Document public

Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence Alpes Côte d'Azur

Année 3 : Etude de segments représentatifs, propositions d'aménagement et établissement d'une méthodologie de gestion de risque à l'échelle d'une commune

BRGM/RP-56090-FR
juillet 2008

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence Alpes Côte d'Azur

Année 3 : Etude de segments représentatifs, propositions d'aménagement et établissement d'une méthodologie pour réduire la vulnérabilité à l'échelle d'une commune

BRGM/RP-56090-FR
Juillet 2008

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2008 06LITA12

N. Marçot, L. Azibi
Avec la collaboration d'Elodie Boucher

Vérificateur :	**Approbateur :**
Original Signé par Christian Mathon	Original Signé par David Dessandier
Date : 30 juillet 2008	Date : 30 juillet 2008

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Géosciences pour une Terre durable
brgm

R e m e r c i e m e n t s :

- la commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône)
- la commune d'Istres et le SAN Ouest Provence (Bouches-du-Rhône)
- le Parc National de Port-Cros (Var)
- la commune d'Eze-bord-de-mer (Alpes-Maritimes)

Mots clés : Mouvements de terrain, glissement, éboulement, chute de blocs, ravinement, littoral, falaises, aménagements, parades, aléa, enjeux, vulnérabilité, risque, gestion, perception, prévention, Carry-le-Rouet, Istres, Hyères, Port Cros, Eze, Bouches-du-Rhône, Var, Alpes-Maritimes, Provence-Alpes-Côte d'Azur

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

N. Marçot, L. Azibi avec la collaboration d'E. Boucher (2008) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte d'Azur – Année 3 : Etude de segments représentatifs, propositions d'aménagement et établissement d'une méthodologie pour réduire la vulnérabilité à l'échelle d'une commune Rapport BRGM RP-56090-FR. 129 p., 36 ill., 3 ann. et 1 document hors texte.

© BRGM, 2008, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les risques côtiers, érosion et submersion, se traduisent par des coûts financiers et humains susceptibles de s'accroître de façon conséquente dans les années à venir. Le littoral est devenu un espace convoité où se sont développées des activités multiples voire antagonistes (pêche, développement urbanistique, tourisme...). Les modifications climatiques provoquent aujourd'hui des inquiétudes sur l'évolution des littoraux et nécessitent la mise en place de nouvelles stratégies de protection.

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre de la prévention des risques naturels, est la troisième phase d'un projet global sur la stabilité des falaises côtières en région PACA, menée dans le cadre du IV^{ème} Contrat de Plan Etat Région depuis 2004 pour le compte de la DIREN et de la région PACA.

Ce rapport a permis la sélection de 4 sites représentatifs du littoral à falaise de la région PACA, en termes d'instabilités de terrain, sur lesquels des propositions d'aménagements ont été analysées. Sur l'un d'entre eux (Carry-le-Rouet), des comparaisons photographiques multi temporelles et l'utilisation d'un scan laser restituant la topographie du plan de falaise avec une précision centimétrique ont permis d'évaluer finement l'amplitude de l'érosion sur une courte période.

A la demande de la Région PACA, co-maître d'ouvrage de l'étude, le volet socio-économique a été abordé dans le cadre de l'année 3 de l'étude des falaises côtières, par le biais d'une enquête de perception du risque effectuée sur la commune de Carry-le-Rouet qui avait été préalablement choisie comme site pilote en comité de pilotage. Une analyse d'évaluation de la vulnérabilité a permis de proposer des guides de gestion pour répondre à la demande sociétale. L'objectif était de disposer d'une approche méthodologique de gestion du risque transposable sur d'autres communes.

Sommaire

1. INTRODUCTION 9

2. PRESENTATION DU CONTEXTE ET OBJECTIFS 13

2.1. Contexte de l'étude 13

2.2. Objectifs de l'étude 13

2.3. Moyens mis en oeuvre 14

3. ETUDE DE SITES REPRESENTATIFS 15

3.1. Présentation des sites 15

3.2. Proposition d'aménagements et de parades 16
3.2.1. Aménagements et parades 16
3.2.2. Choix des aménagements et parades adaptés 25
3.2.3. Description des sites étudiés et choix des aménagements 26
3.2.4. Evaluation des coûts 31

3.3. Analyse comparative et caractéristion de l'erosion 32
3.3.1. Observation à partir de photographies anciennes 32
3.3.2. Analyse sur une courte période au scan laser 33

3.4. Conclusions 34

4. PROPOSITION D'UNE METHODOLOGIE DE GESTION DU RISQUE A L'ECHELLE D'UNE COMMUNE 35

4.1. Enquête sur la perception du risque instabilités de falaises cotieres 35
4.1.1. Méthodologie de l'enquête 36
4.1.2. Application de la méthode sur la commune de Carry-le-Rouet 44
4.1.3. Conclusions 61

4.2. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité 61
4.2.1. Description de la méthode 61
4.2.2. Application de la méthode sur la commune de Carry-le-Rouet 65
4.2.3. Interprétation des résultats 70
4.2.4. Zoom sur les 4 sites étudiés de la commune 71

4.3. Reduction de la vulnérabilité 76
4.3.1. La méthode des coûts-bénéfices 76

4.3.2. Les solutions d'amélioration 77
4.3.3. Proposition d'une méthodologie globale de gestion du risque à l'échelle d'une commune 78

5. CONCLUSION GENERALE 83

6. BIBLIOGRAPHIE 87

Liste des illustrations

Illustration 1 : Extrait des résultats de l'étude européenne Eurosion (www.eurosion.org) 10
Illustration 2 : Localisation des 4 sites représentatifs 15
Illustration 3 : Mesures de prévention contre les éboulements et chutes de blocs (1) 19
Illustration 4 : Mesures de prévention contre les éboulements et chutes de blocs (2) 20
Illustration 5 : Mesures de prévention contre les glissements de terrain 22
Illustration 6 : Détail du maillage d'un filet ASM 24
Illustration 7 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de la commune d'Istres 27
Illustration 8 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de la commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône) 29
Illustration 9 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de l'île de Port-Cros (commune d'Hyères – Var) 30
Illustration 10 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de la commune d'Eze 31
Illustration 11 : Localisation des sites de l'enquête 37
Illustration 12 : Résidence principale de l'échantillon interrogé 38
Illustration 13 : Répartition de l'échantillon interrogé par âge 39
Illustration 14 : Genre sur la commune de Carry-le-Rouet et des Bouches-du-Rhône 39
Illustration 15 : Répartition par CSP 40
Illustration 16 : CSP et lutte face aux risques d'instabilités des falaises côtières 45
Illustration 17 : Ages et réaction face à la réglementation 46
Illustration 18 : Résultats de l'analyse d'évocation 47

Illustration 19 : Estimation du risque inondation, incendie de forêts, éboulement des falaises côtières 49
Illustration 20 : Croisement du degré d'exposition et de la question 51
Illustration 21 : Construction de l'indice de perception du risque côtier (par soustraction du niveau d'aléa au sentiment d'exposition) 52
Illustration 22 : Représentation de l'indice de perceptio 53
Illustration 23 : Le déni du risque 54
Illustration 24 : Répartition des activités sur le littoral de Carry-le-Rouet 55
Illustration 25 : Indice de perception / Activités principales 57
Illustration 26 : Niveau d'aléa / Activités principales 58
Illustration 27 : Représentation graphique de l'ACM en utilisant les informations des 3 axes. 60
Illustration 28 : Schéma du système « Vulnérabilité » d'après C. Meur-Ferec (2006) 62
Illustration 29 : Grille d'analyse type (C. Meur-Ferec – 2006) 64
Illustration 30 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif à l'aléa 66
Illustration 31 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif aux enjeux 67
Illustration 32 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif à la perception 68
Illustration 33 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif à la gestion 69
Illustration 34 : Synthèse correspondant au profil type de la vulnérabilité sur la commune de Carry-le-Rouet 70
Illustration 35 : Détail des « radars » de vulnérabilité sur les 4 sites étudiés 72
Illustration 36 : Superposition des radars de vulnérabilité des quatre sites étudiés 75
Illustration 37 : Méthodologie globale proposée pour la gestion du risque et la diminution de la vulnérabilité 79

Liste des annexes

Annexe 1 Fiches identité des communes étudiées : Istres, Carry-le-Rouet, Hyères et Eze-Bord-de-mer 91
Annexe 2 Questionnaire d'enquête réalisé sur la commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône) 107
Annexe 3 Graphiques de tri à plat résultant de l'enquête et graphiques résultats utilisés dans le rapport 111

Planche des hors-texte

Planche hors-texte n°1 : Propositions d'aménagements sur les sites sélectionnés du littoral de la région PACA

1. Introduction

Le littoral est un espace en évolution constante, soumis à des influences variables en fonction des différents types de côtes (sableuses, rocheuses ou vaseuses) :

- influence continentale : la structure géologique du littoral détermine sa résistance à l'érosion. Par ailleurs, les fleuves apportent des sédiments sur le littoral ;
- influence marine : par les facteurs hydrodynamiques que sont les variations de la position du niveau moyen de la mer, l'action de la marée, des vagues, de la houle, et des courants littoraux ;
- influence atmosphérique : le vent, la pluie et la température ;
- les activités humaines.

L'érosion des côtes rocheuses se produit sous l'action conjointe de facteurs terrestres et marins. La houle vient frapper le pied de la falaise, où l'érosion est donc plus forte, entraînant la mise en surplomb de la partie haute de la falaise. Lorsqu'en pied de falaise, il y a présence d'un cordon de sable ou de galets, selon son épaisseur il peut jouer un rôle de protection en atténuant l'énergie de la houle. En s'infiltrant dans les fractures, l'eau de pluie modifie localement le degré de saturation de la roche, mais exerce également sur le long terme une érosion chimique et mécanique des épontes des fractures induisant une fragilisation de la falaise. De rapides variations de températures dues aux alternances jour-nuit ont également des effets mécaniques qui modifient les caractéristiques mécaniques du massif rocheux. Tous ces phénomènes conduisent à la déstabilisation de la falaise provoquant des éboulements et des effondrements.

Dans le cadre du projet Européen Eurosion[1] il a été montré que 20 % des 5 500 km de côtes européennes sont en érosion, ce qui représente au total 15 km² de territoires littoraux perdus chaque année. En France (métropole et Corse) l'érosion touche plus de 27 % des côtes. Elle se répartit différemment selon les milieux : 41,4 % des plages, 23 %des côtes rocheuses et 11,8 % des littoraux vaseux. La part du littoral naturel en recul est très variable sur le littoral métropolitain. Elle est faible (inférieure à 10 %) en Corse et en Ille-et- Vilaine. Elle est en revanche très forte (supérieure à 70 %) dans le Pas-de-Calais, en Seine-Maritime, dans le Calvados et dans le Gard. Les côtes rocheuses ne sont pas épargnées par ce phénomène. Si celles constituées de roches dures de type granite, comme en Bretagne, sont peu atteintes, les roches tendres telles que la craie sont fortement affectées par l'érosion (Illustration 1).

[1] Projet Eurosion : www.eurosion.org

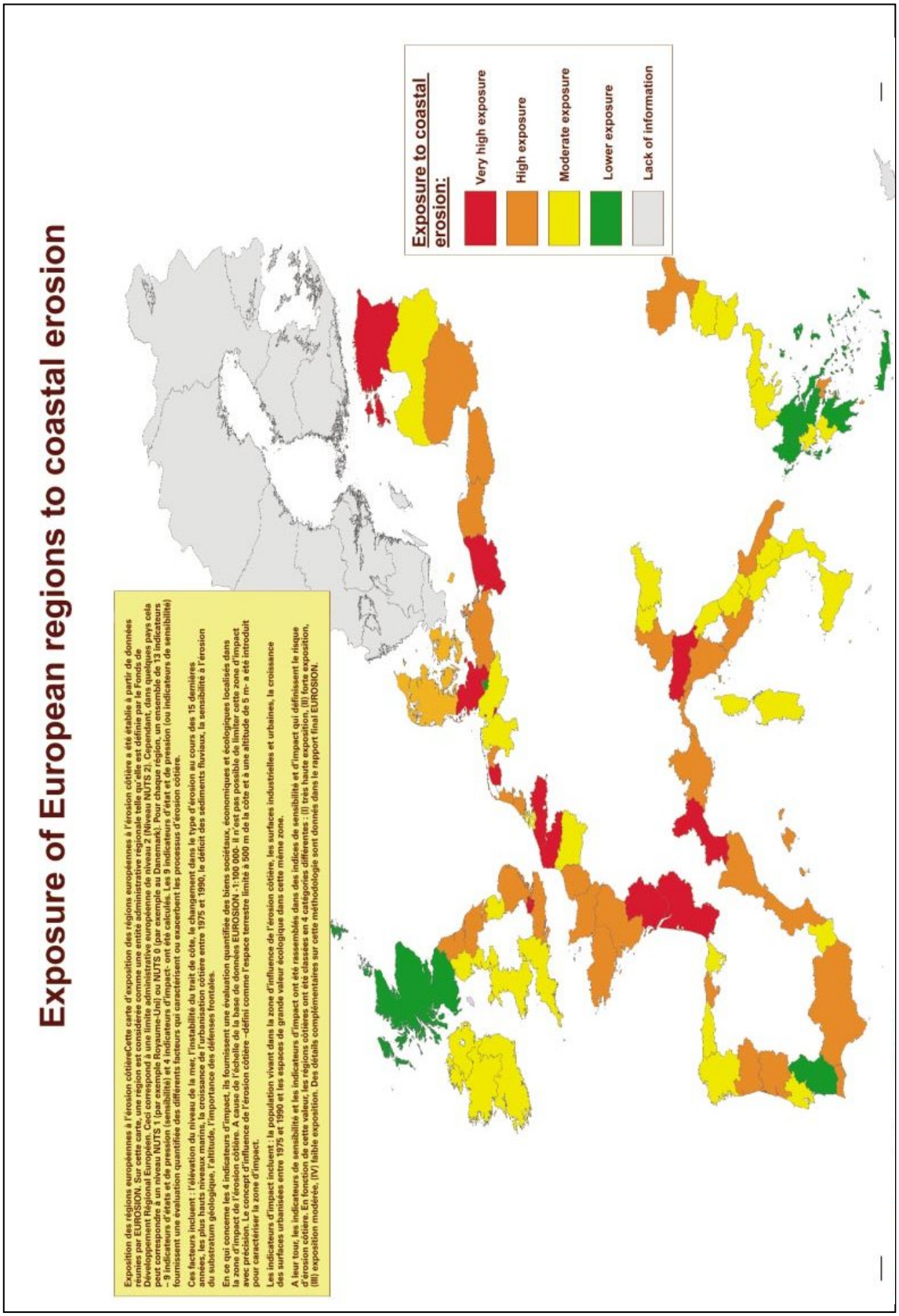


Illustration 1 : Extrait des résultats de l'étude européenne Eurosion (www.eurosion.org)

Nous allons montrer dans cette étude que la région PACA et plus particulièrement les côtes rocheuses à falaise du littoral Provençal ne sont pas épargnées par ce phénomène d'érosion, même si le phénomène est moins fréquent et mobilise moins de volume de roches que sur les côtes Normandes par exemple.

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre de la prévention des risques naturels, est la troisième phase d'un projet global sur la stabilité des falaises côtières en région PACA, menée dans le cadre du IV^{ème} Contrat de Plan Etat Région depuis 2004 pour le compte de la DIREN et de la région PACA.

La première phase de l'étude[2] a permis de faire un bilan des connaissances sur la problématique des phénomènes d'instabilités liés aux falaises côtières, et d'en définir une typologie à l'échelle régionale. En effet, les instabilités de falaises dépendent d'un certain nombre de facteurs, et plus particulièrement de la morphologie et de la géologie de la falaise. La morphologie est conditionnée par l'érosion des falaises qui peut présenter différentes formes (érosion différentielle, taffoni, sous cavage etc…). La géologie, parfois très complexe dans certains secteurs, mais surtout extrêmement variée d'une extrémité à l'autre de la région, entraîne des mécanismes de déformation, de rupture et de déplacement des matériaux très différents. Il a été observé que le phénomène le plus courant sur le littoral de la région correspond aux éboulements et chutes de blocs (avec des volumes de matériaux déplacés variables). Environ 200 km de côtes sont affectés par ce phénomène, à plus ou moins grande échelle et avec une probabilité d'occurrence plus ou moins grande. Ainsi, sur les 400 km de littoral rocheux : 17.5 % ont été définis avec un aléa fort, 18 % avec un aléa moyen et 16.7 % avec un aléa faible.

Ce premier travail a été poursuivi, lors de la deuxième phase[3], par un inventaire des enjeux réalisé à l'échelle de la région sur le linéaire côtier méditerranéen ainsi que sur le littoral de l'étang de Berre dans les Bouches-du-Rhône, et d'une hiérarchisation du risque. Les enjeux mis en évidence ont concerné les personnes, les biens et les milieux. Ils ont été analysés en fonction des saisons, permettant d'évaluer les changements occasionnés par la fréquentation touristique et les épisodes pluvieux de l'automne. L'approche qui a été proposée a consisté à identifier, décrire et évaluer chaque type de dommage (physique et fonctionnel) et ses conséquences (impact) en considérant que chaque élément affecté physiquement (personne, bien, milieu) génère un trouble fonctionnel (habitation, enseignement, transport etc…) qui lui même provoque des impacts de différents ordres (sociaux, économiques, environnementaux, politiques etc…). Une échelle de dommage a été construite pour s'adapter au contexte des falaises côtières, puis étalonnée à partir de différents types d'événements susceptibles de se produire sur le littoral de la région PACA. A partir des grilles d'évaluation des dommages, nous avons pu construire une grille générale adaptée au contexte de l'étude qui donne, par catégorie d'enjeux, une évaluation des dommages au cours de trois périodes : en haute saison touristique (juillet-août), en basse saison

[2] Rapport BRGM RP-52829-FR (2004)

[3] Rapport BRGM RP-53951-FR (2005) et RP-54316-FR (2006)

et en automne (période de fortes pluies). Le risque a ensuite été évalué par catégorie d'enjeux et type de dommages selon une échelle allant du risque nul à faible, au risque fort. Les portions du littoral affectées par un risque instabilité de falaises côtières varient en fonction des enjeux étudiés et des dommages considérés.

La troisième phase qui fait l'objet du présent rapport a pour objectif d'étudier un certain nombre de segments représentatifs du linéaire régional en termes de risques afin d'y évaluer la nécessité ou non de mettre en place des protections permettant la requalification et l'aménagement de sites menacés.

Les sites représentatifs choisis sont situés sur les trois départements côtiers de la région PACA. Une pré-analyse de la vulnérabilité et de la gestion du risque instabilité des falaises côtières doit être réalisée à l'échelle d'une commune. La commune de Carry-le-Rouet a été choisie comme commune test. L'étude a été réalisée à partir d'une enquête de perception et des analyses statistiques sur les critères mis en évidences à travers les résultats de cette enquête.

2. Présentation du contexte et objectifs

2.1. CONTEXTE DE L'ETUDE

L'opération Falaises côtières s'est échelonnée sur 3 années d'étude :

- en 1ère année, ont été réalisés un état des lieux et des connaissances, une typologie des instabilités, et la qualification de l'aléa (1/50 000 retranscrite au 1/100 000) ;
- la 2ème année de l'étude a fait l'objet d'une analyse des enjeux et de la confrontation aléa/enjeux afin de hiérarchiser le risque résultant ;
- la 3ème année (objet de la présente étude) a pour objectif de choisir des segments représentatifs afin de proposer des schémas types d'aménagement, et la proposition d'une méthodologie de gestion du risque à l'échelle d'une commune.

Les communes sont régulièrement confrontées à des problèmes d'instabilités de leurs falaises côtières, et elles ont périodiquement besoin de déblocages rapides de subventions pour y remédier et engager des travaux de confortement. La Région est par conséquent régulièrement sollicitée par les communes, et a besoin d'une vision globale de l'état de l'érosion des falaises côtières en région PACA afin de prioriser les actions à entreprendre.

Les segments représentatifs sélectionnés dans cette troisième phase de l'étude vont nous permettre d'étudier 4 sites, en évaluant plus en détail l'érosion des falaises sur ces secteurs et en conseillant des aménagements adaptés pour diminuer le risque. Le site de Carry-le-Rouet dans les Bouches-du-Rhône a été choisi comme site pilote pour la mise au point et l'expérimentation d'une méthodologie de gestion du risque à l'échelle d'une commune, comme l'a souhaité la Région PACA.

2.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE

Cette troisième et dernière phase de l'opération a plusieurs objectifs :

- le choix de segments représentatifs du linéaire régional en termes de risque d'instabilité de falaises ;
- étudier l'évolution de l'érosion sur certains des sites sélectionnés à partir d'études photographiques et d'une analyse au scan laser ;
- l'évaluation de la nécessité ou non de placer de parades et des aménagements sur les sites sensibles ;
- la définition des schémas types d'aménagement adaptés à chacun des contextes rencontrés.

A la demande de la Région PACA, co-maître d'ouvrage de l'étude, un volet socio-économique a été abordé dans le cadre de l'année 3 de l'étude des falaises côtières, par le biais d'une enquête de perception du risque effectuée sur la commune de Carry-le-Rouet qui avait été préalablement choisie comme site pilote en comité de pilotage. Une analyse d'évaluation de la vulnérabilité permettra de proposer des guides de gestion pour répondre à la demande sociétale. L'objectif est de disposer d'une approche méthodologique de gestion du risque transposable sur d'autres communes.

2.3. MOYENS MIS EN OEUVRE

Pour cette troisième phase de l'étude, différents travaux ont été réalisés :

- Des campagnes de terrain sur les sites représentatifs sélectionnés, afin d'y préciser le niveau d'aléa instabilité de falaises côtières par des observations à dire d'expert et des comparaisons de l'état de l'érosion des falaises à plusieurs années d'intervalle à l'aide d'analyses photographiques ;

- Sur le site pilote de Carry-le-Rouet dans les Bouches-du-Rhône, et plus particulièrement au niveau de la falaise du Rouet, un levé scan laser a été réalisé par l'entreprise ATM3D à deux reprises (1ère campagne octobre 2007 ; 2ème campagne avril 2008).

  Ce travail nous a permis de disposer d'une orthophographie haute résolution et d'une comparaison de l'état de la falaise à deux périodes de l'année (avant et après l'hiver) par le biais d'un Modèle Numérique de Terrain très précis. Les résultats de ce travail sont présentés dans ce rapport ;

- Toujours sur le site pilote de Carry-le-Rouet, une enquête de perception du risque instabilité de falaises a été réalisée par un étudiant en Master Mathématiques appliquées et Sciences Sociales de Luminy, qui a été croisée ensuite aux données d'aléa, d'enjeux et de gestion sur la commune afin d'évaluer la vulnérabilité du littoral rocheux à falaise de la commune.

3. Etude de sites représentatifs

3.1. PRESENTATION DES SITES

Suite aux deux premières phases du projet, il a été décidé en comité de pilotage avec l'aval des Services Maritimes de travailler sur les 4 sites suivants dans la phase 3 du projet (Illustration 2) :

- les falaises de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône – 13) ;
- les falaises des Heures-Claires à Istres (Bouches-du-Rhône – 13) ;
- les falaises de l'île de Port-Cros sur la commune d'Hyères (Var - 83) ;
- les falaises d'Eze-Bord-de-mer (Alpes-Maritimes – 06).

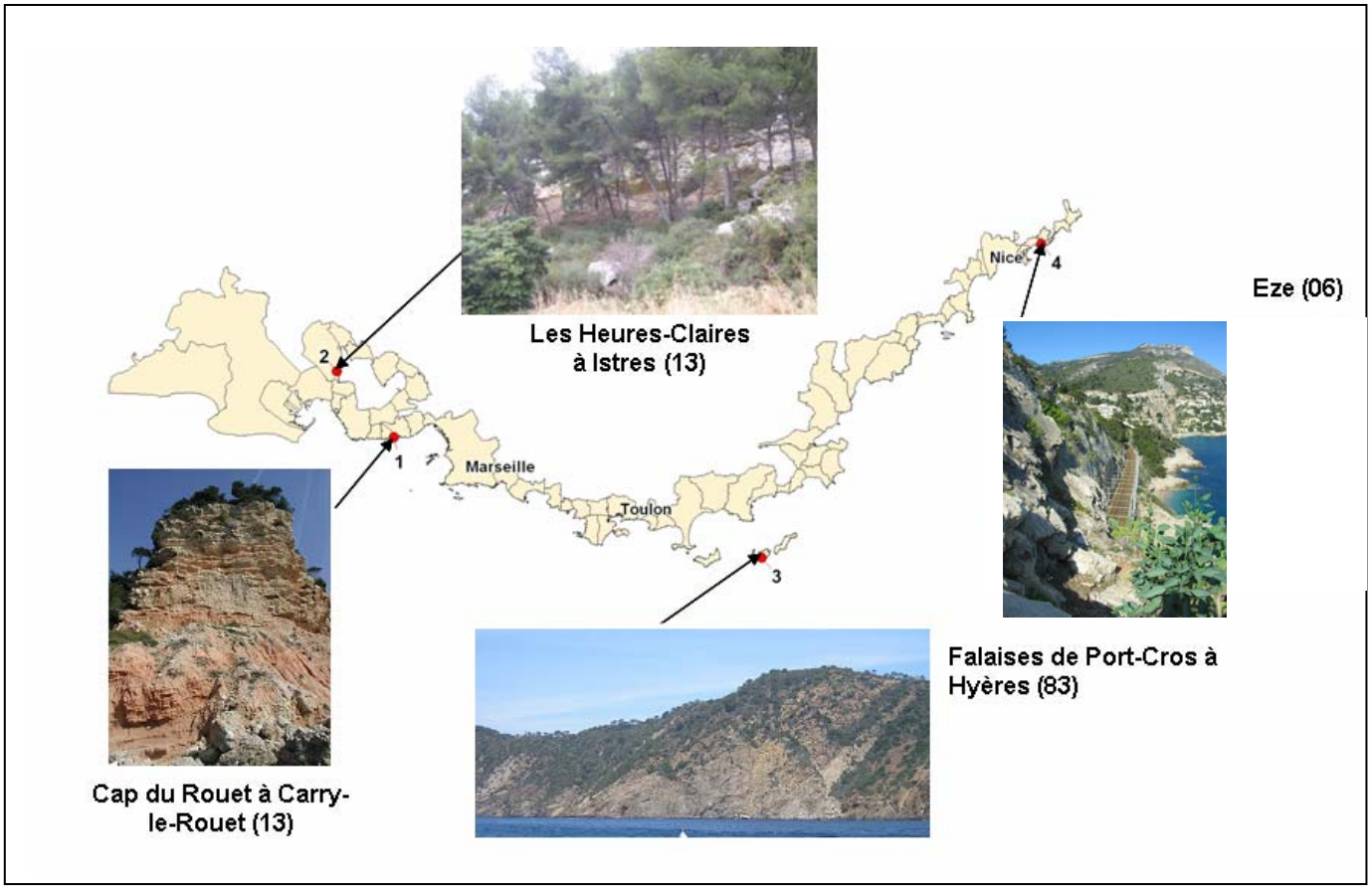


Illustration 2 : Localisation des 4 sites représentatifs

Ces sites ont été choisis pour leur fort niveau d'aléa, mais aussi pour les éléments exposés à l'aléa instabilité de falaises côtières (personnes, habitations, sites naturels, voies de communication) qui en font des sites à risque fort.

Les fiches d'identité des 4 sites sont présentées en annexe 1 à la fin du rapport.

Le document hors-texte n°1 présente une succession de fiches descriptives par site, reprenant :

- la description du site, ses caractéristiques d'un point de vue instabilités et les événements mouvements de terrain connus sur le littoral ;
- une description des phénomènes mouvements de terrain qui se sont déjà produits ou en cours sur le site ;
- une proposition d'aménagements et de parades adaptés en fonction du contexte et de la vocation du site ;
- éventuellement l'évolution de l'érosion de la falaise à plusieurs années d'intervalle par observation photographique ;
- éventuellement la description d'un événement majeur récent.

Les fiches sont numérotées de la façon suivante (par exemple **A3_C01**) :

- **A** pour aménagement
- **3** pour 3ème année d'étude
- **C** : Carry, **I** : Istres, **P** : Port-Cros et **E** : Eze
- Un numéro identifiant : **01**…

3.2. PROPOSITION D'AMENAGEMENTS ET DE PARADES

La stabilisation des falaises littorales est réalisée pour une bonne partie comme pour toutes les falaises continentales par drainage, reprofilage, ancrage et boulonnage. A cela il faut rajouter la protection du pied de falaise contre les actions des vagues qui se fait la plupart du temps par des ouvrages rigides qui, s'ils jouent leur rôle de protection pour la portion de falaise équipée, présentent l'inconvénient de stopper les apports de matériaux dus aux éboulements aggravant ainsi le déficit sédimentaire ailleurs.

Nous nous focaliserons sur les ouvrages de protection concernant les instabilités de type chutes de blocs, éboulements et glissements de terrain, puisque l'étude concerne les côtes rocheuses du littoral de la région PACA.

3.2.1. Aménagements et parades

Au cours des travaux réalisés lors des deux premières phases, différents aménagements et parades ont pu être observés sur le linéaire côtier rocheux de la

région PACA. Les illustrations 3, 4 et 5 en présentent quelques exemples classés selon l'objectif à atteindre (mesures structurales ou non, actives ou passives).

Il existe en effet différentes méthodes pour réduire le risque mouvements de terrain en termes de prévention sur les falaises côtières :

Des mesures structurales

- parades pour réduire l'aléa (actives ex: clouage en falaise ; passives ex: grillages),
- parades pour réduire la vulnérabilité.

Des mesures non structurales

- formation et Information,
- législation,
- aménagement,
- assurance.

a) Prévention des éboulements et chutes de blocs

Les mesures permettant de réduire **activement** l'aléa éboulements et chutes de blocs sont de deux types :

Mesures directes

- suppression de la masse présentant un risque,
- purge (rarement définitif) de parois et talus,
- abattage de blocs ou d'éléments de parois,

Stabilisation de la masse instable,

- piliers, contreforts et butons,
- mur de soutènement,
- ancrages (boulons, tirants, épingles),
- béton projeté,
- revégétalisation,
- réduction du ruissellement.

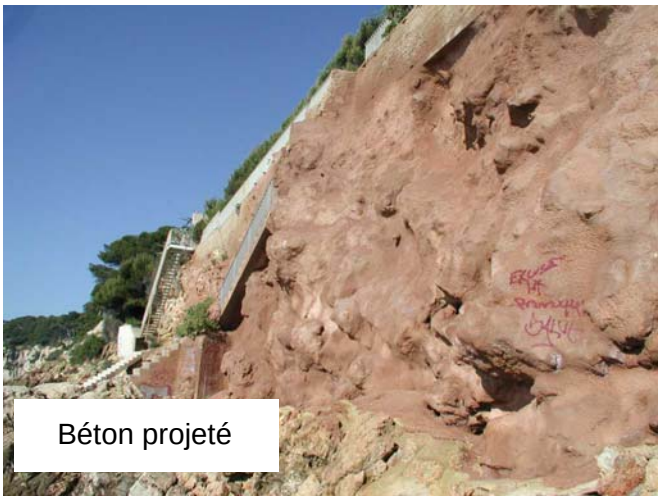
Les mesures de protection **passives** permettant de contrôler la propagation des chutes du bloc :

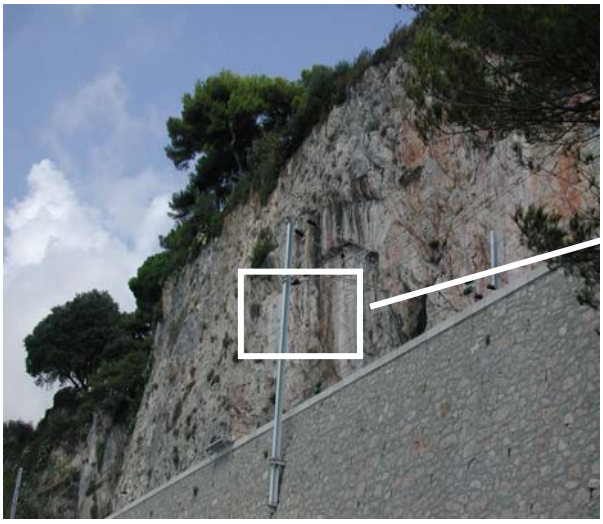
- écran souples ou rigides,
- écrans massifs,
- plages d'arrêt,

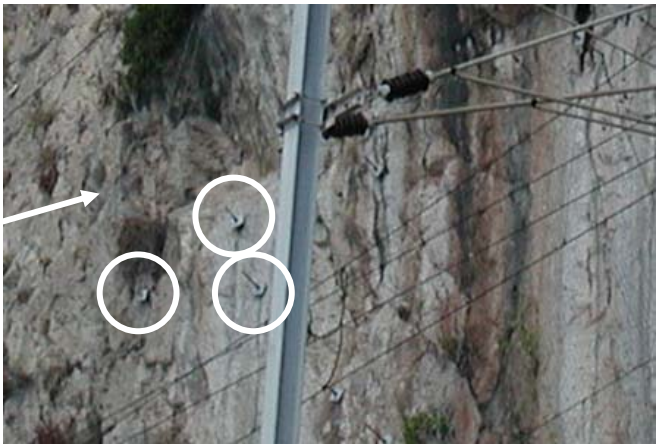
- étraves, tournes,
- couverture grillagée.

Les Illustrations pages suivantes (Illustrations 3 et 4) présentent des cas réels de protection du littoral rocheux à falaises contre chutes de blocs et éboulements, rencontrées sur le littoral de Provence.

Mesures structurales actives



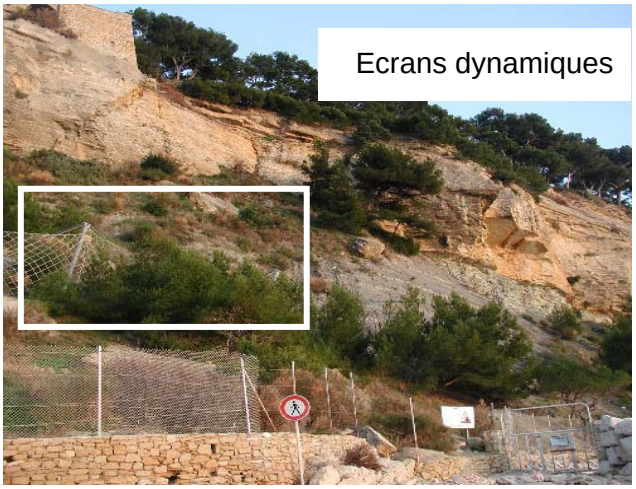




Ancrage

Illustration 3 : Mesures de prévention contre les éboulements et chutes de blocs (1)

Mesures structurales passives



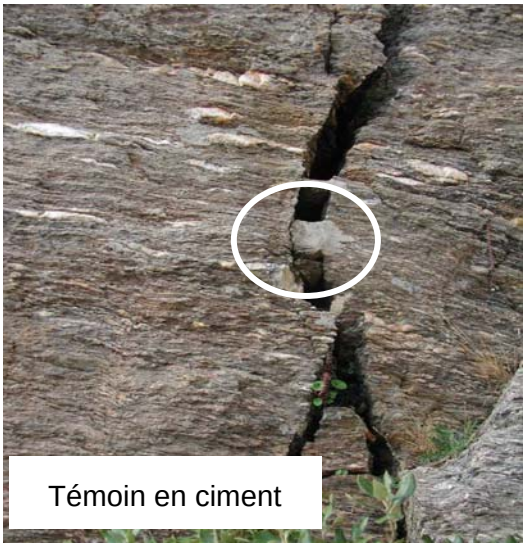
Information	Surveillance
	

Illustration 4 : Mesures de prévention contre les éboulements et chutes de blocs (2)

b) Prévention des glissements de terrain

Les mesures de protection permettant de diminuer **activement** l'aléa glissement de terrain agissent sur différents paramètres :

Actions sur la topographie

- terrassements.

Actions sur l'eau

- protection contre l'érosion en pied,
- collecte des eaux amont,
- collecte des eaux de surface,
- drainages.

Actions sur la butée en pied

- murs de soutènements autostables ou ancrés.

Actions sur la résistance au cisaillement

- clouages, ancrages,
- profilés métalliques battus.

Gestion des ouvrages existants

L'illustration page suivante (Illustration 4) présente des cas réels de protection du littoral rocheux à falaises contre les glissements de terrain, rencontrées sur le littoral de Provence.

c) Caractéristiques des aménagements proposés

Ainsi, sur le document présenté en hors-texte concernant l'analyse détaillée par site, un certain nombre d'aménagements ont été sélectionnés comme étant particulièrement adaptés à tel ou tel contexte et telle problématique. Avant de décrire chacun des sites en question, voyons dans le détail les caractéristiques déterminant le choix de tel ou tel aménagement[4] :

[4] D'après Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www.francemaccaferri.com/

Mesures structurales actives

Enrochement

Gabions

Mur de protection

Enrochement en pied de glissement

Mesures structurales passives

Couverture grillagée

Illustration 5 : Mesures de prévention contre les glissements de terrain

❖ Grillages plaqués ou suspendus

Ces installations ne permettent pas d'éviter les départs de blocs, mais guident leur trajectoire. La chute des blocs est ralentie par le grillage et ces derniers s'accumulent à la base. Le grillage seul n'a pas un rôle de stabilisation de la falaise. Le grillage plaqué est collé à la paroi, il assure la stabilité superficielle ou locale de la paroi. Il évite les départs de pierres et évite également les déplacements en cas de rupture. La mise en place du grillage suspendu est associée à l'installation d'une barrière fixe à proximité des habitations. Elle n'est pas nécessaire dans le cas du grillage plaqué. Un grillage, ou une nappe de grillage, est constitué de plusieurs lés juxtaposés et plaqués à même la paroi à l'aide de câbles et d'ancrages. Ceux-ci sont disposés autour et sur la zone concernée par le traitement. Le grillage est amarré en crête de falaise, et maintenu à sa base par un câble horizontal fixé à la paroi. La maille du grillage est choisie en fonction de la taille des blocs et des pierres à retenir. Les blocs sont volumineux (m^3) à cet endroit, les mailles peuvent être larges (100x120 mm). Pour assurer la pérennité de la parade, il convient d'effectuer des contrôles réguliers de la qualité du grillage (corrosion) et des ancrages, et des opérations de maintenance (purge des blocs accumulés en pied de grillage ou coincés le long de la paroi, réparation des possibles déchirures du grillage).

