



Document à accès immédiat

Rapport d'expertise sur l'éboulement du 17 mai 2023 quartier Barqueroute au 11 allée de la Falaise à Carry-le-Rouet

Rapport final

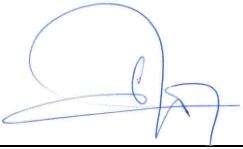
2113-21-6766-13-0
BRGM/RP-72786-FR

Version 1 du 6 juin 2023

Expertise réalisée dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations

Marçot N.

Vérificateur

Nom : COLAS Bastien
Fonction : Ingénieur géotechnicien
Date : 01/06/2023
Signature : 

Approbateur

Nom : DUHAMEL-ACHIN Isabelle
Fonction : Directrice régionale PACA
Date : 05/06/2023
Signature : 

Déclaration

Ce rapport est le produit d'une expertise institutionnelle qui engage la responsabilité civile du BRGM. Il constitue un tout indissociable et complet ; une exploitation partielle ou sortie du contexte particulier de l'expertise n'engage pas la responsabilité du BRGM.

La diffusion des rapports publics est soumise aux conditions de communicabilité des documents, définie en accord avec le demandeur. Les conditions d'accès, de diffusion et de réutilisation du document sont régies par les dispositions en vigueur prévues dans le CRPA et le code de l'environnement.

Le BRGM a mis en place un dispositif de déontologie visant à développer une culture de l'intégrité et de la responsabilité dans le quotidien de tous ses salariés.

- Après examen, il ressort qu'il n'existe aucun lien d'intérêt susceptible de compromettre l'indépendance et l'impartialité du BRGM dans la réalisation de cette expertise :
 - entre le BRGM et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise ;
 - entre les salariés du BRGM qui seront impliqués et l'objet ou les différentes parties prenantes de la présente expertise.
- Après examen, il ressort qu'il existe un lien d'intérêt entre le BRGM et l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise (cf. déclaration de lien d'intérêt en annexe).

Cependant, le BRGM atteste, grâce à la mise en place de son SMQE et de son dispositif de déontologie, que la réalisation de la présente expertise n'est en rien influencée par le lien d'intérêt identifié.

Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui n'ont, à titre individuel, aucun lien d'intérêt avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise, de façon à en préserver l'indépendance et l'impartialité.

- Le BRGM confie la réalisation de cette expertise à des salariés qui présentent un lien d'intérêt déclaré (cf. déclaration de lien d'intérêt jointe en annexe) avec l'objet ou l'une des parties prenantes de la présente expertise et atteste que l'existence de ce(s) lien(s) ne présente aucun risque de compromettre leur neutralité..

Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctq> ou par ce code :



Mots clés : Expertise, Appuis aux administrations, Mouvement de terrain, Éboulement, Falaise, Littoral, Érosion, Carry-le-Rouet, Bouches-du-Rhône.

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

Marçot N. (2023) – Rapport d'expertise sur l'éboulement du 17 mai 2023 quartier Barqueroute au 11 allée de la Falaise à Carry-le-Rouet. Rapport final V1. BRGM/RP-72786-FR, 38 p., 23 ill., 1 ann.

Synthèse

Contexte :

Date de la formulation de la demande d'expertise au BRGM : 22 mai 2023

Demandeur : DDTM13

Situation : Commune de Carry le Rouet, Département des Bouches-du-Rhône (13)

Nature de l'intervention du BRGM : expertise suite à mouvement de terrain avec visite de site

Phénomènes ayant motivé l'intervention du BRGM : éboulement de la falaise en date du 17 mai 2023 concernant la parcelle AX92.

Nature de l'expertise / question posée :

- identifier l'origine des phénomènes ;
- évaluer le niveau de risque résiduel ;
- émettre des recommandations de sécurisation ;

Sources d'informations :

Les bases de données suivantes ont été consultées :

- BD Mouvements de terrain (Mvts) de Géorisques ;
- BD Cavités ;
- Banque de Données du Sous-Sol (BSS).

Les documents suivants, ainsi que leurs annexes, ont été examinés :

- rapports BRGM RP-64069-FR projet VALSE ; RP-52829-FR (2004) Aléa instabilités de falaises côtières et RP-62643-FR (2014) sur l'actualisation des connaissances ;
- rapport ANTEA « CARRY LE ROUET - Caractérisation des risques liés aux chutes de masses rocheuses Juillet 2010 -58876/A MAIRIE DE CARRY LE ROUET Boulevard Moulins 13620 CARRY LE ROUET ;
- rapport ANTEA « Carry-le-Rouet (13) – Lotissement de Barqueroute - Falaises du littoral – Diagnostic et avant-projet de sécurisation Mission G5+G2-AVP Novembre 2016 Rapport n° 84874/B ;
- avis de collège d'experts Aristide KAÏDONIS, Yves GLARD pour mise en sécurité et procédure d'urgence ;
- CETE Méditerranée (février 2008) – Mairie de Carry-le-Rouet. Avis suite à écroulement de falaise ;
- CETE Méditerranée (juin 2001) - Commune de CARRY-le-ROUET SENTIER LITTORAL Secteur « Port de CARRY - Port du ROUET » Détermination de l'aléa chutes de pierres et de masses rocheuses, Recherche de solutions de mise en sécurité - Dossier N° 15948.01.

Conclusions/Recommandations du BRGM :

L'éboulement qui s'est produit le 17 mai 2023 a touché principalement la parcelle AX92 du lotissement de Barqueroute et affecté une surface de jardin de 6 m² avec un volume total mobilisé d'environ 30 m³. Cet éboulement est caractéristique des formations géologiques du Miocène qui, du fait de l'alternance calcaire/calcarénite et marnes/sables, génère une érosion appelée « érosion différentielle » avec mise en surplomb des niveaux indurés par rapports aux niveaux plus tendres. Cette érosion différentielle entraîne la déstabilisation progressive par ruptures successives des surplombs rocheux et des chutes de blocs jusqu'à retrouver une pente homogène sans reliefs différenciés, avant une nouvelle phase d'érosion. Deux barres de calcaire/calcarénite supérieures de la formation de Carry seraient donc responsables de l'éboulement.

Les facteurs de prédispositions relevés ici sont donc la géologie avec l'alternance lithologique amenant une érosion différentielle marquée à l'origine de la mise en surplomb des niveaux indurés et notamment des deux barres calcaires identifiées ; la fracturation, même si peu visible ou difficile à observer, d'échelle métrique, qui génère un découpage de compartiments qui n'excèdent donc pas le m³ ; la morphologie qui découle directement des facteurs précédents (géologie et fracturation), et montre des falaises subverticales en érosion constante avec, après chaque éboulement le retour à une pente d'équilibre avant une nouvelle phase d'érosion.

Les facteurs déclenchants pourraient être la circulation naturelle d'eau dans le massif qui altère fortement les formations géologiques et déstabilisent les joints stratigraphiques subhorizontaux ; l'apport d'eau d'origine anthropique (canalisations pluviales ou autres, fuites de piscine, etc....) qui renforcent l'altération des formations géologiques, notamment les formations indurées, et érodent les formations plus tendres plus rapidement ; dans une moindre mesure les forçages météorologiques et marins (embruns, pluie et ruissellement, houle en pied de versant...) qui fragilisent le massif et en particulier la falaise en surface.

En conclusion, c'est le couplage entre la perte de « résistance » des ponts rocheux, la matrice liée à la « fatigue » de la roche (par l'altération et les facteurs permanents comme les micro fissures) et un déclencheur (franc, faible ou parfois inexistant), qui génère ce type d'éboulement régulier sur ces falaises.

Il faut distinguer **consécutivement à l'éboulement** :

- un **risque résiduel pour la parcelle en amont = recul** (jardin principalement, voir piscine qui se situe à 3,5 mètres de l'arrachement) par la mise en surplomb d'un certain nombre d'éperons rocheux et le risque de nouvelles chutes de blocs entraînant à nouveau une partie de la parcelle en bordure de falaise :
 - à très court terme (dans les 2 ans) on peut s'attendre à une mise à l'équilibre de la tête de talus par régressions successives. Une pente en tête de l'ordre de 1/1 (45°) peut être considérée comme sécuritaire vis-à-vis de ce recul. Dans ces conditions, une bande de 3 m depuis la zone d'arrachement peut être considérée comme exposée,
 - à moyen à long terme, suite au processus d'érosion différentielle décrit, la mécanique de recul au moins aussi important que celui observé est à redouter ;
- un **risque résiduel pour les personnes en pied de falaise = propagation** (passage sauvage non balisé mais très utilisé par les promeneurs malgré les panneaux d'information indiquant un risque de chute de blocs) avec d'une part la mise en surplomb d'éperons rocheux potentiellement instables (cf. ci-dessus), ainsi que la remobilisation de blocs déposés sur la pente constituée elle-même d'anciens- et récents dépôts de l'éboulement, et donc elle aussi instable en cas de pluie pouvant entraîner des ravinements et glissements de terrain superficiels.

