de prof</li> <li>- 3 ancrages GEWI Ø40 mm – 7 m de prof</li> <li>- 3 ancrages GEWI Ø40mm – 6 m de prof</li> <li>- 3 ancrages GEWI Ø40mm – 5 m de prof</li> <li>- 2 ancrages GEWI Ø40mm – 4 m de prof</li> <li>- 3 ancrages GEWI Ø32mm – 11 m de prof</li> </ul>
AW257/M1	Fort		<ul style="list-style-type: none"> <li>- 3 ancrages GEWI Ø32mm – 10 m de prof</li> <li>- 9 ancrages GEWI Ø32mm – 9 m de prof</li> <li>- 6 ancrages GEWI Ø32mm – 8 m de prof</li> <li>- 9 ancrages GEWI Ø32mm – 7 m de prof</li> <li>- 9 ancrages GEWI Ø32mm – 6 m de prof</li> <li>- 6 ancrages GEWI Ø32mm – 5 m de prof</li> <li>- 3 ancrages GEWI Ø32mm – 4 m de prof</li> </ul>

Tableau 35 : Récapitulatif des confortements sous la parcelle AW283-347

## 10. Sécurisation provisoire et surveillance

Compte tenu du caractère très friables des brèches rouges et du degré d'instabilité de certains compartiments rocheux, des mesures de protections provisoires et de la surveillance en temps réel seront nécessaires en amont et pendant la phase de chantier.

### 10.1. Sécurisation provisoire

- ✚ Mise en œuvre d'un grillage double torsion pendu 60/80mm sur les secteurs 5 à 12.
  - Soit environ 1 600 m<sup>2</sup>.
- ✚ Emmaillotage des compartiments **AW258/M3, AW257-256/M2, AW283-347/M3**,
  - Soit environ 90 m<sup>2</sup>
- ✚ Provisionnement de câbles si nécessaire :
  - Environ 150 ml (notamment 50 ml sur compartiment **AW258/M4**).

### 10.2. Surveillance/instrumentation

- ✚ Installation de capteurs de vibration au droit de chaque maison concernée pendant toute la durée des travaux réalisés.
- ✚ Installation d'extensomètres sur les compartiments **AW283-347/M3** et **AW258/M4**.



## 11. Accès au chantier en phase travaux

La base vie et la zone de stockage seront entreposés sur le parking situé avant le Cross Med sous réserve de la mise à disposition de la Mairie.

### 11.1. Secteur Ouest

Les travaux sur ce secteur se feront par le haut de la falaise et les accès directement par les parcelles AW 378 et AW 366. La figure ci-après schématise les emprises présumées du chantier.



Figure 61 : Installation schématique des emprises de chantier

### 11.2. Secteur Est

Sur ce secteur, les accès peuvent se faire de manière individuelle (par chaque propriété) ou de manière collective : création d'un accès unique à la crête de falaise.

#### 11.2.1. Accès collectif

L'entreprise aura accès à la crête de falaise par le chemin d'accès à la plage de Massacan. Une partie du mur de propriété de la parcelle AW258 (ACCARIE) sera démolie, les clôtures entre les parcelles seront provisoirement déposées et une largeur d'environ 5 à 6 m sera en crête de falaise sera consacrée à l'emprise des travaux. L'entreprise prévoira une barrière provisoire entre les jardins des propriétaires et l'emprise du chantier pour s'affranchir de tout risque lié à la nature des travaux.

Cette solution présente les avantages suivants :

- Un accès unique à l'ensemble du secteur Est ;
- l'accès à des engins de type élévateur durant toute la phase des travaux en partie Est ;
- Diminuer le nombre de rotation de type hélitreuillage.

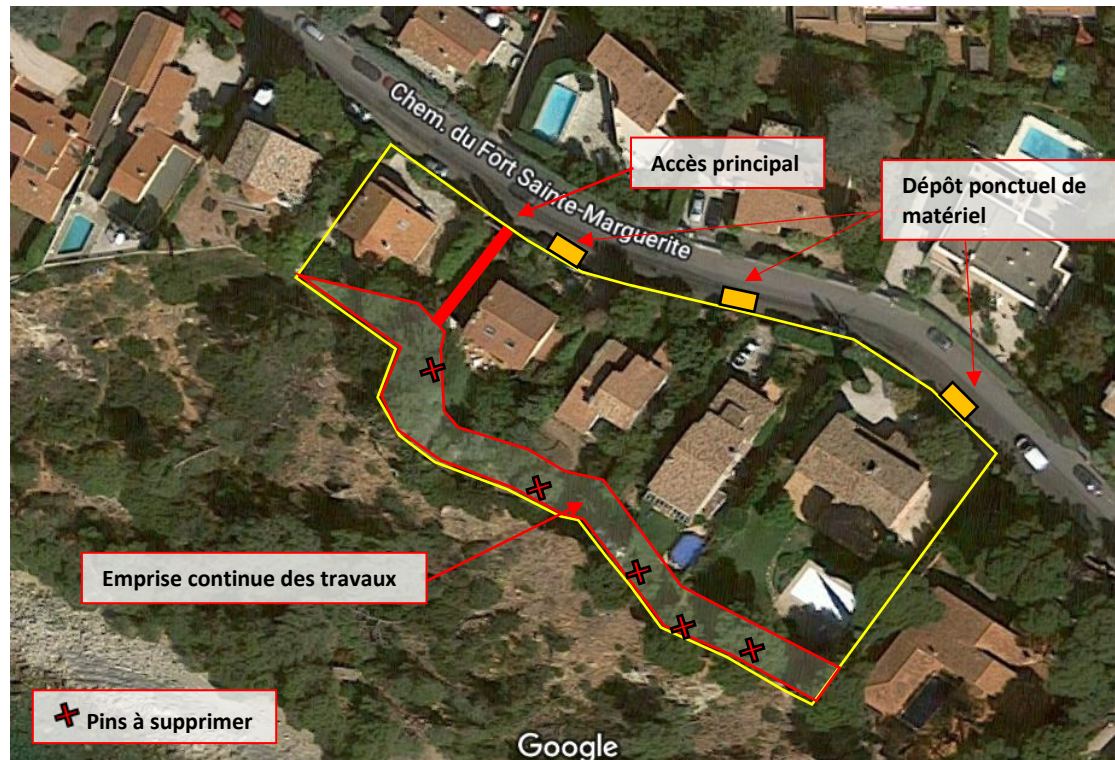


Figure 62 : Installation schématique des emprises de chantier secteur Est – accès collectif

Cette solution implique toutefois la reconstruction d'une partie du mur de propriété de la parcelle AW 258 (ACCARIE).



### 11.2.2. Accès individuel

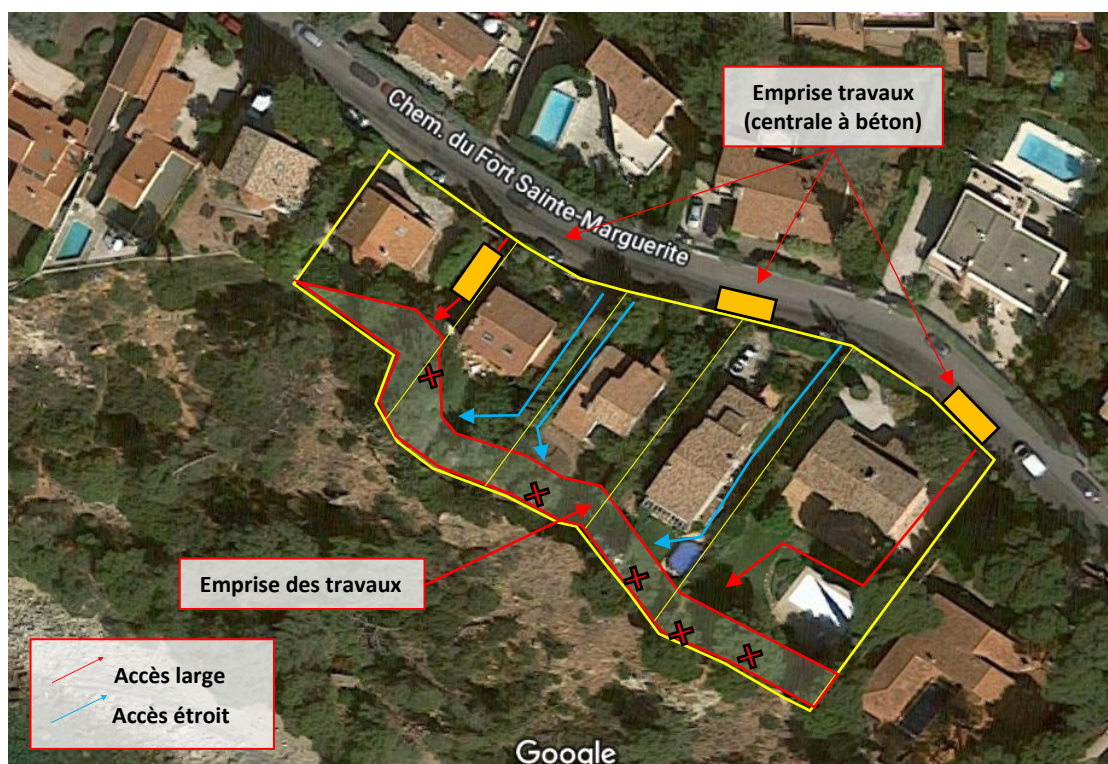


Figure 63 : Installation schématique des emprises de chantier secteur Est – accès individuel

Les accès étroits ne permettront pas l’installation d’une centrale à béton sur l’emprise des travaux. Celle-ci devra alors être installée soit le long d’une voie de circulation bloquée et consacrée à cet usage, soit au niveau de la base vie. Cette dernière possibilité compliquerait considérablement l’acheminement compte tenu des propriétés existantes qui devront conserver une sortie libre de leur propriété.