❖ Soutènements / contreforts

Ce procédé permet de soutenir des volumes de roches instables. Plusieurs types de dispositifs peuvent jouer ce rôle : contrefort, butons ou pilier. Le contrefort est généralement un ouvrage massif généralement en béton, calé sur la géométrie de la falaise. Il participe à la stabilisation de l'ensemble de la paroi. Les butons ont des actions plus localisées, ils sont encastrés dans la paroi pour retenir un surplomb. Le pilier est notamment utilisé dans le cas de sous-cavage important, il ne prend pas appui sur la falaise. Le soutènement peut être réalisé suivant deux techniques : béton banché ou béton projeté fibré. Dans le premier cas, il convient de reprendre la géométrie de l'ouvrage existant et construire une extension au-dessous de la zone en surplomb. La deuxième solution consiste en un plaquage de béton moulant la paroi instable, le tout étant fixé à la falaise à l'aide d'ancrages. Le béton projeté fibré présente l'avantage d'être plus résistant que le béton coffré mais est cependant moins esthétique. La durée de vie de ce type d'édifice est généralement longue à moins qu'il soit ébranlé par des mouvements de terrain à proximité. Il est toutefois conseillé d'effectuer un contrôle régulier de la tenue de l'ouvrage, de détecter les éventuelles fissurations, gonflement, déchaussement de la fondation, venues d'eau aux alentours, ainsi que d'observer l'évolution de l'érosion aux abords de l'édifice. Les piliers peuvent avoir une pérennité plus limitée que les autres types de soutènement.

❖ Barrières

Ce dispositif constitué d'un écran de grillage ou de filet permet de protéger des structures situées en arrière par l'arrêt de pierre et blocs. Grillage ou filet sont fixés sur des poteaux, des câbles leurs sont généralement associés. La présence de nombreux arbres et arbustes en amont ainsi que le replat en pied de falaise constituent déjà des obstacles à la progression des blocs décrochés de la paroi. Le rôle de la barrière est

d'assurer une protection supplémentaire aux habitations placées à proximité de la falaise. Elle doit être contrôlée régulièrement (grillages ou filets et câbles)

- **Emmaillotages par câbles**

Le dispositif consiste en un filet métallique plaqué sur la paroi, cinturant la masse instable et encaissant une partie de son poids. Cela permet de stabiliser le bloc, il est retenu contre la paroi. Le filet peut être de type ASM (Anti-Sous-marin) ou bien filet câblé (Illustration 6) :

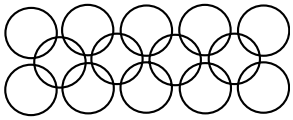


Illustration 6 : Détail du maillage d'un filet ASM

Cette technique s'applique notamment aux masses instables relativement saines, dont la structure est cohérente, peu fracturée. C'est également un traitement ponctuel de la paroi, au même titre que les ancrages. Cela ne peut protéger de mouvements de grande ampleur mobilisant l'ensemble du versant. Des ancrages sont également nécessaires pour fixer le filet à la falaise, et sont répartis aussi bien sur le pourtour qu'au travers du volume instable. Les ancrages (boulons) sont à scellement réparti. De petites purges peuvent s'avérer nécessaires avant l'installation du dispositif, si des pierres ou petits blocs se sont immiscés dans les zones fracturées. Cette installation a une durée de vie de quelques décennies. Il faut veiller à contrôler le matériel régulièrement, et effectuer des opérations de maintenance (purges…) si besoin.

- **Ancrages**

Cette technique contribue à consolider la paroi rocheuse. L'implant d'armatures dans la paroi au travers de masses instables permet de renforcer la stabilité de la falaise. Les ancrages sont composés d'une barre d'acier fixée à la roche dans un forage. Cette barre transperce le volume instable et s'ancre en arrière dans la partie saine. Pour consolider le dispositif, le forage est colmaté avec une injection de ciment (sous forme de coulis – ciment et eau – ou de mortier – ciment, sable et eau). Cette méthode est efficace sur les zones d'instabilités locales. L'efficacité de ce type d'aménagement est jugée satisfaisante depuis 15 à 20 ans, à condition que les études de conception de la parade soient correctes. Le contrôle régulier de la corrosion des ancrages permet de prévenir des risques de détérioration de l'ouvrage.

- **Béton projeté**

Un phénomène d'érosion très actif peut engendrer la formation de nombreux taffoni dont certains peuvent être très développés et atteindre des diamètres de l'ordre du mètre. Ces trous affectent la cohésion de la paroi. La projection de béton pour combler ces vides permet de consolider le système rocheux, et limiter le processus d'érosion. Ancrages ou câbles seuls ne suffisent pas à stabiliser la falaise, le béton offre un complément intéressant. Des épingles sont à prévoir pour garantir un meilleur accrochage du béton projeté.

❖ **Purges**

Une purge consiste à supprimer des pierres instables pour réduire leur risque de chute. Cela n'affecte pas la stabilité de la falaise. Ces éléments sont enlevés manuellement, en s'appuyant sur les plans de rupture entre pierre et paroi. Le périmètre de la zone à purger doit être protégé de toute chute de pierres au cours de l'intervention (arrêt de la circulation sur tout ou partie de la voie routière). La purge est une solution à court terme, il convient de répéter l'opération aussi souvent que le besoin se fait ressentir. Le processus d'érosion et de fracturation de la falaise n'est en effet ni contrôlé ni supprimé, de nouveaux éléments instables peuvent réapparaître au cours du temps. Un contrôle régulier de l'évolution de la paroi permet de repérer l'apparition de ces éléments.

❖ **Débroussaillage**

Le développement de la végétation et notamment des systèmes racinaires représente un facteur d'aggravation de l'état d'instabilité des parois. La croissance de racines dans une fracture accélère le processus de fracturation et augmente d'autant le risque de rupture au niveau de ce plan de faiblesse. Le débroussaillage permet d'éliminer tout développement de végétation qui pourrait nuire à la santé de la paroi.

3.2.2. Choix des aménagements et parades adaptés

En plus de l'objectif à atteindre par telle ou telle parade sur une instabilité qu'elle soit de nature rocheuses (chute de blocs, éboulements…) ou meuble (glissement de terrain, ravinement…), on considère un certain nombre d'autres facteurs permettant de faire un choix pour un type d'aménagement par rapport à un autre (d'après Parades contre les instabilités rocheuses – LCPC, 2001) :

- l'accessibilité notamment dans les possibilités d'acheminement du matériel et la réalisation des travaux, également du point de vue de l'entretien et de la maintenance des dispositifs de protection ;

- l'extension de la zone à traiter permettra de choisir une implantation à l'aval par parade passive dans le cas de focalisation des trajectoires, et de parade active ou passive à l'amont dans le cas de dispersion importante du phénomène ;

- la morphologie de la zone va influencer tel ou tel aménagement, notamment les dimensions en positions relatives de la falaise-source, du versant d'éboulis et de l'équipement à protéger en pied ;

- le volume et les énergies mis en jeu nécessiteront une adaptation du type d'écran (classes d'énergies) ;

- le caractère définitif ou provisoire de la mesure entraînera l'utilisation des parades différentes (de préférence des parades de mise en œuvre rapide et simple, peu coûteuses pour des aménagements provisoires) ;

- les caractéristiques de l'équipement à protéger et l'objectif de sécurité visé, notamment par la définition du « risque du projet », l'événement de référence à prendre en compte (énergie, volume) ;

- les contraintes de réalisation des travaux de protection, comme par exemple les difficultés d'évacuer totalement une zone, d'interrompre le trafic… ;

- l'aspect esthétique notamment paysager, mais aussi le caractère historique du site (inscrit, classé…) ;

- le coût des travaux de protection peut aller de la centaine de milliers d'euros à plusieurs dizaines de millions d'euros en fonction de la protection réalisée, des conditions d'accès, du recours éventuel de travaux en grande hauteur, de la disponibilité et la mise en œuvre plus ou moins facile des matériaux…

3.2.3. Description des sites étudiés et choix des aménagements

Les paragraphes qui suivent rappellent le contexte de chacun des secteurs sélectionnés, la liste de sites examinés en détail, et ils renvoient également aux fiches présentées dans le document hors-texte décrivant le choix des parades et les détails techniques des aménagements proposés pour réduire le risque (au stade d'Avant projet Sommaire : APS).

a) Site d'Istres (Bouches-du-Rhône – 13)

Le littoral de l'Etang-de-Berre fait partie intégrante de la basse Provence calcaire. Les déformations principales correspondent à des chevauchements vers le nord de la couverture sud-provençale, au fini Eocène (orogenèse pyrénéo-provençale). Les formations géologiques s'échelonnent entre le Crétacé (Calcaire du Bédoulien) et le Miocène moyen (Calcaires, sables et argiles du Vindobonien). Le secteur rocheux sédimentaire du littoral de l'étang de Berre forme des falaises de hauteur moyenne (au maximum une centaine de mètres au nord de Figuerolles sur la commune d'Istres. On observe assez souvent un platier rocheux en pied de falaise, correspondant généralement à un banc de grès ou de calcaire plus massif. Il s'agit donc sur ce littoral de micro falaises rocheuses pouvant néanmoins engendrer des instabilités liées aux hétérogénéités dans la lithologie plus qu'à la hauteur des falaises.

Les falaises littorales de l'Etang de Berre montrent les mêmes caractéristiques en termes d'instabilités rocheuses que celles en bord de mer. Les éboulements (chutes de blocs, de pierre…) sont répandus. Ce sont souvent les niveaux de grès et de calcaires qui, déstabilisés par une fracturation importante et surtout par l'érosion des marnes produisent des blocs parfois volumineux. Certains blocs basculent sans se propager et restent localisés en épandage sur la pente de colluvion. Les faciès marneux du Bégudien résistent peu à l'érosion et sont souvent sujets aux ravinements ou aux glissements de terrain. Enfin, on constate aussi des phénomènes d'érosion différentielle associés à des sous-cavages, ces phénomènes sont liés à une alternance régulière de niveaux de marnes, de sable et de calcaire, ou seuls les niveaux

compétents résistent à l'érosion. Plus particulièrement à Istres au niveau des Heures-Claires, ce sont principalement les habitations qui sont exposées au risque de chutes de pierres ou de blocs.

Les phénomènes de glissements de terrain (profonds, superficiels et coulées de boue) sont également très problématiques sur le secteur, ils concernent les formations meubles en pied de falaise, ils ont été étudiés par le biais d'une analyse bibliographique détaillée. Des conseils en termes d'aménagement sont également précisés.

Suite aux premières phases de l'étude (années 1 et 2), il s'avère que le site du Chemin de Saint-Pierre aux Heures-Claires reste problématique sur le secteur des Heures-Claires comme le précise les fiches hors-texte (A3_I01 à 10), ces sites sont présentés dans l'illustration ci-dessous (Illustration 7).

Les secteurs sensibles aux chutes de blocs peuvent être protégés par des aménagements adaptés comme ceux proposés en fiches hors-texte. En revanche, les glissements de terrain actifs sur le littoral de l'étang de Berre à Istres sont complexes et restent difficiles à conforter. La mise en place d'un système de surveillance permettant le contrôler l'évolution de ces glissements paraît judicieuse au vue de toutes les études géotechniques déjà réalisées sur le site.

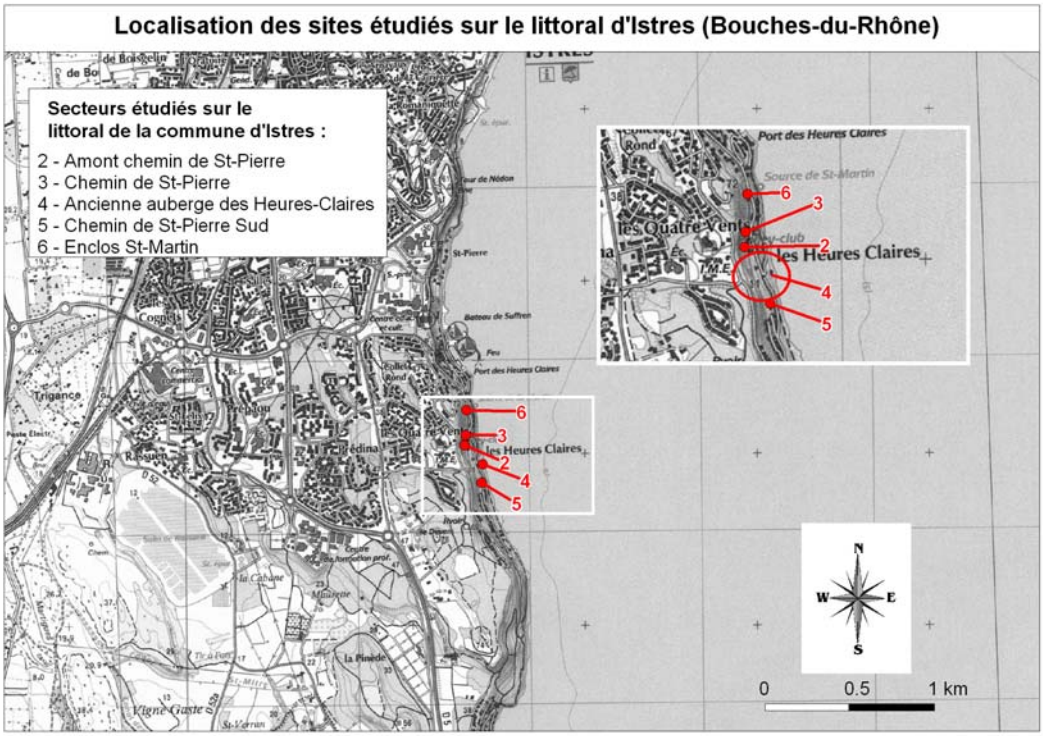


Illustration 7 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de la commune d'Istres

b) Site de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône – 13)

Le massif de la Côte Bleue, est composé de petites falaises atteignant parfois les 40 mètres de hauteur. Elles sont principalement constituées de terrains sédimentaires tertiaires (Miocène inférieur). Ces terrains tertiaires affleurent jusqu'aux environs d'Ensuès-la-Redonne (plus à l'Est). Les faciès du Miocène très représentés sur la chaîne de la Nerthe sont marqués par des phénomènes d'érosion différentielle intense du fait d'une alternance régulière de niveaux de marnes, de sable et de calcaire. Ces formes d'érosion déstabilisent généralement de grosses masses rocheuses et engendrent par conséquent des instabilités de type chutes de blocs en masses limitées ou non. La côte Bleue centrale montre un certain nombre de secteurs à risque élevé en termes d'instabilités de falaises (principalement sur Carry-le-Rouet, la Redonne et les Figuières).

D'un point de vue accessibilité du littoral, on trouve davantage de sentiers aménagés sur le littoral de Carry-le-Rouet et d'Ensuès-la-Redonne, ce qui draine une population de randonneurs toujours plus importante en été. De plus, les plages sont généralement au pied des falaises ou à proximité, ce qui accentue le nombre de personnes exposées.

Suite aux premières phases de l'étude (années 1 et 2), quatre sites ont été sélectionnés sur le littoral de Carry-le-Rouet pour leur niveau d'aléa élevé et la présence d'éléments exposés, ces sites sont présentés dans l'illustration ci-dessous (Illustration 8).

Le littoral de Carry-le-Rouet est déjà bien aménagé (sentiers, plages, ports, urbanisation). Il existe en effet un certain nombre d'études géotechniques qui ont mis en évidence des zones d'aléa élevé et qui ont proposé des solutions de mise en sécurité des accès. Quelques secteurs déjà étudiés montrant un aléa modéré à fort en termes d'instabilités restent néanmoins dépourvus d'aménagements de protection malgré qu'ils restent accessibles au public par des accès pas nécessairement aménagés. Il en revient alors à la commune de décider de la vocation de ces sites particulièrement sensibles.

Les fiches hors-texte sur Carry-le-Rouet (A3_C01 à 11) synthétisent les événements récents marquants d'éboulements sur le littoral et donnent des pistes d'interprétation sur leur déclenchement et leur mécanisme.

D'autre part, des analyses sur photographies prises à plusieurs années d'intervalles confirment le phénomène d'érosion sur ces falaises, en particulier les résultats du scan laser sur une période hivernale qui souligne bien le phénomène d'érosion et son ampleur.

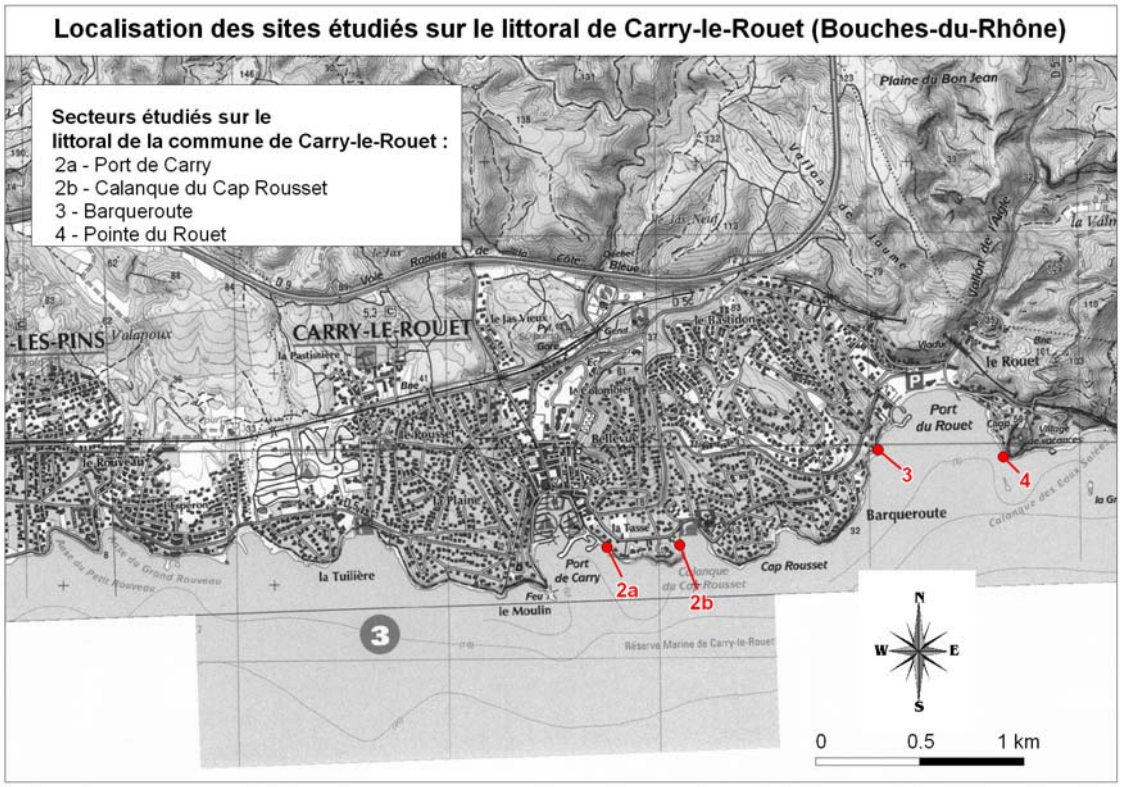


Illustration 8 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de la commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône)

c) Site de l'île de Port-Cros à Hyères (Var – 83)

Le littoral rocheux des îles de Port Cros dans le Var est formé de falaises de roches cristallines métamorphiques Il s'agit de la prolongation des faciès géologiques rencontrés sur le continent. La formation des îles étant liée à un basculement général le long de grands accidents Est-Ouest, les faciès évoluent d'ouest en est avec un degré de métamorphisme croissant, on passe ainsi des phyllades à l'ouest, aux micaschistes puis aux faciès gneissiques à l'est de l'île.
L'île de Port Cros compte de belles falaises sur la partie nord, mais d'une hauteur ne dépassant pas les 15 ou 20 m. Au sud en revanche, les falaises peuvent atteindre jusqu'à plus de 100 m de hauteur.
Concernant les instabilités, dans beaucoup de secteurs rocheux à falaises élevées on rencontre des éboulements en masse, limités ou non, des chutes de blocs et de pierres, on observe également des sous cavage dans les Tufs au sud-est de l'île.

Suite à l'analyse faite dans la phase de caractérisation de l'aléa instabilités de falaises sur le littoral de l'île de Port-Cros, certains sites s'étaient avérés être particulièrement à risques. Une visite de terrain avec les gestionnaires du Parc en 2008 a confirmé que cinq sites posaient des problèmes en termes de sécurité des personnes vis-à-vis des chutes de blocs en falaises (Illustration 9).

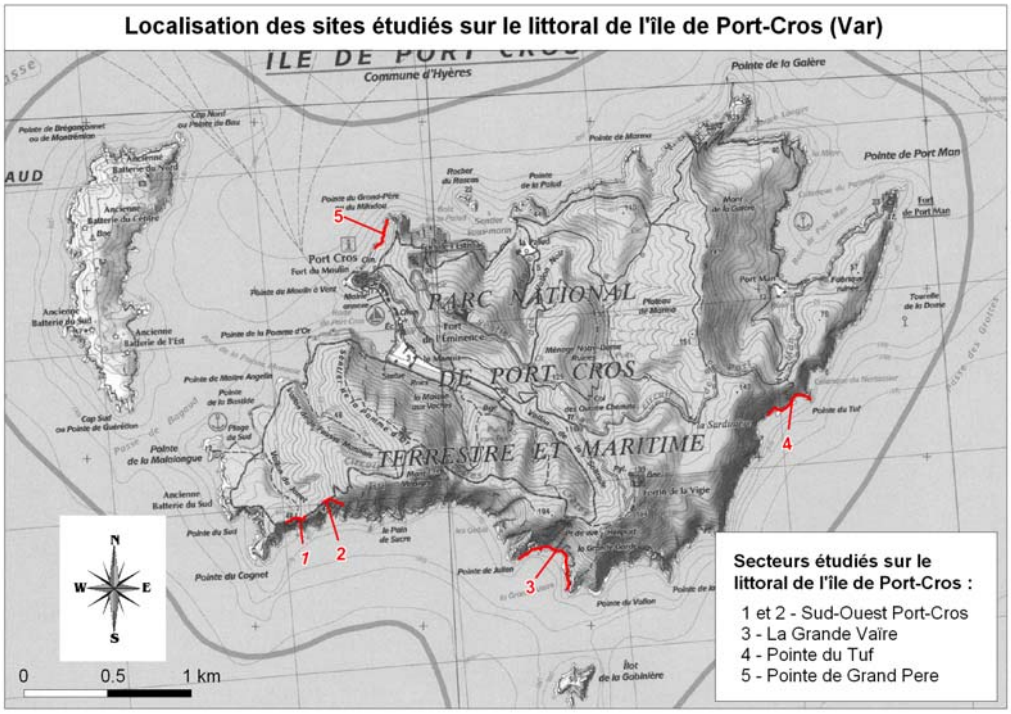


Illustration 9 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de l'île de Port-Cros (commune d'Hyères – Var)

Même si l'objectif du présent rapport était de proposer des aménagements et parades sur les falaises afin de diminuer le risque, le site de Port-Cros n'a pas fait l'objet de dimensionnement de parades ni d'aménagements proprement dits sur les sites particulièrement sensibles, compte tenue de l'impact esthétique que ces aménagements pourraient avoir dans le cadre du Parc National et de son attrait touristique très fort. Néanmoins compte tenu des indices d'érosion marqués des falaises sur les sites présents, nous proposons dans ce rapport de veiller à l'aménagement des accès à ces sites, notamment au niveau des sentiers de randonnées (Fiches hors-texte A3_P01 à 04).

d) Site d'Eze-Bord-de-mer (Alpes-Maritimes – 06)

Le littoral de la commune d'Eze dans les Alpes-Maritimes fait partie de la "*Corniche de la Riviera*", qui s'étend de Villefranche-sur-mer au Cap d'Ail. Sur ce secteur, les falaises sont de nature sédimentaire. Ce sont les calcaires du Jurassique inférieur et moyen qui constituent la majorité des falaises côtières hautes de 100 à 200 mètres.

Cette portion du littoral est également caractérisée par la juxtaposition sur une frange littorale très étroite de zones urbanisées, de voies de communications, de plages, et de zones naturelles (falaises côtières). Les instabilités les plus flagrantes ont été en partie traitées et les zones exposées protégées, mais certains sites restent néanmoins à risque.

Sur l'ensemble du linéaire à falaise appartenant à la commune d'Eze, nous avons identifié dans le cadre de cette troisième année d'étude, six secteurs à risques sur lesquels nous avons suggéré des aménagements adaptés (Illustration 10).

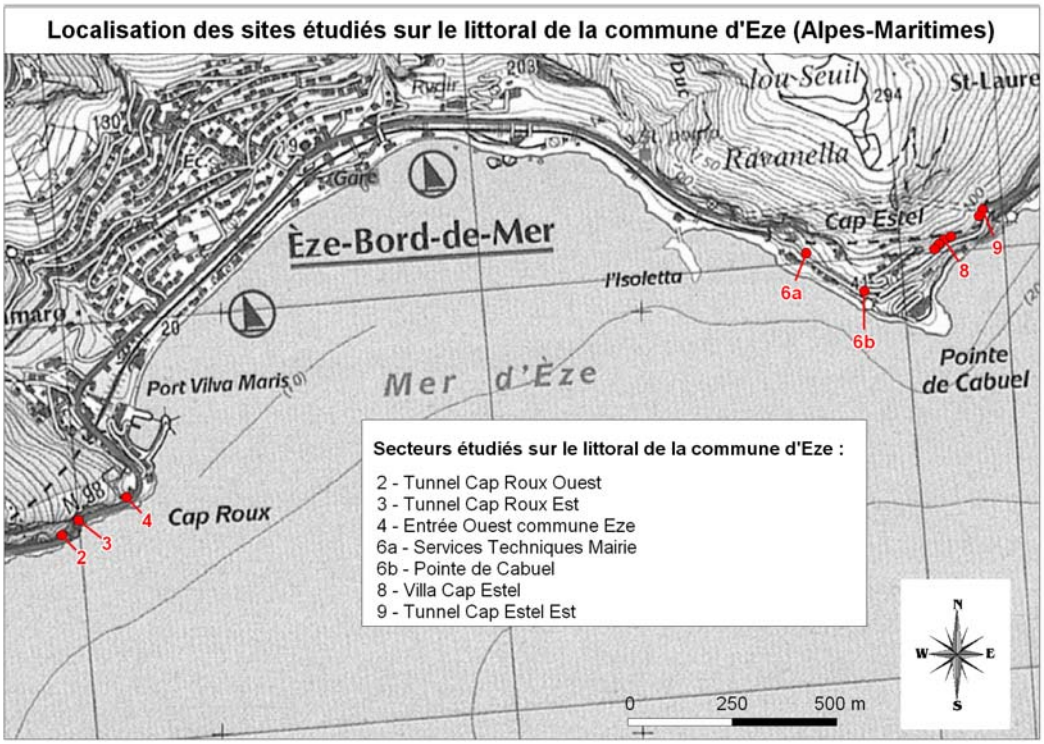


Illustration 10 : Localisation des secteurs étudiés sur le littoral de la commune d'Eze

De manière générale, il reste des secteurs à protéger compte tenu du passage de la route départementale très fréquentée en aval. Les méthodes proposées dans les fiches hors-texte concernent à la fois des parades actives et passives afin d'alléger le coût des travaux (Fiches hors-texte A3_E01 à 08).

3.2.4. Evaluation des coûts

Les coûts estimés et affichés sur les fiches hors texte ont été évalués à partir :

- du type d'aménagement qui a été choisi comme le plus adapté au problème ;
- des coûts unitaires (m^2, journalier, forfaitaire, m^3 et mètre linéaire) proposés aujourd'hui sur le marché et pratiqués par différentes entreprises ;
- d'une « fourchette » de prix représentative du budget estimé pour ce type d'aménagement.

Ces coûts sont des estimations grossières qui devront être reprécisés au cas par cas si la décision est prise de faire ces aménagements.

3.3. ANALYSE COMPARATIVE ET CARACTERISTION DE L'EROSION

Afin d'évaluer l'aléa chutes de blocs de manière probabiliste, l'utilisation d'un scanner laser est apparue intéressante et novatrice dans le cadre de cette troisième année d'étude. Grâce à deux levés successifs du relief de la falaise (l'un en octobre 2007, le deuxième en avril 2008), un maillage de points a été réalisé, ainsi qu'une ortho photo haute résolution par levé.

Nous avons décidé d'appliquer cette technique à la falaise du Rouet sur le site de Carry-le-Rouet compte tenu des observations qui avaient pu être faites sur la probable instabilité de cette falaise (Rapports RP-52829) et sur les nouvelles observations réalisées dans le cadre de cette troisième année d'étude. D'autre part, la morphologie de la falaise du Rouet ainsi que la possibilité d'accès à la fois en pied de falaise et sur un îlot à 20 mètres au large ont permis d'avoir de bonnes dispositions pour réaliser le scan.

L'objectif est de mesurer l'érosion en comparant les deux levés topographiques, sur un secteur présentant des cicatrices d'éboulements antérieurs.

3.3.1. Observation à partir de photographies anciennes

Une première comparaison photographique multitemporelle sur cette même falaise a été réalisée à l'aide du logiciel ENVI sur deux photographies prises en 1970 et 2007 (Planche hors texte n°1 : fiche A3_C09). Ce logiciel est un outil de lecture et de traitement d'images et de données.

Cette analyse a révélé deux phénomènes importants sur les 37 ans écoulés entre 1970 et 2007 :

- l'éboulement de masses rocheuses en surplomb dans la partie bréchique ;
- le ravinement en partie inférieure des marnes en alternance avec des niveaux conglomératiques.

Cinq zones ont été identifiées sur la falaise comme s'étant érodées de manière significative. Cette analyse ne permet pas de calculer les volumes érodés mais des surfaces d'affleurements affectés par l'érosion, notamment la trace d'anciens blocs en surplomb et la régression de matériaux meubles et pied de falaise.

Ainsi, en une trentaine d'année, la falaise du Rouet (face sud) se serait érodée sur 34 % de sa surface d'après l'analyse précédente effectuée avec un certain nombre d'incertitude (estimation des surfaces, mauvaise qualité de la photo de 1970, observation grossière).

L'érosion apparaît plus forte en pied de falaise, dans la Formation du Rouet composée de conglomérats, grès et marnes de l'Oligocène Supérieur c'est-à-dire de matériaux meubles, alors que sur les deux tiers supérieurs se trouvent les brèches du Cap de la Vierge - Tertiaire indéterminé - beaucoup plus indurées, qui s'érodent par départ de blocs agglomérés de conglomérats à matrice sablo-gréseuse, à des fréquences plus

faibles. Le pied de la falaise est en effet soumis directement aux effets de la houle, des embruns et le phénomène est bien visible à l'œil nu.

3.3.2. Analyse sur une courte période au scan laser

Cette deuxième analyse au levé scanner a apporté des informations supplémentaires en termes de précisions sur un laps de temps beaucoup plus court (6 mois).

Ces levés ont été réalisés avec un scanner laser terrestre utilisant une technologie dite « time of flight » pour déterminer la position des points atteints par le rayon laser. Les scans ont été réalisés par la société ATM3D[5] avec un scanner laser Riegl de type LMS-Z390. Comme l'ensemble de la falaise n'est pas visible depuis un seul point de visée, le laser a été installé sur des stations successives en pied de falaise, et exceptionnellement, compte tenu de la configuration du site, sur d'anciens blocs rocheux éboulés considérés comme stables. Chaque levé produit un nuage de millions de points mesurés en 3D, et les 2 levés ont été espacés de six mois afin d'essayer de voir les effets de l'érosion en période hivernale.

La planche hors-texte A3_C10 présente le mode opératoire et le déroulement de l'analyse au scan laser 3D réalisé sur la falaise du Rouet.

On notera les difficultés rencontrées sur cet exercice du fait de la présence de végétation sur la falaise, et de la surface localement très irrégulière de l'affleurement comprenant des zones d'ombres impossibles à scanner.

Ainsi, une fois les deux scans réalisés et les orthophotos haute résolution effectuées, nous avons pu comparer l'état de l'érosion à 6 mois d'intervalle sur la falaise du Rouet. La méthodologie d'analyse a été la suivante :

- superposition des deux scan laser (2007 et 2008) sur le logiciel Imview ;
- mise en évidence des secteurs qui apparaissent avoir été modifiés (à la fois par accrétion et par érosion) ;
- digitalisation sur ENVI des zones de végétation sur la falaise ;
- extraction des zones de végétation sur la comparaison des deux scan laser afin d'étudier uniquement les variations liées à l'érosion ou à l'accrétion de matière en faisant abstraction de la végétation ;
- zooms sur des zones d'érosion et d'accrétion (principalement accumulation de matière venue d'en haut) ;
- analyse détaillée.

[5] ATM3D : www.**atm3d**.com

3.4. CONCLUSIONS

Les différences topographiques observées successivement à partir des deux analyses précédentes permettent d'identifier les zones où l'érosion s'est produite durant la période, 1970-2007 et octobre 2007 - avril 2008, et de décrire les mécanismes d'érosion de façon plus détaillée.

Néanmoins, le test n'a pas permis d'évaluer précisément les surfaces érodées et les volumes de matériaux déplacés, compte tenu d'un certain nombre d'imprécisions dues en partie à la morphologie très particulière de la falaise (zones de retrait dues à l'érosion différentielle provoquant des zones d'ombres et par conséquent sans informations ; et présence de végétation).

Des observations plus précises et quantitatives (surface érodée, volume…) pourraient servir à construire un catalogue d'événements. En classant ensuite ces événements par intervalles de volume croissants, et en posant comme hypothèse que les événements qui se sont produits en 6 mois ou en 30 ans sont représentatifs de l'aléa moyen, il serait possible de calculer une loi empirique probabiliste décrivant l'aléa chutes de blocs.

Cette méthodologie probabiliste a, pour l'instant, été testée avec succès sur un site de falaises crayeuses à Mesnil Val, en Haute-Normandie[6] et serait intéressante à mener à titre comparatif sur une falaise du littoral de la région PACA telle que celle du Rouet par exemple.

[6] DEWEZ, T., GEBRAYEL, D., LHOMME, D. et ROBIN, Y. (2008)

4. Proposition d'une méthodologie de gestion du risque à l'échelle d'une commune

A la demande de la Région PACA, commanditaire de l'étude, un volet socio-économique a été abordé dans le cadre de l'année 3 de l'étude des falaises côtières, principalement à partir d'une enquête de perception du risque effectuée sur Carry-le-Rouet. Une analyse d'évaluation de la vulnérabilité permettra de donner des guides de gestion pour répondre à la demande sociétale.

Dans ce cadre là, plusieurs axes de travail de qualification et d'appréciation de la vulnérabilité du milieu côtier ont été abordés :

- une enquête de perception auprès des riverains des sites à falaises de la commune de Carry-le-Rouet a été réalisée afin d'essayer de qualifier voir de quantifier la perception du risque instabilités de falaises côtières ;
- dans un deuxième temps, à partir des résultats de l'enquête, une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité en tant que composante du risque a été appliquée sur la commune de Carry-le-Rouet ;
- enfin, ces différentes analyses nous ont permis de proposer une méthodologie de gestion de risque applicable à l'échelle d'une commune.

4.1. ENQUETE SUR LA PERCEPTION DU RISQUE INSTABILITES DE FALAISES COTIERES

Le littoral de la région PACA est un espace étroit et mouvant qui évolue par le biais de l'érosion.

Parallèlement, cet espace « naturel » est aussi devenu au fils des siècles un espace de loisir.

Le recul du trait de côte et l'occupation humaine du bord de mer sont à l'origine de l'émergence du risque instabilités de falaises côtières.

Les aléas et les enjeux ont été étudiés aux cours des années 1 et 2 de l'étude falaises[7], cependant la plupart des enjeux sont représentés par l'activité humaine sur le littoral (les principaux enjeux sont décrits dans les fiches d'identité des communes étudiées, présentées en annexe).

[7] Rapports année 1 : RP-52829-FR, année 2 : RP-53951-FR et RP-54316-FR.

La forte fréquentation touristique du bord de mer nous a conduits à nous interroger sur la connaissance des usagers sur les risques auxquels ils s'exposent : la perception du risque côtier est-il lié à certains facteurs qui caractérisent l'individu ?

Pour porter une appréciation sur la perception des risques, et par conséquent évaluer la vulnérabilité des sites au risque instabilités de falaises côtières, nous avons proposé aux usagers de répondre à un questionnaire. Il est composé de plusieurs thèmes afin que nous puissions vérifier si l'hypothèse selon laquelle l'identité sociale ou les pratiques ont une influence sur la perception du risque instabilités de falaises.

4.1.1. Méthodologie de l'enquête

a) Les dates et la durée de l'enquête

Par rapport à des contraintes de temps et de faisabilité, l'enquête a été réalisée sur 2 mois : du 17 avril au 16 juillet 2007, les dates des jours d'enquête sont listées ci-dessous :

- Mercredi 17 Avril 2007
- Jeudi 19 Avril 2007
- Mardi 24 Avril 2007
- Mercredi 25 Avril 2007
- Jeudi 26 Avril 2007
- Vendredi 18 Mai 2007
- Mardi 22 Mai 2007
- Mercredi 23 Mai 2007
- Lundi 04 Juin 2007
- Mercredi 06 Juin 2007
- Mardi 12 Juin 2007
- Mercredi 13 Juin 2007
- Mardi 19 Juin 2007
- Mercredi 4 Juillet 2007
- Vendredi 6 juillet 2007
- Jeudi 12 Juillet 2007
- Vendredi 13 Juillet 2007
- Lundi 16 Juillet 2007

Il faut noter l'absence de date de fin de semaine (samedi ou dimanche), ce qui n'est pas négligeable dans les résultats de l'enquête. Cependant, les usagers des fins de semaine ont été interrogés au cours d'un pont (le vendredi 18 mai, suivant le jeudi de l'ascension).

b) Les techniques d'enquête

L'enquête est basée sur un questionnaire qui a été soumis aux usagers du littoral de la commune de Carry-le-Rouet. Cette approche nous a permis de cumuler des informations à la fois qualitatives et quantitatives. Chaque point d'intervention était tenu par un seul enquêteur.

c) Les lieux de l'enquête

L'enquête a été réalisée de façon générale par temps sec (grand beau, beau, nuageux à couvert, mistral). (choix ou obligation)

Les 4 zones choisies pour réaliser l'enquête sont issues du croisant aléa – enjeux effectuée dans l'année 2 de l'étude sur les falaises, et en collaboration avec la mairie de Carry-le-Rouet :

Les 4 sites sont les suivants (Illustration 11) :

1. De la zone du moulin au phare de Carry-le Rouet : qualifié d'aléa nul à faible, et disposant d'un sentier du littoral aménagé (le sentier du lézard) ;
2. De la Calanque du Cap Rousset à la Calanque des Bouchons : qualifié d'aléa faible et disposant d'une section de bord de mer non aménagée et impraticable;
3. La zone Ouest du Port abri du Rouet : qualifié d'aléa moyen et disposant d'une section de bord de mer accessible et d'un sentier à l'étude ;
4. La pointe Est du Rouet qualifié d'aléa fort et disposant d'une section de bord de mer accessible.