En dehors de la zone de l'éboulement, et ce tout le long de la falaise, on note la présence des deux barres décrites, qui concernent plusieurs parcelles (AX87, AX89, AX90, AX91, AX92, AX93) y compris la parcelle concernée par l'éboulement du 17 mai 2023. La visite de la parcelle voisine (AX93) a d'ailleurs permis d'observer une mise en surplomb de l'extrémité Est du jardin en bordure de la clôture avec la parcelle AX92, et notamment en facteur aggravant la pose de bacs en béton rajoutant du poids sur le terrain.

Enfin, les éventuelles fuites ou rejets d'eau d'origine anthropique (piscine, arrosage de jardins/jardinières, sorties d'eau pluviale) sur toutes les parcelles concernées et citées ci-dessus, pourraient contribuer également à déstabiliser les terrains d'assise et donc à terme la falaise, en particulier au droit de la propriété voisine à la propriété concernée par l'éboulement, à savoir AX93.

Il est recommandé :

- **immédiatement :**

- sécuriser les abords de l'éboulement sur les parcelles AX92 et AX93 par la mise en place de barrières provisoires et rubalise à 3 mètres de distance de la falaise, interdisant ainsi l'accès à la bordure de la falaise. Si ce périmètre de sécurité doit être pérennisé, l'installation d'une barrière fixe, permanente et rigide, est à envisager,
- mettre en place un arrêté municipal interdisant l'accès au pied de la falaise, avec affichage aux deux extrémités d'accès : Ouest au niveau de la calanque du Bouchon et Est au niveau de l'accès depuis l'Anse du Rouet,
- inspecter l'ensemble des abords de la piscine (AX92) pour vérifier l'absence de fuite et si besoin, le cas échéant, les colmater,
- supprimer les rejets d'eau côté falaise sur les parcelles AX92 et AX93, y compris la canalisation d'eau pluviale. En cas d'impossibilité, des dispositifs guidant l'eau en pied de falaise seront à prévoir.

À cela s'ajoutent d'autres recommandations :

- **à très court terme (dans les 2 ans) :**

- le pin décrit sur la parcelle AX83, penché, en bordure de falaise, pour ne pas générer de force supplémentaire sur le terrain par grand vent, de manière générale, tout arbre situé à moins d'un mètre de la bordure de falaise doivent être supprimé,
- dans la mesure où, dans la configuration actuelle de la falaise comportant des habitations et piscines en amont, et sans solution dites « souples » possibles (cf. Guide Côte Bleue, 2022), il devient nécessaire d'engager une étude géotechnique pour la sécurisation du site. *a priori* il s'agira de :
 - ✓ réaliser des purges au niveau de la zone éboulée et en limite de plate-forme pour éliminer le risque immédiat de régression et limiter les atteintes en pied de versant ;
 - ✓ réaliser des travaux de confortement adaptés pour une sécurisation à plus long terme : un dispositif similaire à celui réalisé sur la parcelle voisine semble adapté – paroi clouée et/ ou béton projeté). Il est important de s'assurer de la stabilité interne d'un tel ouvrage et de sa stabilité externe (en bloquant/limitant le processus d'érosion en pied de versant).

Au-delà de la zone de l'éboulement la problématique est identifiée sur la majeure partie du linéaire côtier dans ces contextes. La prise en compte du risque dans l'aménagement est à considérer en intégrant, si possible, les éventuels impacts du changement climatiques sur les reculs afin d'identifier clairement les enjeux exposés.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Contexte général	11
2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE	11
2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE	12
2.3. HISTORIQUE.....	14
3. Constat.....	17
4. Diagnostic.....	23
5. Risque résiduel.....	27
5.1. ZONE AMONT (PARCELLE)	28
5.2. ZONE AVAL (PLAGE).....	29
5.3. RISQUE HORS ZONE DE L'ÉBOULEMENT	29
6. Recommandations	33
7. Annexes	35

Liste des figures

Illustration 1 : Localisation (scan25) générale de la zone concernée (http://m.geoportail.fr/)	11
Illustration 2 : Localisation détaillée (ortho+cadastre) de la zone concernée par l'instabilité (http://m.geoportail.fr/)	11
Illustration 3 : Extrait de la carte géologique BRGM 1/50 000 (http://infoterre.brgm.fr) et localisation du site	12
Illustration 4 : Photo de l'éboulement (en pointillés rouges l'emprise totale de l'éboulement et en fond coloré rouge la zone d'arrachement) et coupe schématique de la falaise montrant les différents compartiments d'érosion différentielle (A et B)	13
Illustration 5 : Fracturation observée sur le front de falaise (en rouge), notamment de part et d'autre de la zone éboulée (en pointillés rouges), et stratigraphie montrant un léger pendage vers l'Ouest (en jaune).....	13
Illustration 6 : Description de l'événement du 13 février 2008 à proximité immédiate de l'événement du 17 mai 2023 © BRGM, 2008.....	14
Illustration 7 : Arrêtés de catastrophes naturelles (CATNAT) sur la commune de Carry-le-Rouet (source : ORRM PACA : https://www.observatoire-regional-risques-paca.fr)	15
Illustration 8 : Extrait de la cartographie d'aléa instabilités de falaises côtières au 1/10 000 sur le littoral à enjeux des Bouches-du-Rhône (source : Rapport BRGM/RP62643-FR, 2014)	16
Illustration 9 : Extrait du plan de zonage du PLUi établit par Aix Marseille Métropole sur la zone de l'éboulement.....	16
Illustration 10 : Évaluation du volume éboulé retracrit sur photo aérienne (http://m.geoportail.fr/) et sur les photos prises depuis le jardin et depuis le bateau en aval	17
Illustration 11 : État de la falaise avant l'événement (non daté), photo fournie par le propriétaire de la parcelle AX92.....	18

Illustration 12 : Arbre penché (pin) en bordure de falaise sur la parcelle AX93	18
Illustration 13 : Relevés des précipitation sur la station de Marignane (à 13 km au nord de Carry-le-Rouet) Source : https://meteofrance.com/climat/releves/france/provence-alpes-cote-d-azur/marignane).....	19
Illustration 14 : a : sortie d'évacuations au-dessus de la falaise parcelle AX92, b : regard à proximité de la falaise parcelle AX92, c : sortie de canalisation des eaux pluviales sur parcelle AX93 et d : illustration de la voirie en amont des deux parcelles AX92 et AX93 drainant toute les eaux pluviales qui arrivent dans la canalisation.	20
Illustration 15 : Dommages visibles avec chute de la balustrade.....	21
Illustration 16 : Béton projeté sur l'éboulement du 13 février 2008 à l'Est de l'éboulement du 17 mai 2023 (et vue depuis le dessus, en direction de l'Est, depuis la parcelle AX92).	23
Illustration 17 : Barres de la « formation de Carry » en partie supérieure de la falaise à l'origine de l'éboulement.....	24
Illustration 18 : Modèle conceptuel de l'érosion annuelle des falaises de Carry-le-Rouet © Giuliano.....	25
Illustration 19 : Diagramme de Hantz	25
Illustration 20 : Mise en évidence d'éperons rocheux en surplomb suite à l'éboulement et considérés comme un risque résiduel.....	27
Illustration 21 : Mise en évidence d'éperons rocheux en surplomb suite à l'éboulement considérés comme un risque résiduel.....	28
Illustration 22 : Parcelles concernées par les deux barres rocheuses de la « formation de Carry » composées de marnes et calcaires, avec le calcaire en surplomb	30
Illustration 23 : Surplomb observé depuis la parcelle AX93 et bacs en béton en bordure de falaise	31

Liste des annexes

Annexe 1 :.....	37
-----------------	----

1. Introduction

La DDTM13 a sollicité le BRGM le 22 mai 2023 pour émettre un avis technique suite à l'éboulement survenu le 17 mai 2023 sur le territoire de la commune de Carry-le-Rouet dans le quartier résidentiel de Barqueroute. Les points à traiter dans la présente expertise sont les suivants :

- identifier si possible la cause de l'instabilité constatée ;
- évaluer le niveau de risques résiduels ;
- établir des recommandations en matière de sécurisation.