D’importantes protections du mobilier existant devront être mise en œuvre si l’individualisation des accès menant à l’emprise des travaux est choisie.

## 12. Planning de réalisation

Le planning de réalisation estimé pour la réalisation des travaux est le suivant :

	M <sub>-2</sub>	M <sub>0</sub>	M <sub>+1</sub>	M <sub>+2</sub>	M <sub>+3</sub>	M <sub>+4</sub>	M <sub>+5</sub>	M <sub>+6</sub>	M <sub>+7</sub>
<i>Phase de préparation</i>									
Elaboration documents et mission G3									
Installation de chantier									
Clous d'essais									
Installation instrumentation									
Mise en œuvre des protections									
<i>Exécution</i>									
<u>Forage et équipement :</u>									
Parcelle AW378-AW366									
Parcelle AW259									
Parcelle AW258									
Parcelle AW257									
Parcelle AW256									
Parcelle AW283-347									
<u>Béton projeté :</u>									
Parcelle AW378-AW366									
Parcelle AW259									
Parcelle AW258									
Parcelle AW257									
Parcelle AW256									
Parcelle AW283-347									
<i>Fin de travaux</i>									
Repli chantier									
Levé topographique de recollement									
Dossier de fin de travaux									
Réception des travaux									

Tableau 36 : Planning prévisionnel

### Remarque :

- La phase de préparation débutera en juin 2023 (M<sub>-2</sub>) ;
- Les travaux débuteront en septembre 2023 (M<sub>0</sub>) ;
- La phase travaux sera terminée au 31 mars 2024 (M<sub>+6</sub>).



## 13. Préchiffrage global

Le montant des travaux est estimé à **2 892 161 € H.T** pour la sécurisation des deux zones étudiées.

Ce chiffrage ne comprend pas le dispositif de protection environnemental (écologie, botaniste, suivi des nidifications en falaise et des chiroptères).

Tableau 37 : Préchiffrage au stade G2PRO

	Secteur Ouest (Parcelle AW366-378)				Secteur Est																
					Parcelle AW259			Parcelle AW258			Parcelle AW257			Parcelle AW256			Parcelle AW283-347				
					Prorata* : secteur Est 21,2%			Prorata* : secteur Est 17,5%			Prorata* : secteur Est 18,5%			Prorata* : secteur Est 16,4%			Prorata* : secteur Est 26,4%				
Unité	Qté	PU (€ HT)	Total (€ HT)	Qté	Total/ P.U (€ HT)	Total (€ HT)	Qté	Total/ P.U (€ HT)	Total (€ HT)	Qté	Total/ P.U (€ HT)	Total (€ HT)	Qté	Total/ P.U (€ HT)	Total (€ HT)	Qté	Total/ P.U (€ HT)	Total (€ HT)			
<b>A Préparation</b>																					
A.1	Installation de chantier / rempli du matériel	Ft	1	180 000 €	180 000 €	21,2%	320 000 €	67 840 €	17,5%	320 000 €	56 000 €	18,5%	320 000 €	59 200 €	16,4%	320 000 €	52 480 €	26,4%	320 000 €	84 480 €	
A.2	Constat d'état des lieux par huisier (anté et post travaux)	Ft	1	2 900 €	2 900 €	21,2%	4 900 €	1 039 €	17,5%	4 900 €	858 €	18,5%	4 900 €	907 €	16,4%	4 900 €	804 €	26,4%	4 900 €	1 294 €	
A.3	Coordination des travaux de sécurité sur le chantier	Ft	1	12 000 €	12 000 €	21,2%	20 500 €	4 346 €	17,5%	20 500 €	3 588 €	18,5%	20 500 €	3 793 €	16,4%	20 500 €	3 362 €	26,4%	20 500 €	5 412 €	
A.4	Etablissement des documents techniques	Ft	1	7 000 €	7 000 €	21,2%	9 500 €	2 014 €	17,5%	9 500 €	1 663 €	18,5%	9 500 €	1 758 €	16,4%	9 500 €	1 558 €	26,4%	9 500 €	2 508 €	
<b>B travaux de préparation</b>																					
B.1	Abattage des arbres et débroussaillage	Ft	1	7 000 €	7 000 €	21,2%	10 500 €	2 226 €	17,5%	10 500 €	1 838 €	18,5%	10 500 €	1 943 €	16,4%	10 500 €	1 722 €	26,4%	10 500 €	2 772 €	
B.2	Dispositif spécifiques de protection provisoires des biens et netovaae post-chantier	Ft	1	9 000 €	9 000 €	21,2%	19 000 €	4 028 €	17,5%	19 000 €	3 325 €	18,5%	19 000 €	3 515 €	16,4%	19 000 €	3 116 €	26,4%	19 000 €	5 016 €	
B.3	Dispositif de protection sur falaise - y/c ancrages de fixation - grillage oendu ST	m²	0	75 €	0 €	92	75 €	6 900 €	470	75 €	35 250 €	317	75 €	23 775 €	257	75 €	19 275 €	464	75 €	34 800 €	
B.4	filet de câble (y/c ancrages)	m²	0	155 €	0 €	21,2%	13 950 €	2 957 €	17,5%	13 950 €	2 441 €	18,5%	13 950 €	2 581 €	16,4%	13 950 €	2 288 €	26,4%	13 950 €	3 683 €	
B.5	Câble de placage	ml	0	50 €	0 €	30	50 €	1 500 €	30	50 €	1 500 €	30	50 €	1 500 €	30	20 €	600 €	30	50 €	1 500 €	
B.6	Provisionnement ancrage pour câble	ml	0	173 €	0 €	8	184 €	1 472 €	8	184 €	1 472 €	8	184 €	1 472 €	8	184 €	1 472 €	8	184 €	1 472 €	
B.7	Réalisation des clous d'essais	U	2	2 600 €	5 200 €	2	2 600 €	5 200 €	2	2 600 €	5 200 €	2	2 600 €	5 200 €	2	2 600 €	5 200 €	2	2 600 €	5 200 €	
B.8	Mise en œuvre instrumentation type géophone	Ft	1	8 000 €	8 000 €	21,2%	15 000 €	3 180 €	17,5%	15 000 €	2 625 €	18,5%	15 000 €	2 775 €	16,4%	15 000 €	2 460 €	26,4%	15 000 €	3 960 €	
B.9	Mise en œuvre instrumentation type extensomètre	Ft	0	0 €	0 €	21,2%	30 000 €	6 360 €	17,5%	30 000 €	5 250 €	18,5%	30 000 €	5 550 €	16,4%	30 000 €	4 920 €	26,4%	30 000 €	7 920 €	
<b>C Travaux de sécurisation de la falaise</b>																					
C.1	Purges	Ft	1	6 000 €	6 000 €	21,2%	12 000 €	2 544 €	17,5%	12 000 €	2 100 €	18,5%	12 000 €	2 220 €	16,4%	12 000 €	1 968 €	26,4%	12 000 €	3 168 €	
C.2	Ancrage barres (Ø25 mm)	ml	0	184 €	0 €	0	184 €	0 €	0	184 €	0 €	0	184 €	0 €	0	184 €	0 €	0	184 €	0 €	
C.3	Ancrage barres (Ø28 mm)	ml	85	209 €	17 765 €	35	209 €	7 315 €	0	209 €	0 €	0	209 €	0 €	0	209 €	0 €	0	209 €	0 €	
C.4	Ancrage barres (Ø32 mm)	ml	280	239 €	66 920 €	234	239 €	55 926 €	245	239 €	58 555 €	154	239 €	36 806 €	151	239 €	36 089 €	351	239 €	83 889 €	
C.5	Ancrage barres (Ø40 mm)	ml	0	286 €	0 €	0	286 €	0 €	162	286 €	46 332 €	236	286 €	67 496 €	0	286 €	0 €	116	286 €	33 176 €	
C.6	Fourniture et installation des supports pour le BP	Ft	1	9 500 €	9 500 €	21,2%	24 000 €	5 088 €	17,5%	24 000 €	4 200 €	18,5%	24 000 €	4 440 €	16,4%	24 000 €	3 936 €	26,4%	24 000 €	6 336 €	
C.7	Système de récupération des fibres de béton	Ft	1	6 000 €	6 000 €	21,2%	17 000 €	3 604 €	17,5%	17 000 €	2 975 €	18,5%	17 000 €	3 145 €	16,4%	17 000 €	2 788 €	26,4%	17 000 €	4 488 €	
C.8	Béton projeté 25 cm	m²	361	642 €	231 762 €	342	642 €	219 564 €	470	642 €	301 740 €	317	642 €	203 514 €	257	642 €	164 994 €	464	642 €	297 888 €	
C.9	Pré-forage mur existant parcelle AW259	m²	0	150 €	0 €	10	150 €	1 500 €	0	150 €	0 €	0	150 €	0 €	0	150 €	0 €	0	150 €	0 €	
C.10	Fourniture et mise en œuvre des barbacannes (1u/6)m²	Ft	1	5 000 €	5 000 €	21,2%	26 000 €	5 512 €	17,5%	26 000 €	4 550 €	18,5%	26 000 €	4 810 €	16,4%	26 000 €	4 264 €	26,4%	26 000 €	6 864 €	
C.11	Fourniture et mise en œuvre gros béton de remplissage	m³	0	400 €	0 €	10	400 €	4 000 €	0	400 €	0 €	0	400 €	0 €	0	400 €	0 €	0	400 €	0 €	
<b>F Contrôle d'exécution</b>																					
F.1	Essais de contrôle sur clou	U	2	720 €	1 440 €	2	720 €	1 440 €	2	720 €	1 440 €	2	720 €	1 440 €	2	720 €	1 440 €	2	720 €	1 440 €	
F.2	Essais de contrôle sur coulis	U	2	140 €	280 €	2	140 €	280 €	2	140 €	280 €	2	140 €	280 €	2	140 €	280 €	2	140 €	280 €	
F.3	Essais de contrôle sur béton non fibré	U	2	430 €	860 €	2	430 €	860 €	2	430 €	860 €	2	430 €	860 €	2	430 €	860 €	2	430 €	860 €	
F.4	Essais de contrôle sur béton fibré	U	2	750 €	1 500 €	2	750 €	1 500 €	2	750 €	1 500 €	2	750 €	1 500 €	2	750 €	1 500 €	2	750 €	1 500 €	
				<b>TOTAL (€ H.T) :</b>	<b>578 127 €</b>	<b>TOTAL (€ H.T) :</b>	<b>418 195 €</b>	<b>TOTAL (€ H.T) :</b>	<b>545 540 €</b>	<b>TOTAL (€ H.T) :</b>	<b>440 478 €</b>	<b>TOTAL (€ H.T) :</b>	<b>317 375 €</b>	<b>TOTAL (€ H.T) :</b>	<b>599 905 €</b>						
																		<b>Total Secteur Ouest et Est (€<sub>H.T</sub>) :</b>		<b>2 899 621 €</b>	
																		<b>Total Secteur Ouest et Est (€<sub>T.T.C</sub>) :</b>		<b>3 479 545 €</b>	