Illustration 11 : Localisation des sites de l'enquête

Remarque : Sur les illustrations suivantes (schémas ou tableaux) faisant apparaître les 4 sites d'étude, les couleurs relatives au niveau d'aléa seront si possible rappelées (jaune pâle : aléa nul à faible ; jaune : aléa faible ; orange : aléa moyen ; rouge : aléa fort).

d) L'échantillon

Notre objectif n'est pas de construire un échantillon qui ressemble à une population existante sur la commune, mais au contraire de caractériser la fréquentation du littoral de la commune de Carry-le-Rouet. Nous avons pris soin d'interroger la population dans les différentes zones d'une manière équivalente mais de façon aléatoire (certaines zones sont plus fréquentées que d'autres). Chaque personne a été interrogée individuellement.

Nous avons interrogé 209 individus :

- 73 dans la zone 1 (35%) ;

- 63 dans la zone 2 (30%) ;

- 49 dans la zone 3 (23,5%)

- 24 dans la zone 4 (11,5%).

- L'origine géographique

La majorité des usagers interrogés (79 %) ne sont pas habitants de Carry-le-Rouet, néanmoins, parmi eux, 93 % sont originaires du département des Bouches-du-Rhône et 96 % de la région PACA (Illustration 12).

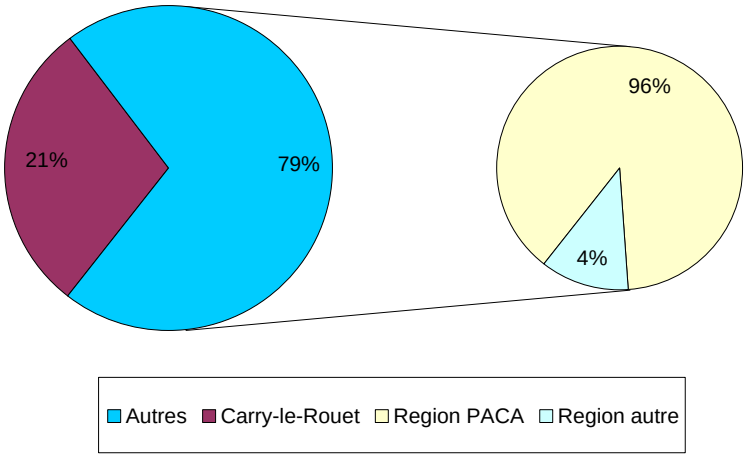


Illustration 12 : Résidence principale de l'échantillon interrogé

- La variable âge[8]

Pour porter une appréciation sur la répartition des âges de la population enquêtée, nous avions besoin d'un point de comparaison, il nous a été donné par la pyramide des âges de la population du département des Bouches du Rhône, étant donné que 93 % des usagers viennent de ce département[9].

La classe des 20-30 ans est la plus représentée sur la commune de Carry-le-Rouet, et elle constitue également 1/3 des usagers du littoral (c'est à dire des personnes fréquentant le littoral que ce soit sur les sentiers, les plages et pour des activités de pâche par exemple), ce qui correspond à une différence d'environ 15 points supérieur à la même classe d'âge dans le département (Illustration 13). Excepté les extrémités des classes d'âges, la répartition recouvre assez bien la population de référence (Bouches du Rhône).

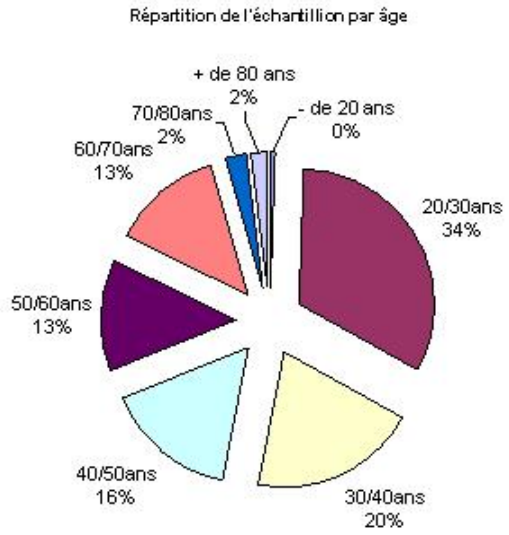


Illustration 13 : Répartition de l'échantillon interrogé par âge

- La Variable Sexe

Le genre masculin y est surreprésenté (60%), sans qu'il soit possible de dire si c'est le reflet exact de la fréquentation des lieux les jours de l'enquête (Illustration 14).

	Homme	femme
Population du littoral de la commune de Carry	60.29%	39.71%
Population des Bouches-du-Rhône (INSEE 1999)	48.12%	51.88%

Illustration 14 : Genre sur la commune de Carry-le-Rouet et des Bouches-du-Rhône

[8] Résultats détaillés en annexe 3

[9] INSEE – Recensement 1999

- La Variable « Catégories socio-professionnelles » (CSP)

Pour porter une appréciation sur la structure des CSP de la population enquêtée, nous avions besoin d'un point de comparaison ;il nous a été donné par la population des Bouches-du-Rhône[10]. La catégorie socio-professionnelle des employés (38%). domine parmi les usagers du le littoral de Carry-le-Rouet : La répartition recouvre assez bien la population de référence à plus ou moins 5 points de différence (Illustration 15).

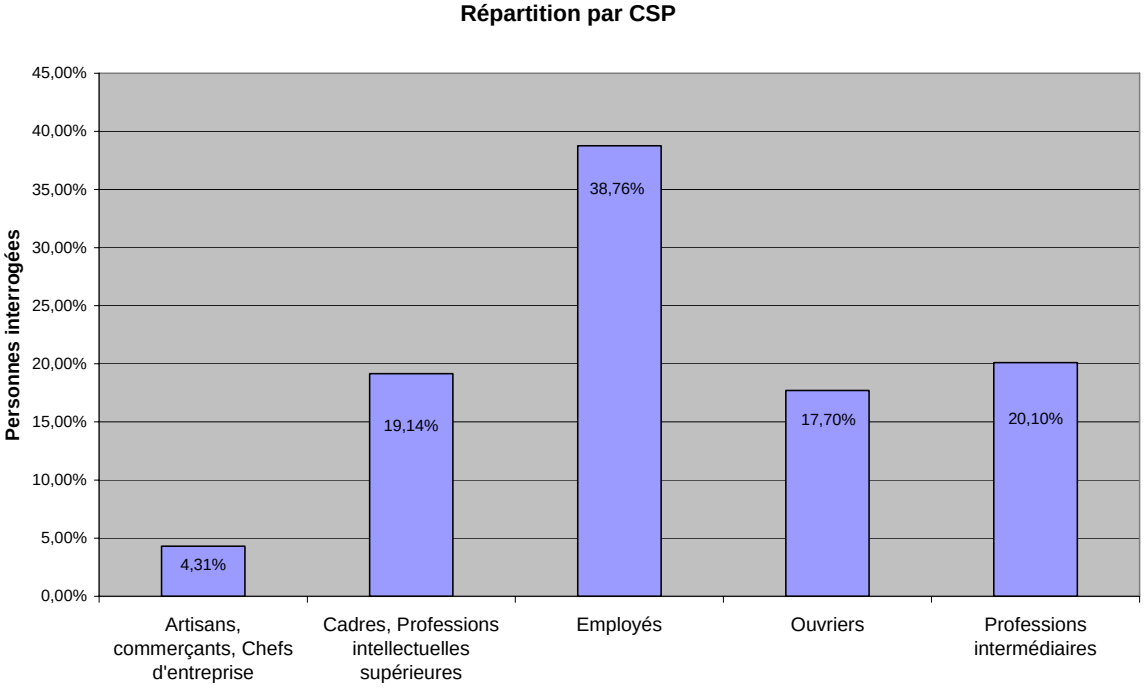


Illustration 15 : Répartition par CSP

e) Le questionnaire

Nous avons effectué une pré-enquête, dont nous avons gardé les résultats puisque seulement deux questions ont été ajoutées au questionnaire final. 209 questionnaires ont été passés au total. Le questionnaire est organisé selon 4 parties (cf. questionnaire en Annexe 3) :

Les questions se présentent sous trois formes :

- questions fermées à choix unique ;
- questions fermées à choix multiple ;
- questions ouvertes.

[10] Annexe 3

- La consigne

Le questionnaire démarrait ainsi :

« Bonjour,

Dans le cadre d'une étude portant sur les risques liés aux instabilités de falaises côtières sur la commune de Carry-le-Rouet et réalisée par le BRGM pour le Conseil Régional PACA et la DIREN, en collaboration avec la mairie de Carry-le-Rouet, nous aimerions vous poser quelques questions. Cette enquête est anonyme. Acceptez-vous d'y répondre ?

Nous vous remercions par avance de votre participation et du temps que vous allez nous consacrer. »

- Elaboration du questionnaire

Le questionnaire est composé de plusieurs thèmes, chacun de ces thèmes permet de vérifier chacune des hypothèses formulées.

Pour mesurer le degré d'exposition de notre population, notre indicateur a été le suivant : la localisation géographique de l'activité (promenade, plage, pêche…)des individus lors de la passation du questionnaire.

Pour analyser les représentations sociales des risques liés aux falaises côtières nos indicateurs ont été :

- La connaissance du risque :

- *Q 21 : « Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone de risques liés aux falaises côtières? », la passation du questionnaire se fait dans des zones d'aléa nul à fort ;*
- *Q 15 : « Pouvez vous localiser approximativement où se trouve ce risque d'éboulement ?» ;*
- *Q 11 à 14 : « Votre commune est-elle concernée par chacun des risques suivants ? » que l'on compare au tableau officiel des risques de la commune*.

- Le degré d'anticipation :

- *Q 31 : « Connaissez-vous les consignes de sécurité à suivre si un éboulement de falaise se produisait »*
- *Q 32 : « Selon vous qu'elle est la marche à suivre en cas d'éboulement de falaise ? »*

- Le degré de conscience du risque :

- *Q 20 : « Pensez-vous qu'il y aura un jour un autre éboulement de falaise de grande ampleur dans la commune? ».*

- La gestion du risque :

- *Q 22 à 24 : « Selon vous, faut-il lutter contre les risques liés aux falaises côtières…. ? »*

- Le degré de prise de risque et de respect des consignes :

- *Q 25 : « Face à un panneau interdisant de continuer en bord de falaise pour éviter un risque d'éboulement : 1. vous continuez ; 2. vous passez en retrait ; 3. vous rebroussez chemin » ????*

- Le degré d'information sur ce risque :

- *Q 29 : « Vous estimez vous suffisamment informés sur les risques liés aux falaises côtières ? » ;*
- *Q 30 « D'après vous, faut-il améliorer l'information préventive des risques liés aux falaises côtières par l'intermédiaire »*

- La mémoire des éboulements :

- *Q 16 : «Avez-vous eu connaissance d'un éboulement récent dans la commune ? » et si oui :*
- *Q 17 : « Comment avez vous pris connaissance de cet événement ? ».*

Nous avons voulu savoir à quelle fréquence notre échantillon parle des risques liés aux falaises côtières. En effet ces indicateurs permettent de mesurer si l'individu évolue dans un environnement attentif aux risques liés aux falaises côtières ou non.

Nous avons proposé une question d'évocation :

Les individus doivent énoncer les mots ou termes qui leur viennent à l'esprit lorsqu'ils pensent à l'expression « risques liés aux falaises côtières ».

Nous avons également posé des questions de fréquentation et d'activités sur la commune de Carry-le-Rouet, pour mettre en évidence que les pratiques sociales sont liées aux représentations sociales.

Dans toute enquête, il est nécessaire d'accorder une attention particulière aux déterminants sociaux : l'âge, le sexe, la catégorie socioprofessionnelle, le lieu de résidence, la profession, le niveau d'études…

f) La méthode d'évaluation contingente

La méthode d'évaluation contingente consiste à évaluer les moyens mis en œuvre en terme de protection et d'aménagement de défense contre la mer

- Questions d'ordre général

Cette partie porte sur l'individu, son origine géographique, la composition de son foyer.

Nous lui demandons en premier lieu la ville dans laquelle il réside, afin de savoir dès le départ si l'individu est concerné ou non par l'enquête.

La question de la composition du foyer est posée : connaître le nombre d'adultes et d'enfants vivant avec la personne interrogée. Si l'agent a des enfants, il peut avoir envie de léguer à ses descendants une sécurité face aux risques liés aux falaises côtières, dans ce cas, il se pourrait que la somme annoncée par l'individu ne soit pas une valeur d'usage pure mais la somme d'une valeur d'usage et d'une valeur de lègue.

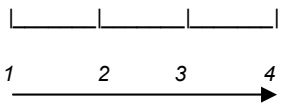
- Le scénario et la question de révélation de la valeur

Intéressons nous maintenant à notre principal problème : le risque lié aux instabilités de falaises côtières. Un des objectifs de la politique sur les risques naturels en région PACA est de diminuer la vulnérabilité. Les falaises côtières montrent une érosion entraînant des instabilités récurrentes de type chute de blocs et chute de pierres.

Un éboulement de falaises a régulièrement des conséquences sur les activités et la sécurité de la population (au niveau des sentiers côtiers, des plages, des ports ou des routes), sur les biens (l'habitat, les réseaux routiers ou ferroviaires), sur les milieux (zones de protection).

Des aménagements de protection peuvent être réalisés comme le confortement des parois contre les éboulements et les chutes de blocs, la mise en place d'enrochements etc.…Des mesures peuvent également être prise : la plage peut être interdite, les maisons abandonnées etc…

- *« Vous allez dans cette partie être amenés à évaluer l'importance de la réalisation de ces aménagements qui seront une parade à l'érosion des falaises sur la commune de Carry-le-Rouet.*
- *« Pensez vous que la réalisation d'aménagement sur les falaises à risque sur la commune de Carry-le-Rouet soit :*



□ *Nsp*

Sans Importance *Très importante*

Pourquoi (Dans tous les cas)?.....

Nous tentons ici d'estimer la valeur accordée à l'amélioration de l'état des falaises du littoral de la commune de Carry-le-Rouet, et ceux au travers d'effort financier que la personne interrogée juge favorable pour cette amélioration. Pour cela on pourrait envisager que la population contribue financièrement à un impôt ou à un fond commun associatif en versant de l'argent de façon volontaire.

- Seriez-vous prêt à verser de l'argent à un tel fond associatif ?

□ Oui
□ Non

- Si oui, quelle contribution financière seriez vous prêt(e) à verser, par an en euros, pour le financement de ces aménagements ?

…… »

4.1.2. Application de la méthode sur la commune de Carry-le-Rouet

a) L'identité sociale du risque côtier

Tout au long de cette étude nous allons tenter de mettre en évidence des liens entre différentes variables. Le test employé est appelé test du Khi-deux[11]. Il permet de comparer deux variables entre elles avec un coefficient d'erreur fixé dans cette étude à 0,01% ou 0,05% selon les cas.

Afin de déterminer si des variables sont liées ou pas, on formule deux hypothèses que l'on va accepter ou rejeter :

Hypothèse H_0 : Les deux variables étudiées (Catégorie Socio-Professionnelle et réaction face aux risques d'instabilités des falaises côtières pour protéger une maison menacée) sont indépendantes. Sous cette hypothèse, le fait d'avoir identifié chez un individu sa Catégorie Socio-Professionnelle n'apporte aucune information sur sa façon de réagir face au risque côtier pour protéger une maison menacée.

Hypothèse H_1: Les deux variables étudiées ne sont pas indépendantes. Cette hypothèse exprime le contraire de H_0.

Seuls les résultats de khi-deux conduisant à rejeter l'hypothèse H_0 au risque de se tromper de 0,01% ou 0,05% sont présentés dans cette étude.

- Les couches populaires très protectrices

La question de la protection des activités touristiques, de la sauvegarde du paysage et de la nature fait l'unanimité chez les individus de notre échantillon : toutes C.S.P confondues 87% et 99% affirment qu'il faut toujours lutter contre l'érosion (Illustration 16).

D'un autre côté, la question de la protection d'une maison menacée ne fait pas l'unanimité : Quel que soit le bien ou l'activité à protéger, ce sont les individus appartenant aux CSP les moins favorisées qui sont prêts à consentir des efforts : les ouvriers et employés sont respectivement 75% et 74% à affirmer qu'il faut toujours lutter contre l'érosion pour protéger une maison, alors que les cadres et les membres des professions intermédiaires ne sont respectivement que 25% et 33% à l'affirmer.

[11] Le calcul du Khi-deux a été effectué avec le logiciel SAS

Il faut lutter contre l'érosion… C.S.P	Pour protéger une maison menacée[12]		Pour protéger des activités touristiques		Pour sauvegarder le paysage et la nature	
	Oui toujours	Oui mais pas à n'importe quel prix	Oui toujours	Oui mais pas à n'importe quel prix	Oui toujours	Oui mais pas à n'importe quel prix
Cadres, professions intellectuelles	25%	75%	80%	20%	100%	0%
Professions intermédiaires	33,3%	66,7%	83,3%	16,7%	100%	0%
Artisans, commerçant, chefs d'entreprise	66,7%	33,3%	88,9%	11,1%	100%	0%
Employés	74,1%	25,9%	90,1%	9,9%	97,5%	2,5%
Ouvriers	75,7%	24,3%	94,6%	5,4%	100%	0%
Toutes CSP confondus	**56,5%**	**43,5%**	**87,6%**	**12,4%**	**99%**	**8%**

Illustration 16 : CSP[13] et lutte face aux risques d'instabilités des falaises côtières

Les couches populaires exposées à un monde plus dur sont plus attachés aux biens matériels, qui sont souvent la récompense d'efforts importants. La menace de perdre ces biens les touche plus directement, contrairement aux membres des classes mieux dotées en capitaux économiques.

- L'âge et la prise de risque

Les moins de 25 ans sont 70,5% à imaginer qu'ils continueraient en avançant prudemment, contre 29% pour la classe des plus de 60 ans. Plus l'âge augmente, plus la prise de risque diminue (Illustration 17).

[12] Test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,01% Annexe 3

[13] Catégories Socio-Professionnelles

Face à un panneau interdisant de continuer en bord de falaise **Classe d'âge**	**Vous continuez en avançant prudemment**	**Vous passez en retrait**	**Vous rebroussez chemin**	**Total**
Moins de 25ans	70,5%	27,3%	2,3%	100%
De 25 à 30 ans	58,6%	34,5%	6,9%	100%
De 30 à 40 ans	31,6%	50%	18,4%	100%
De 40 à 50 ans	39,4%	36,4%	24,2%	100%
De 50 à 60 ans	42,9%	42,9%	13,3%	100%
60 ans et plus	29,7%	37,8%	32,4%	100%
Total	**45,9%**	**37,8%**	**16,3%**	**100%**

Illustration 17 : Ages et réaction face à la réglementation[14]

Cette différence peut s'expliquer par le fait que les populations jeunes sont en général moins disposées à la prudence, plus susceptibles à avoir des comportements à risques.

b) L'évocation du risque côtier[15]

Les représentations sociales sont définies comme étant une forme de connaissance socialement élaborée, un ensemble d'informations et d'opinions.

Tout d'abord nous allons faire une analyse des représentations sociales de notre échantillon, à l'aide de la question d'évocation (c'est la première question qui traite des instabilités dans le questionnaire) :

- *« Veuillez nous donnez 3 mots qui vous viennent à l'esprit lorsqu'on vous parle de « risques liés aux falaises côtières ».*

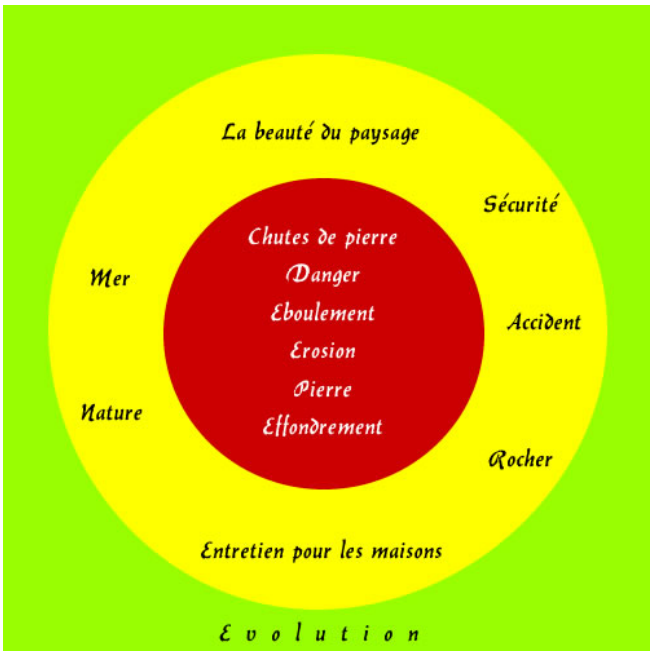
Nous ne rechercherons pas seulement l'opinion des enquêtés, mais aussi l'organisation de leur représentation. Ainsi nous devons identifier les éléments qui

[14] Test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,05% Annexe 3

[15] Données traitées avec le logiciel d'analyse EVOC2000 (voir annexe 3 pour des résultats plus détaillés)

peuvent être considérés comme définissant la représentation et montrer l'existence d'un noyau central.

Les résultats de l'analyse d'évocation effectuée sur l'échantillon interrogé sont présentés dans l'illustration ci-dessous (Illustration 18). On voit qu'au centre, se situent les éléments constitutifs du noyau central. Ces éléments sont bordés par les éléments périphériques. Puis l'extérieur du schéma représente les éléments contrastés de la représentation sociale.



Noyau central, éléments périphérique, éléments contrastés

Illustration 18 : Résultats de l'analyse d'évocation

- La définition du risque comme élément fondamental

Le noyau central représente le mieux, selon les personnes interrogées l'objet de la question, c'est-à-dire les instabilités des falaises côtières. Ce sont les mots cités le plus grand nombre de fois et toujours dans les premier rangs.

Il développe une idée de définition du risque des falaises côtières, délimite le contexte général du problème des falaises côtières en empruntant des termes à la typologie des mouvements de terrain (érosion, chutes de pierres, éboulement) qui font référence aux mouvements progressifs (érosion) mais aussi soudains (éboulement, effondrement).

Les individus interrogés ont une description appropriée des instabilités des falaises côtières, toutefois elle est complétée par un sentiment de menace pour leur sécurité (danger).

- La dualité du patrimoine

Les éléments de la périphérie sont les mots qui sont souvent cités par les personnes interrogées, donc indissociables de l'objet étudié, mais avec une importance relativement faible (car cités dans les derniers rangs).

Dans un premier temps, les éléments périphériques sont dans la continuité du sentiment de danger avec la description d'un évènement imprévisible qui peut affecter une personne (accident), renforcé par la nécessité d'être à l'abri du danger (sécurité).

Dans un second temps, les éléments de la périphérie observent une dichotomie avec d'un côté les éléments qui développent une idée de patrimoine naturel, en faisant référence à la réalité matérielle considérée comme indépendante de l'activité et de l'histoire humaine (nature, mer), qui traduisent un aspect de l'individu dans la nature capable de susciter l'admiration (beauté du paysage). Cette idée de patrimoine naturel est caractéristique des touristes[16], qui fréquentent le littoral de Carry-le-Rouet essentiellement pour pratiquer des activités tournées vers la mer : baignade, plage.

De l'autre côté on retrouve les éléments qui présentent un caractère de patrimoine économique, c'est-à-dire l'ensemble des biens matériels possédés par un individu, qu'il veut conserver en l'état (entretien pour les maisons). Cette idée de patrimoine économique est caractéristique des usagers du littoral qui ont une résidence dans la commune de Carry-le-Rouet[17]. Les résidents de Carry-le-Rouet ont un attachement plus direct aux biens matériels menacés (habitations) que ne peuvent avoir les touristes.

c) L'évaluation de la perception du risque côtier

Le risque est la confrontation de l'aléa , des enjeux et de leur vulnérabilité à l'alea, mais il existe des appréhensions, des craintes que l'on peut synthétiser par le terme « perception du risque »[18] . Celle-ci, propre à chacun, peut être définie comme l'évaluation d'un danger. Mais cette évaluation est le résultat de connaissances socialement déterminées, variables selon les sociétés et la place de chacun au sein de celle-ci.

[16] Résultats en annexe 3

[17] Résultats en annexe 3

[18] Institut Français de l'environnement, 2005, « perception sociale des risques naturels », données de l'environnement, n° 99

- La connaissance du risque

- La commune face aux risques

La commune de Carry-le-Rouet est confrontée, à des degrés divers, à des risques naturels variés : instabilités des falaises côtières, mouvements de terrain, inondations, incendies de forêt. Le diagramme ci-dessous (Illustration 19) montre la réponse à la question suivante :

- *Q 11 à 14 : « Votre commune est-elle concernée par chacun des risques suivants ? » que l'on compare au tableau officiel des risques de la commune*[19]**.**

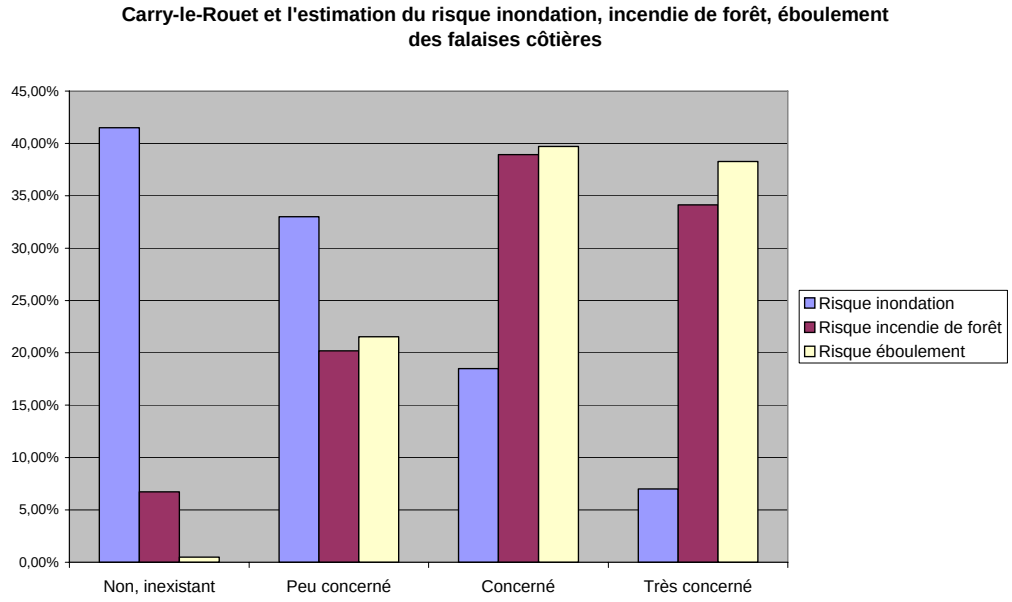


Illustration 19 : Estimation du risque inondation, incendie de forêts, éboulement des falaises côtières

Pour le risque inondation, il a été recensé 4 arrêtés de catastrophes naturelles (2 en 1994, 2 en 2005)[20]. Le risque inondation, est dans certaines zones de, Carry-le-Rouet identifié comme fort à très fort. Pourtant à la question :

- *« Selon vous, la commune de Carry-le-Rouet est-elle concernée par le risque inondation ? »*

[19] Faisant référence aux arrêtés de Catastrophes Naturels au Journal Officiel

[20] Source : Prim.net

Seulement 7% de notre échantillon estime que la commune de Carry-le-Rouet est très concernée par ce risque.

Pour le risque incendie de forêts, la commune a été parcourue 2 fois par un incendie entre 1962 et 1992[21] et elle a été identifiée à l'échelle régionale comme une zone à enjeu humain[22]. A la question :

- *« Selon vous, la commune de Carry-le-Rouet est-elle concernée par le risque incendie de forêt ? »*

39 % de notre échantillon pense que la commune est concernée par ce risque et 34% pense que la commune est très concernée par ce risque.

Pour les risques d'instabilités des falaises côtières, le BRGM a identifié différentes zones d'aléa (de nul à faible à fort). La mairie de Carry-le-Rouet a dressé 2 arrêtés (1998 et 2005) qui interdisent le passage piéton en bord de mer entre le port de plaisance et le port abri du Rouet à cause du danger d'éboulement des falaises. A la question :

- *« Selon vous, la commune de Carry-le-Rouet est-elle concernée par les risques d'éboulements de chutes de pierres et de blocs? »*

39 % de notre échantillon pense que la commune est concernée par ce risque et 38% pense que la commune est très concernée par ce risque.

La comparaison entre les arrêtés de Catastrophe Naturelle de la commune et l'estimation de notre échantillon laisse apparaître une connaissance conforme aux risques encourus par la commune. Cette proposition doit être relativisée puisque notre échantillon peut être dépendant d'une certaine amplification ou d'un refus du risque.

- **Le degré de conscience du risque côtier**

i- L'estimation du risque

L'Illustration ci-dessous (Illustration 20) présente le pourcentage de personnes ayant répondu à telle ou telle réponse à la question suivante, et par site :

- *« Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone exposée à des risques ld'instabilité des falaises côtières ? »*

[21] Source : BCEOM

[22] Source : Prim.net

Exposé / Lieu	Non pas du tout	Peu exposé	Exposé	Très exposé	Total
Zone du moulin/phare de Carry-le-Rouet	**43,8%**	26%	23,3%	6,8%	**100%**
Calanque du Cap Rousset / Calanque des bouchons	11,1%	**36,5%**	31,7%	20,6%	**100%**
Zone ouest du port abri du Rouet	12,2%	18,4%	**38,8%**	30,6%	**100%**
Pointe du rouet	16,7%	20,8%	29,2%	**33,3%**	**100%**
Total	**23,4%**	**26,8%**	**30,1%**	**19,6%**	**100%**

Illustration 20 : Croisement du degré d'exposition et de la question [23]

Il semble apparaître une différence de perception des risques entre les différents lieux.

Toutefois d'après les études sur l'aléa nous savons que :

- La zone du moulin/phare de Carry-le-Rouet a été caractérisée avec un aléa de nul à faible ;
- La zone de la Calanque du Cap Rousset à la Calanque des bouchons a été caractérisée avec un aléa faible ;
- La zone ouest du port abri du Rouet est caractérisée par un aléa moyen ;
- La zone de la pointe du Rouet a été caractérisée avec un aléa fort

Plus l'aléa croît, plus les personnes se sentent exposé à cet aléa et par conséquent plus le risque est fort

Le degré de conscience du risque croît avec le degré de l'aléa.

ii- L'indice de perception du risque[24]

Pour évaluer la perception du risque, nous avons construit un indice avec deux variables.

[23] Test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,01% annexe 3

[24] Voir Annexe 3 pour plus d'informations sur la construction de l'indice

Le niveau de l'aléa est révélé par la zone de passation du questionnaire tandis que le sentiment d'exposition aux instabilités des falaises côtières est indiqué par la réponse à la question :

- *« Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone exposée à des risques liés aux falaises côtières ? »*

En utilisant ces deux informations nous avons pu à l'aide d'une simple opération arithmétique faire la différence entre le sentiment d'exposition aux risques falaises côtières et le niveau d'aléa de la zone (Illustration 21).

Construction de l'indice de perception du risque côtier

Niveau d'aléa / Sentiment d'exposition	1	2	3	4
1	0	-1	-2	-3
2	1	0	-1	-2
3	2	1	0	-1
4	3	2	1	0

Illustration 21 : Construction de l'indice de perception du risque côtier (par soustraction du niveau d'aléa au sentiment d'exposition)

Ainsi ce calcul nous donne un indice pour chaque cas de figure :

- 0 : le niveau d'aléa de la zone est équivalent au sentiment d'exposition de l'individu.

Plus l'indice s'éloigne 0 moins la perception est exacte :

- 1, 2, 3 : le niveau d'aléa de la zone est inférieur au sentiment d'exposition de l'individu, l'individu surestime le risque ;
- -1, -2, -3 : le niveau d'aléa de la zone est supérieur au sentiment d'exposition de l'individu, l'individu sous-estime le risque.

Afin de porter une appréciation sur l'indice de perception du risque, nous avons crée des classes. La classe « perception très mauvaise » regroupe le niveau -3 avec le niveau 3, la classe « perception mauvaise » regroupe le niveau -2 avec le niveau 2, la classe « perception bonne » regroupe le niveau -1 avec le niveau 1, la classe « perception très bonne » regroupe le niveau 0 (Illustration 22).

Ainsi 75% des individus de notre échantillon ont une bonne perception du risque de la zone où il se trouve. De plus 95% des personnes interrogées parvient à localiser approximativement sur une carte ou visuellement où se trouve le risque d'éboulement[25].

[25] Voir annexe 3

Par ailleurs parmi les individus qui ont une mauvaise voire une très mauvaise perception du risque seulement 7% sous-estiment le risque tandis que 16% le surestiment[26].

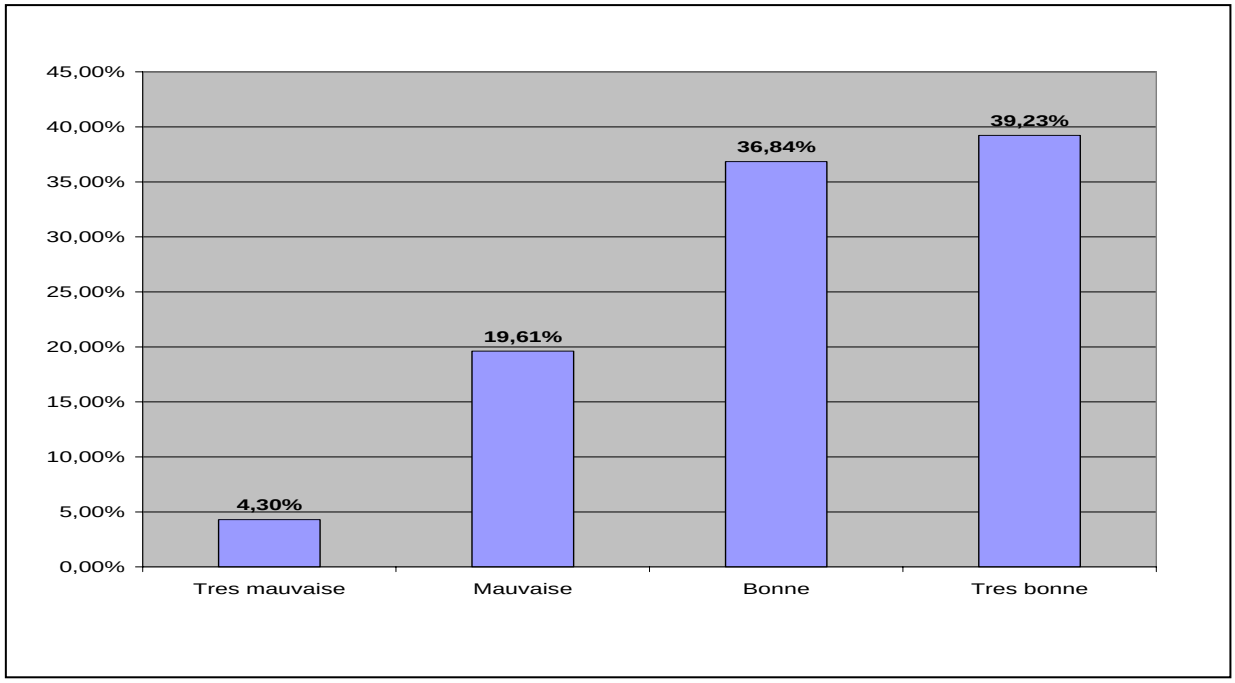


Illustration 22 : Représentation de l'indice de perceptio

- **Le déni du risque quotidien à l'emphase de la première fois**

L'Illustration 23 ci-dessous présente le croisement des réponses aux deux questions suivantes :

- *« Fréquentez-vous régulièrement les sentiers littoraux de la commune de Carry-le Rouet ? »*
- *« Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone exposée à des risques liés aux falaises côtières ? »*[27]

[26] Voir annexe 3

[27] Application du test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,05% annexe 3

Exposition / Fréquentation	Non, pas du tout	Peu exposé	Exposé	Très exposé	Total
1er fois	10,8%	16,2%	29,7%	**43,2%**	**100%**
Moins de 5 fois par an	22,5%	22,5%	**32,5%**	22,5%	**100%**
Entre 5 et 10 fois par an	14,3%	**37,1%**	37,1%	11,4%	**100%**
Plus de 10 fois par an	**32%**	28,8%	26,8%	12,4%	**100%**
Total	**23,4%**	**26,8%**	**30,1%**	**19,6%**	**100%**

Illustration 23 : Le déni du risque

A l'aide de ce tableau, nous observons que plus la fréquentation est régulière plus la l'estimation du risque est faible. Pour les individus de notre échantillon qui viennent pour la première fois sur le littoral de Carry-le-Rouet : 43% estiment être dans une zone très exposée à des risques liés aux falaises côtières, alors que seulement 10% estiment n'être pas du tout dans une zone exposée.

Au contraire, pour les individus réguliers qui viennent plus de 10 fois par an : 12% estiment être dans une zone très exposée à des risques liés aux falaises côtières, alors qu'ils sont 32% qui estiment n'être pas du tout dans une zone exposée.

On observe une dichotomie du risque : d'un côté un déni du risque chez les usagers qui fréquentent régulièrement le littoral de Carry-le-Rouet, qui sont essentiellement des habitants de la commune (64% des usagers journaliers habitent Carry-le-Rouet)[28] et de l'autre une emphase du risque chez les usagers qui fréquentent pour la 1er fois ou rarement le littoral de la commune.

- **Les activités vecteurs de bien être et sources de risques**

Globalement les individus perçoivent un risque comme dérisoire, admissible, tolérable ou inacceptable et le compare aux avantages attendus, en estimant que les avantages doivent l'emporter nettement sur les risques.