Ce diagnostic a été établi par un intervenant expert spécialisé en risques gravitaires du BRGM de la Direction Régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur. Il s'appuie sur des observations visuelles effectuées lors d'une visite du site réalisée le 23 mai 2023 au niveau de la parcelle concernée (AX92), en présence notamment de représentants de la commune de Carry-le-Rouet (Directeur des Services Techniques des grands travaux), de la DDTM13 ainsi que des propriétaires concernés ainsi que ceux de la parcelle voisine AX93 également visitée. Une deuxième visite a été réalisée à la demande du BRGM le 24 mai 2023 en pied de falaise depuis un bateau mis à disposition par la Commune, en présence de représentants de la commune et de la DDTM13, pour mieux observer l'éboulement et l'état de la falaise depuis la mer. En complément, une analyse des informations disponibles relatives au contexte général et local est menée au travers de la consultation des bases de données publiques accessibles et des rapports techniques antérieurs produits sur ce site :

- rapports BRGM RP-64069-FR projet VALSE ; RP-52829-FR (2004) Aléa instabilités de falaise côtières et RP-62643-FR (2014) sur l'actualisation des connaissances ;
- rapport ANTEA « Caractérisation des risques liés aux chutes de masses rocheuses Juillet 2010 - 58876/A MAIRIE DE CARRY LE ROUET Boulevard Moulins 13620 CARRY LE ROUET ;
- rapport ANTEA « Carry-le-Rouet (13) – Lotissement de Barqueroute - Falaises du littoral – Diagnostic et avant-projet de sécurisation Mission G5+G2-AVP Novembre 2016 - Rapport n° 84874/B ;
- avis de collège d'experts Aristide KAÏDONIS, Yves GLARD pour mise en sécurité et procédure d'urgence ;
- CETE Méditerranée (février 2008) – Mairie de Carry-le-Rouet. Avis suite à écroulement de falaise ;
- CETE Méditerranée (juin 2001) - Commune de CARRY-le-ROUET SENTIER LITTORAL Secteur « Port de CARRY - Port du ROUET » Détermination de l'aléa chutes de pierres et de masses rocheuses Recherche de solutions de mise en sécurité Dossier N° 15948.01.

La falaise n'a donc pas été observée ni atteinte directement en pied, l'accès étant jugé trop risqué. Un débriefing de l'expertise a été réalisé à l'issue de la visite, au cours duquel les principales mesures de sécurisation recommandées ont été formulées aux participants. Ces mesures ont par ailleurs fait l'objet d'un message électronique transmis à 14h23 le 24 mai 2023 (Annexe 1). L'expertise s'inscrit dans le cadre des missions d'Appui aux Administrations menées par le BRGM au titre de l'année 2023.

Ce rapport d'expertise ne constitue pas une étude géotechnique de détail mais pointe les éléments pouvant porter atteinte à la sécurité des personnes en particulier et des biens au droit du site expertisé. Il vise également à apporter les premières recommandations en matière de sécurisation, sur la base du diagnostic établi, recommandations qui ont pour partie au moins vocation à être complétées/précisées dans le cadre d'études complémentaires spécifiques.

2. Contexte général

2.1. SITUATION GÉOGRAPHIQUE

L'évènement de type éboulement s'est produit sur la commune de Carry-le-Rouet (21 allée de la Falaise) au niveau de la parcelle AX92 en bordure de falaise, au-dessus de la mer (Illustrations 1 et 2).



Illustration 1 : Localisation (scan25) générale de la zone concernée (<http://m.geoportail.fr/>)



Illustration 2 : Localisation détaillée (ortho+cadastre) de la zone concernée par l'instabilité (<http://m.geoportail.fr/>)

2.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET MORPHOLOGIQUE

D'après la carte géologique au 1/50 000 du BRGM (Illustration 3) et les observations réalisées, la zone concernée se situe sur les formations du Miocène avec de haut en bas à l'affleurement :

- les marnes et calcaires sur, *a priori*, 2 mètres maximum, en crête de falaise (m1a3 : Aquitanien supérieur, formation de Carry) ;
- les marnes et sables (m1a2 : Aquitanien moyen, formation saumâtre du Rousset) ;
- les marnes et calcaires (m1a1 : Aquitanien inférieur, formation du cap de Nautes).



Illustration 3 : Extrait de la carte géologique BRGM 1/50 000 (<http://infoterre.brgm.fr>) et localisation du site

Il n'a pas été trouvé de sondages voisins, extraits de la Banque des Données du Sous-sol (BSS) dans un rayon de moins d'1 km autour de la zone d'expertise, qui mettent en évidence la coupe géologique correspondant aux formations concernées par l'éboulement.

Du point de vue morphologique, le site est marqué par une falaise à l'aplomb de l'éboulement d'une vingtaine de mètres de hauteur, qui augmente en hauteur vers l'Est (jusqu'à 40 m de hauteur) et diminue vers l'Ouest. La morphologie montre une succession de niveaux stratigraphiques de type calcaire/calcarénite indurés et en surplomb, et en alternance avec des niveaux de marnes et sables plus tendres et donc plus fortement érodés. La fréquence de cette érosion différentielle varie selon les niveaux lithologiques, on distingue deux échelles (Illustration 4) :

- échelle métrique à pluri-métrique : ensembles globalement indurés avec des barres/niveaux de calcaires/calcarénites en relief par rapport à la falaise (A) ;
- échelle décimétrique : niveaux indurés de calcaires/calcarénites en relief par rapport à la falaise et les niveaux plus friables (B).

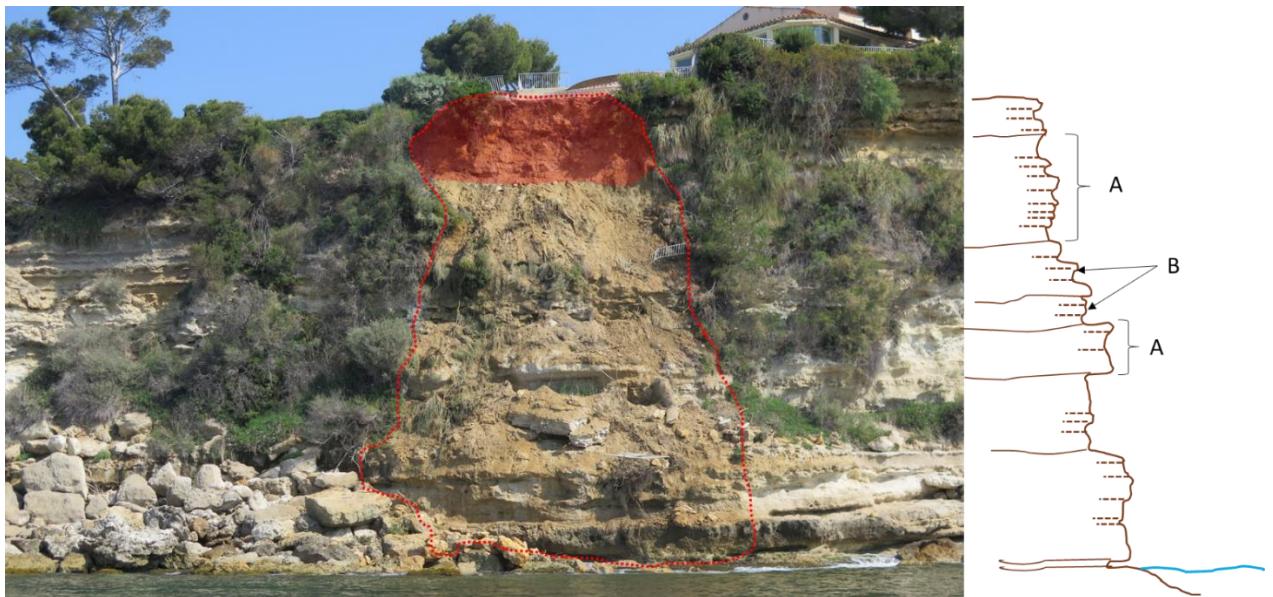


Illustration 4 : Photo de l'éboulement (en pointillés rouges l'emprise totale de l'éboulement et en fond coloré rouge la zone d'arrachement) et coupe schématique de la falaise montrant les différents compartiments d'érosion différentielle (A et B)

La falaise est orientée en N45° vers le Sud-Est. Le pendage stratigraphique (organisation des niveaux A et B) est légèrement penté vers l'Ouest d'une vingtaine de degrés (en jaune sur l'Illustration 5).