(\* ) Le pourcentage est calculé au prorata de la longueur de crête de falaise à l'aplomb de chaque propriété par rapport à la longueur totale du secteur Est



## Observations sur l'utilisation du rapport

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

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

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

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

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

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

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



# ANNEXES

- Annexe I : Extrait de la norme NFP 94-500
- Annexe II : Profils étudiés
- Annexe III : Cartes d'aléa mouvement de terrain du BRGM
- Annexe IV : Vérification du confortement de masse / r trocalages – Calculs Talren
- Annexe V : Vérification béton armé – Calcul GEOSPAR
- Annexe VI : Plan d'élévation des secteurs 1   12 – 1/200<sup> me</sup>
- Annexe VII : Fiche compartiment – AW258/M4



## Annexe I : Extrait de la norme NFP 94-500

### ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PREALABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases :

#### Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site.

- Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.
- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

#### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

### ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases :

#### Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

#### Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

#### Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

### ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

#### ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives :

##### Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques : notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs : plans d'exécution, de phasage et de suivi.

##### Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO)

#### SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives :

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

#### DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

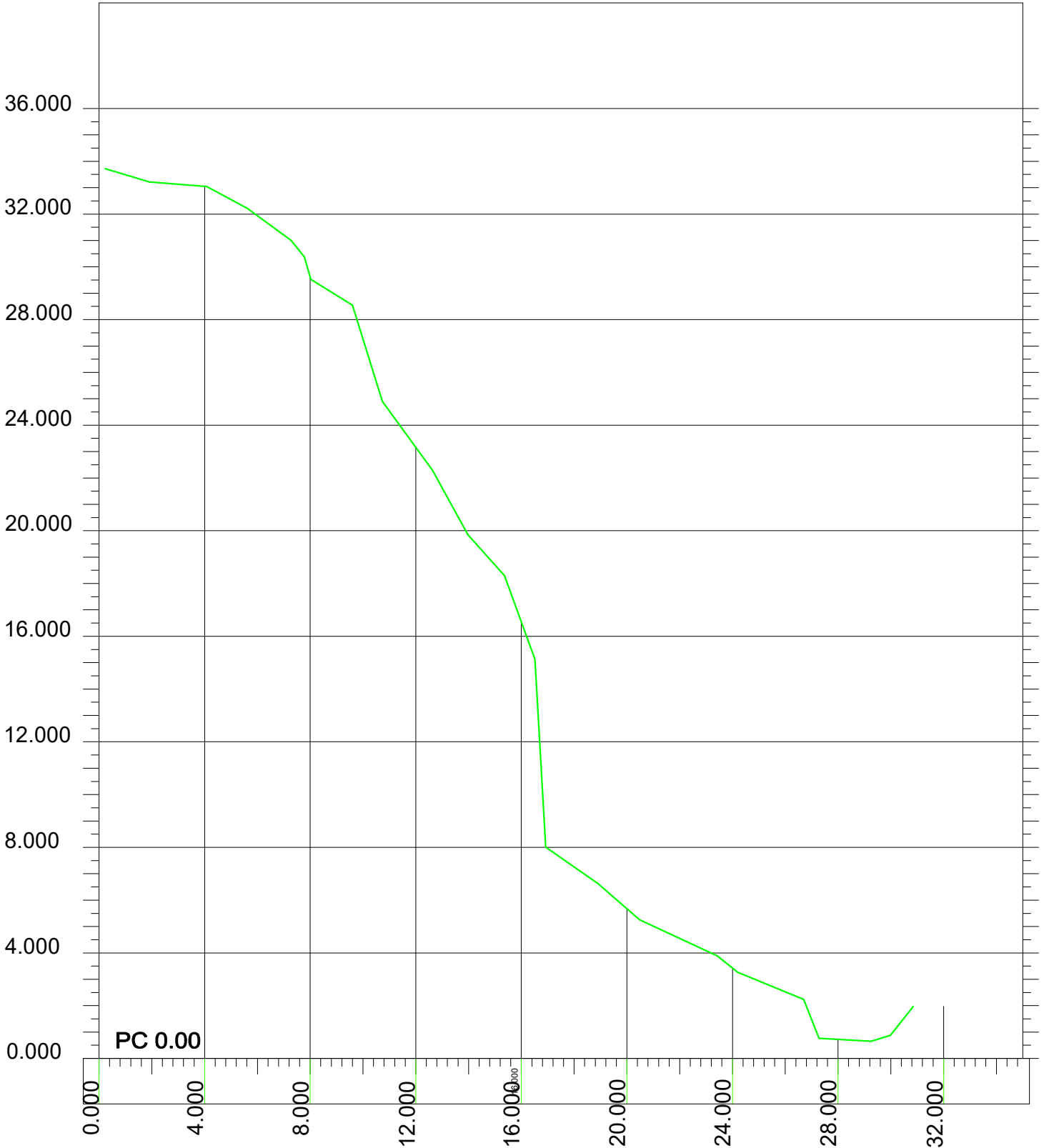
Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'étude de l'état général de l'ouvrage existant.
- Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).