- **L'appropriation physique et symbolique du littoral de Carry-le-Rouet**

La fréquentation du littoral est avant tout touristique puisque 79% de notre échantillon n'est pas résidant de la commune de Carry-le-Rouet.[29]

[28] Tableau en annexe 3 : Application du test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,01%

[29] Voir annexe 3

Par ailleurs le tourisme sur Carry-le-Rouet est principalement un tourisme de proximité, seul 3,5% de notre population est originaire d'une autre région, alors que 41%, 10%, 7%, 7%[30] des non résidants de notre population proviennent respectivement de Marseille, Aix-en-Provence, Marignane, Vitrolles.

Cette population touristique provient essentiellement de zones urbaines, cela signifie que pour tous, les pratiques de nature ne s'inscrivent pas dans une expérience quotidienne.

Aujourd'hui, le littoral est un espace de loisir de plein air, il est approprié par des populations urbaines, il accueille des citadins pour la détente et la récréation (Illustration 24).

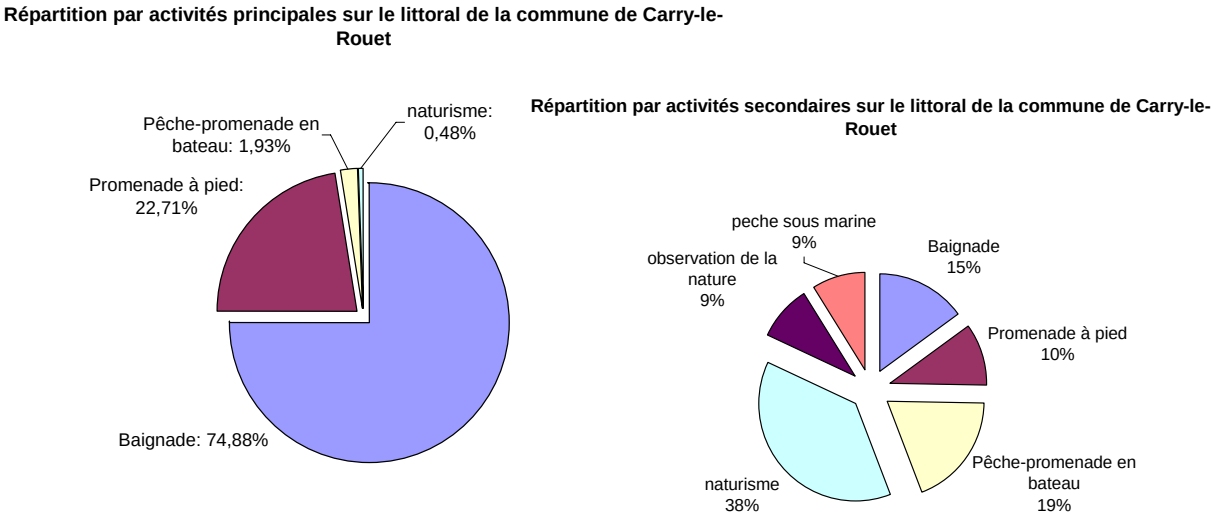


Illustration 24 : Répartition des activités sur le littoral de Carry-le-Rouet

Au premier niveau, les usagers du littoral de Carry-le-Rouet viennent pour :

- une activité de simple moment de détente : la plage, baignade, naturisme, pêche, observation de la nature ;
- une activité à base sportive : la promenade, la marche.

La promenade (22%) et la baignade (74%) se détachent globalement comme activités dominantes.

Les différents sites reçoivent des activités différentes : si la baignade est présente partout sur le littoral, la promenade est spécifique à la zone du chemin du lézard

[30] Voir annexe 3

(85%)[31], ce qui s'explique par la présence d'équipement (tracés et balisages) dans cette zone. Le naturisme représente 22% des activités secondaires mais se pratique essentiellement dans une zone entre la calanque Cap Rousset et la Calanque des Bouchons (cette activité représente 34% des activités de cette zone)[32].

Les deux pratiques dominantes (promenade et baignade) se distinguent par la façon d'investir le littoral. Alors que les promeneurs ont un comportement d'itinérant allant d'un point à un autre, d'une zone à une autre, d'un niveau d'aléa à un autre, les individus qui profitent de la plage sont avant tout des sédentaires dans leur comportement, ils se fixent pendant quelques heures dans un lieu, une zone, et par conséquent un niveau d'aléa.

Ces deux pratiques se discernent aussi par leur appartenance à des couches sociales différentes[33] : alors que les couches moyennes (intellectuelles) concordent avec la population de promeneurs, les couches populaires correspondent à la population qui investit la plage pour la baignade.

Le littoral répond à des usages différents qui sont l'expression de groupes sociaux différenciés, soumis à des modes d'appropriation symbolique pour les promeneurs et d'appropriation physique pour les pratiquants de la baignade (Chamboredon, 1980).

L'occupation du trait de côte est due à l'attrait de la mer, élément central du paysage et des activités qui procurent un sentiment de satisfaction à leurs usagers. Par conséquent la frange côtière attire une forte fréquentation qui est la base de l'accroissement des enjeux. Parallèlement à ces enjeux, le littoral est source d'aléa engendré par les instabilités des falaises côtières.

Ainsi, cette convergence de l'existence d'un aléa et d'une forte fréquentation de la frange côtière engendre le risque côtier.

- **Les activités sources de proximité et d'exposition**

L'indice construit pour évaluer la perception du risque nous aide à différencier la pratique de la baignade à la pratique de la promenade.

Même si notre échantillon a une bonne perception du risque de la zone où il se trouve, les individus qui pratiquent la promenade ont une connaissance du risque plus précise : 57% ont une perception très bonne contrairement aux personnes qui pratiquent la baignade qui ont une connaissance plus estompée du risque encouru : 32% ont une perception très bonne (Illustration 25).

[31] Application du test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,01% (85% des individus pratiquent la promenade à pied sur la zone entre le moulin/ et le phare de Carry) annexe 3

[32] Voir annexe 3

[33] Voir annexe 3

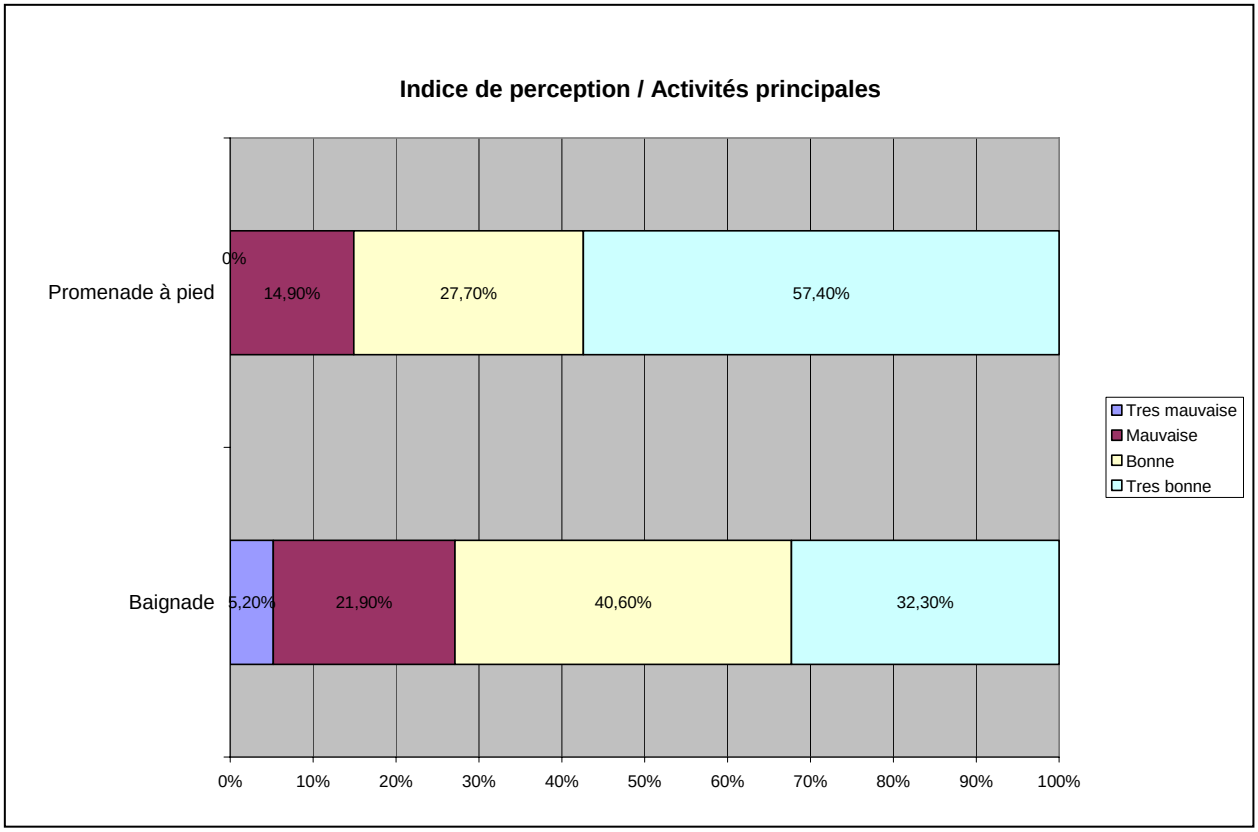


Illustration 25 : Indice de perception / Activités principales[34]

La pratique de la promenade à pied et de la baignade se différencie dans la façon d'investir le littoral (voir paragraphes précédents), mais se différencie aussi par la façon de s'exposer à un risque.

Ainsi, 95% des individus qui pratiquent la promenade à pied sont dans une zone qualifiée d'aléa nul à faible, tandis que 45% des personnes qui pratiquent la baignade sont dans une zone exposée à un risque moyen à fort.

Dans le même temps les individus qui pratiquent la promenade se regroupent essentiellement dans la zone du sentier du lézard, qualifiée d'aléa nul à faible. Le sentier du lézard est aménagé de balises et de tracés, le circuit passe essentiellement au-dessus ou en retrait des falaises qui ne dépassent pas les 25 m de hauteur. Ceci tend à faire diminuer le degré de proximité et d'exposition aux risques. Les sections du

[34] Test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,05% annexe 3

littoral situées dans des zones qualifiées en aléa fort sont aujourd'hui fermées par arrêté municipal (par exemple Barqueroute) ou non aménagé pour la promenade (exemple Cap du Rouet).

Contrairement aux baigneurs et naturistes qui eux recherchent le calme, la tranquillité et le confort (roche plate) qu'ils trouvent généralement en dessous des falaises où le degré de proximité et d'exposition est le plus fort (Illustration 26).

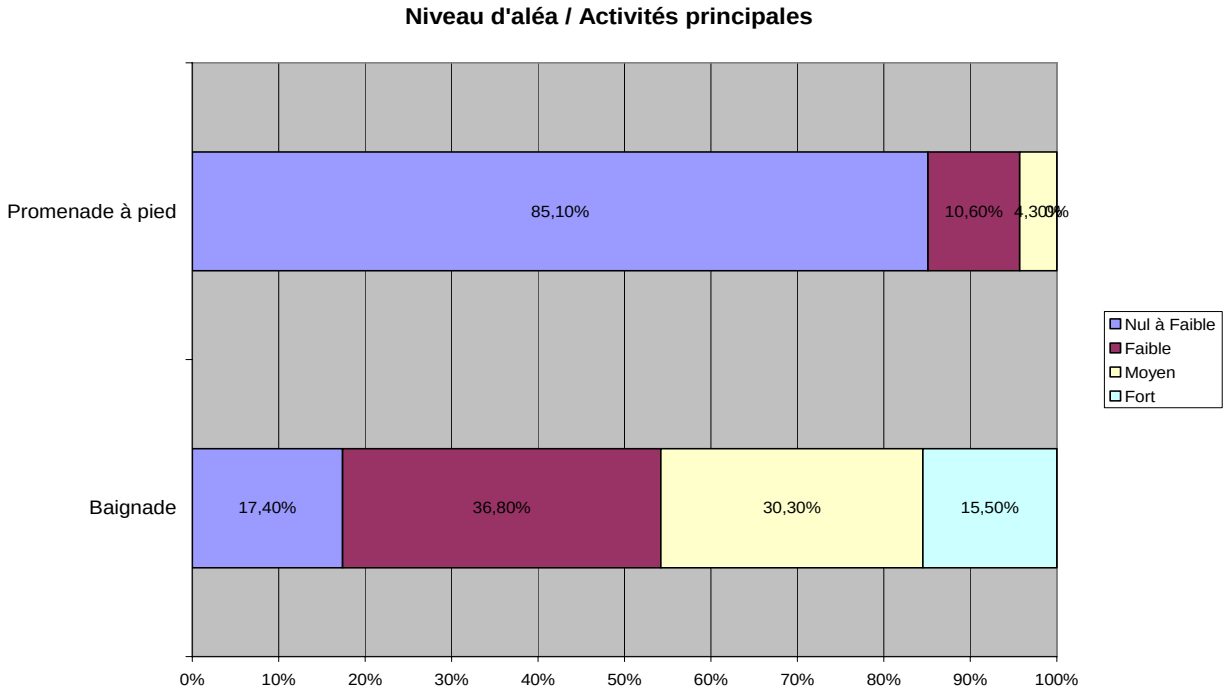


Illustration 26 : Niveau d'aléa / Activités principales[35]

- L'exposition au risque côtier

Pour synthétiser globalement les relations entre les caractéristiques des individus (leurs activités sur le littoral de la commune, le rythme de fréquentation, la catégorie sociale professionnelle, l'âge, le degré de prise de risque et de respect des consignes) et l'exposition à un risque, l'Analyse factorielle des Correspondances Multiples (ACM)[36] a été utilisée. Les modalités des variables qualitatives et les classes constituées à partir des variables quantitatives sont ainsi projetées sur les plans des axes factoriels,

[35] Test du khi-deux: il y a une dépendance entre les variables, le risque de se tromper est de 0,01% annexe 3

[36] Résultats détaillés en annexe 3

au centre de gravité du groupe d'individus qu'elles représentent. Les variables caractéristiques sont actives, alors que l'exposition a un rôle descriptif (variables supplémentaires).

Nous avons résumé les informations données par les différents axes sous forme de graphique (Illustration 27).

Ainsi nous avons mis en évidence une évolution croissante du sentiment d'être exposé à un risque : plus on se déplace à droite du graphique plus l'exposition à un risque d'éboulement est fort. L'examen du graphe montre que l'exposition à un risque côtier est croissante avec le sentiment d'être exposé à un risque. L'âge et la fréquentation sont caractéristiques de certaines pratiques.

Au préalable, notons que plus l'individu se trouve dans une zone où l'aléa est élevé plus l'individu estimera le risque élevé. Dans un second temps, remarquons que plus l'individu est jeune, moins il fréquente le littoral, plus il aura tendance à s'exposer à un aléa fort.

L'exposition à un risque oppose la pratique de la baignade à la promenade. La promenade est caractérisée par une faible exposition à un risque et inversement pour la baignade.

D'autre part la prise de risque et le non respect des consignes est typique des individus installés dans une zone à risque.

On notera sur le graphique résultat ACM que plus une caractéristique d'un individu est située à droite de ce tableau, plus l'individu aura tendance à s'exposer à un risque fort.

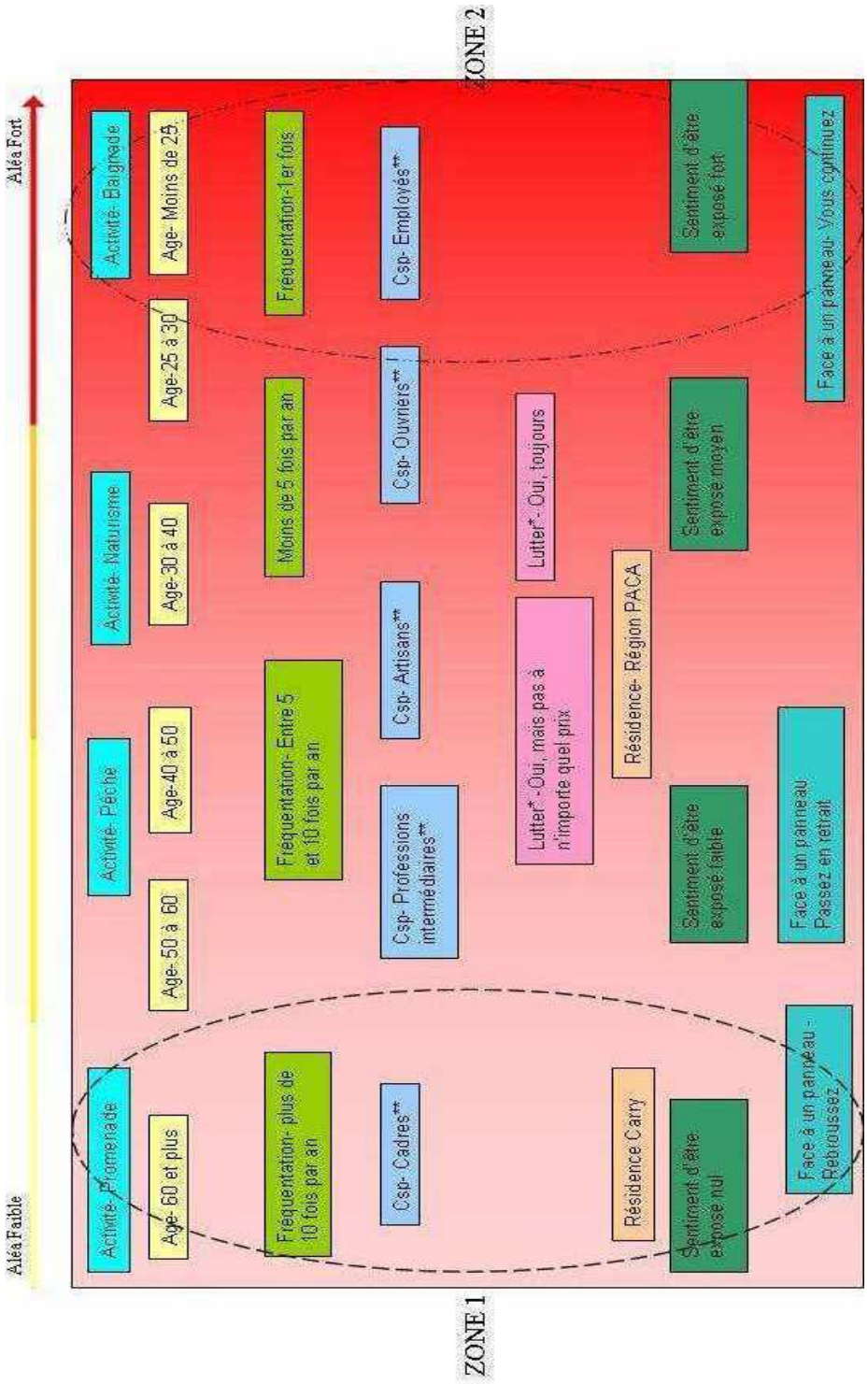


Illustration 27 : Représentation graphique de l'ACM en utilisant les informations des 3 axes.

* Lutter contre les risques liés aux instabilités de falaises côtières pour protéger une maison menacée

** Les catégories sociaux professionnelles sont : Artisans, commerçants, chefs d'entreprise/ Cadres, professions intellectuelles supérieures/ Professions intermédiaires/ employés /ouvriers

4.1.3. Conclusions

L'étude des résultats recueillis nous a permis d'identifier une description pertinente des personnes interrogées sur la perception du risque instabilités de falaises côtières.

Notre étude à fait apparaître, au travers d'une enquête approfondie multifactorielle une différence dans la perception du risque instabilités de falaises côtières. Cette disparité est inhérente à la façon de sillonner le littoral de Carry-le-Rouet. En effet le rythme de fréquentation, l'âge, l'appartenance à une catégorie socio-professionnelle sont des facteurs explicatifs fort en matière de perception de risque. En outre les pratiques influencent le degré de proximité, d'exposition et de conscience du risque. De plus ces pratiques se distinguent aussi par la manière de s'approprier le littoral : alors que les promeneurs ont un mode d'appropriation symbolique, les baigneurs ont pour leurs par un mode d'appropriation physique.

L'analyse de la perception du risque permet d'enrichir des connaissances sur les enjeux de façon contingente. Dès lors la perception du risque devient une composante fondamentale à l'évaluation de la vulnérabilité.

4.2. METHODOLOGIE D'EVALUATION DE LA VULNERABILITE

Une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité a été mise au point dans le document présenté par Catherine Meur-Ferec[39] en 2006, en vue de l'Habilitation à Diriger des Recherches

Cette étude axée davantage sur les côtes basses s'intéresse également au littoral rocheux à falaises, et intègre ce type de littoral à l'analyse de la vulnérabilité et à la définition d'un indicateur de vulnérabilité . C'est pourquoi nous avons choisi de l'utiliser pour qualifier la vulnérabilité au niveau des falaises côtières du littoral de Carry-le-Rouet, en utilisant à la fois les résultats de l'année 1 concernant les aléas, de l'année 2 concernant les enjeux, ainsi que les résultats de l'enquête de perception réalisée dans le cadre de cette étude.

4.2.1. Description de la méthode

La Région PACA souhaite obtenir une méthodologie de gestion du risque à l'échelle d'une commune (la commune de Carry-le-Rouet dans les Bouches-du-Rhône a été choisie comme commune test). L'objectif de la méthode est d'évaluer la vulnérabilité face aux risques d'instabilités des falaises côtières afin de pouvoir la réduire. Cette méthodologie s'inscrit dans une problématique d'aménagement du territoire.

[39] « De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe » - Catherine Meur-Ferec (2006)

Nous proposons la méthode d'évaluation de la vulnérabilité élaborée par Catherine Meur-Férec (2006) afin d'éclairer des propositions d'action pour la gestion du linéaire côtier. Cette méthode doit être transposable sur d'autres communes du littoral rocheux français.

La démarche consiste à aborder la vulnérabilité face aux risques d'instabilités des falaises sous 4 composantes :

- **Aléa** : prédisposition du site ;
- **Enjeux** : biens marchands et non marchands menacés ;
- **Gestion** : politiques publiques de prévention, mesures de protection et de réparation, archivage des évènements passés, mémoire du risque ;
- **Perception** : conscience du risque et représentation.

Ainsi, selon Catherine Meur-Ferec, la vulnérabilité (au sens de capacité d'endommagement du système) aurait quatre composantes principales : les ***aléas***, traditionnellement étudiés par les géographes "physiciens" lorsqu'ils sont dits "naturels" ; les ***enjeux*** généralement estimés par les économistes ou les géographes "économistes" ; la ***gestion*** à travers l'étude des politiques d'aménagement ; et la ***perception***, domaine de la sociologie et de la géographie "sociale". Ces quatre composantes interdépendantes se combinent pour créer un niveau de vulnérabilité global (Illustration 28).

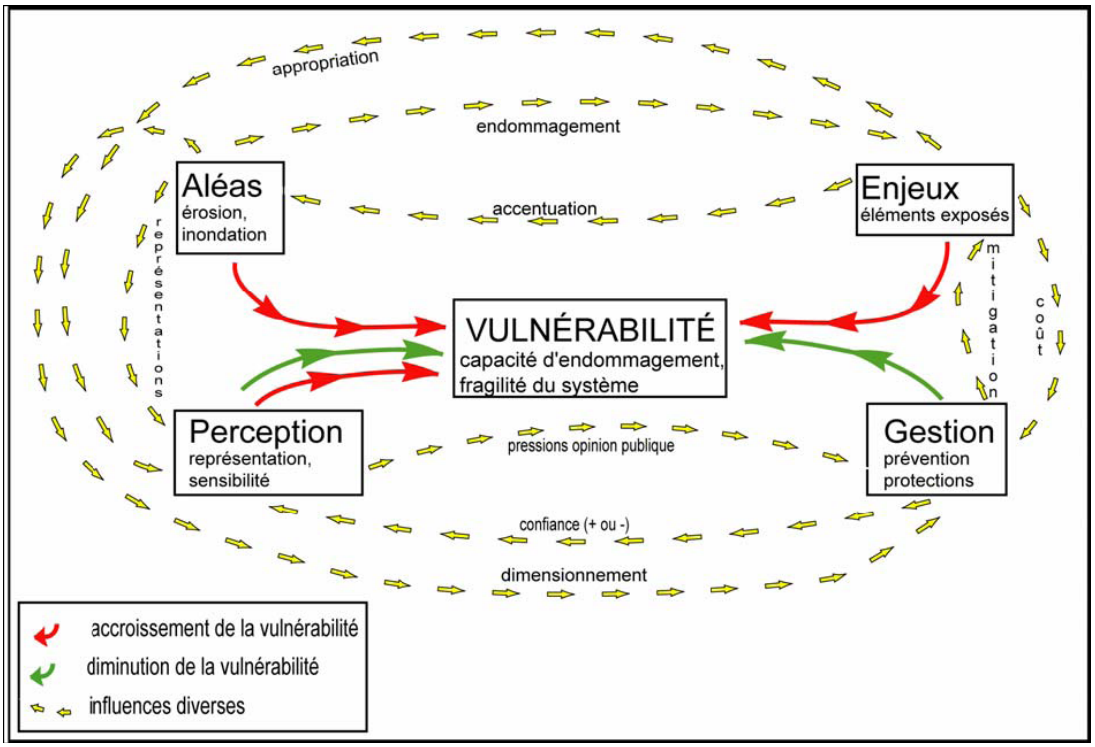


Illustration 28 : Schéma du système « Vulnérabilité » d'après C. Meur-Ferec (2006)

A partir de cette conception multidimensionnelle de la vulnérabilité proposée par C. Meur-Ferec, la méthode d'évaluation de la vulnérabilité aux aléas liés à la mobilité du trait de côte a été adaptée au contexte particulier des falaises côtières.

La méthode d'évaluation de la vulnérabilité proposée ici vise à définir un indicateur qui puisse éclairer des choix stratégiques pour la gestion à long terme des côtes en érosion (côte basse et à falaise). Vers quelle défense face à la mer ? Vers quel repli stratégique ? Les réponses sont bien sûr multiples et les choix ne reviennent pas aux scientifiques. Il peut cependant être utile aux décideurs de distinguer plusieurs situations selon les paramètres constitutifs de la vulnérabilité. La recherche d'indicateurs pertinents et opérationnels pour établir un *diagnostic de vulnérabilité* est en effet une première étape vers une démarche systémique de gestion durable des risques sur le littoral (Meur-Férec, Debout, Morel, Longuépée, 2006[40]).

Cette méthode s'appuie sur la création de grilles d'analyse et d'évaluation qualitative de cette vulnérabilité (Bodéré ***et al***., 1994[41]).

Chacune des quatre composantes de la vulnérabilité fait l'objet d'une grille distincte. Chaque grille est constituée de plusieurs descripteurs qui permettent d'obtenir des indices de vulnérabilité.

La grille se présente sous forme de trois colonnes (Illustration 29) :

- **Rubrique** : elle définit une liste de paramètres regroupés en rubriques qui pourront être transposables sur d'autres communes ;
- **Description** : l'objectif est de décrire avec précision et objectivité la situation ;
- **Evaluation** : chaque rubrique reçoit une côte de 0 (pas vulnérable) à 5 (très vulnérable). Cette cotation est subjective et donc délicate.

Les grilles sont complétées par des données de terrain et des informations disponibles dans les archives consultées.

Finalement, à l'aide d'une simple moyenne arithmétique des cotes obtenues pour les différentes rubriques, on obtient pour chaque grille un indice synthétique de vulnérabilité échelonné de 0 à 5.

[40] Article 15 du volume de publication : Meur-Férec C., Deboudt Ph., Morel V, Longuépée J. (2006) La vulnérabilité des territoires côtiers à l'érosion : vers une prise en compte des risques dans la gestion intégrée des zones côtières. Actes du colloque " Prospective du littoral – Prospective pour le littoral", Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 1 - 2 mars 2005, Paris.

[41] Article 1 du volume de publication : Bodéré J.C., Cribb R., Curr R., Davies P., Hallégouët B., Meur C., Piriou P., Williams A.T., Yoni C. (1994) Vulnérabilité des dunes littorales : mise au point d'une méthode d'évaluation, études de cas dans le sud du Pays de Galles et l'ouest de la Bretagne. Cahiers Nantais, n° 41-42, p. 197-203

Descripteurs	Evaluation par rubrique	Indice synthétique de vulnérabilité
RUBRIQUE A	Vulnérabilité faible 0-1-2-3-4-5 forte	faible 0-1-2-3-4-5 fort (moyenne de toutes les cotes) écart-type
descripteur 1 : ……		
descripteur 2 : ……		
descripteur 3 : ……		
descripteur 4 : ……		
RUBRIQUE B	Vulnérabilité faible 0-1-2-3-4-5 forte	
descripteur 1 : …….		
descripteur 2 : …….		
descripteur 3 : …….		

Illustration 29 : Grille d'analyse type (C. Meur-Ferec – 2006)

D'après C. Meur-Ferec :

« La première colonne à gauche constitue l'entrée de la grille. Elle regroupe une liste de paramètres (***descripteurs***) dont l'objectif est la description la plus précise et la plus objective possible de la situation. Ces descripteurs sont regroupés en *rubriques* (caractéristiques naturelles de la côte, enjeux économiques directs, etc.).

La première étape consiste à attribuer à chaque descripteur une valeur quantitative ou qualitative (nature de la roche, densité de population, nombre de campings, ***etc.***). Les valeurs ne sont pas exprimées dans des unités homogènes et ne peuvent donc pas faire l'objet de calculs. A ce stade, il n'y a pas d'évaluation mais uniquement des descriptions de l'état existant ou des évènements passés.

Evaluation
Dans un second temps (deuxième colonne de la grille), chaque rubrique reçoit une ***cote*** de 0 (pas vulnérable) à 5 (très vulnérable). Cette cotation constitue la phase la plus délicate de la méthode car la plus subjective. De plus, elle nécessite une bonne connaissance du terrain et des dynamiques naturelles et sociales qui s'y exercent. Bien que les cotes soient chiffrées, cette approche reste strictement qualitative. Il s'agit de fournir une appréciation, telle une note attribuée à une copie ; la cote ne peut pas être obtenue par un calcul automatisé. Certains descripteurs peuvent ne pas exercer d'influence nette sur la vulnérabilité ou ne pas correspondre au contexte local ; il suffit dans ce cas de ne pas les coter, mais de considérer seulement leur valeur informative.

Synthèse
La troisième colonne synthétise toutes les rubriques de chaque grille. Elle est renseignée par la simple moyenne arithmétique des cotes obtenues pour les différentes rubriques, complétée par l'écart type comme indicateur de dispersion. On obtient ainsi pour chaque grille un *indice synthétique de vulnérabilité*, échelonné de 0 à 5 pour le thème de la grille.

Cette méthode étant destinée à être utilisée par d'autres usagers que ses concepteurs, chaque grille est accompagnée d'une notice détaillée qui donne des indications précises sur la façon de la remplir, justifie les seuils retenus pour le référentiel commun de cotation et explique le sens dans lequel chaque descripteur influe sur la vulnérabilité globale ».

4.2.2. Application de la méthode sur la commune de Carry-le-Rouet

a) Elaboration des grilles d'analyse

Les 4 grilles présentées sur les Illustrations 30, 31, 32 et 33 ont été réalisées sur la base des grilles proposées dans les travaux de C. Meur-Férec (2006), et complétées avec les données propres au site des falaises de Carry-le-Rouet.

Les cotes affectées par rubriques évoluent entre 1 et 4, il n'a pas été décrit de cote 5 ni de cote 0 dans ce travail. D'autre part, des valeurs décimales ont été introduites dans ces rubriques pour exprimer des différences minimes entre tel ou tel descripteur dans une même rubrique, et ainsi faire évoluer la note en fonction du site. En effet, dans le cadre de l'analyse faite sur la commune de Carry-le-Rouet, 4 sites ont été étudiés, avec leurs spécificités aussi bien en termes d'aléa, d'enjeux, de gestion et de perception. Ces valeurs ont ensuite été moyennées pour obtenir une valeur communale par type de vulnérabilité.

Nous rappelons pour les paragraphes suivants que plus la cote attribuée à chacun des critères de vulnérabilité est élevée, plus cette vulnérabilité est forte :

- cote élevée pour les aléas : site vulnérable en termes d'aléa, aléa élevé ;
- cote élevée pour les enjeux : nombreux enjeux présents et vulnérables ;
- cote élevée pour la gestion : peu de gestion et donc territoire vulnérable ;
- cote élevée pour la perception : mauvaise perception des usagers et donc vulnérabilité élevée.

Echelle des notes	
<= 1	nul à faible
1<n<=2	faible
2<n<=3	moyen
3<n<=4	fort
> 4	très fort

ALEA						
		Evaluation par site				
Rubrique	Description	le moulin / le Phare	Cap Rousset	Port du Rouet Ouest	Pointe du Rouet	Evaluation sur la commune de Carry-le-Rouet
A – Commune	**A – Commune**					
A1- identification	**A1- identification**					
1-nom de la commune	Carry-le-Rouet	-	-	-	-	-
2-N° fiche (cf Etude Année 1 RP-52829-FR)	F02-1 à F02-8					
3-linéaire côtier	7 km					
A2 - généralités	**A2 - généralités**					
3-géologie / lithologie	de l'Oligocène Supérieur, et brèches du Cap de la Vierge au sommet du Tertiaire indéterminé	-	-	-	-	-
4-hydrogéologie	Pas d'indice de venues d'eau permanentes					
5-hydraulique						
A3 - descriptions	**A3 - descriptions**					
8-altération	Au niveau des contacts conglomérats / argile					
9-formations superficielles						
10-structures	Discontinuités : biseau des niveaux conglomératiques et formations de chenaux / fracturation subverticale / plissements	-	-	-	-	-
11-géomorphologie	Pendage léger vers le Sud 5°					
12-versant	Hauteur approximative 40 m / pente : 80-90°					
13-végétation	Buissons au sommet de la falaise seulement					
14-constructions						
A4- mouvements de terrain	**A4- mouvements de terrain**					
16-description instabilités	Alternance de grès, conglomérats et marnes avec niveaux de décollement, d'où érosion différentielle importante, et chutes de pierres issues du démantèlement du conglomérat. Les chutes de blocs sont néanmoins plus rares, mais le sous cavage est très marqué dans les niveaux gréseux et marneux en pied de falaise (parfois très profond, sur 2 à 3 mètres de profondeur)	1	2	3	4	2,5
17-historiques instabilités						
18-facteurs permanents de prédisposition	Alternance de niveaux grèseux, conglomératiques et marneux réagissant différemment à l'érosion, d'où érosion différentielle. Démantèlement du poudingue					
19 -facteurs déclenchant / aggravant	Fracturation subverticale. Action de la houle					
20 -confortements actuels						
21 -niveau de l'aléa mouvement de terrain	Moyen à Fort					
22 -évolution	Evolution relativement lente					
A5- Occurrence de l'aléa	**A5- Occurrence de l'aléa**					
23-dates des évènements						
24-conditions météo-océaniques						
25-nature de l'évènement		-	-	-	-	-
26-ampleur de l'évènement						
27-arrêtés de catastrophes naturelles						
A6- L'événement majeur	**A6- L'événement majeur**					
28-date						
29-durée						
30-conditions météo-océaniques		-	-	-	-	-
31-nature de l'évènement						
32-ampleur de l'évènement						
33-arrêté de catastrophe naturelle						
Indice synthétique de l'aléa sur la commune de Carry-le-Rouet		1	2	3	4	2,5
		moyenne	2,50			
		ecart type	1,3			

Illustration 30 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif à l'aléa

Echelle des notes	
<= 1	nul à faible
1<n<=2	faible
2<n<=3	moyen
3<n<=4	fort
>4	très fort

ENJEUX						
Rubrique	Description	Evaluation par site				Evaluation sur la commune de Carry-le-Rouet
		le moulin / le Phare	Cap Rousset	Port du Rouet Ouest	Pointe du Rouet	
A- enjeux économiques directs	**A- enjeux économiques directs**					
A1-usages économiques de la frange côtière	**A1-usages économiques de la frange côtière**					
1-agriculture	Non					
2-camping	Non	**2,4**	**2,2**	**2,2**	**2,8**	**2,4**
3-réseaux et infrastructures publiques	2 ports : port de plaisance de Carry-le-Rouet + Port abri du Rouet, le sentier du lézard, 3 plages					
4-commerces/industrie	non					
5-habitations	85 parcelles en bord de littoral					
A2-usages économiques menacés à l'arrière	**A2-usages économiques menacés à l'arrière**					
1-agriculture	Non					
2-camping	1 camping[1] : capacité d'accueil 2800 personnes+ 3 hôtels : capacité d'accueil 108 personnes, 2 résidences de vacances.	**2,8**	**2,8**	**2,8**	**2,8**	**2,8**
3-réseaux et infrastructures publiques	1 voie ferrée, une route régionale et une route locale : Trafic moyen journalier annuel 4186 véhicules en 2005[2]					
4-commerces/industrie	nombreux commerces et restaurants					
5-habitations	6009 habitants, 595 hab/km², 3616 logements[3], double sa population permanente[4] en été					
B-usages récréatifs et/ou passifs lies à la présence d'aménités	**B-usages récréatifs et/ou passifs lies à la présence d'aménités**					
B1-fréquentation et usages	**B1-fréquentation et usages**					
1-des milieux naturels soumis à l'aléa érosion et ouverts au public	Tourisme de proximité.					
2-du front de mer aménagé	Sur la zone du sentier du lézard : forte affluence les week-ends et pendant la période estivale.	**4**	**3**	**2**	**2,5**	**2,9**
3-des circuits côtiers	Pour les autres sites : affluence moyenne à forte pendant la période estivale.					
4-de la plage au pied de la falaise	3940 personnes ont été comptées le 17 août 1993					
B2-valeurs patrimoniales	**B2-valeurs patrimoniales**					
1-patrimoine architectural, historique,	3 ZNIEFF marine : herbier de posidonie de la côte bleue (13-000-003) , zone marine protégée de Carry-le-Rouet (13-000-005), zone du Rouet à Niolon (13-000-008)	**2,7**	**2,7**	**2,7**	**3**	**2,8**
archéologique et paysager	Patrimoine historique : la chapelle du Rouet					
2-valeurs scientifiques (liées aux formes, sites, à flore et à la faune	Fort intérêt faunistique et floristique					
Indice synthétique des enjeux sur la commune de Carry-le-Rouet		**3,0**	**2,7**	**2,4**	**2,8**	**2,7**
		moyenne	**2,70**			
		ecart type	**0,2**			