La fracturation est difficile à observer mais elle est bien présente et découpe des compartiments d'échelle métrique sur une orientation de fracturation autour de N120° à N160° rentrante dans le massif (Illustration 5).

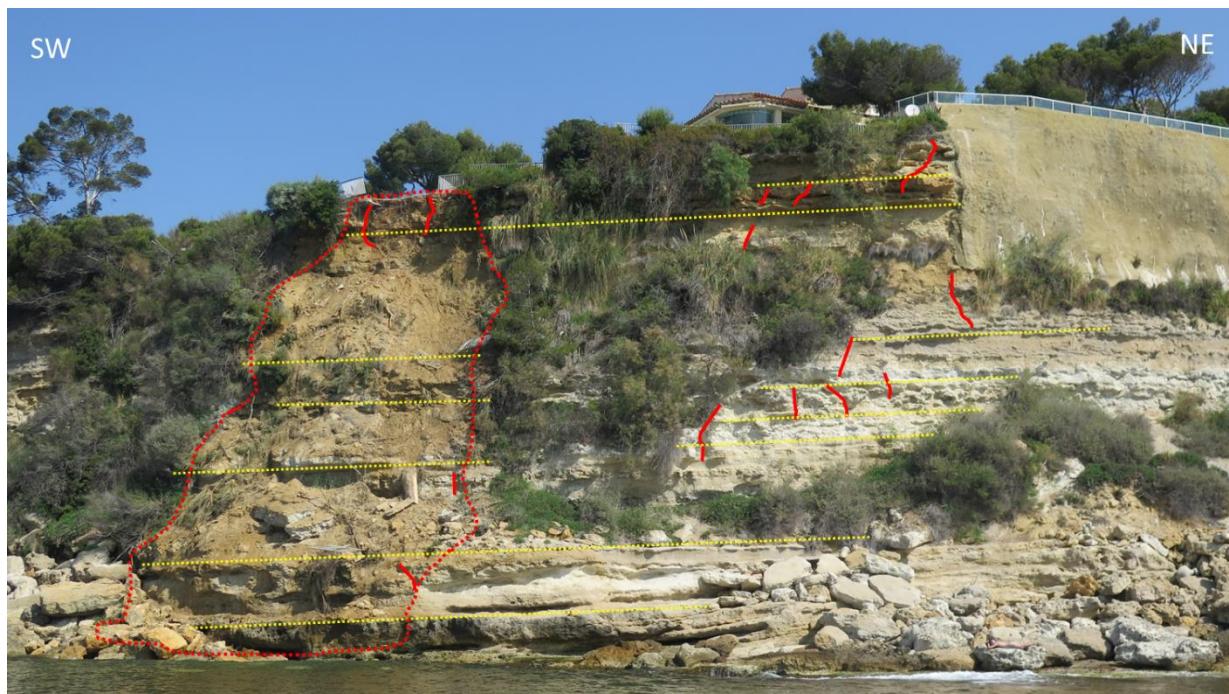


Illustration 5 : Fracturation observée sur le front de falaise (en rouge), notamment de part et d'autre de la zone éboulée (en pointillés rouges), et stratigraphie montrant un léger pendage vers l'Ouest (en jaune)

La pente de la falaise est subverticale en partie sommitale puis varie en fonction des niveaux érodés et des dépôts de terrain sur les barres en relief et en pied de pente.

Du point de vue hydrogéologique, le site est caractérisé par de nombreux niveaux de nappes perchées qui s'observent par des traces d'écoulement au niveau des joints stratigraphiques (le temps était beau et légèrement pluvieux orageux le 23, et sec le 24 pour l'observation de la falaise). Aucun écoulement actif n'a été observé pendant la visite. Il est également observé des traces d'écoulements également sur la partie confortée par du béton projeté au niveau des sorties de drains.

2.3. HISTORIQUE

La base de données nationale sur les mouvements de terrains (www.georisques.gouv.fr), gérée par le BRGM, mentionne 1 éboulement le 13 février 2008 à proximité à l'emplacement du béton projeté à l'Est immédiat de la zone éboulée (Illustration 6) : volume 500 m³, largeur 30 m, recul instantané 2,5 m en tête de falaise. Cet évènement a généré des travaux de protection (parement béton projeté et ancrage réalisé suite à l'éboulement de 2008.

Événement du 13 février 2008 – Carry-le-Rouet (13), falaise sud de Barqueroute



Illustration 6 : Description de l'événement du 13 février 2008 à proximité immédiate de l'événement du 17 mai 2023 © BRGM, 2008

La base de données nationale sur les cavités souterraines (www.georisques.gouv.fr) n'identifie pas la présence de cavités à proximité.

Hormis pour la sécheresse, inondations/coulées de boue et tempête, la commune n'a pas fait l'objet, à ce jour, d'arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour des phénomènes de mouvement de terrain (source <https://www.observatoire-regional-risques-paca.fr/mes-risques/risques-par-commune>) – Illustration 7).

The screenshot shows the ORRM (Observatoire Régional des Risques Majeurs) website interface. At the top, there are navigation links for 'Phénomènes', 'Info & réglementation', 'Ma région', 'Mes risques', 'Chiffres-clés', and 'Retours d'expériences'. A search bar is also present. The main title 'CARRY-LE-ROUET (Bouches-du-Rhône)' is displayed prominently. Below the title, the page header reads 'Arrêté de Catastrophe Naturelle* (CATNAT)'. There are three expandable sections: 'Sécheresse (2)', 'Inondations et/ou Coulées de Boue (3)', and 'Tempête (1)'. Each section contains a table with columns for Type de catastrophe, Début le, Fin le, Arrêté le, and JO du. The 'Sécheresse' section lists two events: one from 01/04/2017 to 30/09/2017 and another from 01/01/2006 to 31/03/2006. The 'Inondations et/ou Coulées de Boue' section lists three events: one from 10/09/2005 to 10/09/2005, another from 04/11/1994 to 06/11/1994, and a third from 06/11/1982 to 10/11/1982. The 'Tempête' section lists one event from 06/11/1982 to 10/11/1982. A note at the bottom of each section states: 'Attention : la procédure de reconnaissance de l'arrêté de catastrophe naturelle prenant un certain temps, il n'est pas fait mention ici des demandes de reconnaissances'.

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté le	JO du
Sécheresse	01/04/2017	30/09/2017	10/07/2018	27/07/2018
Sécheresse	01/01/2006	31/03/2006	07/10/2008	10/10/2008

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté le	JO du
Inondations et/ou Coulées de Boue	10/09/2005	10/09/2005	10/10/2005	14/10/2005
Inondations et/ou Coulées de Boue	04/11/1994	06/11/1994	21/11/1994	25/11/1994
Inondations et/ou Coulées de Boue	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté le	JO du
Tempête	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982