## Annexe II : **Profils étudiés**

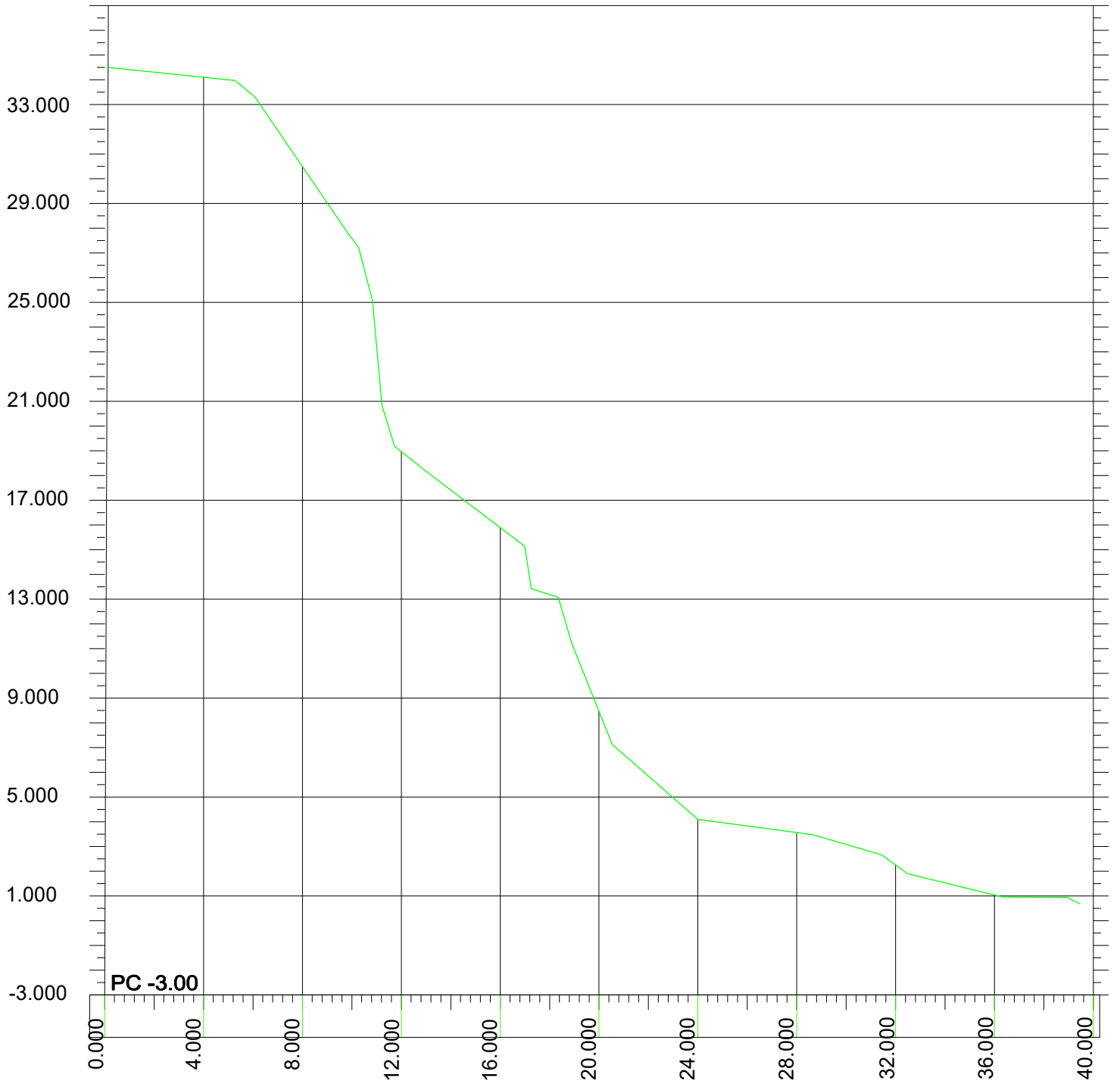
# PROFIL 1



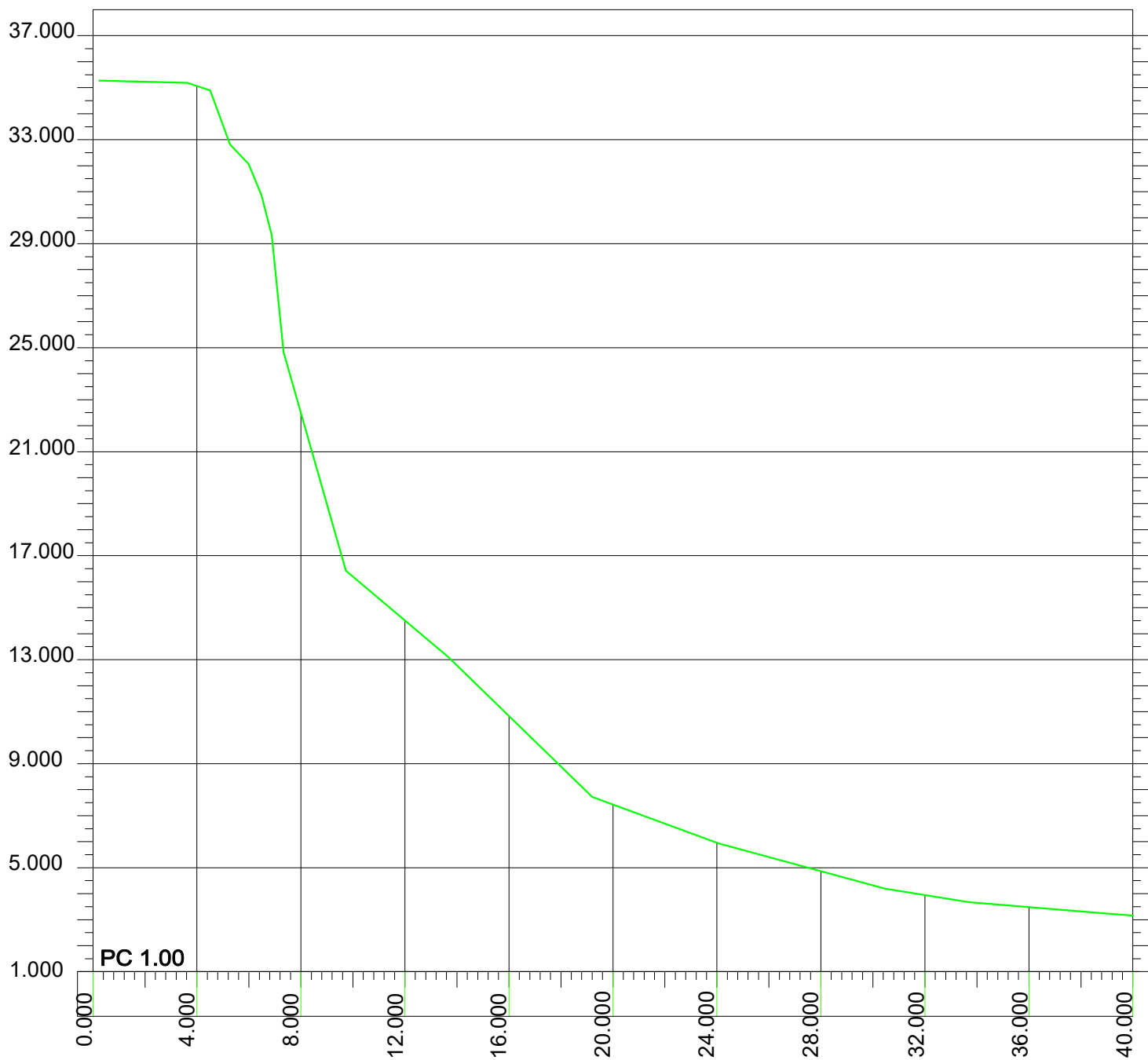
PC 0.00



# PROFIL 2A

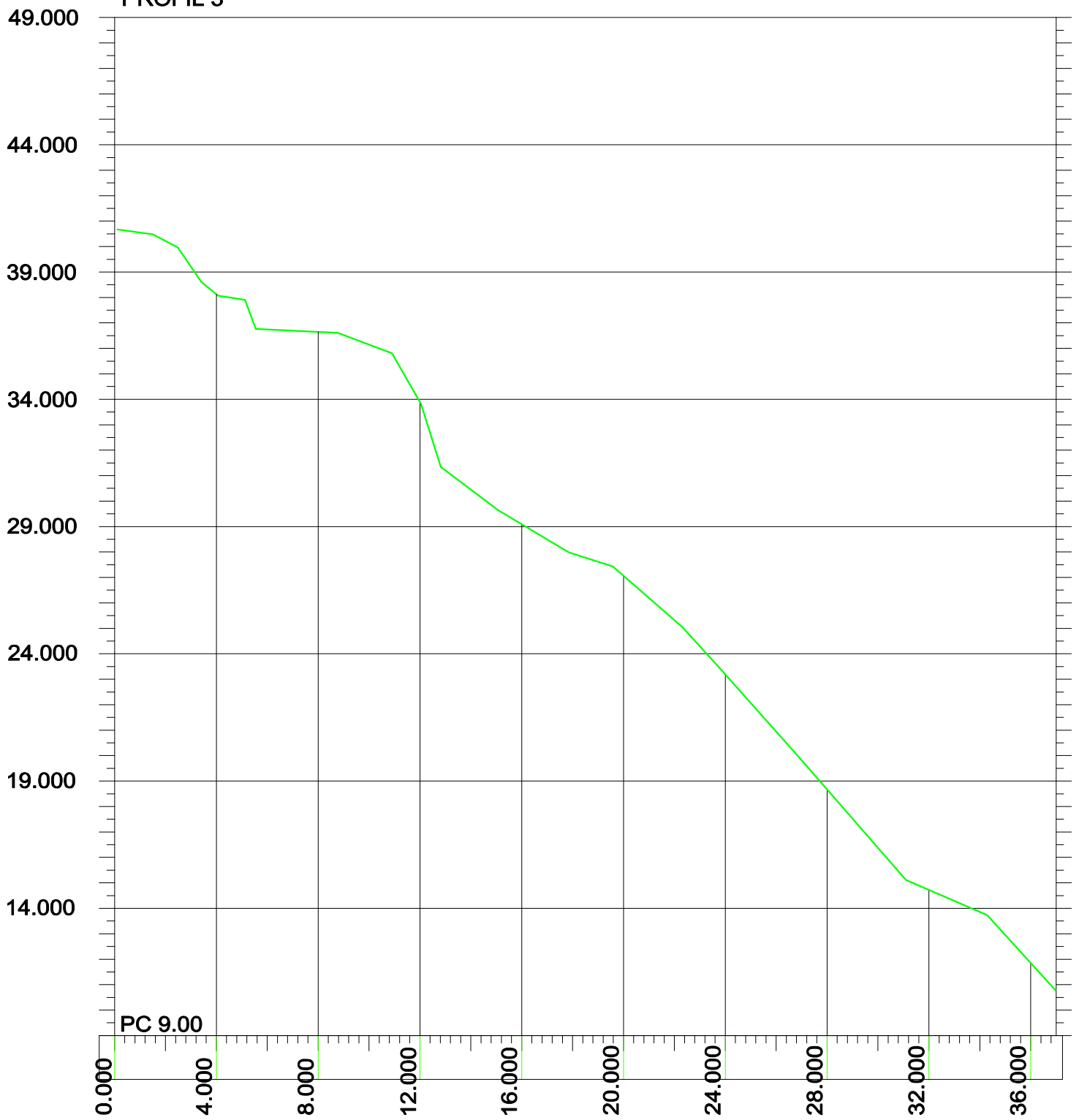