Illustration 31 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif aux enjeux

Echelle des notes	
<= 1	nul à faible
1<n<=2	faible
2<n<=3	moyen
3<n<=4	fort
> 4	très fort

PERCEPTION						
Rubrique	Description	Evaluation par site				Evaluation sur la commune de Carry-le-Rouet
		le moulin / le Phare	Cap Rousset	Port du Rouet Ouest	Pointe du Rouet	
A-Caractéristiques de la population	**A-Caractéristiques de la population**					
A1-caractéristiques démographiques	**A1-caractéristiques démographiques**					
1-effectif	209 individus					
4-sexe	39% Femmes 60% Hommes					
5-âge	Moyenne d'âge 41 ans	-	-	-	-	-
A2-caractéristiques sociales	**A2-caractéristiques sociales**					
1-profession	CSP dominante ; employée 39%					
A3- exposition au risque de l'échantillon	**A3- exposition au risque de l'échantillon**					
1- niveau d'aléa lors de la passation du	Aléa nul, faible, moyen, fort					
B-Usages et lieux associés au sein de la	**B-Usages et lieux associés au sein de la commune**					
B1-résidence	20% de l'échantillon habite sur la commune de Carry, forte population touristique de proximité	-	-	-	-	-
B2-usages professionnels	Essentiellement des commerces touristiques					
B3-activités de loisirs	Activités principales : Baignade, promenade, sur certains secteur : naturisme.					
C-Représentations	**C-Représentations**					
C1-connaissance des risques de la commune	77% de notre population estime la commune de Carry concerné à très concerné par le risque éboulement des falaises côtières.	2,8	2,8	2,8	3	3
	41% estime que le risque inondation est non existant.					
C2- localisation du risque d'éboulement	95% des personnes interrogées parvient à localiser approximativement sur une carte ou visuellement où se trouve le risque d'éboulement	1	1	1	1	1
C3- conscience du risque	40% l'échantillon pense qu'il y aura probablement un éboulement dans la commune.	3	3	3,1	3,3	3
	Mais plus un individu fréquente le littoral, moins il a conscience du risque (déni du risque)					
C4- perception du risque	76% de notre échantillon a une bonne ou très bonne perception du risque de leur zone .	3,1	2,9	2,5	3,4	3
	Plus un individu est jeune, plus il s'expose au risque					
Indice synthétique de la perception sur la commune de Carry-le-Rouet		2,5	2,4	2,4	2,7	2,5
		moyenne	2,50			
		ecart type	0,1			

Illustration 32 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif à la perception

Echelle des notes	
<= 1	nul à faible
1<n<=2	faible
2<n<=3	moyen
3<n<=4	fort
> 4	très fort

GESTION						
		Evaluation par site				
Rubrique	Description	le moulin / le Phare	Cap Rousset	Port du Rouet Ouest	Pointe du Rouet	Evaluation sur la commune de Carry-le-Rouet
A- Aménagements de protection structurels	**A- Aménagements de protection structurels**					
1-ouvrages de défense statiques contre la mer	Non					
2-ouvrages de défense sur la falaise	Purge localisée sur certaines falaises vers le sentier du lézard					
3-anciennes digues en arrière du trait de côte	Non					
4-réseau de drainage	Non					
5-brise-vent	Non					
6-rechargements en sable	Non					
7-sécurité du sentier côtier et "bord de sites"	Aménagement du sentier du lézard : rambardes et barrières en bois, panneaux alertant du risque d'éboulement en début de parcours.					
	Sentier fermé entre le port de plaisance et la Calanque du Cap Rousset : panneaux interdisant l'accès.	3,1	3,5	2,5	3,3	3,1
	Sentier fermé entre la Calanque des bouchons et le port abri du Rouet : panneaux interdisant l'accès du coté Calanque et panneaux et grille interdisant l'accès du coté du port abri du Rouet					
8-sécurité secteurs de plage au pied de la falaise	Sur la zone du chemin du lézard : il y a des plages sauvages (sous des falaises) mais pour s'y rendre il faut franchir des barrières en bois.					
	Sur la zone de la calanque du cap Rousset : il n'y a pas de plages au pied des falaises, mais les rochers plats facilitent les baigneurs dans le secteur Est, tandis que la falaise du secteur Ouest sert de coin d'ombre					
	Pour la zone du port Ouest du Rouet : la plage est fermée avec une grille et des panneaux					
B-Existence de documents de gestion des risques règlementaires (PER, PPR ...)	**B-Existence de documents de gestion des risques autres que le PPR**					
1-documents antérieurs au PPR	Non	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
2-existence d'un POS/PLU limitant l'urbanisation sur la côte	Plan de situation 1/10000					
	POS approuvé 04.07.1980, modifié 20.12.2005					
3-état d'avancement des PPR	PPR Mouvement de terrain : aléa identifié					
	Aucun PPR littoral prescrit	4	4	4	4	4,0
4-organisation	Aucune					
D-Documents d'information institutionnels	**D-Documents d'information institutionnels**					
1-Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM)	Oui					
2-Dossier Communal Synthétique (DCS)	Non	3,3	3,3	3,3	3,3	3,3
3-Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)	Non					
E-Initiatives locales	**E-Initiatives locales**					
1-information du public	Sur le sentier du lézard : 10 panneaux d'information(végétation,animaux, phénomènes physique :l'érosion) + panneaux identifiant et signalisant le risque d'éboulement					
	Dans la zone de la Calanque du cap Rousset : 1 panneau identifiant la zone interdite du coté Ouest, 1 panneau annonçant le risque d'éboulement coté Est	3	3,4	3	3,4	3,2
	Dans la zone du port du Rouet Ouest : Panneaux interdisant l'accès à l'Ouest du site, une grille plus un panneau interdisant l'accès à l'Est du site					
2-suivis, monitoring du secteur à risques	Non					
3-Plans de Secours Communaux	Non					
4-plan local de gestion des risques	Non					
F--Archivage de la crise	**F--Archivage de la crise**					
1-iconographie	Non					
2-presses	Non					
3-reportages	Non					
4-archives, statistiques officielles	Oui					
5-documents "juridiques"	Arrêté 236-98 : Interdiction de passage piéton en bord de mer entre le port de plaisance et le port abri du Rouet					
	Arrêté 126-05 : Interdiction chemin piétonnier du bord de mer entre l'anse du Cap Rousset et la résidence Hameau du grand large	2,7	2	2	2	2,2
6-archives et traces locales	Oui					
7-témoins vivants	Oui					
8-travaux universitaires ou études	Oui : Antea 2000, ACRIin 2006, Cete 2001					
9-traces morphologiques	Oui					
Indice synthétique de la gestion sur la commune de Carry-le-Rouet		3,1	3,1	2,9	3,1	3,05
	moyenne	3,05				
	ecart type	0,1				

Illustration 33 : Evaluation de l'indice de vulnérabilité relatif à la gestion

b) Graphique du profil type de vulnérabilité de la commune de Carry-le-Rouet

La synthèse des 4 grilles présentées ci-dessus permet d'obtenir le graphique suivant (Illustration 34), communément appelé « radar », qui relie les 4 axes de la vulnérabilité (aléa, enjeux, gestion, perception) sur un même schéma. Chaque branche du radar est graduée de 0 (non vulnérable) à 5 (très vulnérable). L'aire et la forme de chaque radar reflètent les caractéristiques de vulnérabilité pour le site :

- plus les valeurs se rapprochent de la périphérie du radar, plus la vulnérabilité est grande ;
- plus le graphique est ramassé près du centre, plus la vulnérabilité est faible.

Aucun critère n'est à lui seul décisif dans l'évaluation de la vulnérabilité. Cependant l'absence d'aléas ou d'enjeux invaliderait tout le reste de l'évaluation. C'est la combinaison de l'ensemble des composantes qui permet d'évaluer la vulnérabilité

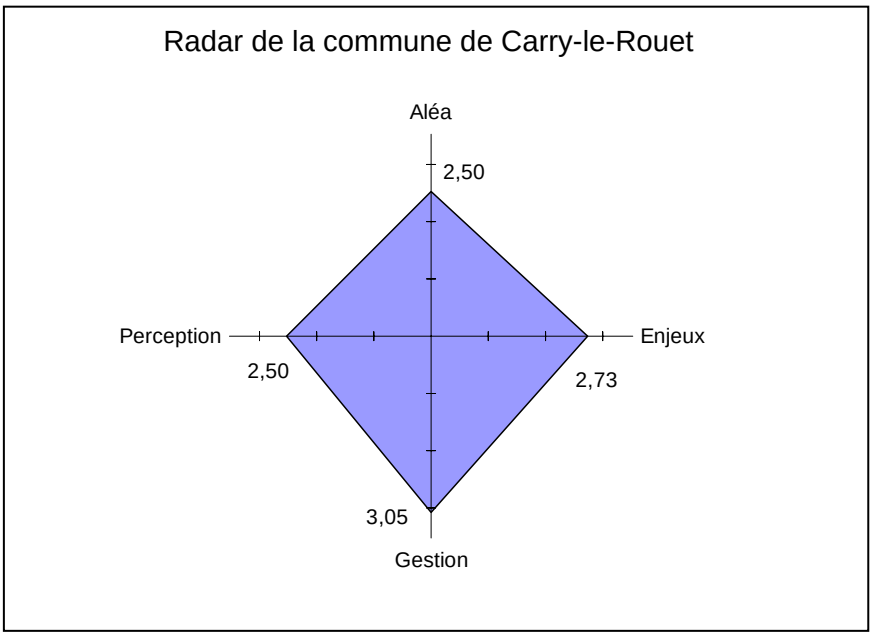


Illustration 34 : Synthèse correspondant au profil type de la vulnérabilité sur la commune de Carry-le-Rouet

4.2.3. Interprétation des résultats

L'étude des résultats schématisés sur le graphique précédent amène aux observations suivantes :

- Concernant l'aléa, le linéaire côtier de Carry-le-Rouet présente une érosion différentielle très importante qui entraîne des chutes de pierres et chutes de blocs. Sur certains secteurs la hauteur des falaises peut atteindre 40 m ;

- Par rapport aux enjeux, la commune de Carry-le-Rouet double sa population permanente en période estivale, mais le tourisme est essentiellement de proximité toute l'année. On compte 85 parcelles de terrains qui bordent le sentier du littoral. Coté mer, la commune comptabilise 3 zones protégées au regard de l'environnement (ZNIEFF) ;

- En ce qui concerne la gestion, la commune a aménagé le sentier du lézard, elle a également fermé une partie du circuit côtier et signalisé le risque à l'aide de panneaux d'information ;

- Du point de vue de la perception, l'échantillon interrogé a une bonne perception du risque de la zone où il se trouve. La part de la sous-estimation du risque est faible ; de plus, les personnes interrogées parviennent facilement à localiser le risque. Cela n'empêche pas les usagers de s'éloigner des zones à risque. Par ailleurs, le rythme de fréquentation, l'âge, l'activité pratiquée influencent la perception du risque mais aussi le degré d'exposition au risque.

4.2.4. Zoom sur les 4 sites étudiés de la commune

L'exercice a tout d'abord été réalisé site par site afin de pouvoir comparer les différents contextes sur une même commune (Illustration 35).

Les 4 sites interrogés sont rappelés ci-dessous :

1. De la zone du moulin au phare de Carry-le Rouet (sentier du lézard) ;

2. Calanque du Cap Rousset à la Calanque des Bouchons ;

3. La zone Ouest du Port abri du Rouet ;

4. La pointe Est du Rouet.

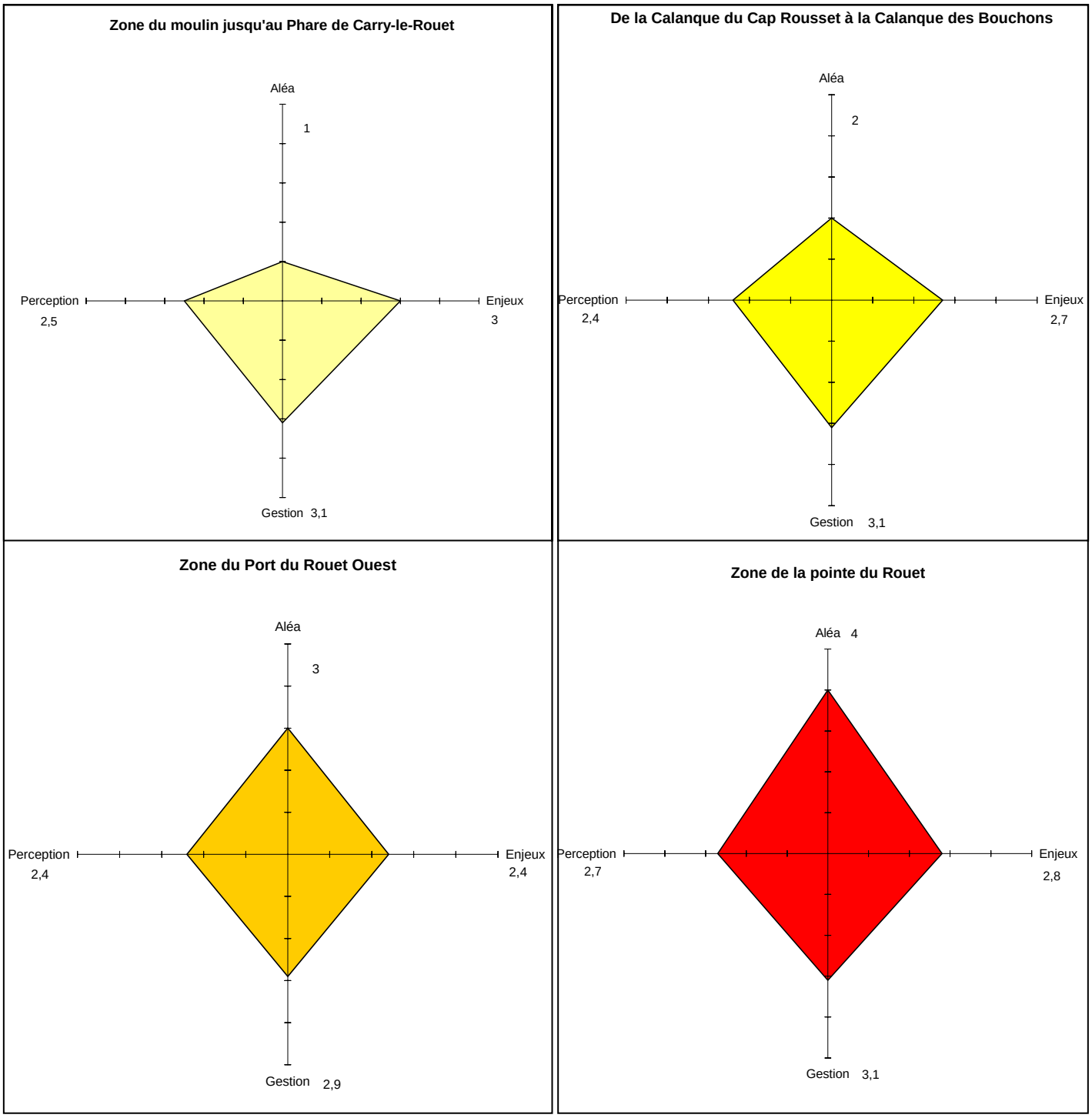


Illustration 35 : Détail des « radars » de vulnérabilité sur les 4 sites étudiés

a) Les aléas

La zone de la pointe du Rouet obtient une cotation de l'aléa de 4, la plus forte.

D'un point de vue lithologique, la pointe du Rouet (cote de vulnérabilité de 4) est constituée d'une alternance de conglomérats et marnes avec des niveaux de décollement qui entraînent une érosion différentielle importante mais aussi des chutes de pierres issues du démantèlement de conglomérat. Y sont associées également des chutes de blocs (galets désolidarisés du conglomérat) et des éboulements en masse. La falaise a une hauteur approximative de 40 m et son évolution est relativement lente mais les volumes érodés peuvent être importants.

La zone du port du Rouet Ouest (cote de l'alea de 3) présente un sous cavage très marqué dans les niveaux gréseux et marneux en pied de falaise (2 à 3 mètre de profondeur). A noter qu'une partie de la falaise s'est effondrée en 2005 (200 m^3), ainsi que le 13 février 2008 (500 m^3) occasionnant des dégâts sur les parcelles privées en amont.

La zone de la Calanque du Cap Rousset à la Calanque des Bouchons (cote de l'alea de 2) montre une érosion différentielle très importante due à l'alternance de niveaux à compétences variables (sables, marnes, calcaire fin) ce qui entraîne des chutes de pierres.

Enfin, la zone du moulin jusqu'au phare du port de Carry-le-Rouet obtient une cote de l'aléa de 1 car cette zone alterne faible altitude et falaise haute (approximativement 10 mètres). L'érosion différentielle est une des principales causes des chutes de pierres.

b) Les enjeux

En matière d'enjeux, la cote la plus forte est obtenue par la zone du moulin jusqu'au phare du port de Carry-le-Rouet (cote enjeux de 3) en raison de la forte influence touristique toutes l'année et de la présence d'un sentier aménagé en bord de mer.

Le patrimoine architectural ainsi que la proximité des habitations sous les falaises de la zone de la pointe du Rouet lui confère aussi une cote relativement forte (cote enjeux de 2,8).

La cote obtenue par la zone de la Calanque du Cap Rousset à la Calanque des Bouchons (2,7) reste élevée puisque cette zone accueille de nombreux baigneurs à la recherche de tranquillité.

La zone du port du Rouet Ouest obtient la cote la plus faible (2,4) puisque la plage au pied de la falaise est peu fréquentée, notamment depuis son interdiction d'accès (suite à l'éboulement de 2005, une clôture ferme l'accès à la plage par arrêté municipal).

d) La gestion

En ce qui concerne les mesures de gestion toutes les zones de la commune de Carry-le-Rouet présentent une cote de gestion forte (comprise entre 2,9 et 3,1). Ce résultat est lié à l'existence de peu de documents de gestion de l'érosion sur cette commune (par exemple il n'y a pas de PPR littoral prescrit).

Mais certaines zones sont à distinguer :

La Zone du moulin jusqu'au phare du port de Carry-le-Rouet, qui obtient une cote de gestion forte (3,1), peut être nuancée au regard de la faiblesse de l'aléa.

Par contre la zone de la Calanque du Cap Rousset à la Calanque des Bouchons (cote de gestion de 3,1) est plus préoccupante puisque même si un arrêté interdit le passage en bord de mer, seuls quelques panneaux localisent le risque, au niveau prévention.

La pointe du Rouet (cote de gestion de 3,1) est à distinguer entre le haut de la falaise qui accueille les visiteurs de la chapelle et qui est assez bien aménagée pour la protection des usagers, et le pied de falaise, au niveau duquel l'accès est difficile, aucun panneau ne signalise le danger et aucun aménagement n'a été réalisé.

La zone du port du Rouet Ouest (cote de gestion de 2,9) est plus satisfaisante puisque la plage au pied de la falaise est fermée par une clôture mais aucun aménagement n'a encore été réalisé.

d) La perception

La cote la plus forte de perception dans l'analyse de la vulnérabilité concerne la zone de la pointe du Rouet (2,7). Cela traduit une faiblesse de la conscience du risque. Cette zone est aussi caractéristique d'une population jeune qui est plus susceptible d'avoir des comportements à risques.

Pour la zone du moulin jusqu'au phare du port de Carry-le-Rouet (cote de perception de 2,5) la perception doit être nuancée avec la faiblesse de l'aléa.

Alors que la zone de la Calanque du Cap Rousset à la Calanque des Bouchons obtient une cote moyenne (2,4) puisque les personnes interrogées ont conscience du risque, mais estiment que les avantages, notamment la tranquillité, l'emporte nettement sur le risque.

La cote de perception du port du Rouet Ouest est également de 2,4. La présence de clôture et de panneaux à l'entrée de la plage informe et sensibilise les personnes. Les téméraires savent à quel danger ils s'exposent.

En superposant les 4 graphiques les uns sur les autres, on voit apparaître la tendance de chacun des sites en termes de vulnérabilité (Illustration 36).

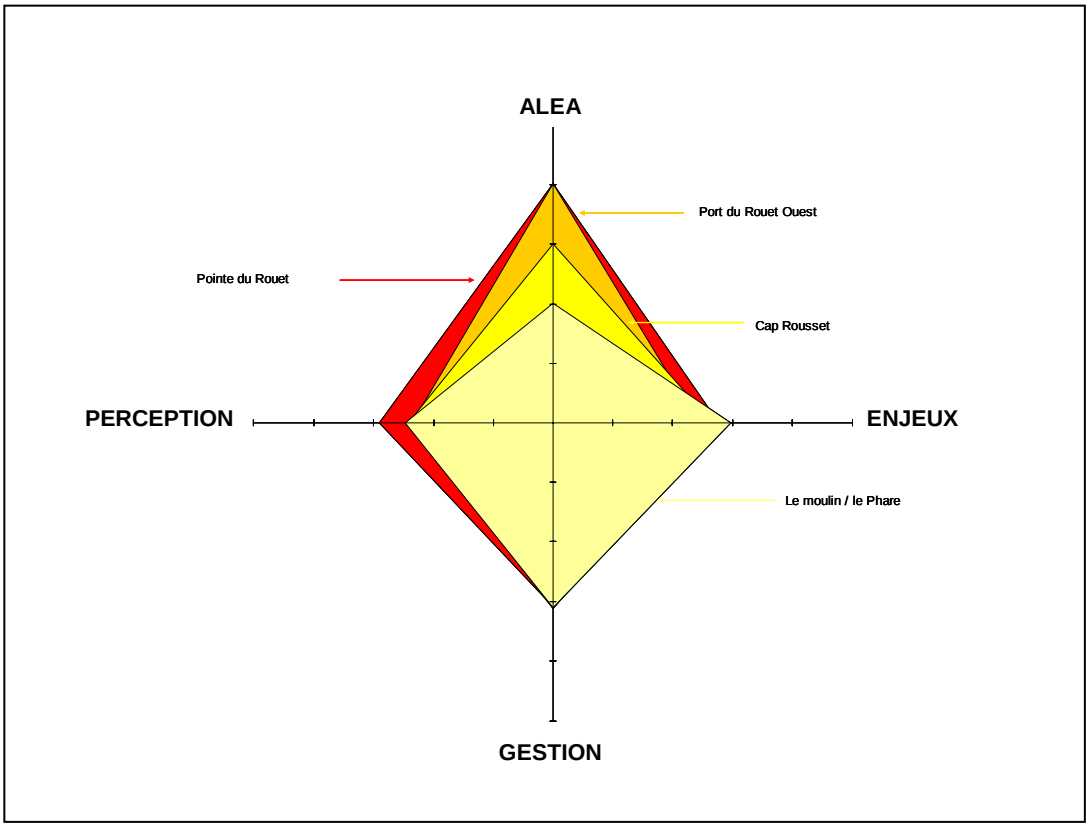


Illustration 36 : Superposition des radars de vulnérabilité des quatre sites étudiés

Dans le document d'HDR de C. Meur-Férec (2006), on peut lire :

« Les sites dont le radar « penche » vers le haut à droite du graphique se caractérisent par des aléas et des enjeux relativement forts et une sensibilisation aux risques déjà bien avancée. La priorité dans ce cas est de faire rapidement des choix et d'agir, soit pour défendre la côte contre la mer, soit pour préparer le retrait. Les communes dont le radar s'étire vers le bas à gauche du graphique ont davantage des profils qui requièrent une réflexion de fond en amont des choix stratégiques et une sensibilisation des usagers ».

4.3. REDUCTION DE LA VULNERABILITE

Dans l'analyse de la vulnérabilité d'un point de vue socio-économique, et plus particulièrement de sa réduction vis-à-vis d'un aléa particulier (ici les instabilités de falaises côtières), il existe différentes méthodes d'approche ayant pour objectif l'aide à la décision publique.

La méthode des coûts-bénéfices a été choisie pour travailler sur le cas des falaises côtières, compte tenu du fait qu'une analyse assez précise des éléments exposés a déjà été réalisée, et qu'une étude de perception du risque par les populations nous a donné une première image sociétale du risque.

4.3.1. La méthode des coûts-bénéfices

La méthode coût-bénéfice est la plus utilisée en évaluation économique de projets d'investissement, et par conséquent facilement applicable à la prévention des risques. Elle consiste pour chaque source de risques et chaque méthode de prévention disponible, à évaluer respectivement le coût de l'effort de prévention et de le comparer au bénéfice attendu. Trivialement, si le bénéfice l'emporte sur le coût, l'effort de prévention du risque est efficace et doit être réalisé (Y. Manche, Thèse 2000).

Concernant spécifiquement les risques naturels, la méthode coût-bénéfice ne pose pas de problèmes spécifiques d'après Y. Manche. Mais ce n'est pas le cas en ce qui concerne le coût et les bénéfices de la prévention :

- Premièrement, les bénéfices prennent la forme d'une réduction du risque encouru par la société. Il faut donc résoudre le problème de l'évaluation d'une réduction de risque ;
- Deuxièmement, le coût et les bénéfices ne sont pas, en général, instantanés. Dans la majeure partie des cas, le coût est payé aujourd'hui, mais les bénéfices sont distribués dans le temps. Il faut donc résoudre le problème de l'évaluation des bénéfices futurs en termes actuels (Gollier, 1998).

La tendance actuelle du « tout économique » n'est pas forcement une solution viable. L'évaluation des impacts socio-économiques ne peut s'enfermer dans une logique coût-avantage mais doit relever plutôt d'une analyse multicritère. Les décisions de gestion du risque doivent plutôt reposer à la fois sur des calculs économiques (pertes ou bénéfices) mais aussi sur des appréciations plus qualitatives (Hubert, Ledoux, 1999). Cela peut être le recours à l'expertise, l'implication des acteurs locaux pour caractériser des désordres et des impacts, les enquêtes de terrain, la mobilisation des différentes informations disponibles, l'analyse spatiale, etc.

4.3.2. Les solutions d'amélioration

Nous avons essayé dans cette étude de proposer des solutions applicables à l'échelle d'une commune pour tenter de réduire la vulnérabilité du littoral au risque instabilités de falaises côtières.

Les solutions mises en évidence pour améliorer la gestion du risque instabilités de falaises côtières sont les suivantes :

- **Solution 1 : Mise en place d'aménagements, et de parades :** Cette solution fait intervenir la notion de temps dans la réalisation des aménagements et dans leur entretien. En termes de coûts, la mise en place de parades qu'elles soient actives ou passives a un coût non négligeable dans le budget d'une commune. A ce coût il faut rajouter celui des entretiens et des suivis de l'état de ces aménagements pour que ceux-ci conservent leurs fonctions de base. Néanmoins, l'ingénierie lourde peut aussi montrer une efficacité limitée pour la protection des falaises, en particulier en pied de falaise. L'écroulement des falaises de roches tendres est davantage le résultat de processus terrestres tels que la désagrégation des roches (par l'infiltration d'eau), les glissements des différentes couches géologiques et l'érosion par l'eau de pluie le long des fissures que de l'attaque des vagues ;

- **Solution 2 : Développement de l'information et de la prévention.** Cette solution reprend en partie une des recommandations du rapport Eurosion[42] et plus précisément la recommandation n°4 : Renforcer la base de la connaissance de la gestion ainsi que de la planification de l'érosion côtière. Cette solution fait également intervenir la notion de temps dans la réalisation des documents d'information prévention et leur mise à jour. Le coût d'une telle démarche doit être envisagé et estimé en fonction du type de document, du public visé, du nombre d'exemplaires vendus ;

- **Solution 3 : Mise en place d'un comité d'expert ;**

- **Solution 4 : Réflexion en amont sur l'aménagement du littoral.** Cette solution reprend entièrement une des recommandations du rapport Eurosion[43] et plus précisément la recommandation n°2 : Intégrer le coût et le risque d'érosion côtière dans les plans et dans les décisions d'investissement : *"L'impact, le coût et le risque liés à l'érosion côtière provoquée par l'homme devraient être maîtrisés par une meilleure intégration des problèmes de l'érosion côtière dans la planification et les décisions d'ordre financier La responsabilité publique pour le risque d'érosion côtière devrait être limitée et une partie appropriée du risque devrait être à la charge des bénéficiaires et des investisseurs directement concernés. Les instruments d'évaluation*

[42] http://www.eurosion.org/project/eurosion_fr.pdf

[43] http://www.eurosion.org/project/eurosion_fr.pdf

environnementale devraient être utilisés à cet effet. Les risques devraient faire l'objet d'un suivi et être cartographiés, évalués et intégrés dans les plans et les politiques d'investissement. Au niveau local, les autorités devraient promouvoir l'information publique et la prise de conscience des risques liés à l'érosion marine comme fondement de la planification de la gestion des côtes, par exemple en diffusant des cartes de risque à échelle locale (1:25 000). Une information des acteurs et du public en général pour s'assurer de la compréhension des politiques de gestion littorale devrait être une priorité. Il faudrait aussi consacrer une attention toute particulière à une évaluation de l'environnement par rapport aux risques socio-économiques et financiers" ;

- **Solution 5 : Mise en place d'un système d'alerte.** Cette solution devient de plus en plus intéressante en cas d'événements catastrophiques de grande ampleur pouvant occasionner des perturbations notables.

4.3.3. Proposition d'une méthodologie globale de gestion du risque à l'échelle d'une commune

A partir des solutions précédemment citées, et de la proposition de l'analyse coûts-bénéfice présentée dans le paragraphe précédent, nous proposons une méthodologie globale de gestion du risque à l'échelle d'une commune se basant sur ces critères.

Les points de départ de cette analyse correspondraient à :

- un état des connaissances sur la commune (études géotechniques, réglementation et prévention) ;
- une enquête de perception auprès des usagers ;
- un complément d'études géotechniques sur site.

A partir de ces trois constats, l'objectif est d'analyser les 5 grandes solutions d'amélioration de la gestion du risque et de la réduction de la vulnérabilité par une analyse coût bénéfice précise, et de pouvoir ainsi décider du bien fondé de telle ou telle solution.

L'Illustration 37 présente la méthodologie proposée et les solutions envisagées, à partir du travail réalisée dans le cadre de cette étude sur Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône), mais qui peut tout à fait être appliquée sur n'importe quelle autre commune du littoral française concernée par ces problèmes d'instabilités de falaises côtières.

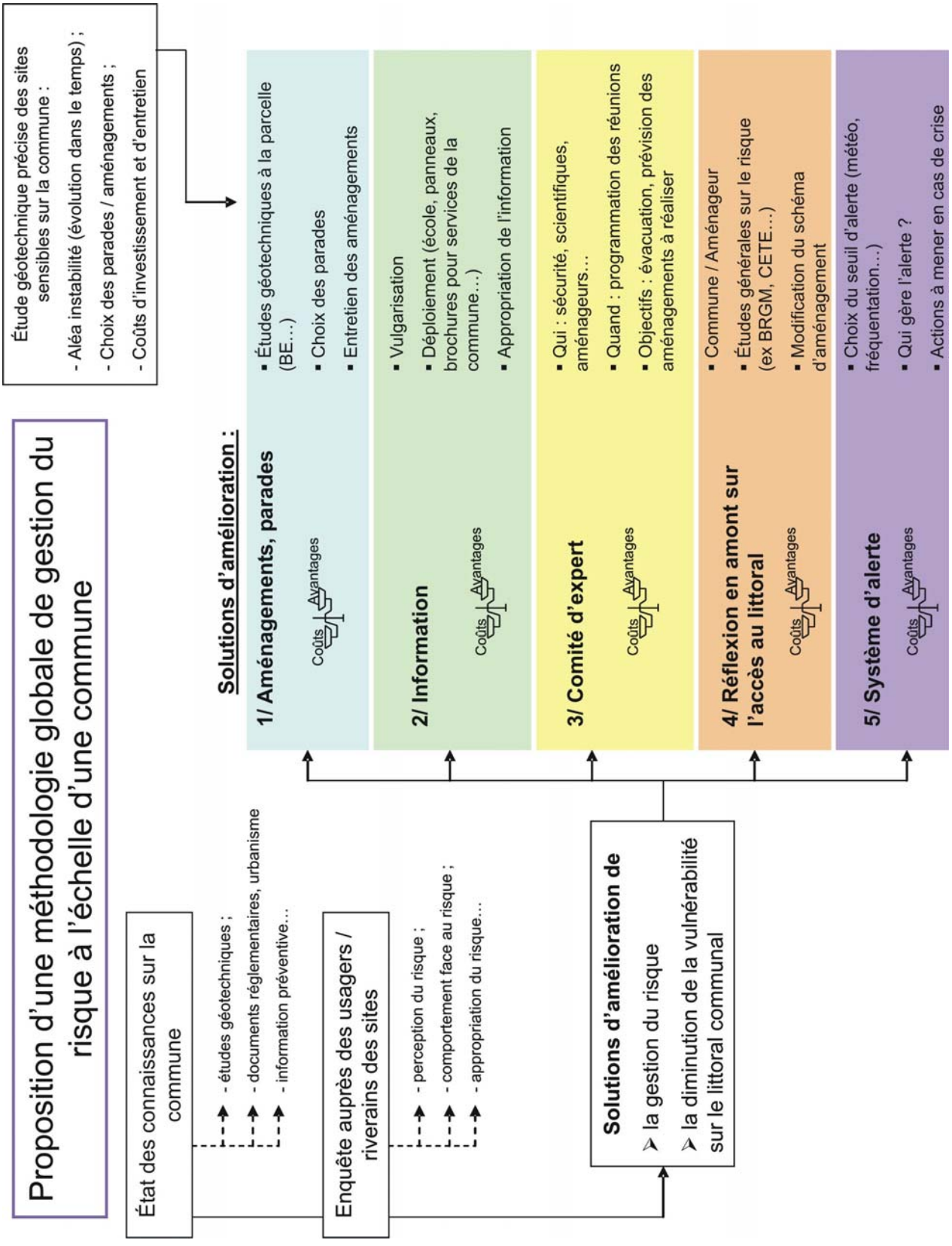


Illustration 37 : Méthodologie globale proposée pour la gestion du risque et la diminution de la vulnérabilité

Différentes remarques découlent de cette analyse :

- Chacune des méthodes devra s'adapter à un contexte particulier. Le cas présent de Carry-le-Rouet est tout à fait propice à de l'information du public et à la prévention des usagers compte tenu du caractère touristique des activités locales, et de la venue d'une population extérieure à la commune de Carry-le-Rouet durant une grande période de l'année. Au même titre, le littoral de l'île de Port Cros est lui aussi soumis à la visite de nombreux touristes (randonneurs et plagistes), par conséquent un travail d'information et de prévention pour les usagers du site à la fois terrestre et marin (pour ce qui concerne les mouillages en pied de falaise) sera indispensable. Concernant le littoral d'Eze-sur-mer dans les Alpes-Maritimes, il s'agit là d'un contexte très particulier de forte urbanisation sur la frange littorale et d'aménagement tenant compte du problème d'instabilités. La commune devra dans ce cas précis gérer les priorités d'action en termes d'aménagement et ce, par le biais d'une réflexion en amont sur l'aménagement et l'accès au littoral. Enfin, concernant le cas d'Istres dans les Bouches-du-Rhône, le problème est encore différent et axé principalement sur l'urbanisation à caractère résidentiel de ce secteur. La mise en place d'un Plan de Prévention des Risques Mouvements de terrain sur la commune et particulièrement sur le site des Heures-Claires n'a pas résolu le problème dans sa globalité. Des instabilités de terrain subsistent, et par conséquent, il conviendrait d'analyser plus en détail la phénoménologie de ce site afin d'y prévoir des aménagements cohérents et en adéquation avec l'urbanisation existante et future.

- Les aménagements de falaises par le moyen de parades actives et/ou passive est bien évidemment une solution incontournable aujourd'hui pour garantir la sécurité des usagers en aval et également les propriétés en amont car, outre les espaces naturels, le recul des falaises peut également affecter les maisons situées en haut des falaises. Néanmoins il convient de veiller à ne pas transformer le littoral en un « mur de béton » mais à conserver le relief naturel des falaises en contrôlant les processus d'érosion, et en effectuant des purges régulières, par exemple, ou en installant des systèmes de surveillance de l'état de l'érosion de la falaise à plusieurs intervalles de temps. En effet, d'après l'étude EUROSION[44], pour des côtes constituées de roches dures, le phénomène peut ne pas être critique parce que les rochers eux-mêmes résistent à l'érosion. Inversement, l'érosion active de falaises de 'roches tendres' (verticales) est souvent un phénomène naturel contribuant de manière importante à l'apport de sédiment à la côte. Cela peut contribuer à l'élargissement de la zone côtière, en protégeant les falaises de l'attaque des vagues et en favorisant le développement de la sédimentation sur les espaces voisins. Là où cette interaction est conservée et si le bilan sédimentaire est positif ou en équilibre, la résilience du système plus large sera probablement maintenue. EUROSION définit cette résilience côtière comme la faculté

[44] http://www.eurosion.org/project/eurosion_fr.pdf

inhérente de la côte à s'adapter aux changements provoqués par l'élévation du niveau de la mer, par des événements extrêmes et par des impacts humains occasionnels tout en conservant ses fonctions sur le long terme. Le concept de résilience est particulièrement important à la lumière des prédictions sur le changement climatique global.

5. Conclusion générale

Cette étude a permis de mettre en évidence un certain nombre de sites représentatifs du littoral à falaise de la région PACA en termes d'instabilités de terrain, d'une part sur des critères de niveaux d'aléa, et d'autre part vis-à-vis des éléments exposés. A ce titre, l'événement de 13 février 2008 mobilisant plus de 500 m^3 de matériaux sur la falaise de Barqueroute à Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône), est révélateur des instabilités affectant ce littoral de la Côte Bleue. L'urbanisation croissante en bord de mer et parfois directement en falaise laisse craindre des événements de plus en plus dommageables. Cette portion du littoral de la Côte Bleue est un exemple caractéristique de la problématique et nécessiterait des études plus approfondies à la fois en termes d'évaluation de la vitesse d'érosion et de mécanismes de rupture sur ces faciès spécifiques du Tertiaire, mais également sur les relations entre pluviométrie, contexte hydrogéologique et déclenchement de mouvements de terrain (critères non limitatifs).