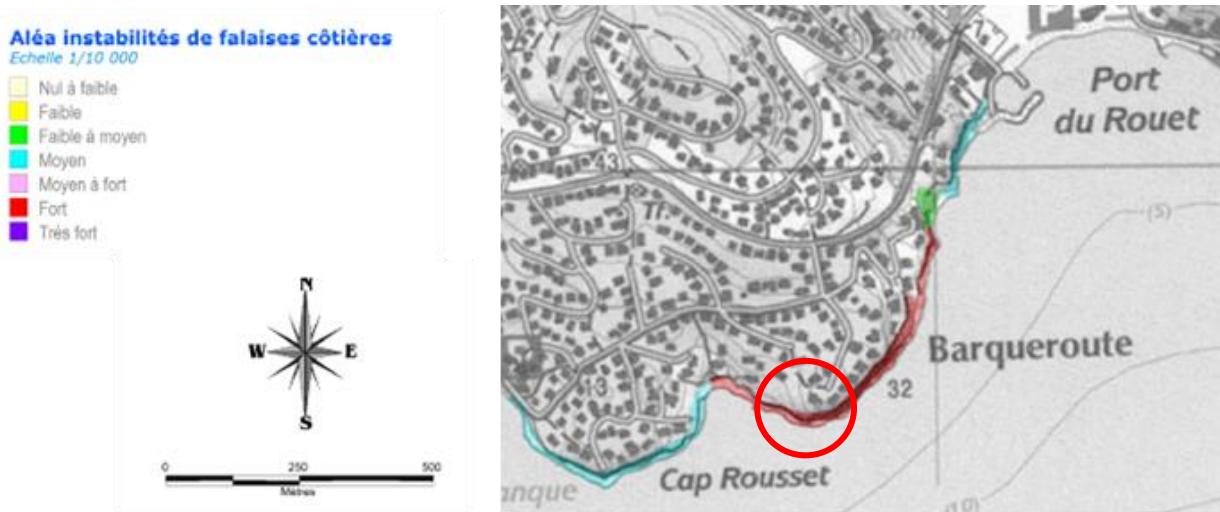
Illustration 7 : Arrêtés de catastrophes naturelles (CATNAT) sur la commune de Carry-le-Rouet
(source : ORRM PACA : <https://www.observatoire-regional-risques-paca.fr>)

La commune ne fait pas l'objet d'un zonage relatif aux mouvements de terrain de type PPR, PER, R11.3, ZERMOS.

En revanche, trois cartographies d'aléa mouvements de terrain de type instabilités de falaises côtières ont été réalisées par le BRGM depuis 2004 pour le compte de la Région Sud PACA, de la DREAL PACA, puis en 2014 de la DDTM13 (Illustration 8) :

- une cartographie de l'aléa instabilité de falaises côtières linéaire au 1/100 000 (validité 1/50 000) : rapport BRGM/RP-52829-FR (2004) ;

- une retranscription de cet aléa linéaire sur un trait de côté au 1/25 000 sur le littoral des Bouches-du-Rhône : rapport BRGM/RP-62643-FR (2014) ;
- une amélioration de la connaissance en terme d'aléas instabilités de falaises côtières sur les zones à enjeux du littoral des Bouches-du-Rhône, au 1/10 000, sous la forme d'un zonage surfacique : rapport BRGM/RP-62643-FR (2014) ;



Sources : Fonds de plan : SCAN 25 IGN, BD Topo IGN - Données : BRGM/RP-62643-FR

Illustration 8 : Extrait de la cartographie d'aléa instabilités de falaises côtières au 1/10 000 sur le littoral à enjeux des Bouches-du-Rhône (source : Rapport BRGM/RP-62643-FR, 2014)

Ces informations ont ensuite été intégrées dans un Porté à Connaissance par la DDTM13 puis dans le PLUI par la Métropole (Illustration 9)

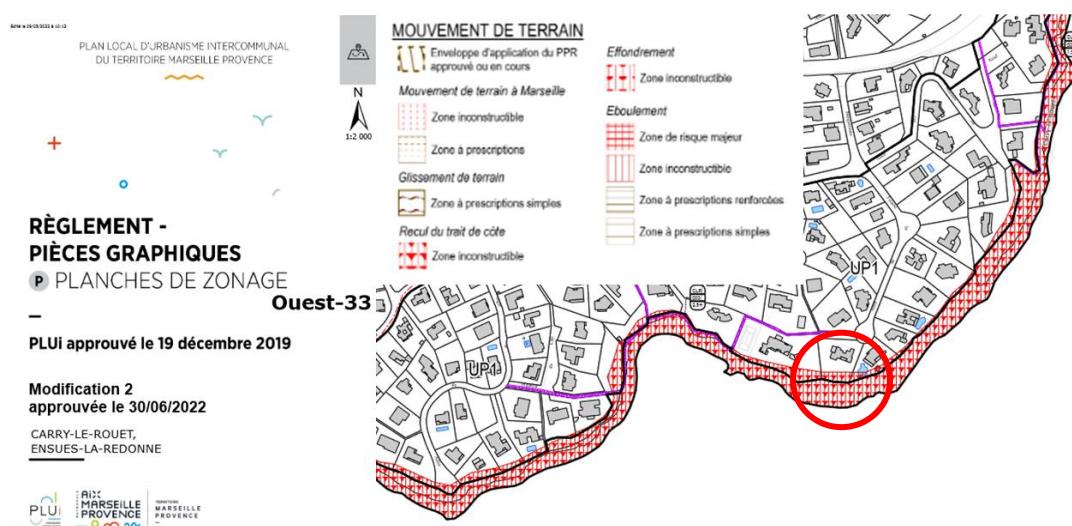


Illustration 9 : Extrait du plan de zonage du PLUI établit par Aix Marseille Métropole sur la zone de l'éboulement

3. Constat

L'éboulement qui s'est produit le 17 mai 2023 a touché principalement la parcelle AX92 du lotissement de Barqueroute et affecté une surface de jardin de 6 m de longueur sur au maximum de l'arrachement 1 m de largeur, située en bordure de falaise. D'après l'évaluation, la zone de départ affecte 5 mètres de falaise en hauteur sur sa partie supérieure soit un volume total mobilisé d'environ 30 m³ (Illustration 10).



Illustration 10 : Évaluation du volume éboulé retracé sur photo aérienne (<http://m.geoportail.fr/>) et sur les photos prises depuis le jardin et depuis le bateau en aval

Les observations faites montrent que seule la zone supérieure de la falaise (5 mètres de hauteur) aurait été mobilisée, concernant ainsi :

- les marnes et calcaires de la formation de Carry (m1a3 : Aquitanien supérieur) sur 2 mètres maximum, en crête de falaise correspondant à deux barres indurées de calcaire et/ou de calcarénite (secteur inaccessible), l'une rougeâtre et l'autre plus claire, avec un aspect encroûté, altéré et qui montrent encore un léger surplomb ;
- les marnes et sables de la formation saumâtre du Rousset (m1a2 : Aquitanien moyen) seulement sur quelques mètres (environ 3 m), correspondant à un niveau plus tendre et plus clair de sable et peut-être de marnes (secteur inaccessible).

L'ensemble de ces matériaux (marnes, sables, calcaire et calcarénite) ont ensuite été déposés lors de l'éboulement sous la forme de dépôts bien visibles sur les niveaux inférieurs qui forment localement des surplombs.

Une photographie fournie par les propriétaires de la parcelle AX92 montre parfaitement bien la barre rocheuse en surplomb à l'origine de l'éboulement (Illustration 11).



Illustration 11 : État de la falaise avant l'événement (non daté), photo fournie par le propriétaire de la parcelle AX92

Comme énoncé ci-dessus, la fracturation subverticale orientée entre N120° et N160°, et pénétrant dans le massif, est de fréquence métrique, est présente, mais difficile à observer (Illustration 5).

Il n'a pas été observé d'écoulements d'eau lors de la visite, mais comme rappelé en contexte général, de nombreuses traces d'écoulements sont visibles depuis les inter-bancs stratigraphiques, ainsi qu'en sortie de drains sur le béton projeté plus à l'est. Il existe donc bien une circulation d'eau naturelle dans le massif.

Sur la parcelle A93, il est à noter la présence d'un arbre de grande hauteur (un pin), penché, en bordure de la falaise, mais pas au-dessus du surplomb (Illustration 12)



Illustration 12 : Arbre penché (pin) en bordure de falaise sur la parcelle AX93

Il n'a pas été observé non plus de pluies particulièrement intenses les jours précédents l'événement (17/05/2023) sur les relevés Météo France de la station de Marignane à 13 km au nord de Carry-le-Rouet (Illustration 13).