# PROFIL 2 PRIM

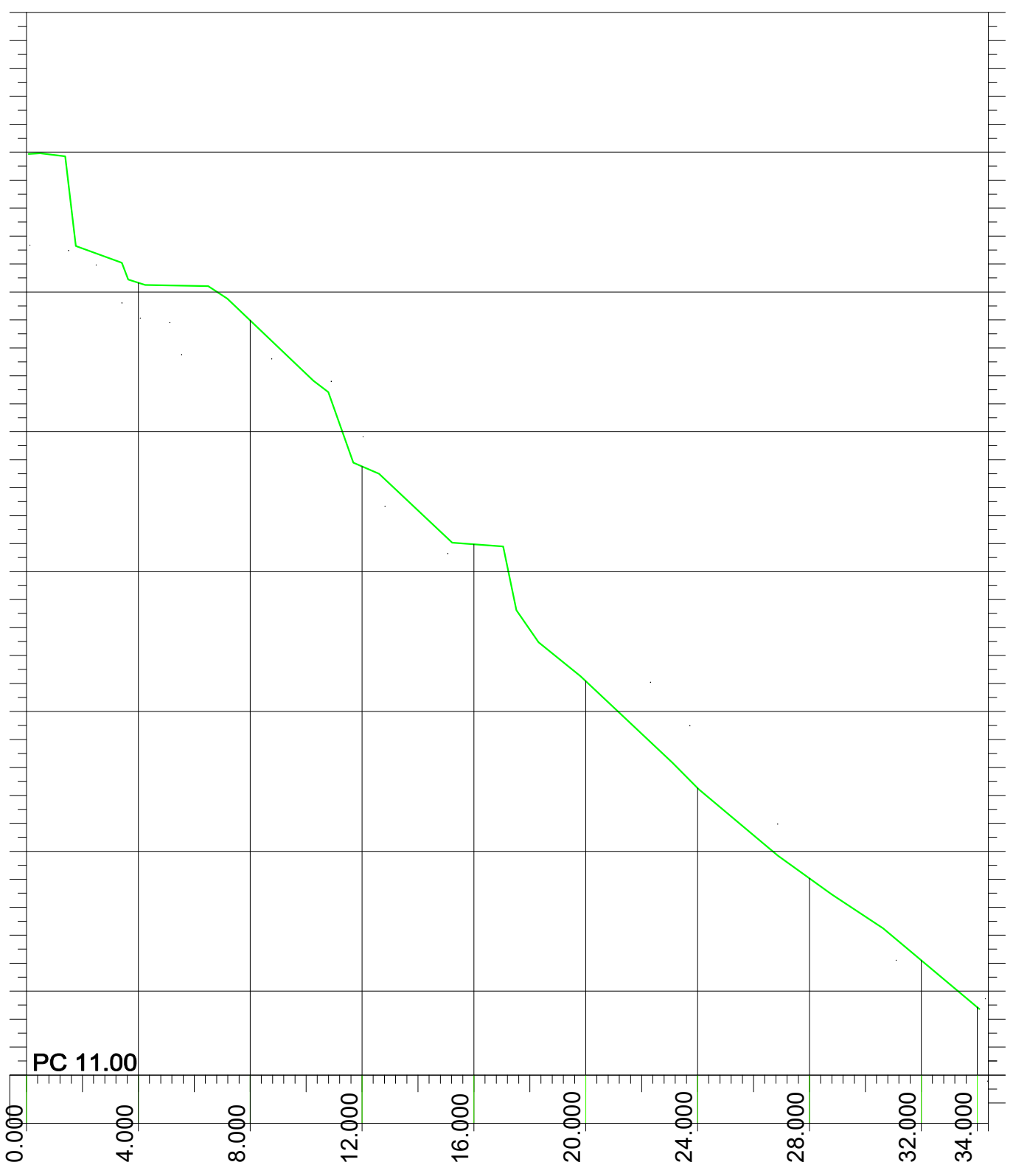




### PROFIL 3



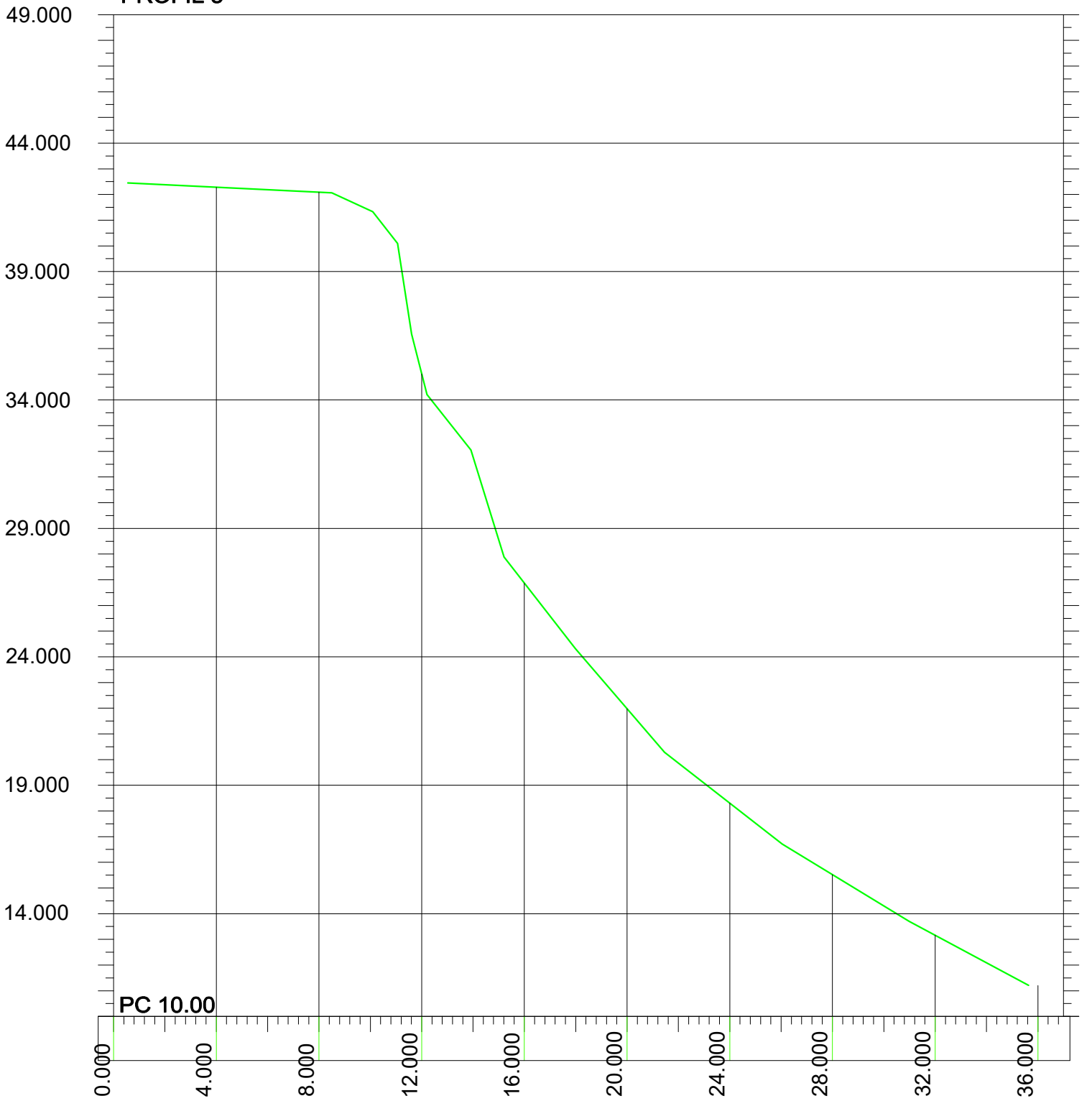
**PROFIL 4**



**PC 11.00**

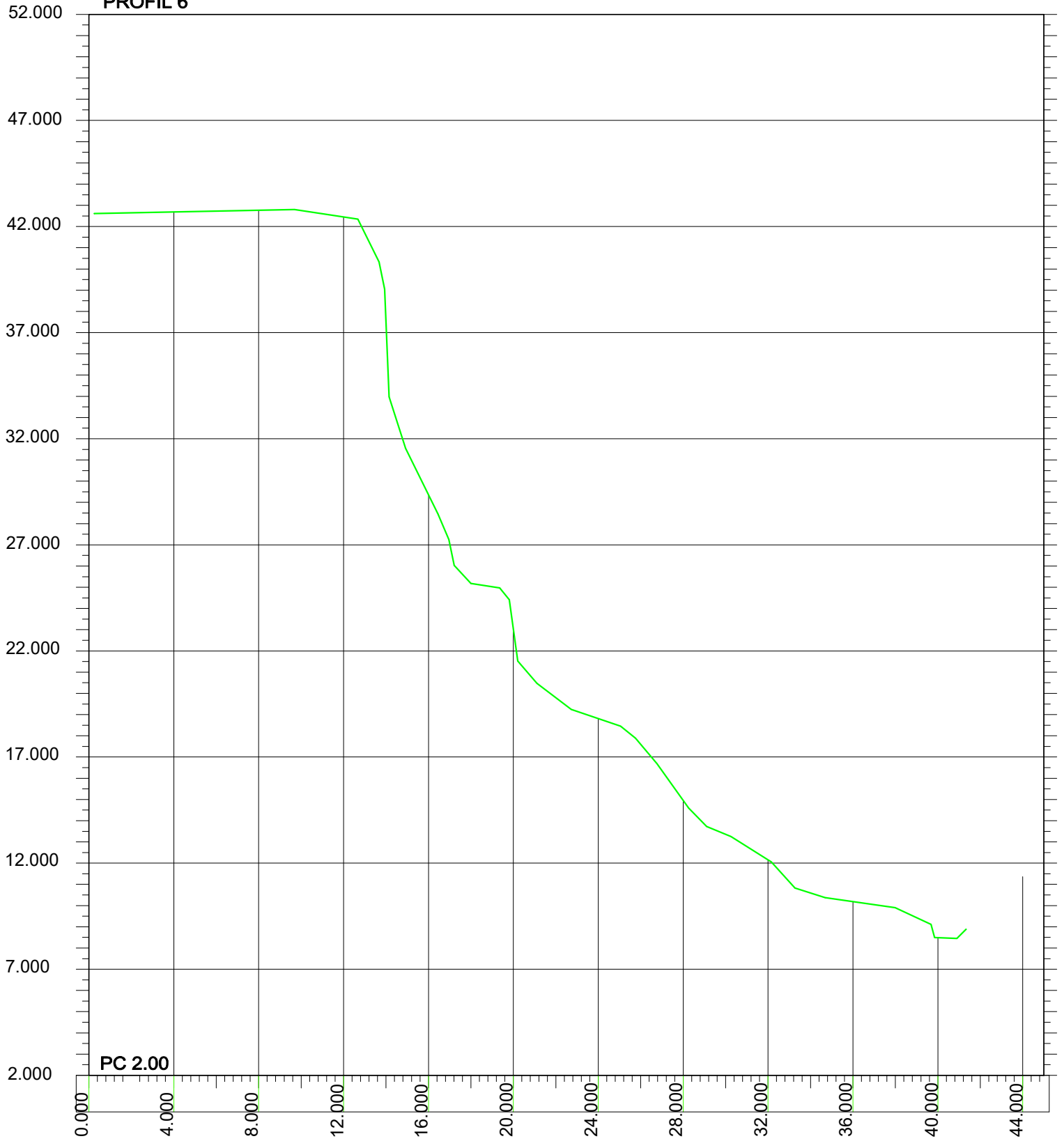