Le choix de proposer ou non tel ou tel type d'aménagement est directement lié au contexte local de la falaise, à ses mécanismes d'instabilités et sa vitesse d'érosion, et surtout à la vocation du site. Nous avons abordé dans cette étude la notion de vocation d'un site et de son attrait touristique mettant en évidence que des instabilités rocheuses n'impliquent pas nécessairement des aménagements lourds, mais peuvent parfois être traités dans le cadre d'une gestion globale à l'échelle de la commune ou du site en question, et notamment vis-à-vis des accès.

La perception du risque est également une notion clef en termes de vulnérabilité en plus de l'aléa, de la gestion et des enjeux. Le questionnaire distribué aux riverains de la commune de Carry-le-Rouet, dans le cadre de cette étude, a été assez révélateur. Il fait apparaître, au travers d'une enquête approfondie multifactorielle une différence dans la perception du risque instabilités de falaises côtières. Cette disparité est inhérente à la façon de parcourir le littoral de Carry-le-Rouet. En effet le rythme de fréquentation, l'âge, l'appartenance à une catégorie socioprofessionnelle sont des facteurs explicatifs fort en matière de perception de risque. En outre les pratiques (baignade, randonnée …) influencent le degré de proximité, d'exposition et de conscience du risque. De plus ces pratiques se distinguent aussi par la manière de s'approprier le littoral : alors que les promeneurs ont un mode d'appropriation symbolique, les baigneurs ont pour leur part un mode d'appropriation physique.

L'analyse de la perception du risque a permis d'enrichir des connaissances sur les enjeux de façon contingente. Dès lors, la perception du risque devient une composante fondamentale à l'évaluation de la vulnérabilité.

Les 4 facteurs étudiés donnent sur fond de radar qualitatif, une assez bonne vision de la vulnérabilité d'une commune face au risque instabilités de falaise, de la façon dont celle-ci gère le problème, par rapport au niveau réel du risque. Cette analyse est transposable sur d'autres communes du littoral à falaises et permet d'envisager des

solutions appropriées pour réduire la vulnérabilité, comme celles proposées ici. Cette étude permet également de se poser la question du lien entre l'érosion des falaises côtières en méditerranée et le changement climatique, notamment par rapport aux phénomènes extrêmes comme les tempêtes qui pourraient accélérer le phénomène d'érosion. Concernant le changement climatique, les modèles du GIEC[45] prédisent à l'horizon 2100 une élévation du niveau de la mer entre 18 et 38 cm dans le meilleur des cas, 26 et 59 cm dans le cadre du scénario le moins favorable. Cette élévation de la mer aura un faible impact direct sur les falaises. En revanche, l'action mécanique exercée lors de tempêtes par les vagues en pied de falaise sera plus destructrice, en particulier pour les roches tendres. Par ailleurs, le phénomène de gel / dégel pourra gagner de nouvelles régions ou augmenter de fréquence fragilisant ainsi le haut de la falaise. L'augmentation des précipitations dans certaines régions accélérera également l'infiltration d'eau dans les zones fracturées, favorisant ainsi les phénomènes de dissolution des roches calcaires, comme les craies. Mais rien n'est spécifié précisément pour la région Provence Alpes Cote d'Azur.

Concernant les événements extrêmes, selon les données de Météo France, il n'est pas possible d'affirmer aujourd'hui qu'il y aura une augmentation de l'intensité et du nombre global de tempêtes et d'épisodes de pluies diluviennes en France.

Enfin, d'un point du vue beaucoup plus global, en termes de résilience de la côte, le programme EUROSION[46] a considéré le développement durable des zones côtières et la conservation des habitats dynamiques, surtout sur les rivages encore vierges, comme des objectifs importants à long terme pour les zones côtières européennes. La poursuite de ces objectifs requiert un respect, et dans beaucoup de cas un rétablissement, du fonctionnement naturel du système côtier et de sa résilience naturelle à l'érosion et aux inondations. Les implications de la résilience côtière varient en fonction du type de côte. Pour des côtes constituées de roches dures le phénomène peut ne pas être critique parce que les rochers eux-mêmes résistent à l'érosion. Inversement, l'érosion active de falaises de 'roches tendres' (verticales) est souvent un phénomène naturel contribuant de manière importante à l'apport de sédiment à la côte. Cela peut contribuer à l'élargissement de la zone côtière, en protégeant les falaises de l'attaque des vagues et en favorisant le développement de la sédimentation sur les espaces voisins. Là où cette interaction est conservée et si le bilan sédimentaire est positif ou en équilibre, la résilience du système plus large sera probablement maintenue.

[45] Rapports du GIEC (groupe intergouvernemental d'experts du climat) 2007 : www.ipcc.ch

[46] Projet Eurosion : www.eurosion.org

6. Bibliographie

Abric J. C. (1994) – Pratiques sociales et Représentations. Paris, PUF

BCEOM (2006) – Plan de Gestion du Parc Marin de la Côte Bleue – Phase 1 et 2 : Etat des lieux et diagnostic.

Beck U. (1986) – La société du risque. Sur la voie d'une autre modernité. Paris, Aubier, 2001.

Betton R. (2004) – Enclos St Martin / Chemin de St Pierre, Istres, Les Heures Claires : Mission G3. Rapport GIA Ingénierie G3-407/03.

Betton R. (2001) – Commune d'Istres, Falaise des Heures-Claires : Destruction du surplomb : Rapport GIA Ingénierie N°140b-01.

Bodéré J.C., Cribb R., Curr R., Davies P., Hallégouët B., Meur C., Piriou P., Williams A.T., Yoni C. (1994) - Vulnérabilité des dunes littorales : mise au point d'une méthode d'évaluation, études de cas dans le sud du Pays de Galles et l'ouest de la Bretagne. Cahiers Nantais, n° 41-42, p. 197-203.

CETE Méditerranée (1978) – Département des Bouches du Rhône, commune d'Istres, lotissement des Heures Claires : Glissement de terrain, étude géologique et géotechnique. Dossier CETE 2161/78.6.525.50.

Chamboredon J. C. (1980) – Les usages urbains de l'espace rural : du moyen de production au lieu de récréation, Revue Française de Sociologie 21 (1).

Chartier F. (2005) – Commune de Istres, Les Heures Claires, Chemin de la Source St Martin n°49 et 17 : Glissement de terrain, Mission G52. Rapport GIA Ingénierie.

Dewez T., Gebrayel D., Lhomme D. et Robin Y. (2008) - Quantification de l'évolution des côtes sableuses et rocheuses par photogrammétrie et lasergrammétrie. Conférence de la Société Hydrotechnique de France, « Nouvelles Approches Sur Les Risques Côtiers », Paris 30-31 Janvier 2008.

Direction Départementale de l'Equipement des Bouches-du-Rhône. Arrondissement maritime, subdivision littoral (2006) – Commune de Carry-le-Rouet. Aménagement de l'anse du Rouet. Accessibilité des piétons le long du littoral et continuité du cheminement. Rapport sur l'accessibilité du littoral entre l'anse du Rouet et l'anse des Eaux Salées.

Douglas M. (1983) – Risk and Culture, Université de Californie.

Duquet J.-B. (2000) – Falaise du Sud Ouest de la Société Nautique du Rouet Plage – Diagnostic des menaces. Proposition des solutions de confortement. Rapport Antea A19287A.

Flanquart H., Hellequin A.-P., Deldreve V. et Deboudt P. (2006) – Identité sociale et perception du risque côtier.
Fondasol (1979) – Istres : Glissement de terrain « Les Heures Claires », compte rendu. Rapport Fondasol RM/JH/279.009.

Guide LCPC (2001) – Parades contre les instabilités rocheuses. Collection Environnement, Les risques naturels _ MATE.

Institut français de l'environnement (2005) – La perception des risques naturels – Les données de l'environnement, n°99.

IPCC/GIEC (2007) - Bilan 2007 des changements climatiques : les bases scientifiques physiques, 4ème Rapport d'évaluation du Groupe de Travail I, Résumé à l'attention des décideurs (traduction provisoire non officielle), France, février 2007.

IPSL, Météo France (2007) - Livre Blanc ESCRIME – Etude des Scénarios Climatiques, janvier Manche Yves (2000) Analyse spatiale et mise en place de systèmes d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques naturels. Thèse Université Joseph Fourier – Grenoble 1. U.F.R. de géographie.

Ivanez O. (2008) – Chute de blocs commune d'Eze – Compte rendu d'observations en urgence – Evénement du 13 janvier 2008 sur la RD6098 au PR51. Rapport Provisoire.

Lebeart L., Morineau A. et Piron M. (2000) – Statistique exploratoire multidimensionnelle, 2ème et 3ème cycle – Paris, Dunod 3ème édition.

Marçot N. (2007) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte-D'azur – Année 3 : Rapport d'avancement : Etude de segments représentatifs, propositions d'aménagement et établissement d'une méthodologie de gestion de risque communale. Rapport BGRM RP-55945-FR.

Marçot N. (2006) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte-D'azur – Année 2 : Définition des enjeux sur le linéaire de falaises côtières, caractérisation et hiérarchisation des risques. Rapport BGRM RP-54316-FR.

Marçot N. avec la collaboration de **Mathon C.** (2005) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte-D'azur – Année 2 : Complément : Qualification de l'aléa instabilités de falaises sur le littoral de l'Etang de Berre et des îles habitées de la région PACA. Rapport BGRM RP-53951-FR.

Marçot N. avec la collaboration de **Mathon C.** (2004) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte-D'azur – Année 1 : Bilan des connaissances, définition des instabilités et qualification de l'aléa. Rapport BGRM RP-52829-FR.

Meur-Ferec C. (2006) – De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral : un itinéraire de géographe. Mémoire HDR.

Meur-Férec C., Deboudt Ph., Morel V, Longuépée J. (2006) - La vulnérabilité des territoires côtiers à l'érosion : vers une prise en compte des risques dans la gestion intégrée des zones côtières. Actes du colloque " Prospective du littoral – Prospective pour le littoral", Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 1 - 2 mars 2005, Paris.

Nicaise J.-B. et Payany M. (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. Rapport CETE Méditerranée. Réf : JBN/MP – H01/209

Pauly J.-C. (1995) – Etude de risque de chutes de masses rocheuses sur la commune d'Istres. Rapport CETE Méditerranée JC.P – H95/309.

Pauly J.-C. (1995) – Commune d'Istres : Cartographie des risques naturels, quartier des Heures Claires. Rapport CETE Méditerranée JC.P – H95/193.

Pauly J.-C. (1995) – Commune d'Istres : Cartographie des risques naturels, quartier des Heures Claires. Rapport CETE Méditerranée JC.P – H95/163.

Pauly J.-C. (2008) – Avis suite à écroulement de falaise, commune de Carry-le-Rouet. Rapport provisoire CETE Méditerranée

Prefecture des Bouches-du-Rhône, Direction Départementale de l'Equipement (1997) – Commune d'Istres : Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles. Mouvements de terrain.

Prefecture des Alpes-Maritimes, Direction Départementale de l'Equipement (2003) – Commune d'Eze : Plan de Prévention des Risques Naturels Prévisibles. Mouvements de terrain.

Saporta G. (1990) – Probabilités, Analyse des données et statistique – Paris Technip.

Terra S. – Guide de bonnes pratiques pour la mise en œuvre de la méthode d'évaluation contingente. Série n°05 M05 – Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale – MEDD.

Treich Nicolas (2005) – L'Analyse Coût-Bénéfice de la Prévention des Risques. LERNA-INRA, Université de Toulouse, version préliminaire.

Treich Nicolas (2007) – Cours : L'analyse Coût-Bénéfice appliquée à la prévention des risques. Lerna, Inra, Université de Toulouse, France. Institut pour une culture de la Sécurité Industrielle (ICSI).

RiskYdrogéo (2004-2006) - Risques hydro-géologiques en montagne : parades et surveillance, Guide Pratique "investigations, instrumentation et parades en matière de risques hydro-géologiques : état des connaissances dans l'Arc alpin" - INTERREG III A, Projet n°179, ex n° 046.

Verges P. (2001) – L'analyse des représentations sociales par questionnaires – Revue française de sociologie.

Sites Internet

France Maccaferri (ex France Gabion) : http://www.francemaccaferri.com/

Evénements mouvements de terrain sur réseau ferroviaire : www.photos-de-trains.net

Evénements mouvements de terrain historiques : www.mouvementsdeterrain.fr

Projet Eurosion : www.eurosion.org

Rapports du GIEC (groupe intergouvernemental d'experts du climat) 2007 : www.ipcc.ch

Projet Eurosion : www.eurosion.org

INSEE www.insee.fr

Portail de la prévention des risques majeurs www.prim.net

Annexe 1

Fiches identité des communes étudiées : Istres, Carry-le-Rouet, Hyères et Eze-Bord-de-mer

Commune de Carry-le-Rouet

➢ Carte d'identité de la commune

Pays	France
Région	Provence-Alpes-Côtes-d'Azur
Département	Bouches-du-Rhônes
Arrondissement	Arrondissement d'Istres
Canton	Canton de Châteauneuf côte bleue
Code Insee	13021
Code Postal	13620
Maire **Mandat**	Pierre Pene 2001-2008
Intercommunalité	Communauté Urbaine Marseille Provence Métropole
Latitude	43° 19' 59" Nord
Longitude	5° 09' 10" Est
Altitude	0 m (mini)- 178 m (maxi)
Superficie	10km²
Population sans doubles comptes	6009 habitants (1999)
Densité	595 hab./km²
Protection	Parc Marin de la côte bleue
Parcelle de terrain en bord du littoral*	85
Habitants en bord du littoral**	255

(*) Estimation faite à l'aide du Plan de situation de la commune de Carry-le-Rouet
(**) Estimation : en considérant 3 habitants par parcelle de terrain

➢ Evolution Démographique

1962	1968	1975	1982	1990	1999
1739 hab.	2353 hab.	3304 hab.	4570 hab.	5224 hab.	6009 hab.
A partir de 1990 : population sans doubles comptes					

➢ Les usages de la bande littorale

- Randonnée et promenade pédestre (GR 51)
- VTT
- Pêche professionnelle
- Pêche professionnelle de l'oursin et du corail
- Pêche de loisir
- Pêche sous marine
- Plongée sous marine
- Activités balnéaires (occupation des zones rocheuses « roches plates »)
- Plaisance

➢ Parc marin de la côte bleue

- Création à Carry-le-Rouet 1982 ;
- Zone de protection marine 85 ha. ;
- Ses objectifs :
    - La gestion, la protection et la revalorisation des milieux naturels marins et littoraux ;
    - La contribution au développement économique et social des activités liées à la mer, et en particulier de la pêche professionnelle artisanale ;
    - L'accueil, l'information, et l'éducation du public ;
    - La réalisation d'actions expérimentales et la contribution à des programmes de recherche scientifique.

➢ Le littoral côtier constitue un espace spécifique en matière de risques

Alors que le mouvement naturel du littoral est dans la plupart des cas un recul vers les terres, l'évolution des installations humaines suit une logique inverse de progression vers la mer et de la fixation du trait de côte.
Ainsi les activités et les équipements humains qui se développent en bordure de la côte sont soumis à un risque d'une nature spécifique.

L'objectif est de refléter la vulnérabilité à travers 4 critères :

- Aléa : érosion des falaises
- Enjeux : marchant et non marchant
- Gestion des risques : mesure de protection, mémoire du risque, politique publique de prévention
- Perceptions des risques par les sociétés exposées : conscience du risque et représentation

➢ Arrêtés de Catastrophe Naturelle

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Phénomène lié à l'atmosphère Tempête et grains (vent) Tempête (vent)	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982
Inondation Par une crue (débordement de cours d'eau)	04/11/1994	06/11/1994	21/11/1994	25/11/1994
Inondation Par ruissellement et coulée de boue	04/11/1994	06/11/1994	21/11/1994	25/11/1994
Inondation Par une crue (débordement de cours d'eau)	10/09/2005	10/09/2005	10/10/2005	14/10/2005
Inondation Par ruissellement et coulée de boue	10/09/2005	10/09/2005	10/10/2005	14/10/2005

- **Risques liés aux falaises côtières**

Lieu dit	aléa	Linéaire du tronçon	N° de fiche (Rapport RP-52829-FR)
Le moulin	Faible	350m	F02-1
Plages de Carry-le-Rouet	Faible	50m	F02-2
Port de Carry-le-Rouet	Moyen	200m	F02-3
Calanque du Cap Rousset	Faible	150m	F02-4
Barqueroute	Moyen	650m	F02-5
Port du Rouet Est	Moyen	200m	F02-6
Pointe du Rouet	Fort	100m	F02-7
Calanque des eaux salées Ouest	Moyen	200m	F02-8

Commune d'Istres

➢ Carte d'identité de la commune

Pays	France
Région	Provence-Alpes-Côtes-d'Azur
Département	Bouches-du-Rhônes
Arrondissement	Arrondissement d'Istres
Canton	Canton d'Istres-Nord et Canton d'Istres-Sud
Code Insee	13047
Code Postal	13800
Maire **Mandat**	Nicole Joulia 2006-2008
Intercommunalité	Syndicat d'agglomération nouvelle Ouest Provence
Latitude	43° 30' 54'' Nord
Longitude	4° 59' 22'' Est
Altitude	moyenne : 20 m minimale : 0 m maximale : 120 m
Superficie	11 373 ha = 113,73 km²
Population sans doubles comptes	38 993 hab. (1999)
Densité	342 hab./km²
Gentilé	Istréens
Site	www.istres.fr

➢ Evolution Démographique

1962	1968	1975	1982	1990	1999
9478 hab.	13 404 hab.	18 129 hab.	28 561 hab.	35 163 hab.	38 993 hab.
A partir de 1990 : population sans doubles comptes					

➢ Arrêtés de Catastrophe Naturelle*

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Phénomène lié à l'atmosphère - Tempête et grains (vent) - Tempête (vent)	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	20/10/1999	21/10/1999	03/03/2000	19/03/2000
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	20/10/1999	21/10/1999	03/03/2000	19/03/2000
Mouvement de terrain	18/10/2000	01/12/2000	27/12/2001	18/01/2002
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	19/09/2002	19/09/2002	17/12/2002	08/01/2003
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	19/09/2002	19/09/2002	17/12/2002	08/01/2003
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	01/12/2003	02/12/2003	12/12/2003	13/12/2003
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	01/12/2003	02/12/2003	12/12/2003	13/12/2003
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	06/07/2006	06/07/2006	15/01/2007	25/01/2007
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	06/07/2006	06/07/2006	15/01/2007	25/01/2007

(*) Source Prim.net

➢ Prise en compte dans l'aménagement*

Plans	Bassin de risque	Prescrit le	Enquêté le	Approuvé le
PPR Mouvement de terrain - Glissement de terrain		10/10/1995	22/05/1996	20/02/1997
PPR Mouvement de terrain	-			

(*) Source Prim.net

➢ Risques liés aux falaises côtières

Lieu dit	aléa	Linéaire du tronçon	N° de fiche (Rapport RP-53951-FR)
La Grosse Roche	Fort	300m	F01-1
Le Castellan	Moyen	430m	F01-2
Les Heures Claires	Moyen à Fort	Plus d'1 Km	F02-1
Les Patorgues	Moyen	3 Km	F02-2

Commune d'Hyères- île de Port-Cros

➢ Carte d'identité de la commune

L'île fait partie de la commune d'Hyères

Pays	France
Région	Provence-Alpes-Côte d'Azur
Département	Var
Arrondissement	Toulon
Canton	Chef-lieu de deux cantons Est et Ouest + Canton de la Crau
Code Insee	83069
Code Postal	83400
Maire **Mandat**	Léopold Ritondale 2001-2008
Intercommunalité	Communauté d'agglomération Toulon Provence Méditerranée
Latitude	43° 08' 02" N
Longitude	06° 22' 03" E
Altitude	0 m (mini) – 325 m (maxi)
Superficie	132,28 km²
Population sans doubles comptes	52 500 hab. (1999)
Densité	hab./km²

➢ Carte d'identité de l'île de Port-Cros

Coordonnées	43° 00' 00'' N, 06° 24' 00'' E
Superficie	700 ha de terres émergées et 1 288 ha de surfaces marines
Création	14 décembre 1963
Administration	Parcs nationaux de France

- **Arrêtés de Catastrophe Naturelle***

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	29/09/1982	30/09/1982	24/12/1982	26/12/1982
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	29/09/1982	30/09/1982	24/12/1982	26/12/1982
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	17/01/1999	18/01/1999	23/02/1999	10/03/1999
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	17/01/1999	18/01/1999	23/02/1999	10/03/1999
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	17/11/2002	17/11/2002	24/02/2003	09/03/2003
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	17/11/2002	17/11/2002	24/02/2003	09/03/2003
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	17/05/2005	17/05/2005	23/09/2005	08/10/2005
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	17/05/2005	17/05/2005	23/09/2005	08/10/2005

(*) Source Prim.net

- **Prise en compte dans l'aménagement***

Plans	Bassin de risque	Prescrit le	Enquêté le	Approuvé le
PPR Inondation	-	11/02/1999		19/01/2004
PPR Inondation	-			
PPR Inondation	-	11/02/1999		

(*) Source Prim.net

Date notification DCS : 30/06/2002

- **Risques liés aux falaises côtières**

Lieu dit	aléa	Linéaire du tronçon	N° de fiche (Rapport RP-53951-FR)
Pointe de Miladou Ouest	Fort	100m	F05-1
Pointe de Marma Est	Moyen	300m	F05-2
Face à la Tourelle de la Dame	Moyen	250m	F05-3
Pointe du Tuf	Fort	300m	F05-4
Pointe de la Croix Ouest	Fort	500m	F05-5
Anse des Gobis Est	Fort	1600m	F05-6
Pointe du Sud	Moyen	500m	F05-7

Commune d'Eze

➢ Carte d'identité de la commune

Pays	France
Région	Provence-Alpes-Côte d'Azur
Département	Alpes-Maritimes
Arrondissement	Arrondissement de Nice
Canton	Canton de Villefranche-sur-Mer
Code Insee	06059
Code postal	06360
Maire **Mandat** en cours	M. Noël Sapia 2001-2008
Intercommunalité	Communauté d'agglomération de Nice-Côte d'Azur
Latitude **Longitude**	43° 43' 43'' Nord 7° 21' 42'' Est
Altitudes	moyenne : minimale : 0 m maximale : 700 m
Superficie	947 ha = 9,47 km²
Population sans doubles comptes	2 509 hab. (1999)
Densité	265 hab./km²
Pays	France
Région	Provence-Alpes-Côte d'Azur
Département	Alpes-Maritimes
Arrondissement	Arrondissement de Nice
Canton	Canton de Villefranche-sur-Mer

➢ Evolution Démographique

1962	1968	1975	1982	1990	1999
			2063 hab.	2446 hab.	2509 hab.
A partir de 1990 : population sans doubles comptes					

- **Arrêtés de Catastrophe Naturelle***

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Phénomène lié à l'atmosphère - Tempête et grains (vent) - Tempête (vent)	06/11/1982	10/11/1982	04/02/1983	06/02/1983
Phénomène lié à l'atmosphère - Tempête et grains (vent) - Tempête (vent)	06/11/1982	10/11/1982	15/12/1982	22/12/1982
Mouvement de terrain - Eboulement, chutes de pierres et de blocs	27/09/1992	27/09/1992	19/03/1993	28/03/1993
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	03/10/1992	05/10/1992	04/02/1993	27/02/1993
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	03/10/1992	05/10/1992	04/02/1993	27/02/1993
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	06/10/1992	06/10/1992	04/02/1993	27/02/1993
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	06/10/1992	06/10/1992	04/02/1993	27/02/1993
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	10/10/1992	11/10/1992	04/02/1993	27/02/1993
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	10/10/1992	11/10/1992	04/02/1993	27/02/1993
Mouvement de terrain - Glissement de terrain	10/10/1993	15/02/1994	12/01/1995	31/01/1995

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Mouvement de terrain - Eboulement, chutes de pierres et de blocs	31/10/1994	31/10/1994	12/01/1995	31/01/1995
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	04/11/1994	06/11/1994	24/11/1994	02/12/1994
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	04/11/1994	06/11/1994	24/11/1994	02/12/1994
Mouvement de terrain - Eboulement, chutes de pierres et de blocs	02/10/1996	02/10/1996	24/03/1997	12/04/1997
Mouvement de terrain - Glissement de terrain	19/12/1997	20/12/1997	12/06/1998	01/07/1998
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	30/09/1998	30/09/1998	23/02/1999	10/03/1999
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	30/09/1998	30/09/1998	23/02/1999	10/03/1999
Mouvement de terrain - Eboulement, chutes de pierres et de blocs	04/10/1998	04/10/1998	23/02/1999	10/03/1999
Mouvement de terrain - Effondrement	04/10/1998	04/10/1998	23/02/1999	10/03/1999
Mouvement de terrain	23/10/1999	24/10/1999	03/03/2000	19/03/2000
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	23/10/1999	24/10/1999	03/03/2000	19/03/2000

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	23/10/1999	24/10/1999	03/03/2000	19/03/2000
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	06/11/2000	06/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	06/11/2000	06/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Mouvement de terrain	06/11/2000	06/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Mouvement de terrain - Glissement de terrain - Coulées boueuses issues de glissements amont	06/11/2000	06/11/2000	06/03/2001	23/03/2001
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	06/11/2000	06/11/2000	06/03/2001	23/03/2001
Mouvement de terrain	14/11/2000	14/11/2000	03/04/2001	22/04/2001
Mouvement de terrain	14/11/2000	14/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	23/11/2000	24/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	23/11/2000	24/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Mouvement de terrain	24/11/2000	24/11/2000	29/05/2001	14/06/2001
Mouvement de terrain	10/04/2002	10/04/2002	29/10/2002	09/11/2002

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Mouvement de terrain - Glissement de terrain - Coulées boueuses issues de glissements amont	31/10/2003	01/11/2003	11/05/2004	23/05/2004
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	31/10/2003	01/11/2003	11/05/2004	23/05/2004
Inondation - Par une crue (débordement de cours d'eau)	21/08/2005	21/08/2005	16/02/2006	28/02/2006
Inondation - Par ruissellement et coulée de boue	21/08/2005	21/08/2005	16/02/2006	28/02/2006

(*) Source Prim.net

- **Prise en compte dans l'aménagement***

Plans	Bassin de risque	Prescrit le	Enquêté le	Approuvé le
PPR Mouvement de terrain	Riviera		18/06/2002	23/05/2003
PPR Feu de forêts		16/12/2003		

Date notification DCS : 30/06/2000

- **Risques liés aux falaises côtières**

Lieu dit	aléa	Linéaire du tronçon	N° de fiche (Rapport RP-52829-FR)
Eze-bord-de-mer	Moyen	100m	F26-1

Annexe 2

Questionnaire d'enquête réalisé sur la commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône)

Région Provence-Alpes-Côte d'Azur — brgm

Questionnaire sur le risque instabilité de falaise côtières sur la commune de Carry-le-Rouet

Bonjour, dans le cadre d'une étude portant sur les risques liés aux falaises côtières sur la commune de Carry-le-Rouet et réalisé par le BRGMpour Conseil Régional PACA et la DIREN en collaboration avec la mairie de Carry-le-Rouet. Nous aimerions vous poser quelques questions. Cette enquête est anonyme. Acceptez-vous d'y répondre ?

1. Jour enquête ☐☐/☐☐/☐☐☐☐

2. numero questionnaire ☐☐☐☐☐☐☐☐

Général

3. Ou se trouve votre résidence principale ?
○ 1. Carry-le-Rouet ○ 2. Autres(précisez le code postal): .....
Aller à '6. mots d'evocation' si residence principale = "Autres(précisez le code postal): ....."

4. Si Carry, A quelle distance approximative de votre domicile se situe le bord de mer ?
○ 1. Sur le bord de mer ○ 2. de 0 à 100m ○ 3. de 100 à 300m ○ 4. plus de 300m
La question n'est pertinente que si residence principale = "Carry-le-Rouet"

5. Si Carry, depuis combien de temps habitez vous dans la commune de Carry-le-Rouet ?
○ 1. Depuis votre naissance ○ 2. Depuis (indiquer l'année) :.....
La question n'est pertinente que si residence principale = "Carry-le-Rouet"

6. Veuillez nous donnez 3 mots qui vous viennent à l'esprit lorsqu'on vous parle de " risques liés aux falaises côtières " :

Fréquentation et activités sur la commune de Carry-le-Rouet

7. Fréquentez-vous régulièrement les sentiers littoraux de la commune de Carry-le Rouet ?
○ 1. 1er fois
○ 2. Moins de 5 fois par an
○ 3. Entre 5 et 10 fois par an
○ 4. Si plus de 10 fois,combien de fois par mois ?.....

8. Quels sont les 3 sites que vous visitez le plus ? (par ordre de fréquentation décroissante)
1. Le moulin — 2. Le phare de Carry-le-Rouet
3. Port de Carry-le-Rouet — 4. Calanque du Cap Rousset
5. Barqueroute — 6. Port du Rouet Ouest
7. Pointe du Rouet — 8. Calanque des eaux salées Ouest
☐☐☐
Vous pouvez vous repérez à l'aide de la carte fournie en annexe

9. Quelles sont les activités de loisir que vous pratiquez sur la commune de Carry-le-Rouet ?
☐ 1. Plage ☐ 2. Baignade
☐ 3. Pêche-promenade en bateau ☐ 4. Plongée, chasse sous-marine
☐ 5. Observation nature ☐ 6. Jogging
☐ 7. Vélo, VTT ☐ 8. Promenade à pied
☐ 9. Autres, Précisez.....
cochez les activités, puis entourez l'activité principale pour la commune

10. Vous sentez vous concerné par l'amélioration de l'aménagement et l'entretien des sentiers littoraux ?
1. Non,sans importance — 4. Oui,très important

Version4 16/05/07

Selon vous, la commune de Carry-le-Rouet est-elle concernée par chacun des risques suivants?

	Non,inexistant — Oui très fort
11. Les inondations:	
12. Les incendies de forêts :	
13. Les glissement de terrain :	
14. Les éboulements les chutes de blocs de pierre:	

15. Si Oui, pouvez-vous localiser sur la carte l'endroit approximatif où se trouve ce risque d'éboulement ?
○ 1. Le moulin ○ 2. Le phare de Carry-le-Rouet
○ 3. Le port de Carry-le-Rouet ○ 4. Calanque du Cap Rousset
○ 5. Barqueroute ○ 6. Port du Rouet Ouest
○ 7. Pointe du Rouet ○ 8. Calanque des eaux salées Ouest
○ 9. Autres..... ○ 10. NSP
La question n'est pertinente que si liste eboulement # "Non,inexistant"

16. Avez-vous eu connaissance d'un éboulement récent dans la commune ?
○ 1. Oui si oui,laquelle et quand?..... ○ 2. Non

17. Comment avez vous pris connaissance de cet événement ?
○ 1. J'ai subi moi-même l'évènement
○ 2. Par ma famille
○ 3. Par des connaissances (voisin, amis, collègues….)
○ 4. Par la presse écrite ou audio-visuelle

18. L'éboulement des falaises côtières est-il un sujet de conversation que vous abordez:
1. Jamais — 4. Très Souvent

19. Avec qui en parlez-vous ?
○ 1. La famille ○ 2. Les collègues ○ 3. La mairie ○ 4. Autres précisez.....

20. Pensez vous qu'il y aura un jour un éboulement de falaise de grande ampleur dans la commune ?
1. Non,impossible — 4. Oui,très probablement

21. Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone exposée à des risques liés aux falaises côtières ?
1. Non,pas du tout — 4. Oui,très exposé

Selon vous, faut-il lutter contre les risques liées aux instabilités de falaises côtières sur la commune de Carry-le-Rouet

	Oui	Oui, mais pas à n'importe quel prix
22. Pour Protéger une maison menacée	○	○
23. Pour Protéger des activités touristiques (sentier) :	○	○
24. Pour sauvegarder le paysage et la nature :	○	○

25. Face à un panneau interdisant de continuer en bord de falaise pour éviter un risque d'éboulement :
○ 1. Vous continuez ○ 2. Vous passez en retrait ○ 3. Vous rebroussez chemin

26. Pourquoi?

27. Face à un panneau interdisant de continuer en bord de falaise pour éviter d'abîmer des espèces protégés :
○ 1. Vous continuez ○ 2. Vous passez en retrait ○ 3. Vous rebroussez chemin

28. Pourquoi

29. Vous estimez vous suffisamment informés sur les risques liés aux falaises côtières ?
○ 1. Oui ○ 2. Non

30. D'après vous, faut-il améliorer l'information préventive des risques liés aux falaises côtières par l'intermédiaire :
○ 1. De mesures de préventions ○ 2. D'un apprentissage à l'école
○ 3. D'information à la population ○ 4. De la réglementation
○ 5. D'aucune amélioration ○ 6. Autres : précisez.....

31. Connaissez vous les consignes à suivre si un éboulement de falaise se produisait :
1. Non,pas du tout — 4. Très bien

32. Selon, vous qu'elle est la marche à suivre en cas d'éboulement de falaise ?
☐ 1. Vous fuyez latéralement et ne revenez pas sur vos pas
☐ 2. Vous ne bougez pas et attendez les secours
☐ 3. vous gagnez un point en hauteur
☐ 4. vous revenez sur vos pas en faisant attention
Vous pouvez cocher plusieurs cases (2 au maximum).

Intéressons nous maintenant à notre principal problème : le risque lié aux falaises côtières.

Un des objectifs de la politique sur les risques naturels en région PACA est de diminuer la vulnérabilité.
Les falaises côtières montrent une érosion entraînant des instabilités récurrentes de type chute de blocs et chute de pierres.
Un éboulement des falaises a régulièrement des conséquences sur les activités et la sécurité de la population (au niveau des sentiers côtiers, des plages, des ports ou des routes), sur les biens (l'habitat, les réseaux routiers ou ferroviaires), sur les milieux (zones de protection).
Des aménagements de protection peuvent être réalisés comme le confortement des parois contre les éboulements et les chutes de blocs, la mise en place d'enrochement etc…

Vous allez dans cette partie être amenés à évaluer l'importance de la réalisation de ces aménagements qui seront une parade à l'érosion des falaises sur la commune de Carry-le-Rouet.

33. Pensez vous que la réalisation de parade sur les falaises à risque sur la commune de Carry-le-Rouet soit :
1. Sans importance 4. Très important

34. Pourquoi?

Nous tentons ici d'estimer la valeur que vous accordez à l'amélioration de l'état des falaises du littoral de la commune de Carry-le-Rouet, et ceux au travers d'effort financier que vous jugerez favorable pour cette amélioration.
Pour cela on peut envisager que la population contribue financièrement à un impôt ou à un fond commun associatif en versant de l'argent de façon volontaire.

35. Seriez-vous prêt à verser de l'argent à un tel fond associatif?
❍ 1. Oui ❍ 2. Non

36. Quelle contribution financière seriez vous prêt(e) à verser, par an en euros, pour le financement de ces aménagements ?

37. Pour quel raison avez -vous répondu 0 à la dernière question ?
❍ 1. Manque d'information
❍ 2. Ce n'est pas à moi de payer Qui doit payer :…….....
❍ 3. J'ai peur de payer pour les autres
❍ 4. Je ne me sens pas concerné
❍ 5. Je n'ai pas les moyens de payer
❍ 6. Autres raison, préciser……..

Je vous rappelle que cette enquête est anonyme mais nous avons besoin de quelques renseignements vous concernant.

38. Sexe
❍ 1. Féminin ❍ 2. Masculin

39. Quelle est votre année de naissance ?

40. Quelle est votre profession

-1- Activité, -2- Chômage, -3- Retraite
Si chômage ou retraite, précédente activité professionnelle
Si inactif, profession de l'époux
Si étudiant, profession du père

41. A quelle catégorie suivante appartenez ou apparteniez-vous ?
❍ 1. Agriculteurs exploitants
❍ 2. Artisans, commerçants, Chefs d'entreprise
❍ 3. Cadres, Professions intellectuelles supérieures
❍ 4. Professions intermédiaires
❍ 5. Employés
❍ 6. Ouvriers

42. Quel est votre diplôme le plus élevé ?
❍ 1. Sans diplôme ❍ 2. Brevet, CAP, BEP, certificat d'étude ❍ 3. BAC
❍ 4. BAC +1, +2, +3 ❍ 5. BAC +4, +5 ❍ 6. Doctorat

43. Quelle est votre situation familiale?
❍ 1. Marié ❍ 2. Divorcé ❍ 3. Célibataire ❍ 4. Veuf

Composition du foyer
44. Quel est le nombre d'adulte dans votre foyer?
45. Quel est le nombre d'enfant dan votre foyer?

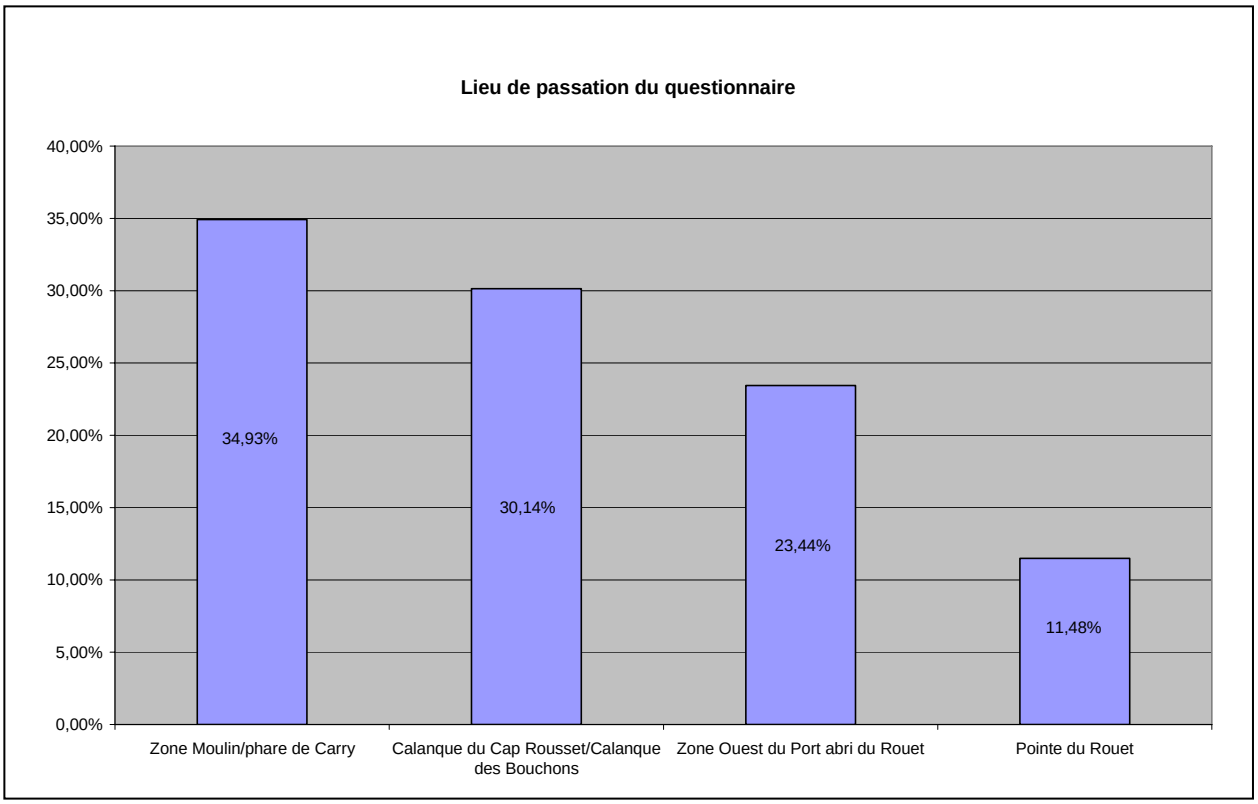
46. Pouvez vous m'indiquer la classe de revenu net de votre ménage par mois sur la carte suivante, en y incluant tous les salaires, allocations et autres rentrées d'argent ?