CLIMAT MARIGNANE - RELEVES

Mai 2023 ▾ 10 dernières années ▾

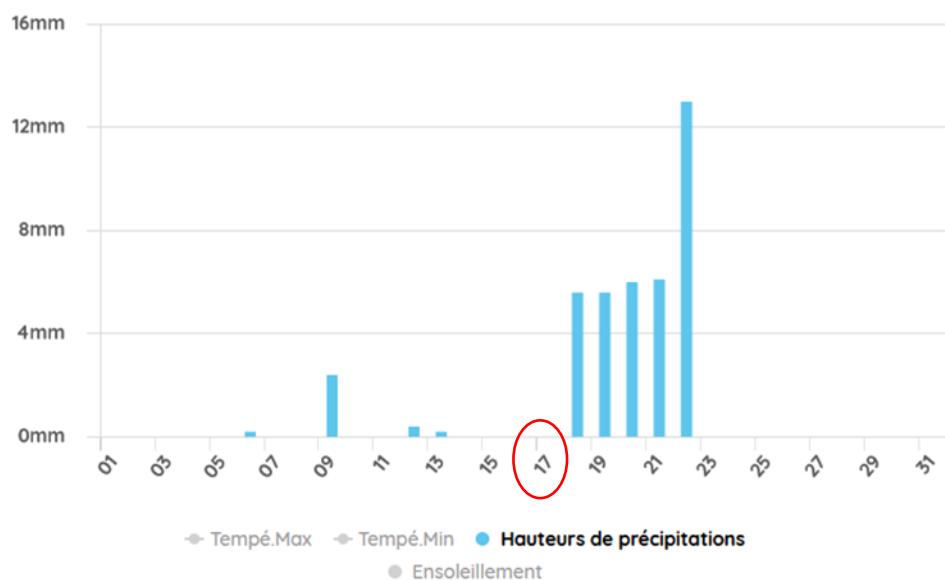


Illustration 13 : Relevés des précipitations sur la station de Marignane (à 13km au nord de Carry-le-Rouet)
Source : <https://meteofrance.com/climat/releves/france/provence-alpes-cote-d-azur/marignane>)

En revanche, il a été observé plusieurs sorties de drains et regards aux abords de la falaise :

- deux évacuations sur la parcelle AX92 (Illustration 14a) en sortie de jardin, mis à jour par l'éboulement ;
- un regard à proximité des deux évacuations précédentes (Illustration 14b) ;
- une sortie de canalisation d'eaux pluviales depuis la parcelle voisine à l'ouest AX93 (diamètre 300 mm) rejetant les eaux directement sur la falaise (Illustration 14c) et récupérant l'ensemble des eaux pluviales de la voirie en amont (Illustration 14d).



Illustration 14 : a : sortie d'évacuations au-dessus de la falaise parcelle AX92, b : regard à proximité de la falaise parcelle AX92, c : sortie de canalisation des eaux pluviales sur parcelle AX93 et d : illustration de la voirie en amont des deux parcelles AX92 et AX93 drainant toute les eaux pluviales qui arrivent dans la canalisation.

En termes de dommages, la chute des 30 m³ de rochers a entraîné une surface de jardin d'environ 6 m² ainsi que les 6 mètres linéaires de balustrade. Deux parties étaient d'ailleurs encore bien visibles dans les matériaux éboulés le jour de l'expertise, le 24 mai (Illustration 15).



Illustration 15 : Dommages visibles avec chute de la balustrade.

Avant notre venue du 23 mai, et très rapidement suite à l'éboulement, la Mairie a installé une rubalise pour interdire les abords de la falaise depuis la parcelle AX92.

Suite à notre passage :

- l'interdiction d'accès a été prolongée sur la parcelle AX93 et portée à 5 mètres du bord de falaise ;
- un arrêté municipal est en cours pour interdire l'accès en pied de falaise aux promeneurs.

4. Diagnostic

L'éboulement qui s'est produit est caractéristique des formations géologiques du Miocène qui, du fait de l'alternance de calcaire/calcarénite et marnes/sables, génère une érosion appelée « érosion différentielle » avec mise en surplomb des niveaux indurés par rapports aux niveaux plus tendres, et qui entraîne la déstabilisation des surplombs et des chutes de blocs jusqu'à retrouver une pente homogène sans reliefs différenciés, avant une nouvelle phase d'érosion. Cette morphologie se retrouve sur tout le linéaire rocheux de Carry-le-Rouet, principalement entre les falaises du Rouet (à la limite Oligocène – Miocène) à l'Est et le Rouveau sur la commune de Sausset-les-Pins à l'Ouest.

L'éboulement s'est produit à proximité immédiate d'un ancien éboulement survenu le 13 février 2008, sur le même mécanisme de mise en surplomb par érosion différentielle, qui avait lui emporté 500 m³ de rochers à cheval sur les parcelles AX92 et AX91 et qui, aujourd'hui, a été conforté avec du béton projeté depuis la falaise de la parcelle AX92 jusqu'à la parcelle AX91 (Illustration 16).



Illustration 16 : Béton projeté sur l'éboulement du 13 février 2008 à l'Est de l'éboulement du 17 mai 2023 (et vue depuis le dessus, en direction de l'Est, depuis la parcelle AX92).

On observe sur la cicatrice de l'éboulement que les deux barres calcaire/calcarénite supérieures de la formation de Carry, rougeâtres et qui paraissent encroutées et altérées (comme cela est décrit dans la description géologique de la carte géologique locale) sont présentes tout le long de la falaise (Illustration 17), et montrent un surplomb assez marqué en bordure et donc directement sous les jardins exposés. Ces deux barres seraient donc responsables de l'éboulement dans le sens où leur mise en surplomb à proximité immédiate des jardins entraîne, lors de sa déstabilisation, des surfaces de parcelles concernées.



Illustration 17 : Barres de la « formation de Carry » en partie supérieure de la falaise à l'origine de l'éboulement.

Les facteurs de prédispositions relevés ici sont donc :

- la géologie avec l'alternance lithologique amenant une érosion différentielle marquée à l'origine de la mise en surplomb des niveaux indurés et notamment des deux barres calcaires identifiées ci-dessus ;
- la fracturation, même si peu visible ou difficile à observer, d'échelle métrique, qui génère un découpage de compartiments qui n'excèdent donc pas le m³ ;
- la morphologie qui découle directement des facteurs précédents (géologie et fracturation), et montre des falaises subverticales en érosion constante avec, après chaque éboulement le retour à une pente d'équilibre avant une nouvelle phase d'érosion.

Les facteurs déclenchants, d'après les observations qui ont pu être réalisées les 23 et 24 mai sur le terrain (en amont depuis les jardins et sur le bateau, sans accès direct au pied de falaise) pourraient être :

- la circulation naturelle d'eau dans le massif qui altère fortement les formations géologiques et déstabilisent les joints stratigraphiques subhorizontaux, le massif contenant de nombreuses petites nappes perchées ;
- l'apport d'eau d'origine anthropique (canalisations pluviales ou autres, fuites de piscine, etc....) qui renforcent l'altération des formations géologiques, notamment les formations indurées, et érodent les formations plus tendres plus rapidement ;
- dans une moindre mesure les forçages météorologiques et marins (embruns, pluie/ruissellement, houle...) qui fragilisent le massif et en particulier la falaise en surface.

Les travaux de recherche récents (VALSE, Giuliano, 2015) repris dans le Guide de gestion des falaises côtières sur la Côte Bleue réalisé par le BRGM à destination des Maires (2022) ont bien montré que ce type de falaises côtières subissait, à l'échelle séculaire, une érosion régulière par paliers, avant une rupture brutale suite à un facteur déclenchant particulièrement marquant et la formation d'une plate-forme d'érosion en pied (Illustration 18).

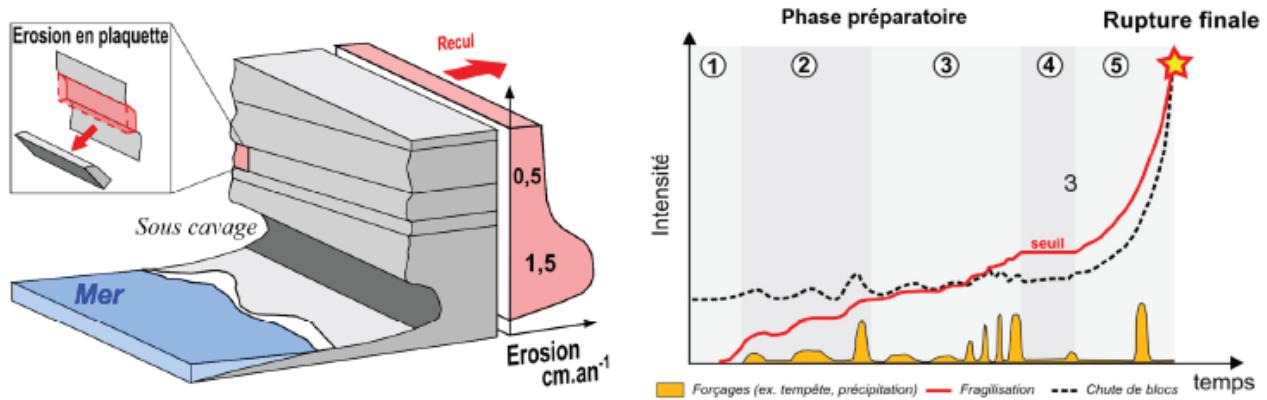


Illustration 18 : Modèle conceptuel de l'érosion annuelle des falaises de Carry-le-Rouet © Giuliano.