**PROFIL 5**



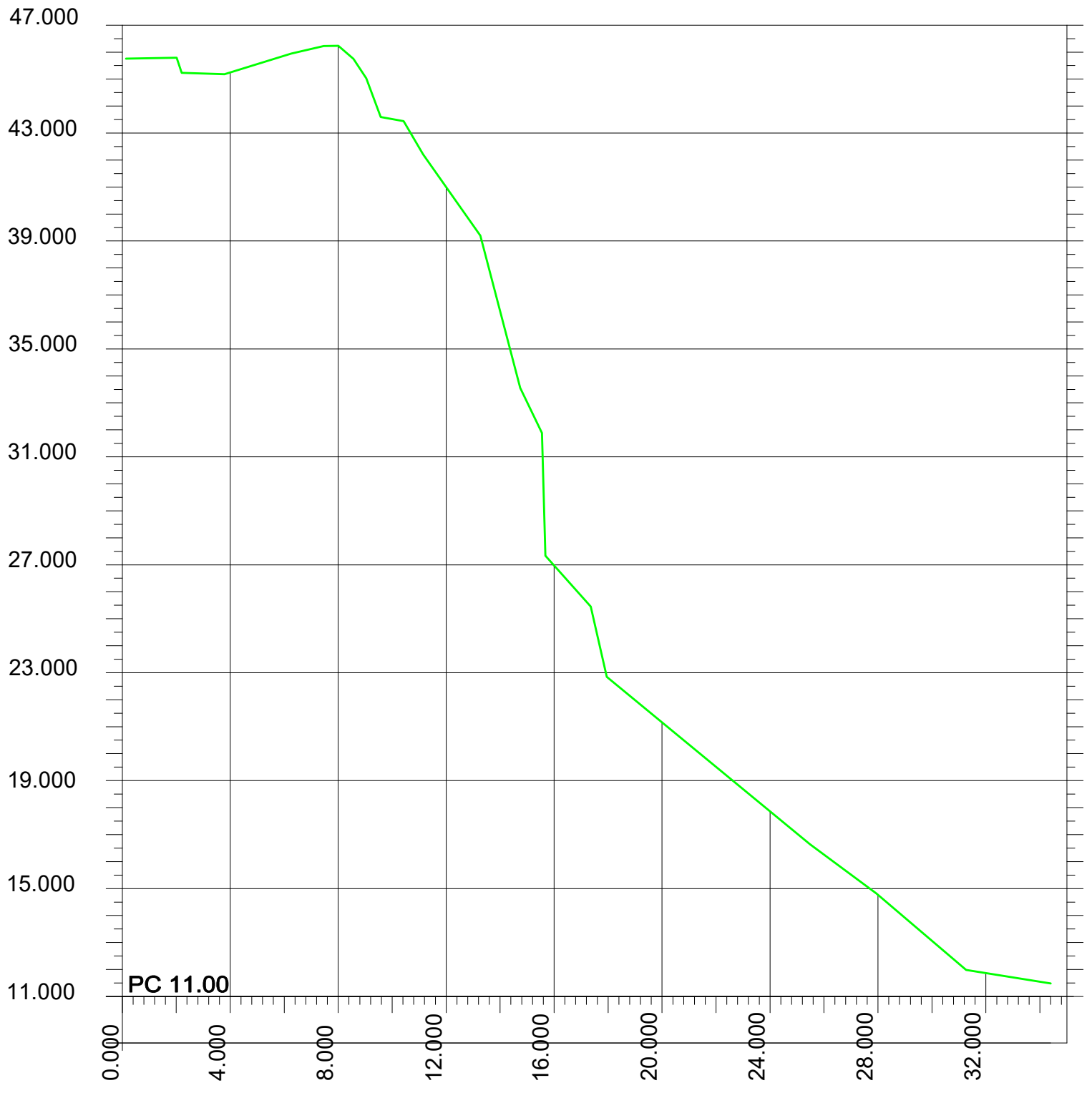
**PROFIL 6**

**PC 2.00**



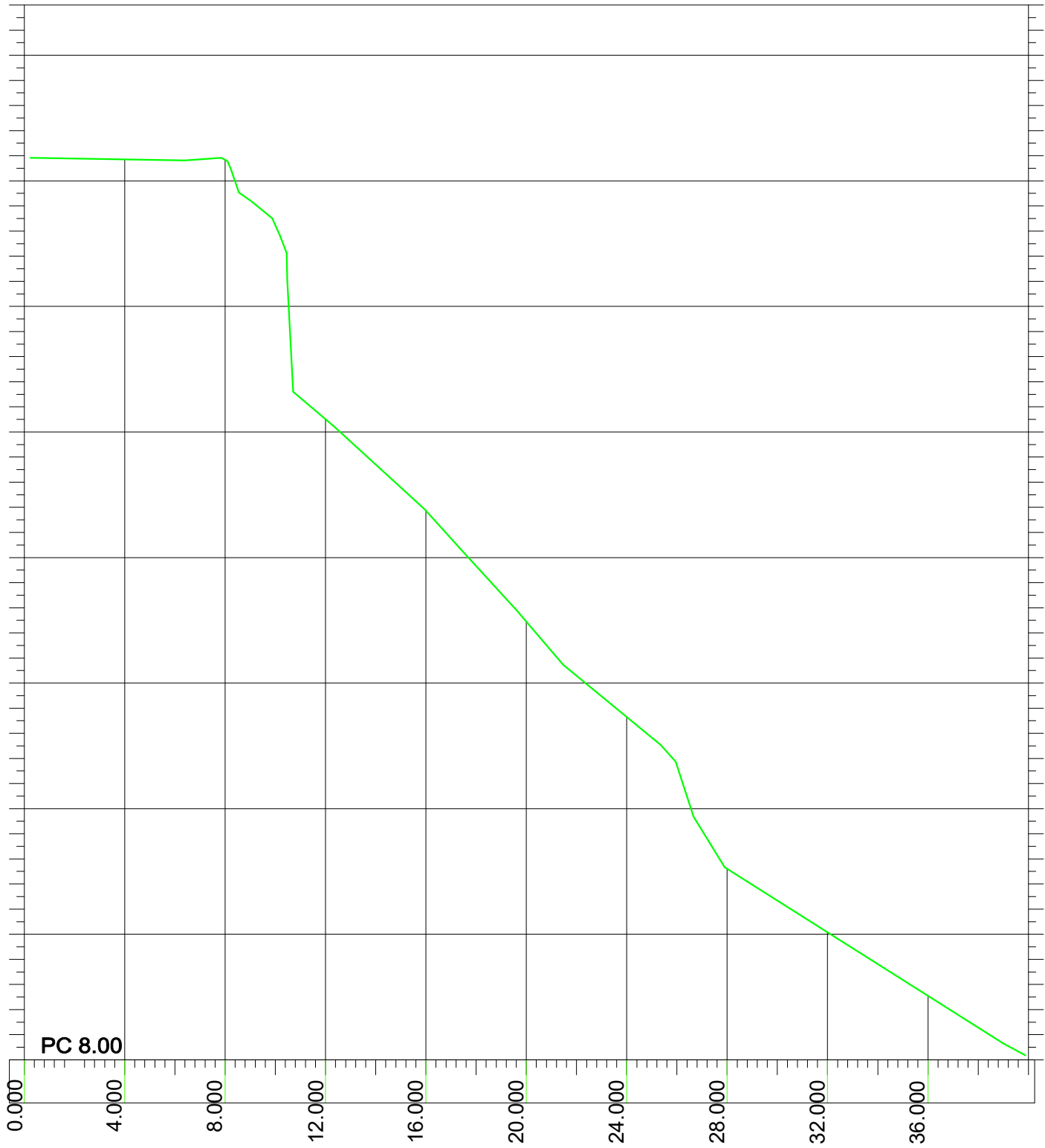


# PROFIL 7



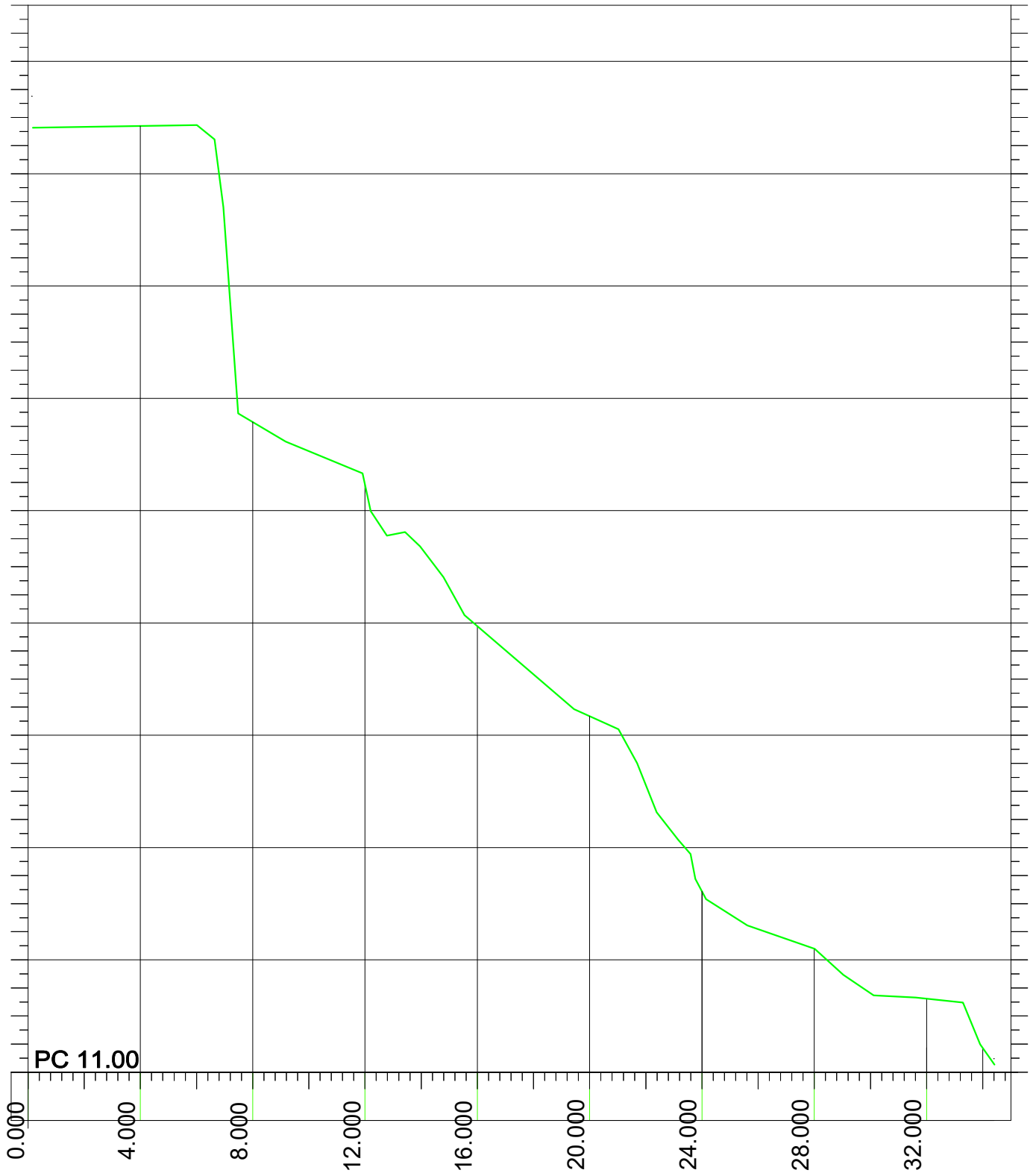