...Merci de Votre Participation...

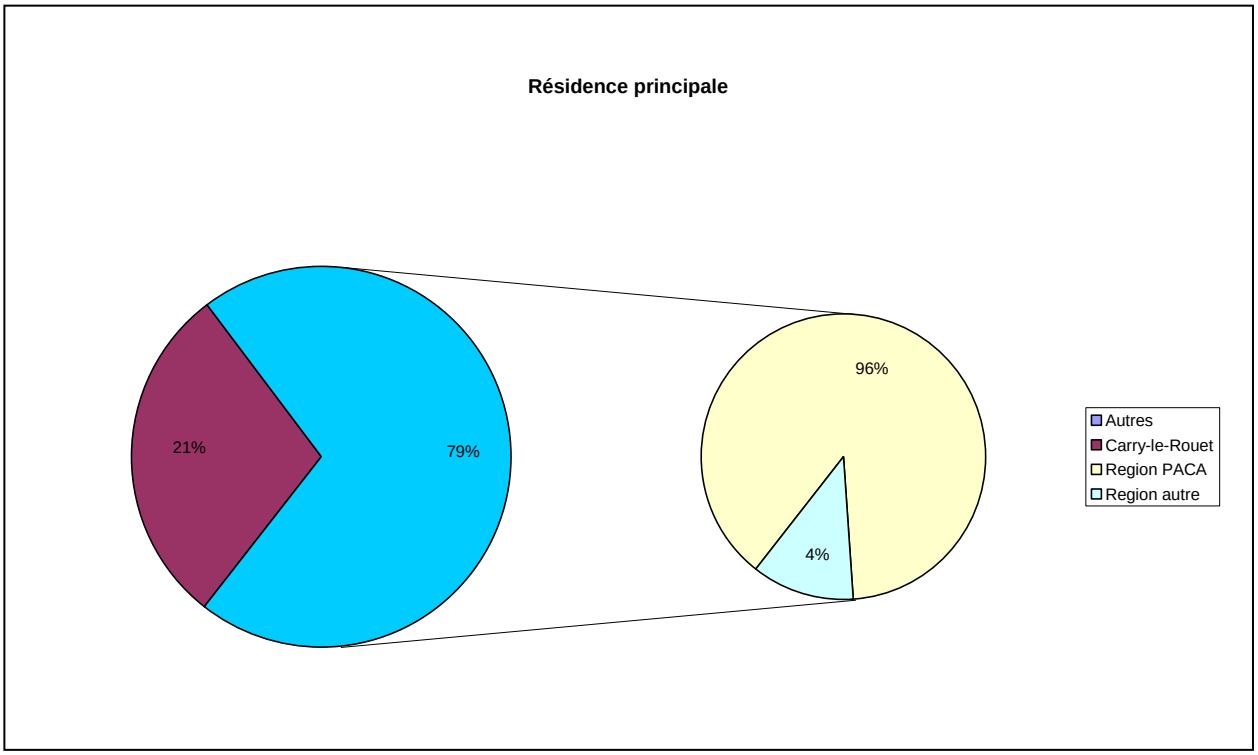
Annexe 3

Graphiques de tri à plat résultant de l'enquête et graphiques résultats utilisés dans le rapport

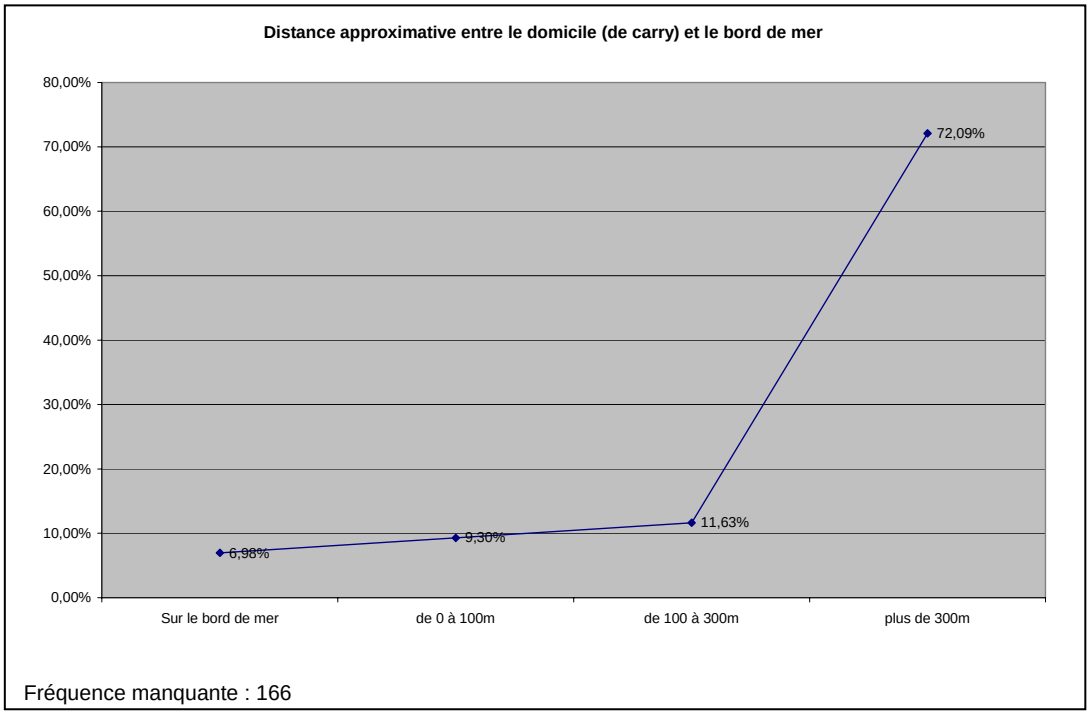
Lieu de passation du questionnaire



Questions 3 : *«Où se trouve votre résidence principale ?»*

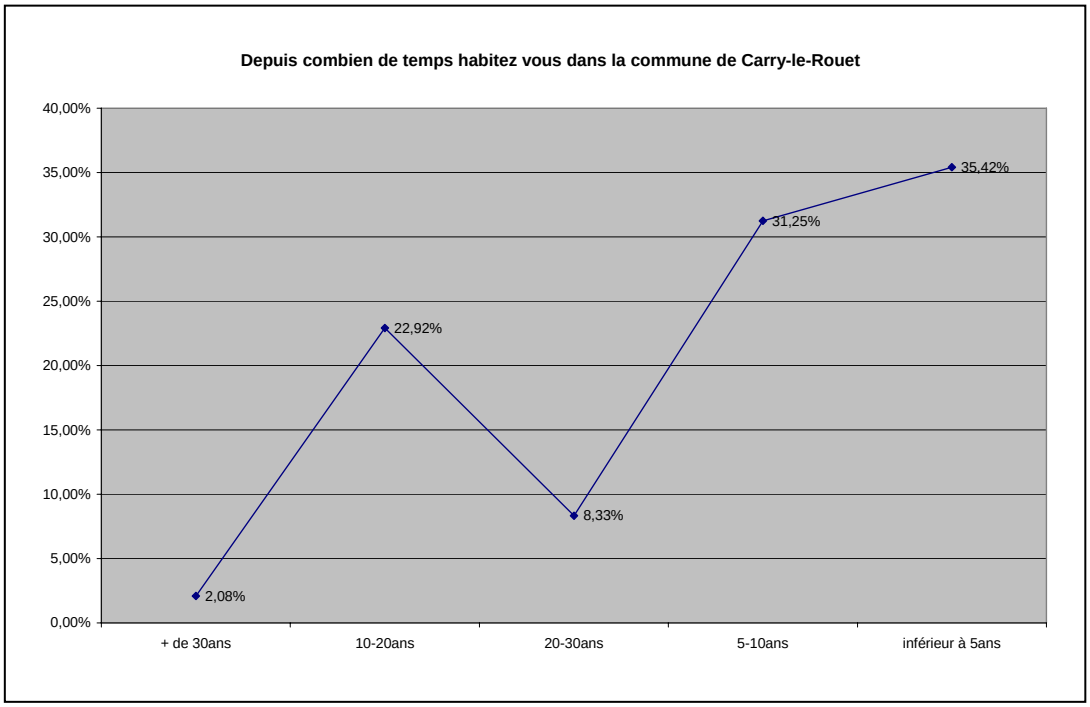


- **Question 4 :** *« Si la résidence principale est Carry-le-Rouet, a quelle distance approximative de votre domicile se situe le bord de mer ? »*



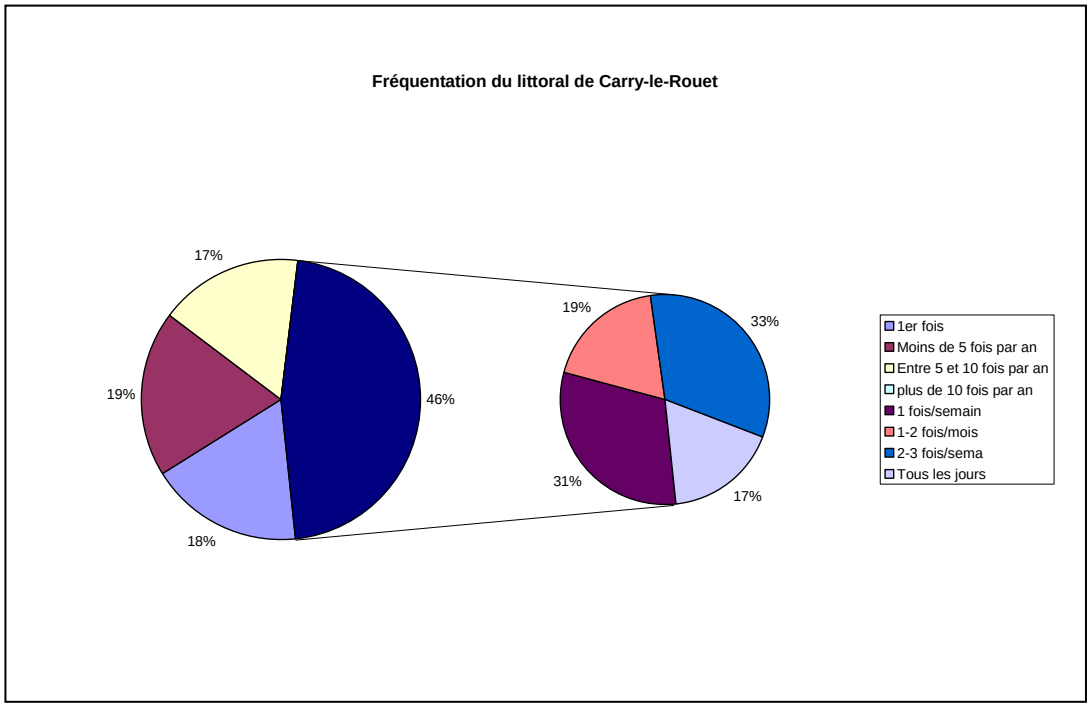
Fréquence manquante : 166

- **Question 5 :** *« Si résidence principale est Carry-le-Rouet, depuis combien de temps habitez vous dans la commune de Carry-le-Rouet ? »*

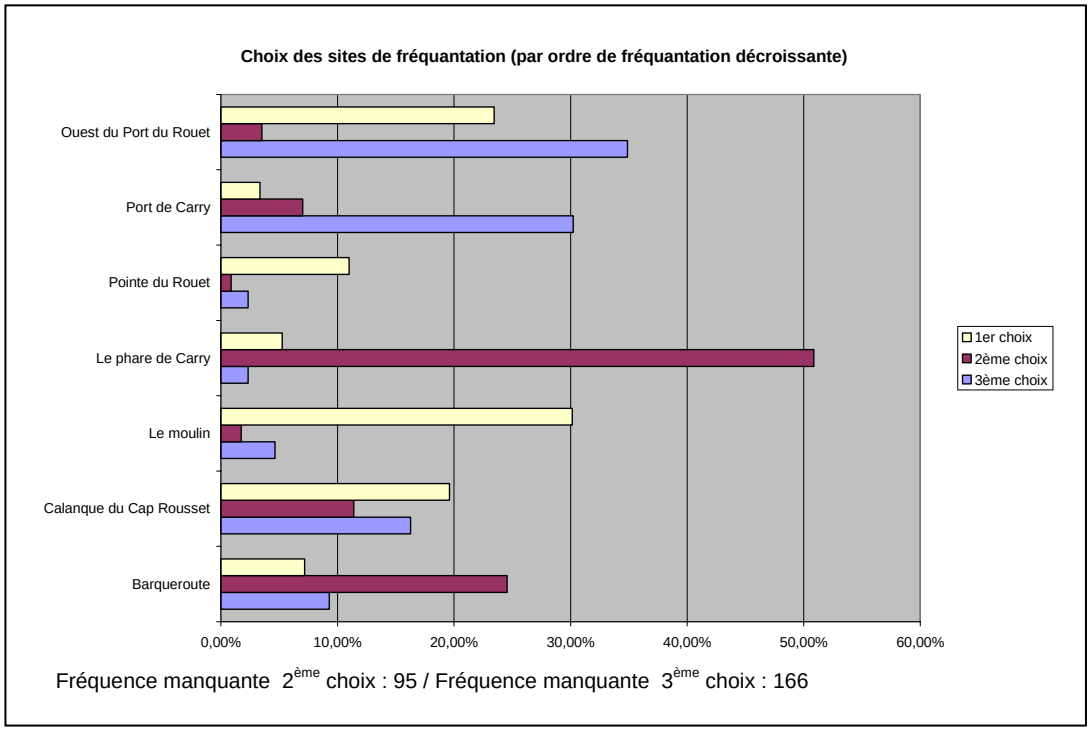


Fréquence manquante : 161

- **Question 7 :** *« Fréquentez-vous régulièrement les sentiers littoraux de la commune de Carry-le Rouet ? »*

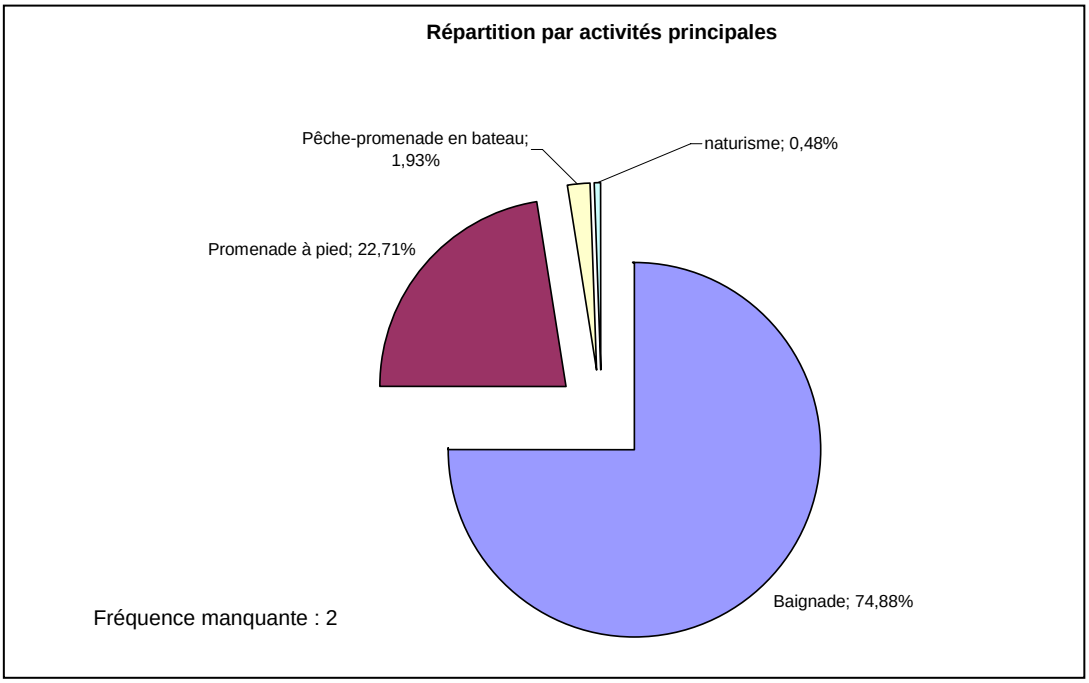


- **Question 8 :** *« Quels sont les 3 sites que vous visitez le plus ? (par ordre de fréquentation décroissante) »*

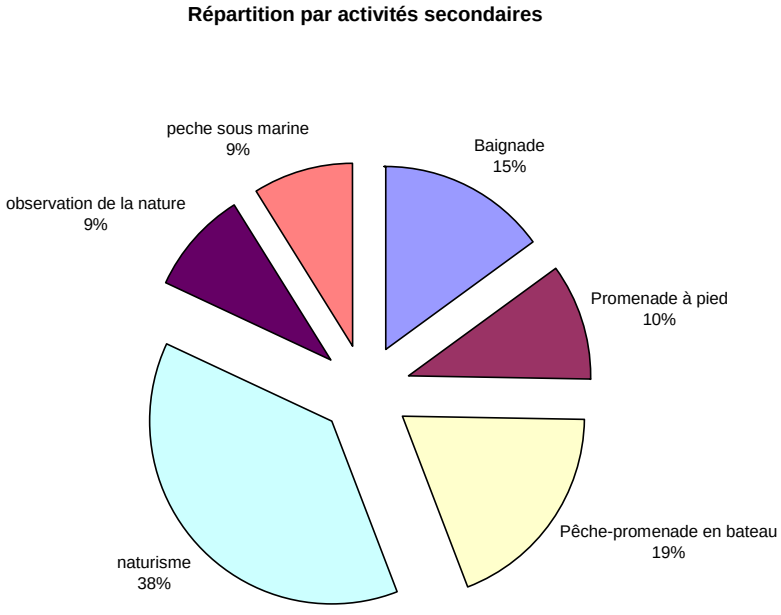


Fréquence manquante 2ème choix : 95 / Fréquence manquante 3ème choix : 166

Question 9 : *« Quelles sont les activités de loisir que vous pratiquez sur la commune de Carry-le-Rouet ? »*

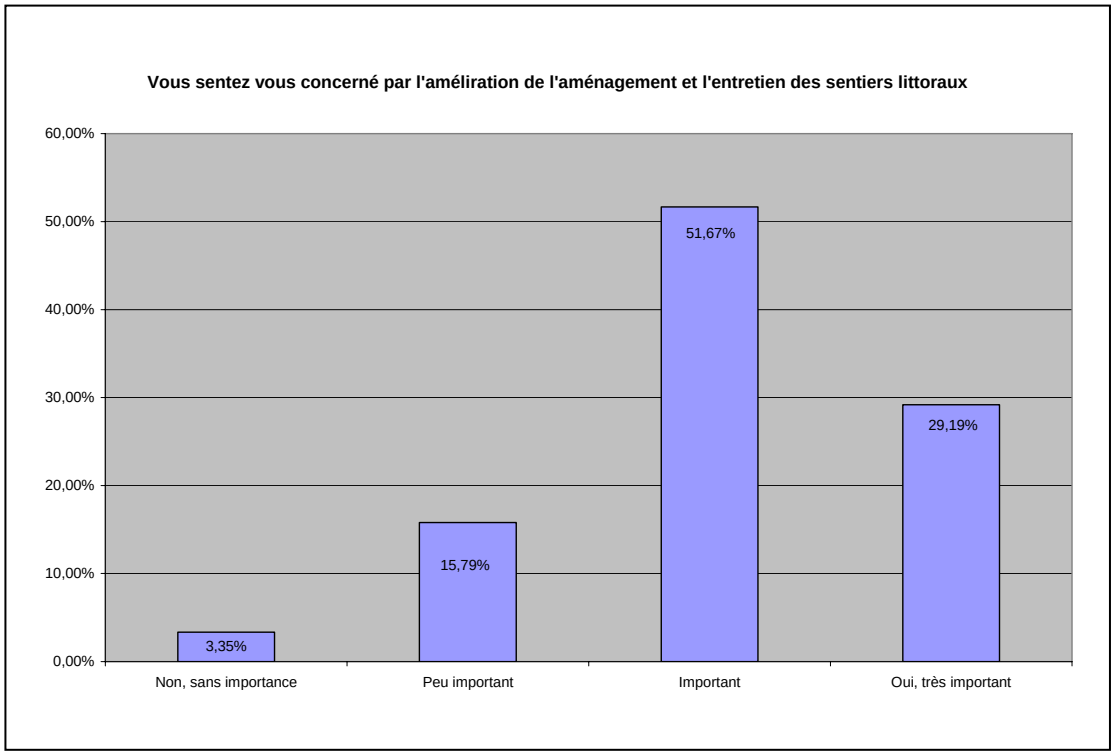


Fréquence manquante : 2

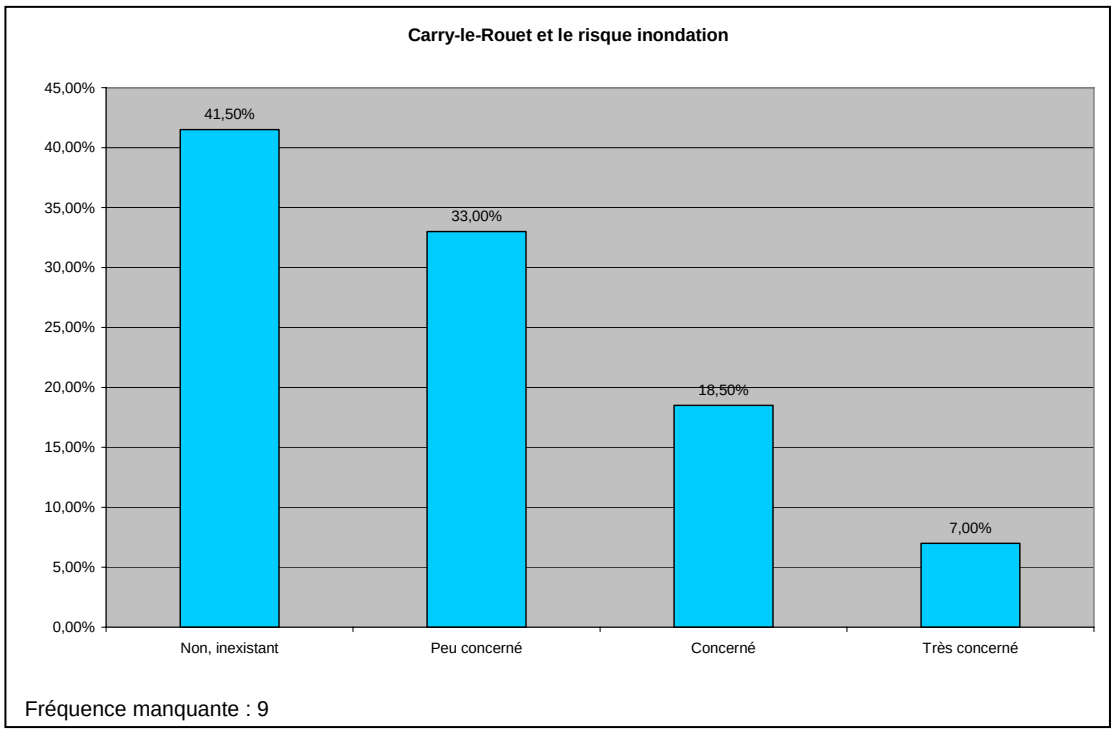


Fréquence manquante : 33

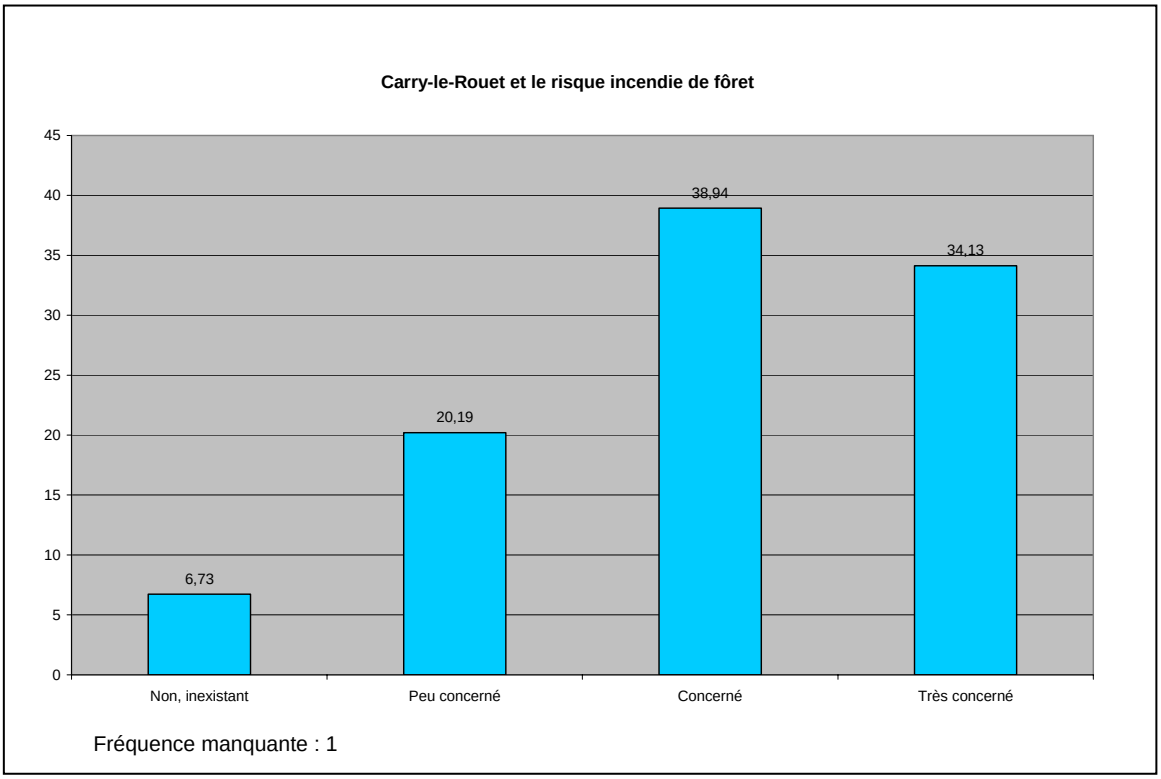
Question 10 : *« Vous sentez vous concerné par l'amélioration de l'aménagement et l'entretien des sentiers littoraux ? »*



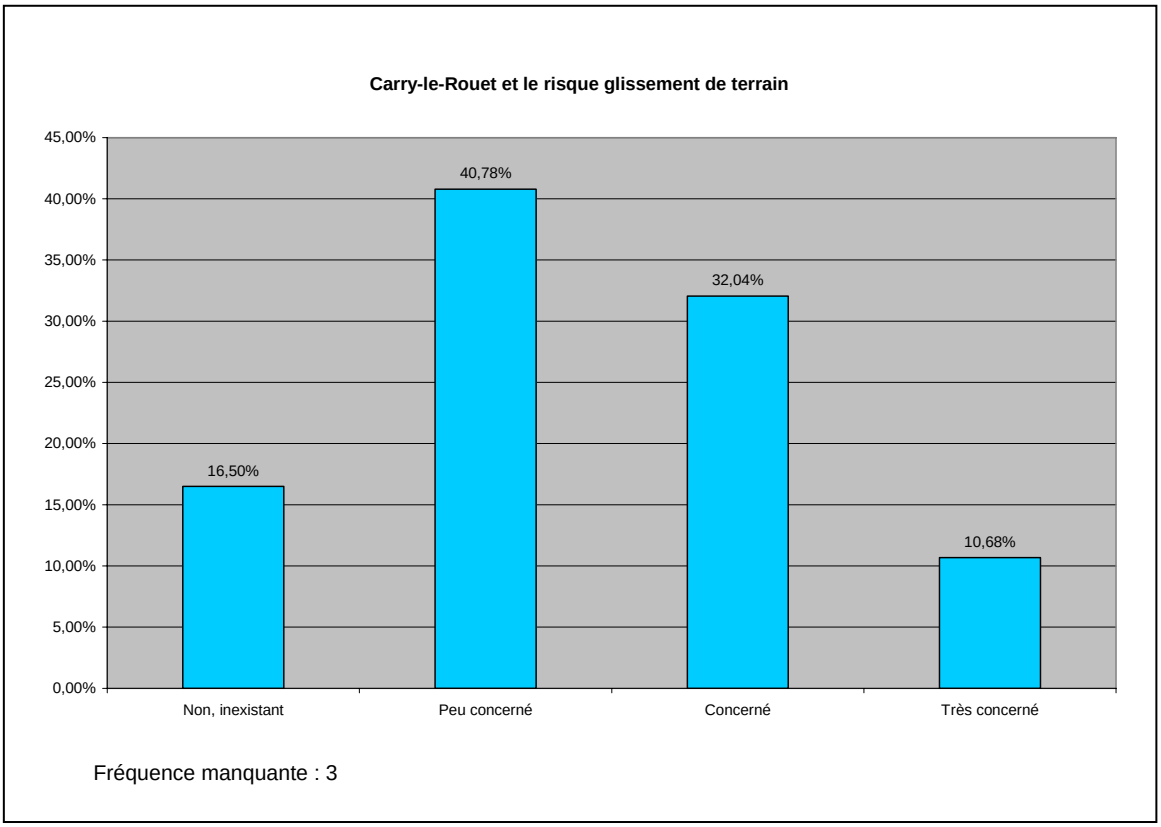
Questions : 11, 12, 13, 14 : *« Selon vous, la commune de Carry-le-Rouet est-elle concernée par chacun des risques suivants ? »*



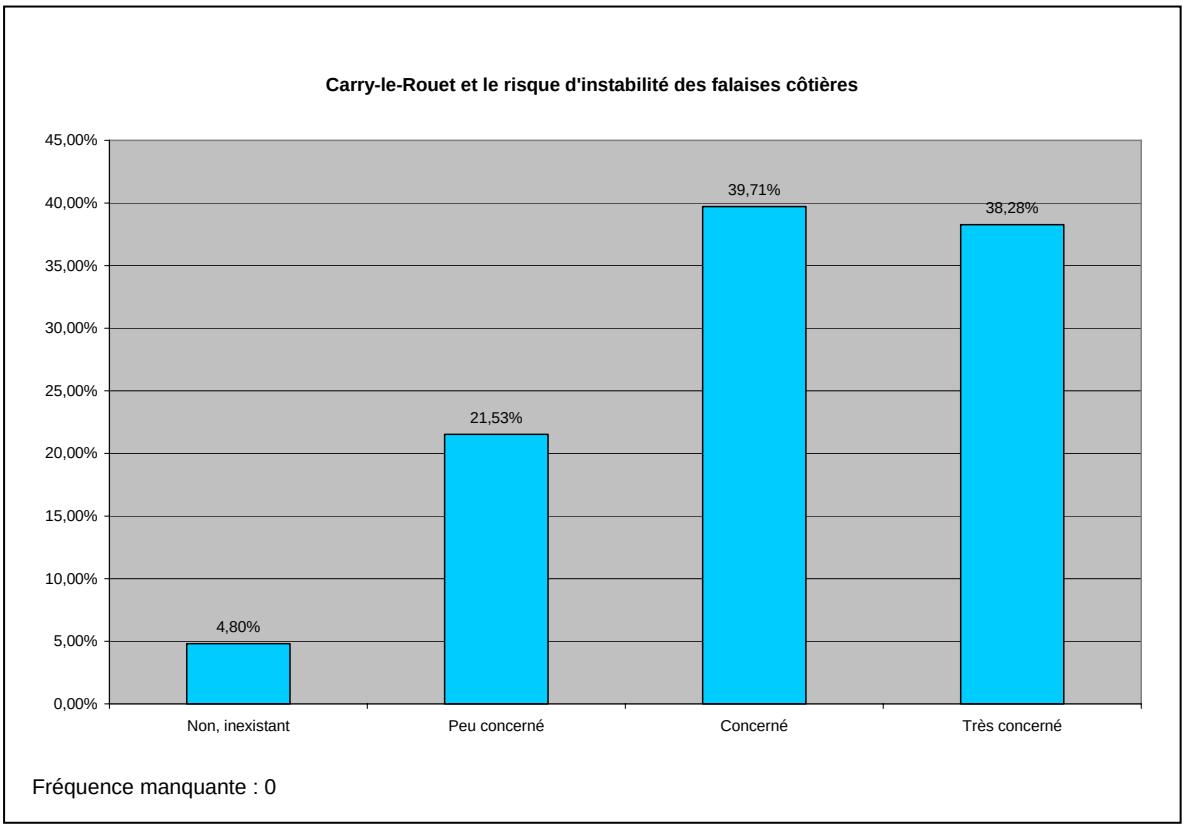
Fréquence manquante : 9



Fréquence manquante : 1

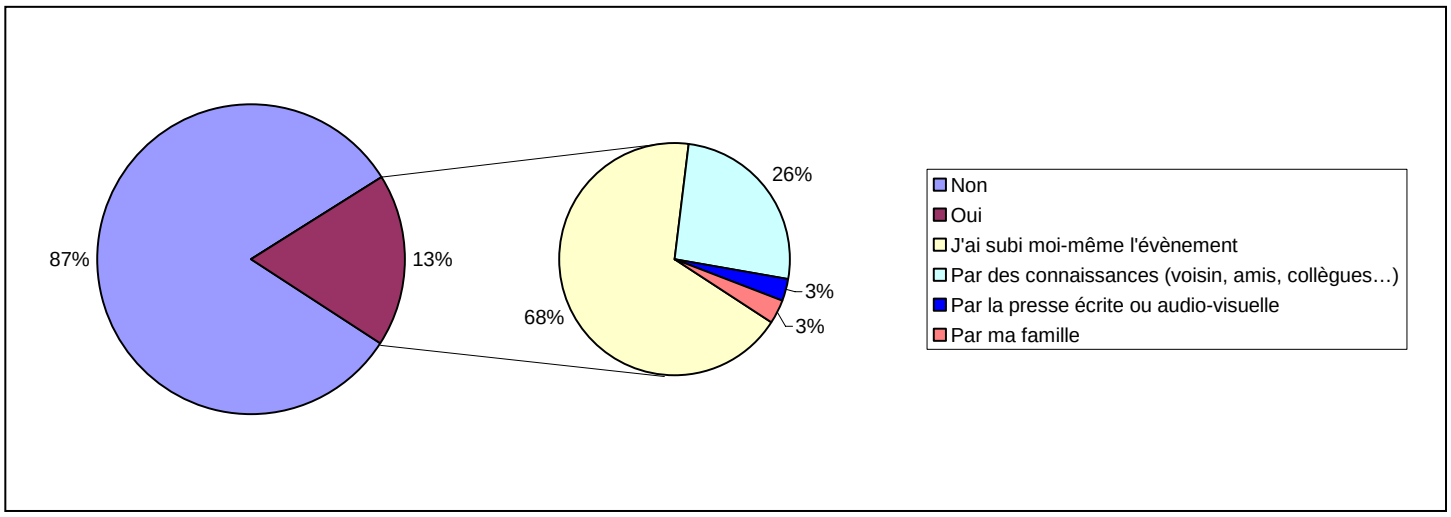


Fréquence manquante : 3

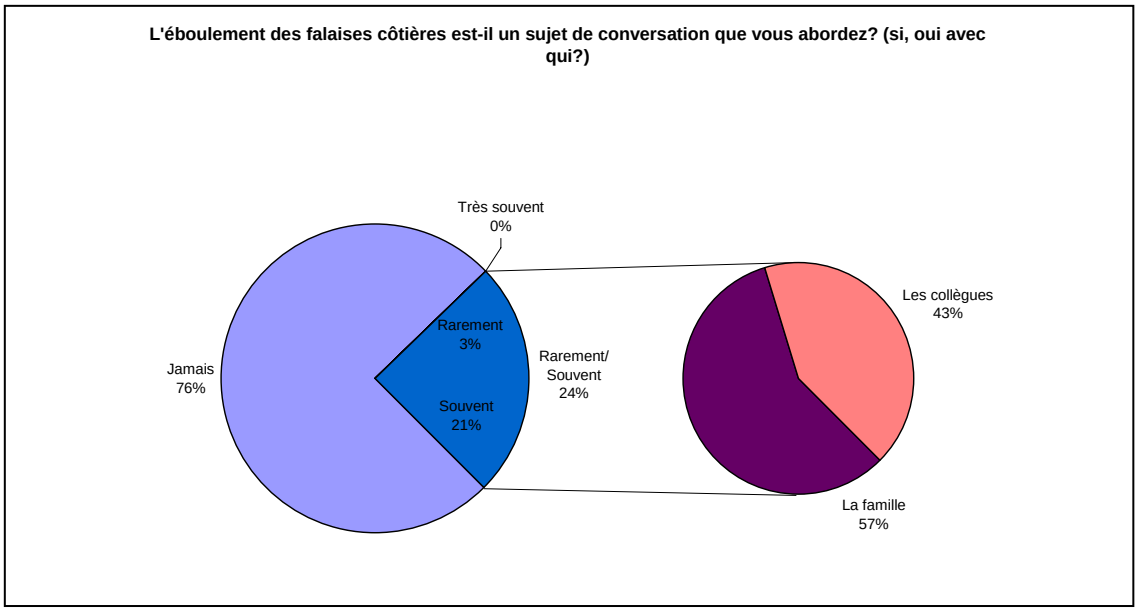


Fréquence manquante : 0

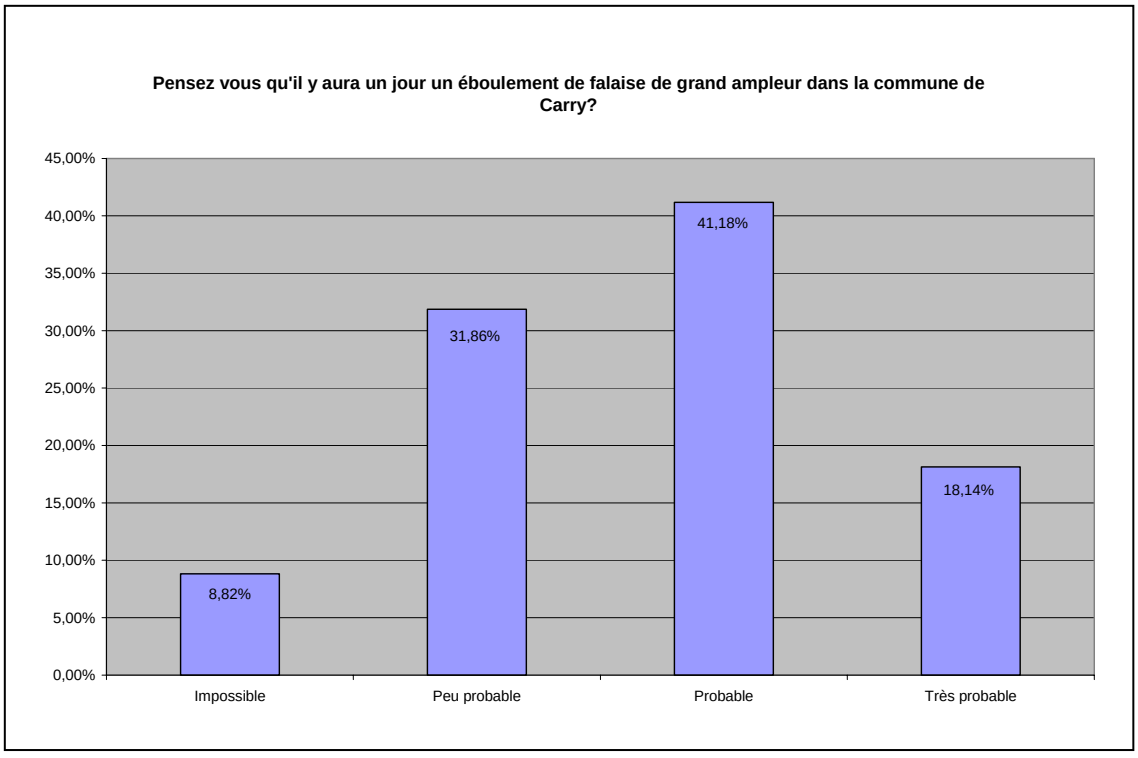
- **Question 16 et 17 :** *« Avez-vous eu connaissance d'un éboulement récent dans la commune ? »* **et** *« Comment avez vous pris connaissance de cet événement ? »*