Dans ce qu'on observe ici, à une échelle de temps plus réduite (plusieurs dizaines d'années), la mise en surplomb de la barre rocheuse qui subit une érosion différentielle, perd en résistance au cours du temps (altération, micro fissures, etc.), et cette perte de résistance se poursuit lors de l'apparition de forces motrices potentiellement déclenchantes d'éboulement. Mais c'est lorsque la résistance atteint un point limite de rupture que l'éboulement a lieu, et cela même sans facteur déclenchant identifié. C'est donc ce couplage entre la perte de « résistance » des ponts rocheux, la matrice liée à la « fatigue » de la roche (par l'altération et les facteurs permanents comme les micro-fissures) et un déclencheur (franc, faible ou parfois inexistant), qui génère ce type d'éboulement régulier sur ces falaises (Illustration 19 : diagramme de Hantz).

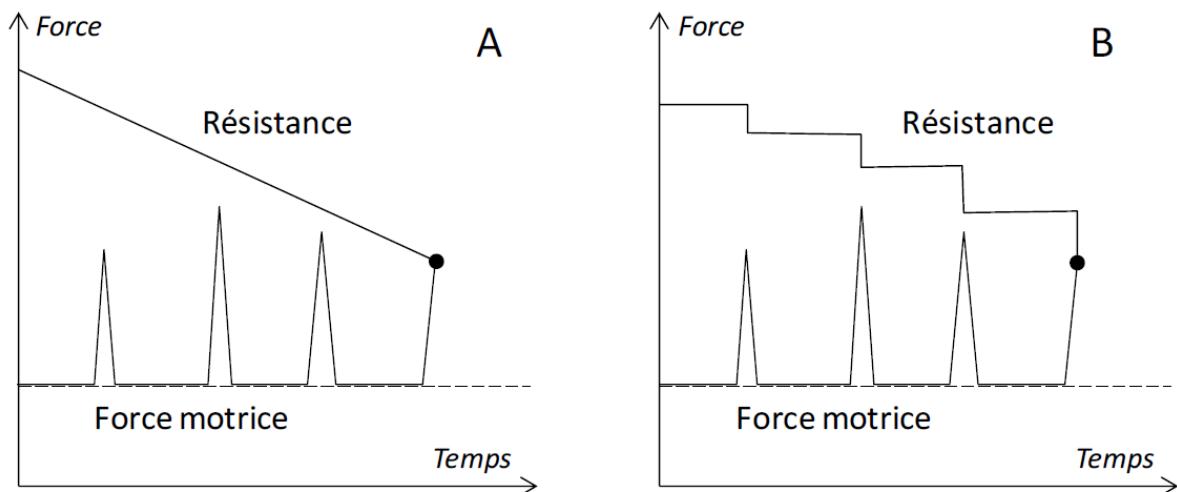


Illustration 19 : Diagramme de Hantz (2012)¹

¹ Hantz (2012) 'Gestion de l'incertitude et de l'ignorance, dans l'évaluation de la probabilité de déclenchement des éboulements rocheux', JFMS, hal-00808601

5. Risque résiduel

L'éboulement a laissé, sur le site même de la parcelle AX92 un certain nombre d'éperons rocheux en surplomb comme le montre l'Illustration 20, ainsi que des blocs déposés sur la pente et par conséquent instables car pouvant être remobilisés.



Illustration 20 : Mise en évidence d'éperons rocheux en surplomb suite à l'éboulement et considérés comme un risque résiduel.

Par ailleurs, on note sur l'Illustration 21 qu'une partie du jardin montre une fissure ouverte d'un compartiment de la barre calcaire mise en équilibre mais non encore éboulée, qui constitue un risque résiduel marqué, et qui entraînera probablement un arrachement de la balustrade restante.



Illustration 21 : Mise en évidence d'éperons rocheux en surplomb suite à l'éboulement considérés comme un risque résiduel.

Il faut distinguer **consécutivement à l'éboulement** :

- un **risque résiduel pour la parcelle en amont = recul** (jardin principalement, voir piscine qui se situe à 3,5 mètres de l'arrachement) par la mise en surplomb d'un certain nombre d'éperons rocheux et le risque de nouvelles chutes de blocs entraînant à nouveau une partie de la parcelle en bordure de falaise ;
- un **risque résiduel pour les personnes en pied de falaise = propagation** (passage sauvage non balisé mais très utilisé par les promeneurs malgré les panneaux d'information indiquant un risque de chute de blocs) par d'une part la mise en surplomb d'éperons rocheux potentiellement instables (cf. ci-dessus), ainsi que la remobilisation de blocs déposés sur la pente constituée elle-même des dépôts de l'éboulement, et donc elle aussi instable en cas de pluie pouvant entraîner des ravinements et glissements de terrain superficiels;

5.1. ZONE AMONT (PARCELLE)

L'évènement survenu a rétabli un semblant d'équilibre de la pente au niveau de la barre sommitale en surplomb initiale et aujourd'hui disparue. L'éboulement laisse une zone de surplomb au niveau de l'arrachement. La hauteur apparente de terrains décomprimés peut être estimée à 3 m, jusqu'à retrouver la barre rocheuse à l'origine de l'éboulement.

- à très court terme (dans les 2 ans) on peut s'attendre à une mise à l'équilibre de la tête de talus par régressions successives. Une pente en tête de l'ordre de 1/1 (45°) peut être considérée comme sécuritaire vis-à-vis de ce recul. Dans ces conditions, une bande de 3 m depuis la zone d'arrachement peut être considérée comme exposée ;
- à moyen à long terme, suite au processus d'érosion différentielle décrit, la mécanique de recul au moins aussi important que celui observé est à redouter.

5.2. ZONE AVAL (PLAGE)

Les blocs dans la pente et les surplombs résiduels laissent présumer de chutes de blocs et de ravinement sans nécessairement de précurseurs. L'ensemble de la zone située en aval immédiat de la cicatrice de l'éboulement et ce jusqu'à la mer est exposée aux phénomènes. Latéralement on considère en général une propagation potentielle pouvant dévier de 10 à 15° de la ligne de plus grande pente, ce qui signifie qu'en pied le linéaire exposé est d'au moins 15 m.

5.3. RISQUE HORS ZONE DE L'ÉBOULEMENT

Tout le long de la falaise on note la présence des deux barres décrites, qui concernent plusieurs parcelles (AX87, AX89, AX90, AX91, AX92, AX93) y compris la parcelle concernée par l'éboulement du 17 mai 2023 (Illustration 22).

La visite de la parcelle voisine (AX93) a d'ailleurs permis d'observer une mise en surplomb de l'extrémité Est du jardin en bordure de la clôture avec la parcelle AX92, avec notamment en facteur aggravant la pose de bacs en béton rajoutant du poids sur le terrain (Illustration 23).

Enfin, les éventuelles fuites ou rejets d'eau d'origine anthropique (piscine, arrosage de jardins/jardinières, sorties d'eau pluviale) sur toutes les parcelles concernées et citées ci-dessus, pourraient contribuer également à déstabiliser les terrains d'assise et donc à terme la falaise, en particulier au droit de la propriété voisine à la propriété concernée par l'éboulement, à savoir AX93.