# PROFIL 8

48.000  
43.000  
38.000  
33.000  
28.000  
23.000  
18.000  
13.000  
8.000



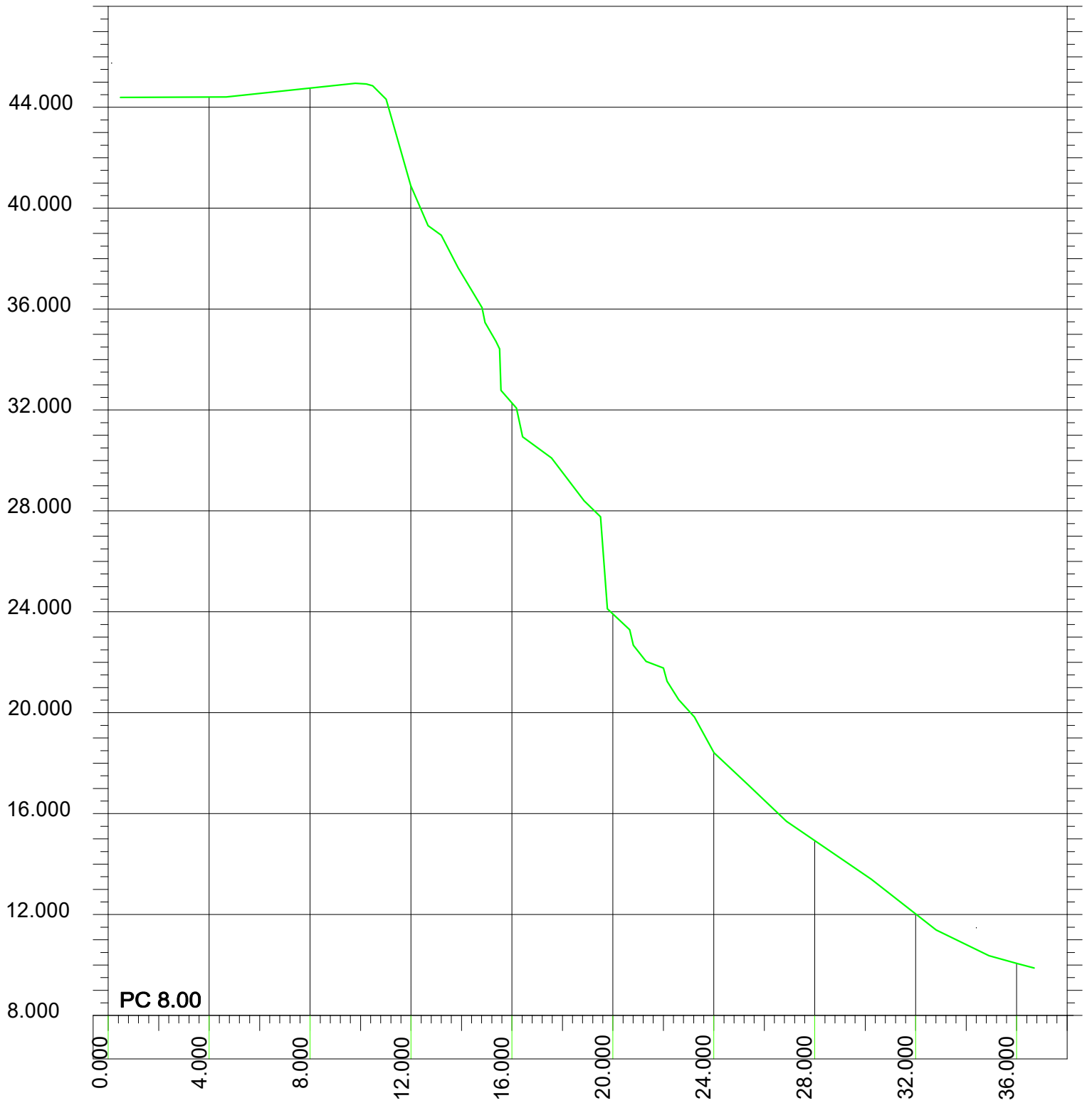
PC 8.00

# PROFIL 9



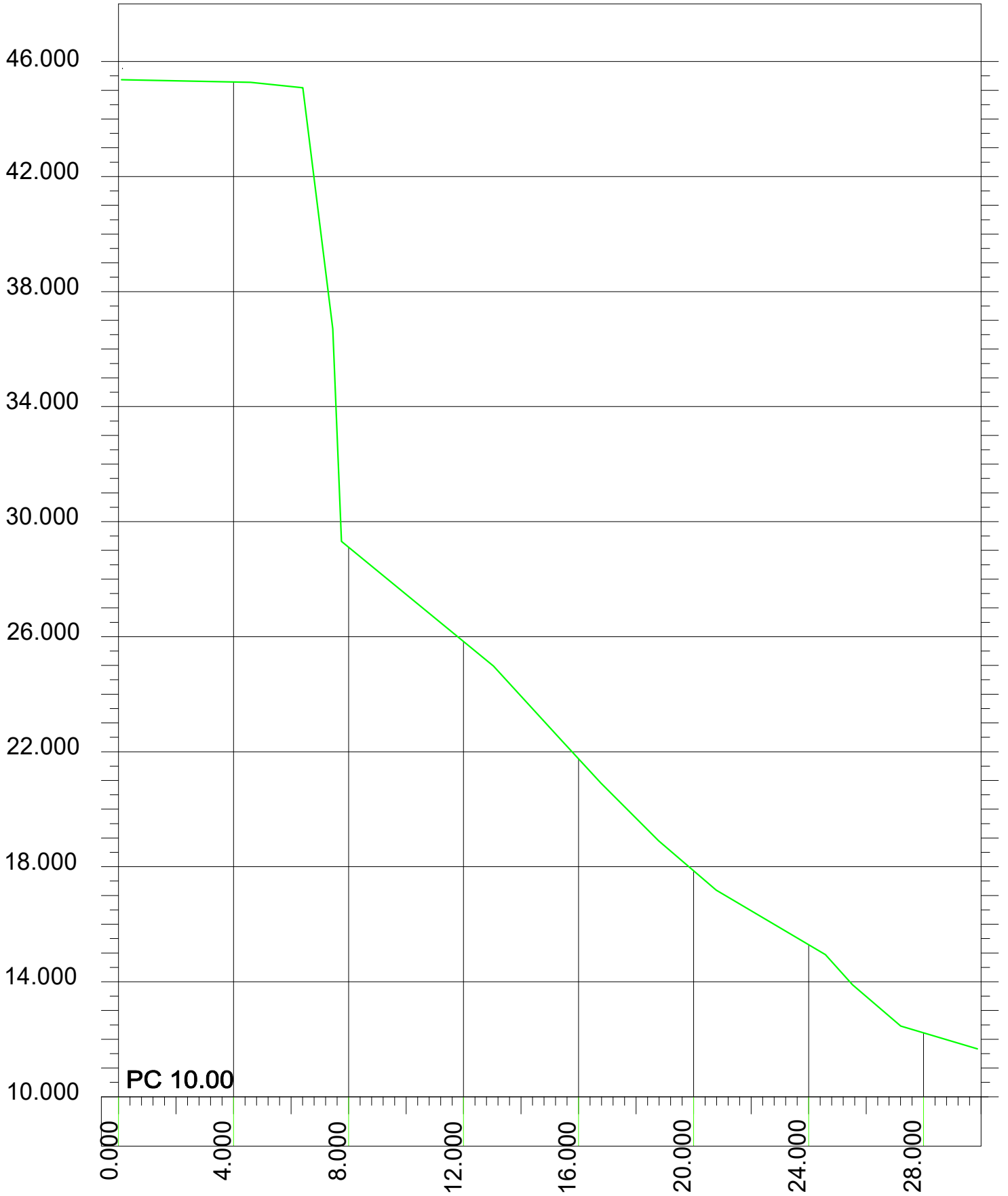