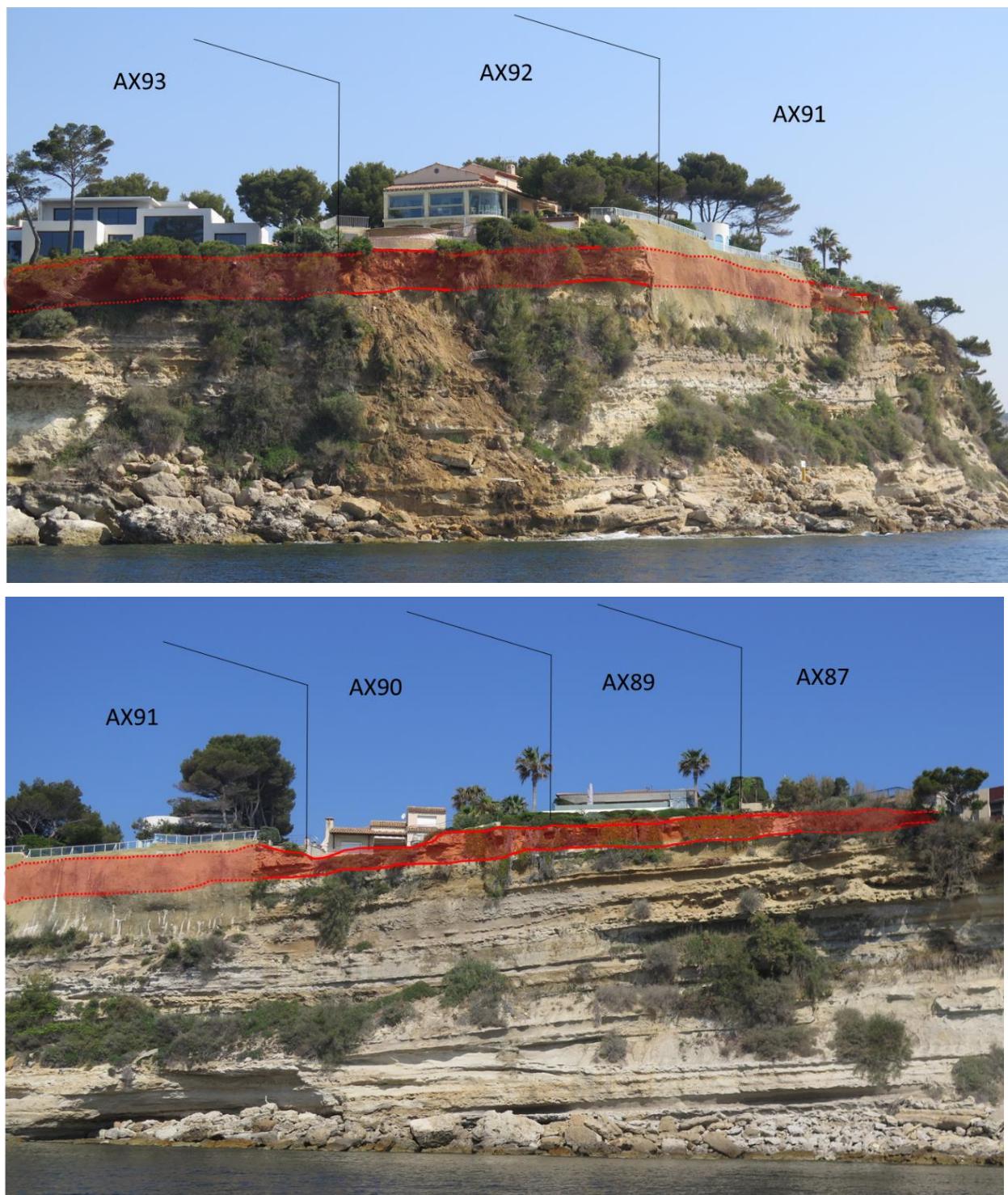


Illustration 22 : Parcels concerned by the two rocky bars of the « formation of Carry » composed of marls and calcareous rocks, with limestone overhang



Illustration 23 : Surplomb observé depuis la parcelle AX93 et bacs en béton en bordure de falaise

6. Recommandations

Il est recommandé :

- **immédiatement :**
 - sécuriser les abords de l'éboulement sur les parcelles AX92 et AX93 par la mise en place de barrières provisoires et rubalise à 3 mètres de distance de la falaise, interdisant ainsi l'accès à la bordure de la falaise. Si ce périmètre de sécurité doit être pérennisé, l'installation d'une barrière fixe, permanente et rigide, est à envisager,
 - mettre en place un arrêté municipal interdisant l'accès au pied de la falaise, avec affichage aux deux extrémités d'accès : Ouest au niveau de la calanque du Bouchon et Est au niveau de l'accès depuis l'Anse du Rouet,
 - inspecter l'ensemble des abords de la piscine (AX92) pour vérifier l'absence de fuite et si besoin, le cas échéant, les colmater,
 - supprimer les rejets d'eau côté falaise sur les parcelles AX92 et AX93, y compris la canalisation d'eau pluviale. En cas d'impossibilité, des dispositifs guidant l'eau en pied de falaise seront à prévoir.

À cela s'ajoutent d'autres recommandations :

- **à très court terme (dans les 2 ans) :**
 - le pin décrit sur la parcelle AX83, penché, en bordure de falaise, pour ne pas générer de force supplémentaire sur le terrain par grand vent, de manière générale, tout arbre situé à moins d'un mètre de la bordure de falaise doivent être supprimé,
 - dans la mesure où, dans la configuration actuelle de la falaise comportant des habitations et piscines en amont, et sans solution dites « souples » possibles (cf. Guide Côte Bleue, 2022), il devient nécessaire d'engager une étude géotechnique pour la sécurisation du site. *A priori*, il s'agira de :
 - ✓ réaliser des purges au niveau de la zone éboulée et en limite de plate-forme pour éliminer le risque immédiat de régression et limiter les atteintes en pied de versant ;
 - ✓ réaliser des travaux de confortement adaptés pour une sécurisation à plus long terme : un dispositif similaire à celui réalisé sur la parcelle voisine semble adapté – paroi clouée et/ béton projeté). Il est important de s'assurer de la stabilité interne d'un tel ouvrage et de sa stabilité externe (en bloquant/limitant le processus d'érosion en pied de versant).

Au-delà de la zone de l'éboulement la problématique est identifiée sur la majeure partie du linéaire côtier dans ces contextes. La prise en compte du risque dans l'aménagement est à considérer en intégrant, si possible, les éventuels impacts du changement climatiques sur les reculs afin d'identifier clairement les enjeux exposés.

7. Annexes

Annexe 1

 Envoi Alea falaises BRGM.zip
.zip Fichier

Bonjour à tous

Suite à notre visite d'hier et d'aujourd'hui voici comme convenu :

- Les photos BRGM des deux visites les 23 et 24 mai (non triées) : <https://filesender.renater.fr/?s=download&token=2ea17d30-09ca-4d4c-991d-b87410293239>
- Les données d'aléa instabilités de falaise côtières discutées ce jour en PJ (format shape) :
 - o Aléa linéaire régional au 1/100 000^e validité 1/50 000^e
 - o Aléa linéaire régional précédent retranscrit au 1/25 000^e sans modification de niveaux d'aléa
 - o Aléa superficielle au 1/10 000^e sur les zones à enjeux du littoral des Bouches-du-Rhône
- Le lien vers le Guide Côte Bleue numérique : <https://www.calameo.com/read/005719121b0b448db6f47>
- Les liens vers les rapports concernant les cartographies d'aléa instabilités de falaises côtières, le projet VALSE depuis la page concernant l'érosion côtière de l'ORRM PACA : <https://www.observatoire-regional-risques-paca.fr/phenomenes/phenomenes-naturels/erosion-cotiere-en-construction>
- Un lien vers le rapport des ateliers EUCC qui se sont tenus à Carry-le-Rouet en 2009 et les actes du colloque Falaises Côtières qui s'est tenu en Région en 2010 : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-59324-FR.pdf> + https://euccfrance.org/wp-content/uploads/2023/02/EUCC_Livret_Guide_Carry_2009.pdf + <https://euccfrance.org/wp-content/uploads/2023/02/CR-atelier-Carry-le-Rouet-1-2-avril-2009.pdf>

Comme convenu ce jour, nous produisons un rapport d'expertise à destination de la DDTM13 qui vous le transmettra

En attendant nous confirmons la mise en sécurité avec l'interdiction d'accès le long de la bordure de falaise sur une largeur de 5 m sur les deux parcelles visitées concernées.

Vous en souhaitant bonne réception et restant à votre disposition
Cordialement,





*Liberté
Égalité
Fraternité*

Centre scientifique et technique

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

Direction régionale Provence-Alpes-Côte d'Azur

117, avenue de Luminy, BP 168
13276 Marseille Cedex 09 - France
Tél. : 04 91 17 74 77
www.brgm.fr



Géosciences pour une Terre durable

brgm