# PROFIL 10

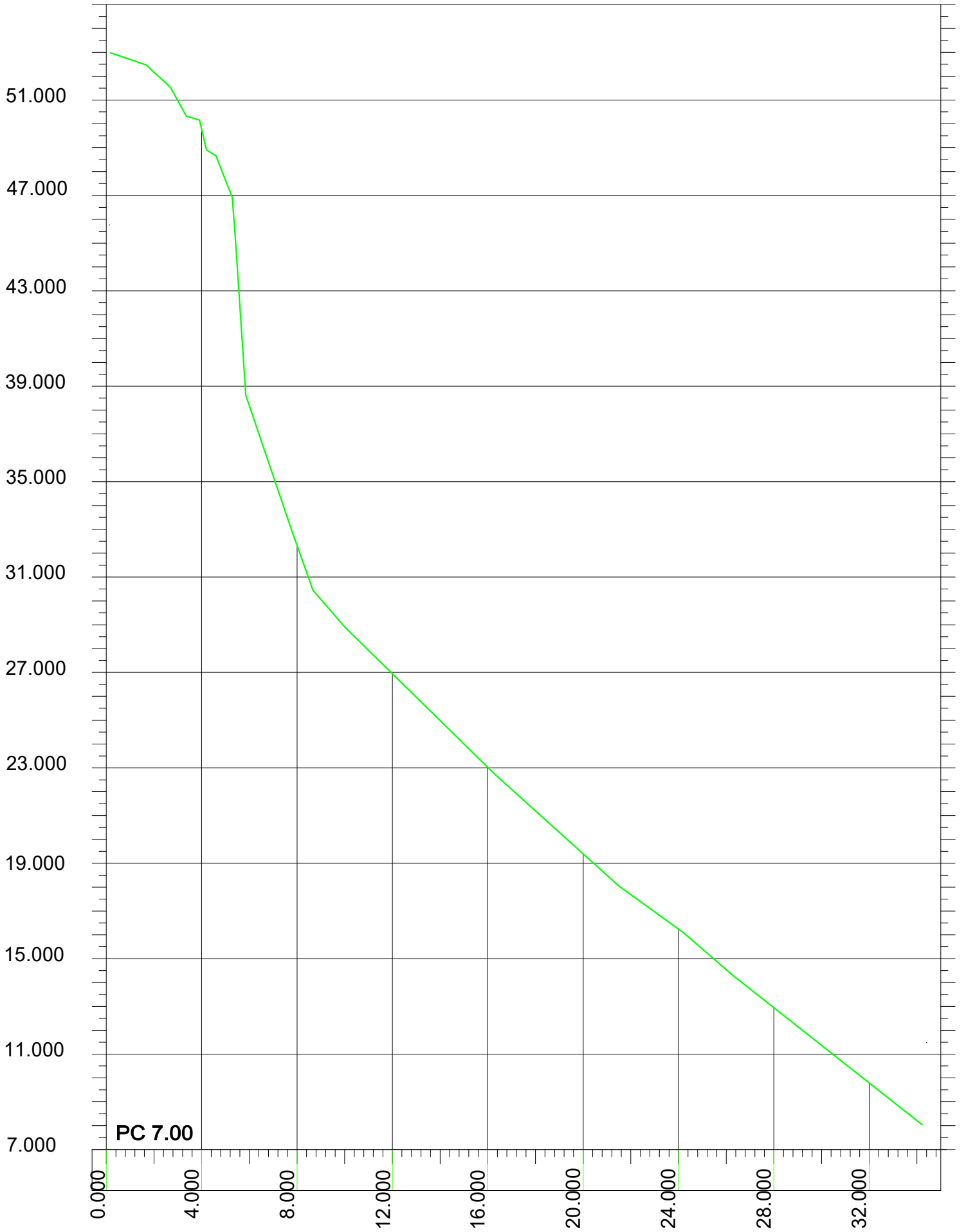


PC 8.00

# PROFIL 11



# PROFIL 12



PC 7.00



Annexe III : **Cartes d'aléa mouvement de terrain du BRGM**