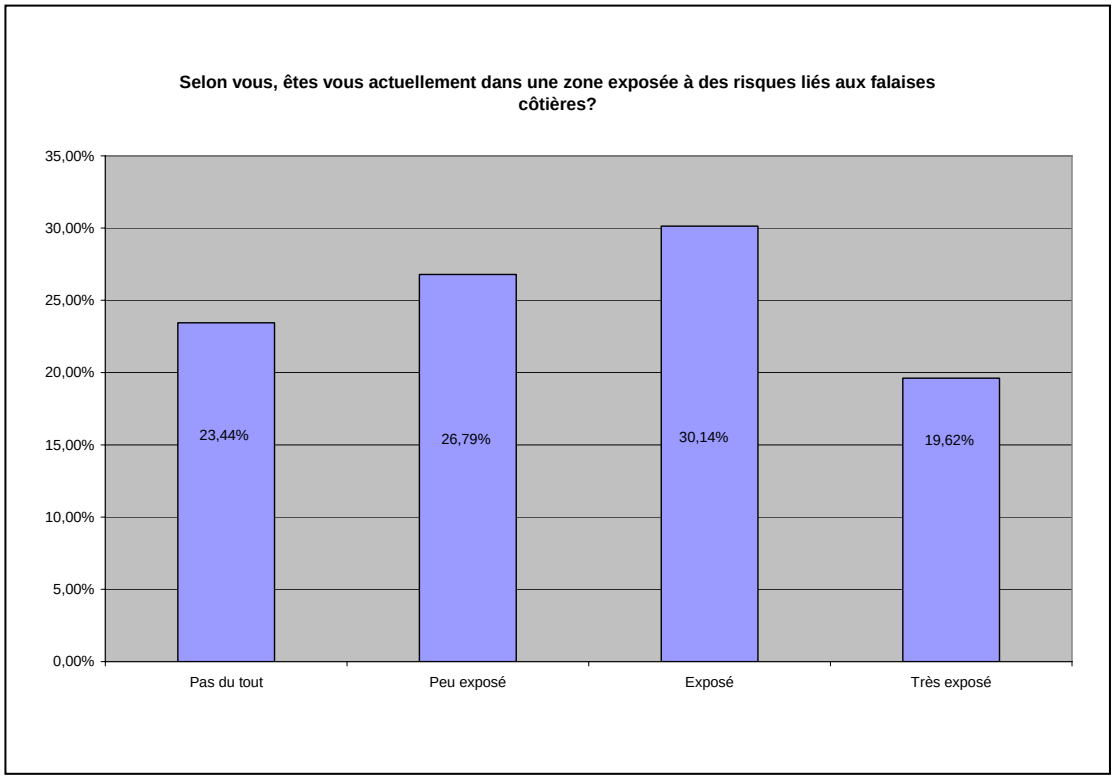
- **Question 18 et 19 :** *« L'éboulement des falaises côtières est-il un sujet de conversation que vous abordez : » et « Avec qui en parlez-vous ? »*



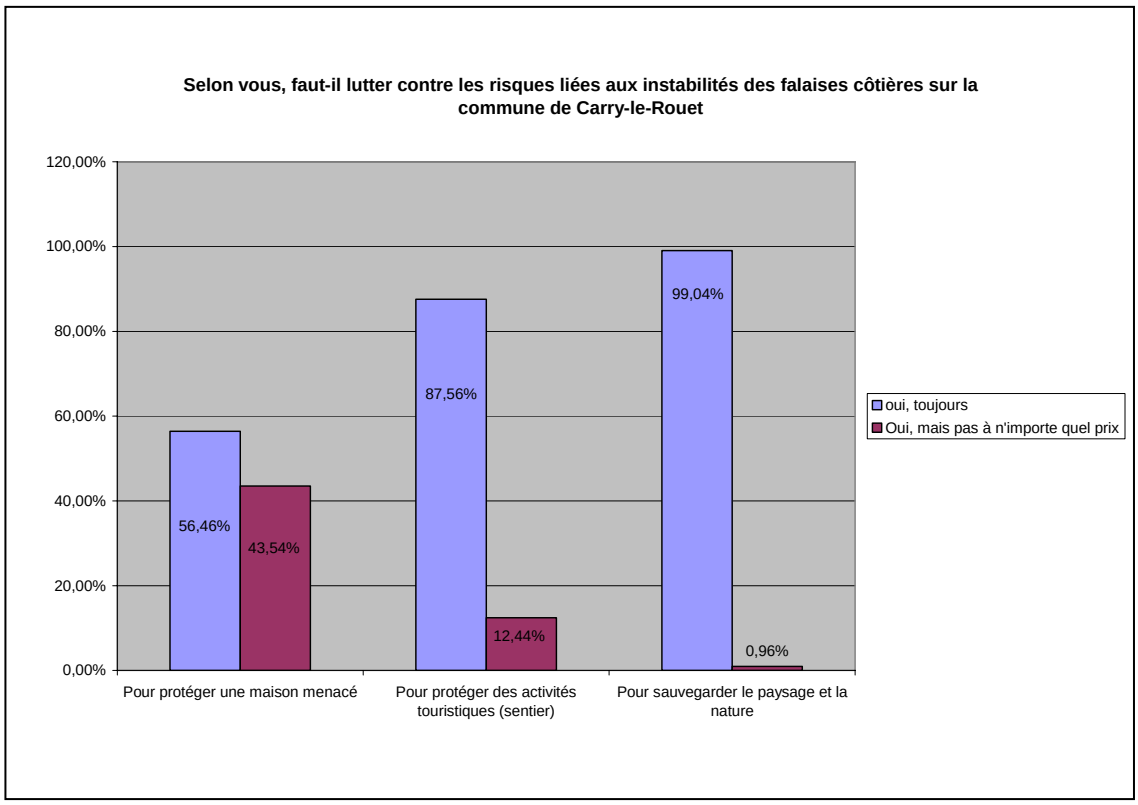
- **Question 20 :** *« Pensez vous qu'il y aura un jour un éboulement de falaise de grande ampleur dans la commune ? »*



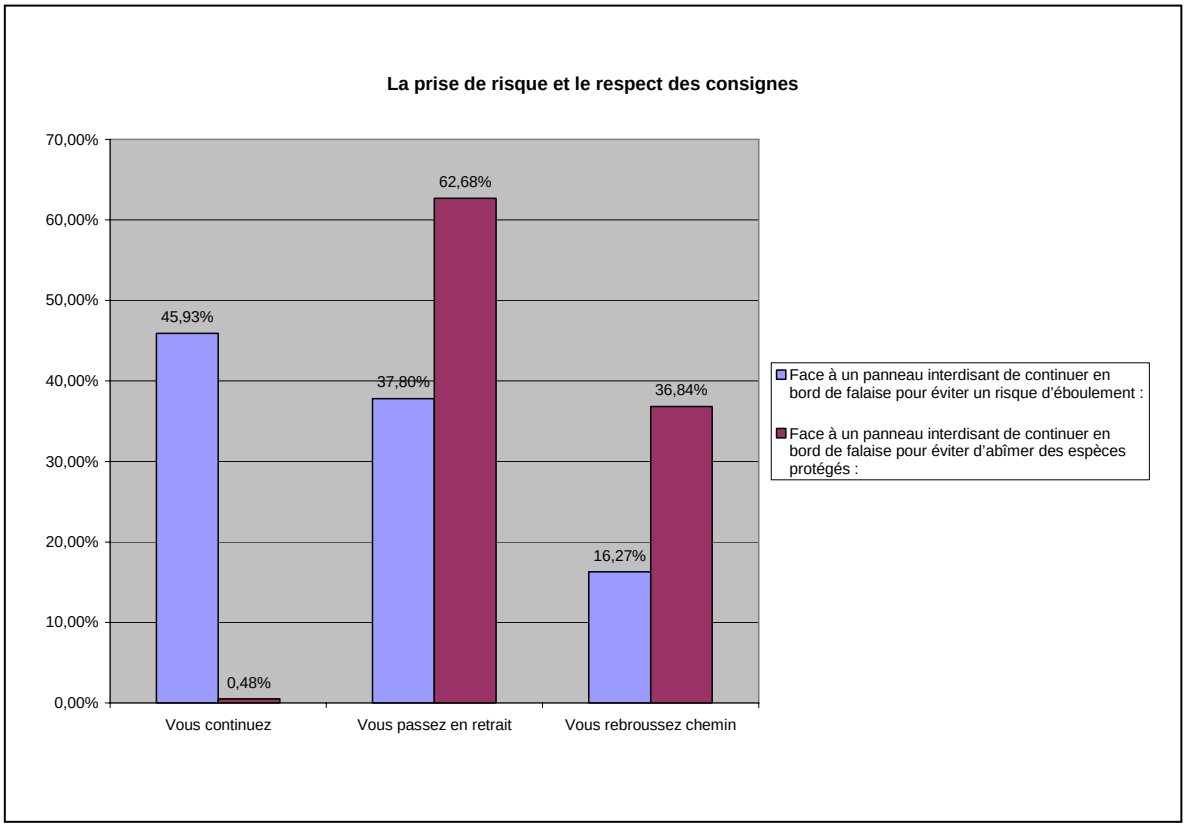
Question 21 : « Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone exposée à des risques liés aux falaises côtières ? »



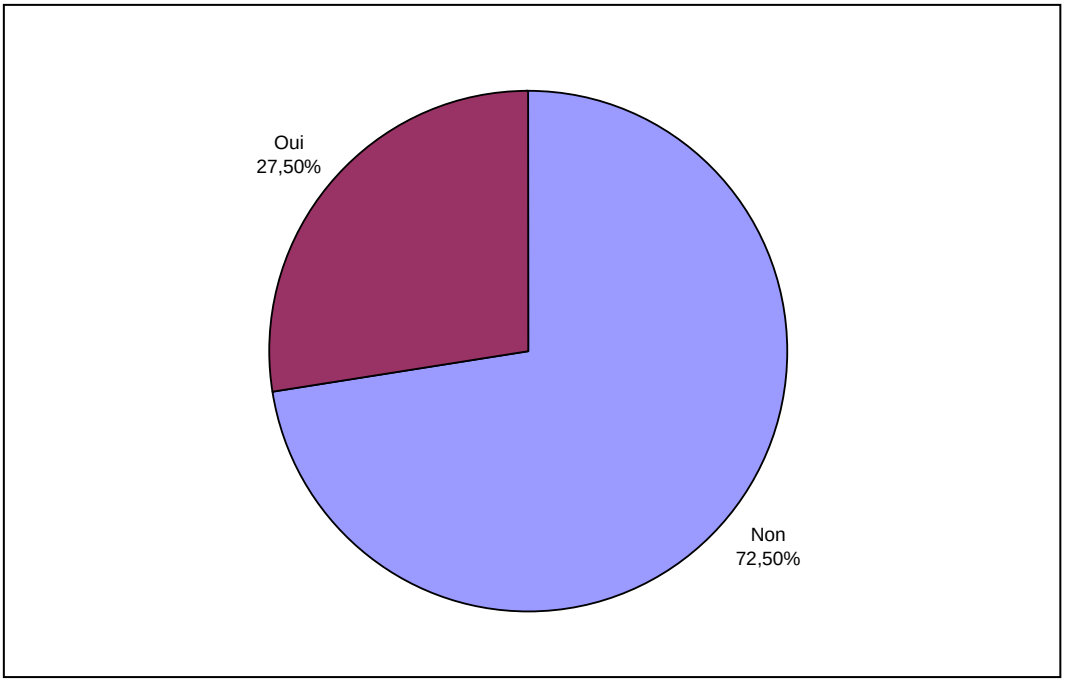
Questions 22, 23, 24 : *« Selon vous, faut-il lutter contre les risques liées aux instabilités des falaises côtières sur la commune de Carry-le-Rouet »*



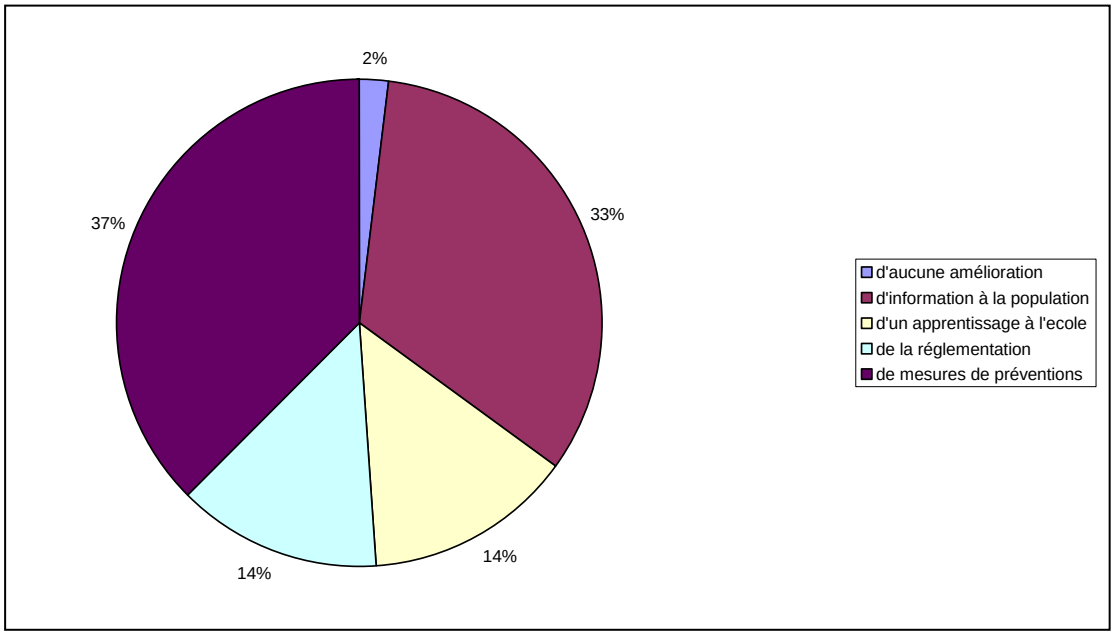
- **Questions 25 et 27 :** *« Face à un panneau interdisant de continuer en bord de falaise pour éviter un risque d'éboulement » ou «… pour éviter d'abîmer des espèces protégés »*



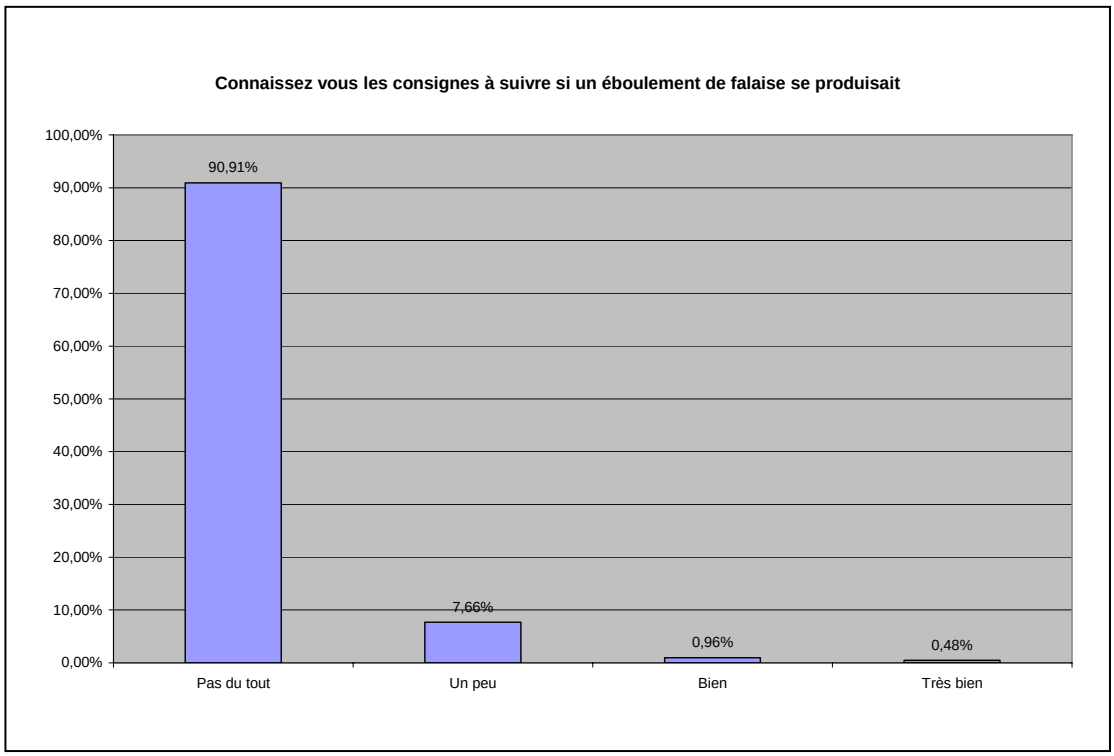
- **Question 29 :** *« Vous estimez vous suffisamment informés sur les risques liés aux falaises côtières ? »*



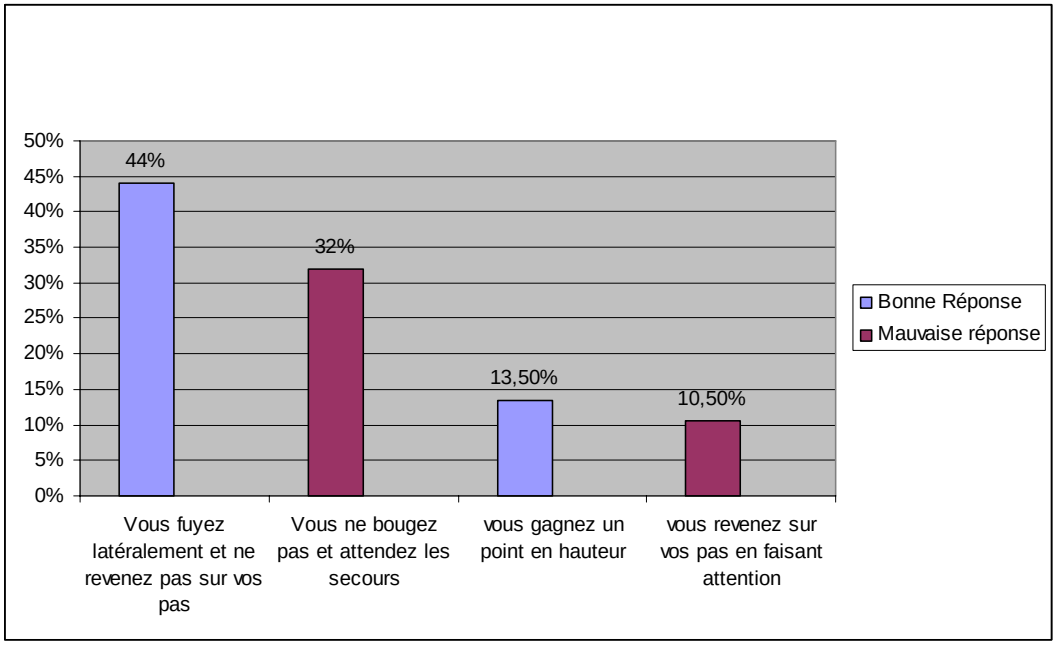
Question 30 : *« D'après vous, faut-il améliorer l'information préventive des risques liés aux falaises côtières par l'intermédiaire : »*



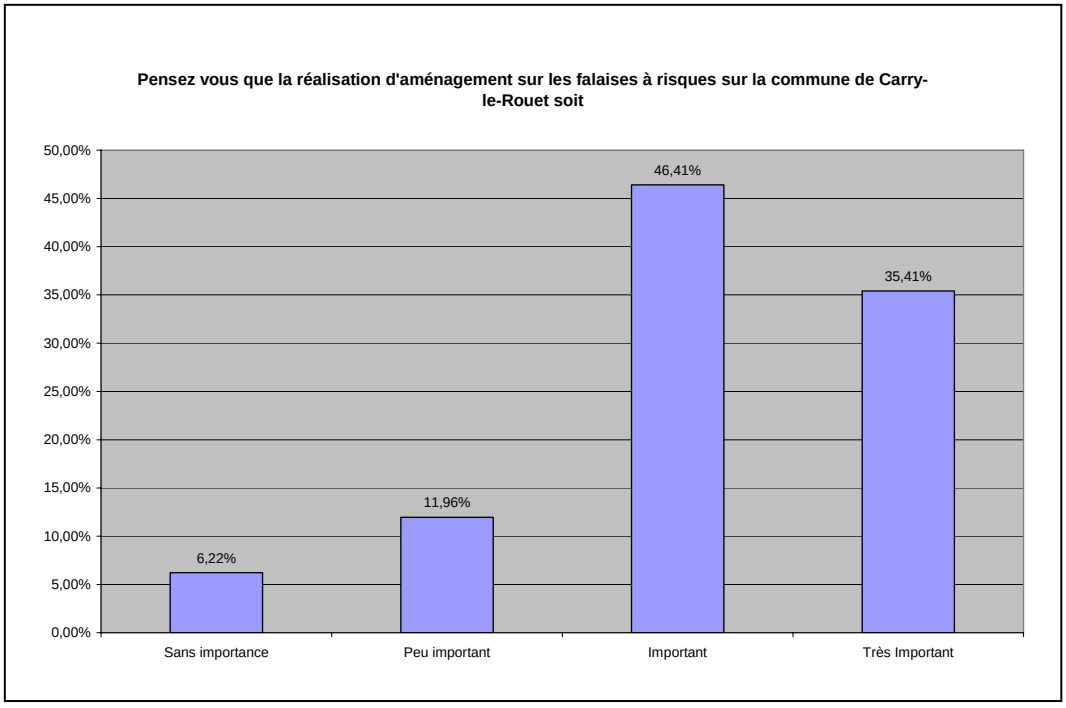
Question 31 : *« Connaissez vous les consignes à suivre si un éboulement de falaise se produisait ? »*



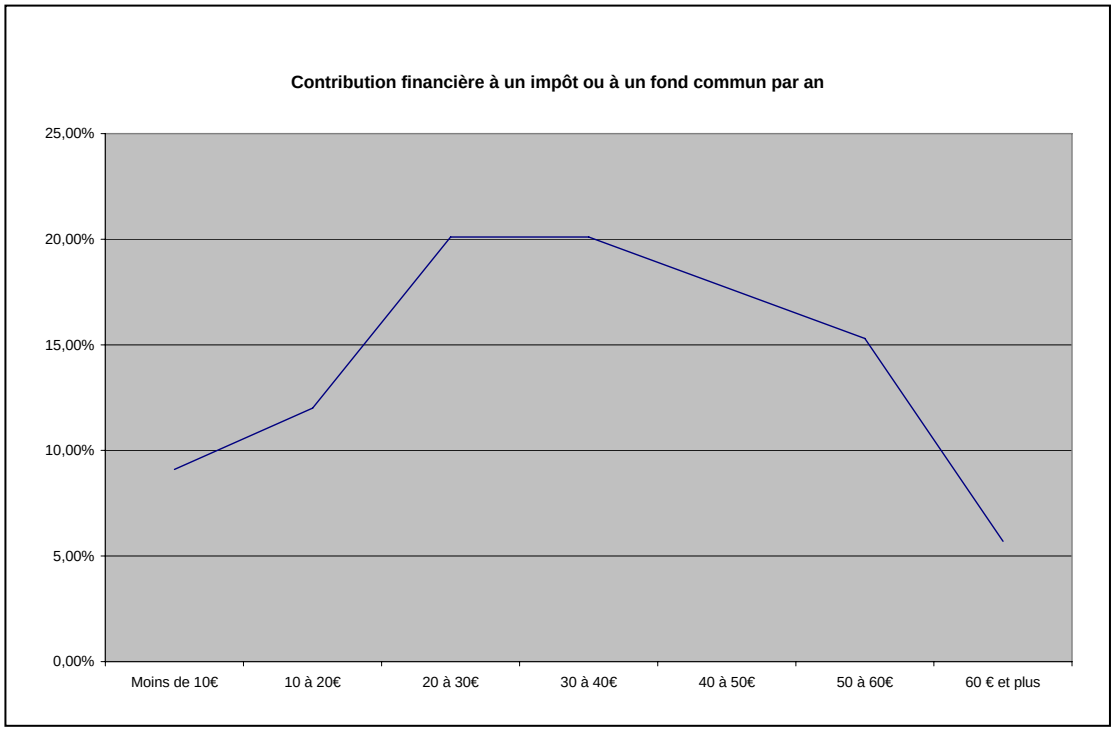
Question 32 : *« Selon, vous qu'elle est la marche à suivre en cas d'éboulement de falaise ? »*



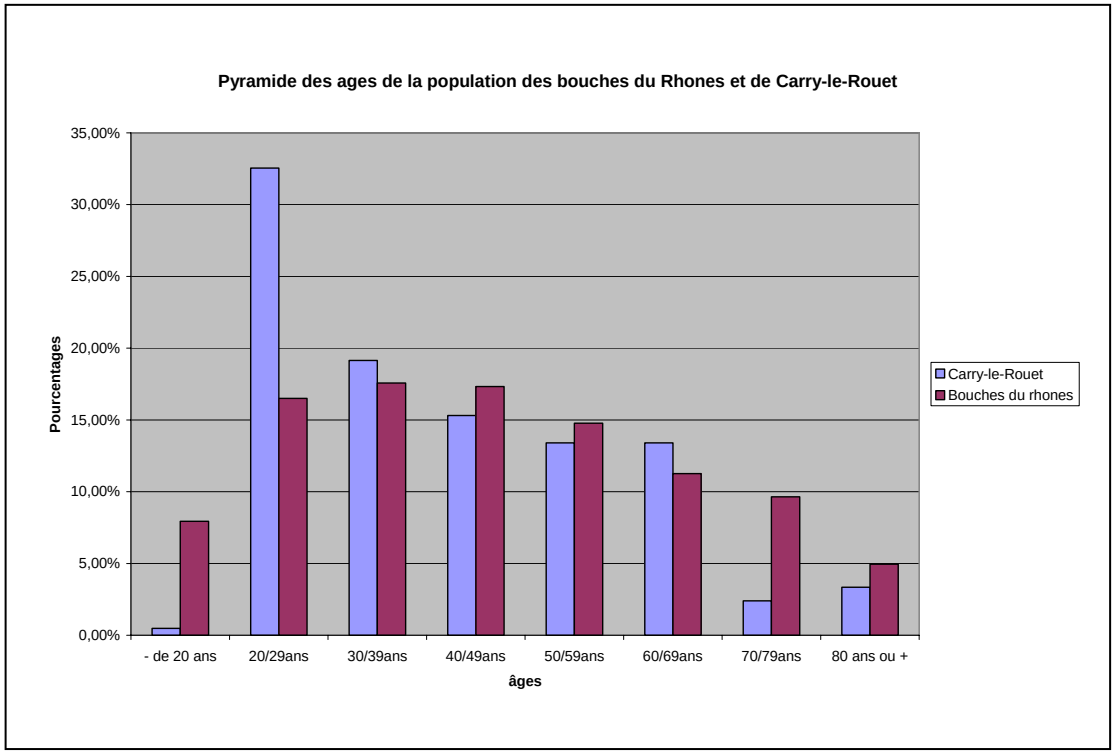
Question 33 : *« Pensez vous que la réalisation d'aménagement sur les falaises à risque sur la commune de Carry-le-Rouet soit : »*



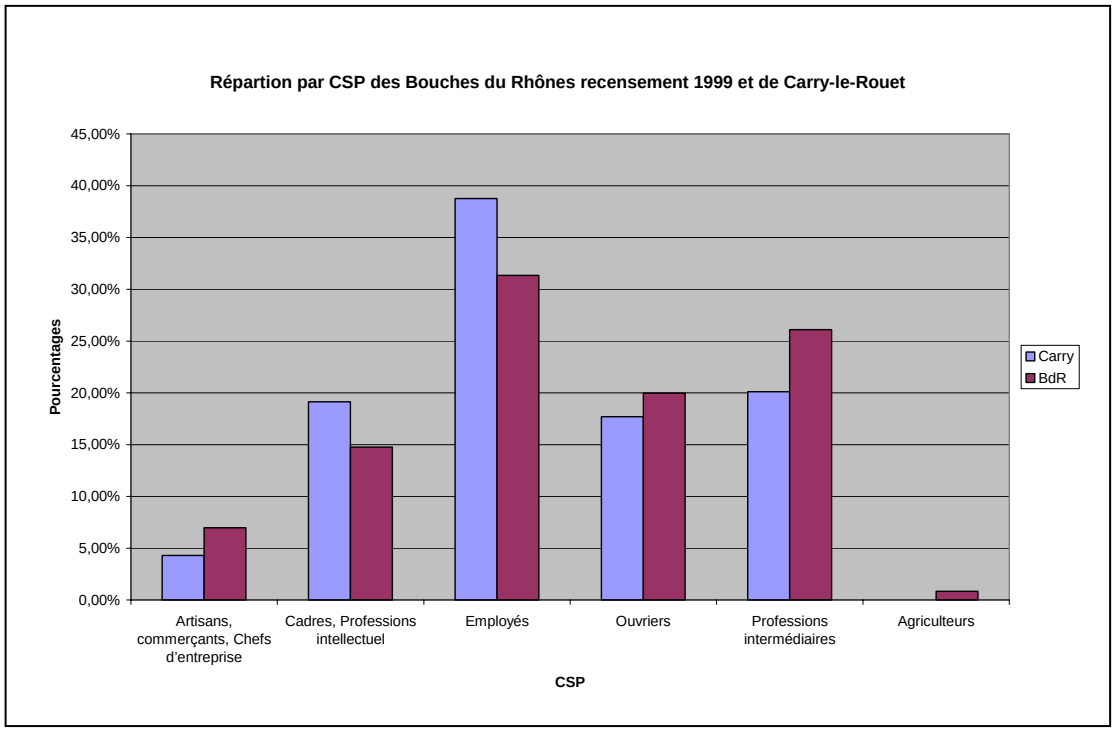
Question 36 : *« Quelle contribution financière seriez-vous prêt (e) à verser, par an en euros, pour le financement de ces aménagements ? »*



Résultat de la variable âge pour la population de Carry-le-Rouet et des Bouches-du-Rhône



Résultat de la variable CSP pour la population de Carry-le-Rouet et des Bouches-du-Rhône



Construction de l'indice de perception

Indice de perception du risque côtier				
Niveau d'aléa **Sentiment d'exposition**	1	2	3	4
1	0	-1	-2	-3
2	1	0	-1	-2
3	2	1	0	-1
4	3	2	1	0

Le niveau de l'aléa est révélé par la zone de passation du questionnaire tandis que le sentiment d'exposition aux instabilités des falaises côtières est indiqué par la réponse à la question :

- *« Selon vous, êtes vous actuellement dans une zone exposée à des risques liés aux falaises côtières ? »*

En utilisant ces deux informations nous avons pu, à l'aide d'une simple opération arithmétique, faire la différence entre le sentiment d'exposition aux risques côtier et le niveau d'aléa de la zone.

Ainsi ce calcul nous donne un indice pour chaque cas de figure :

- **0** : le niveau d'aléa de la zone est équivalent au sentiment d'exposition de l'individu ;

Plus l'indice s'éloigne 0 moins la perception est juste :

- **1, 2, 3** : le niveau d'aléa de la zone est inférieur au sentiment d'exposition de l'individu, l'individu surestime le risque
- **-1, -2, -3** : le niveau d'aléa de la zone est supérieur au sentiment d'exposition de l'individu, l'individu sous-estime le risque

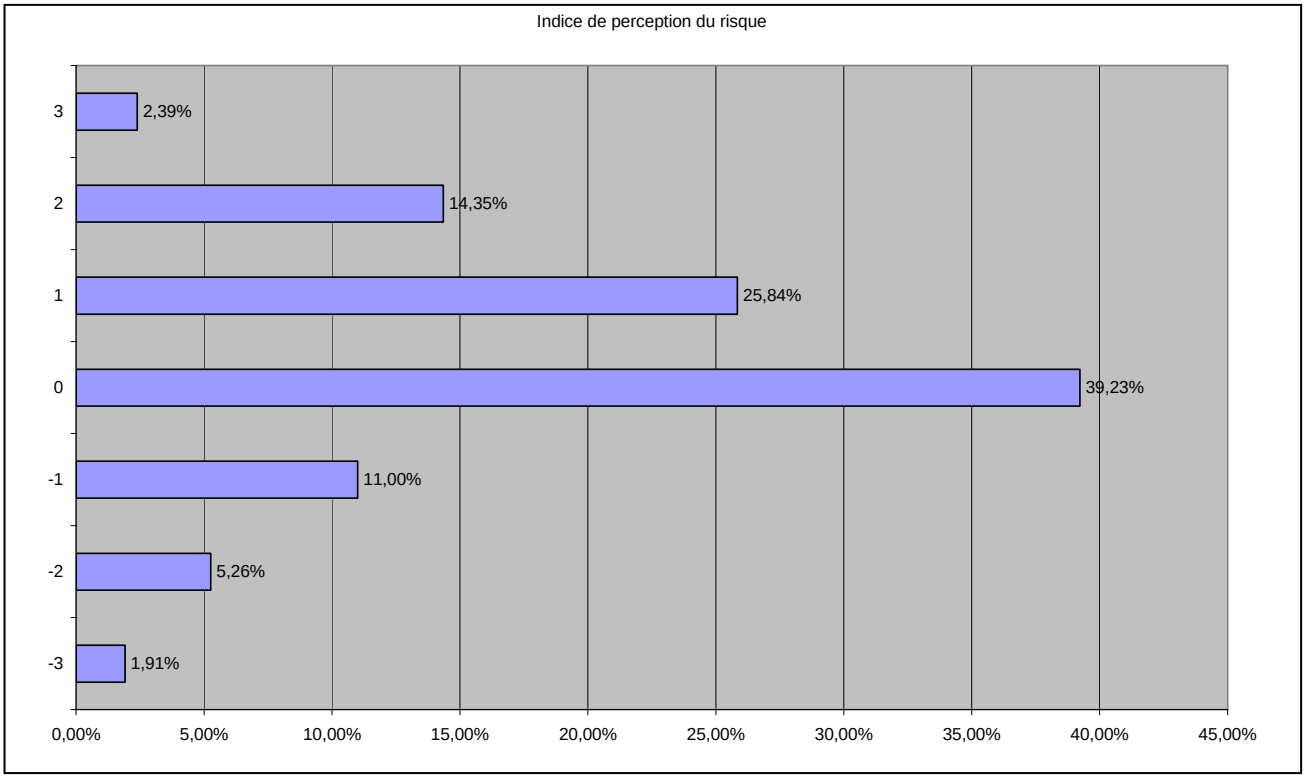
Exemple : un individu se trouvant dans une zone d'aléa fort (niveau 4) et estimant que son exposition au risque d'éboulement soit faible (degré 1), alors notre calcul nous donnerai un indice de -3. Cet individu aurait donc une mauvaise perception du risque de la zone, de plus, cet individu sous-estimerait le risque.

Localisation du risque d'éboulement

❖ *« Si oui (pour éboulement), pouvez-vous localiser sur la carte l'endroit approximatif où se trouve ce risque d'éboulement ? »*

localisation_1	Fréquence	Pourcentage	
Barqueroute	24	11,48%	
Calanque du Cap Rousset	35	16,75%	
Le moulin	52	24,88%	
Le phare de Carry-le-Rouet	11	5,26%	94,74%
Le port de Carry-le-Rouet	3	1,44%	
Pointe du Rouet	24	11,48%	
Ouest du Port du Rouet	49	23,44%	
Pas de réponses	11	5,26%	
Total		100%	

Surestimation et sous estimation du risque côtier



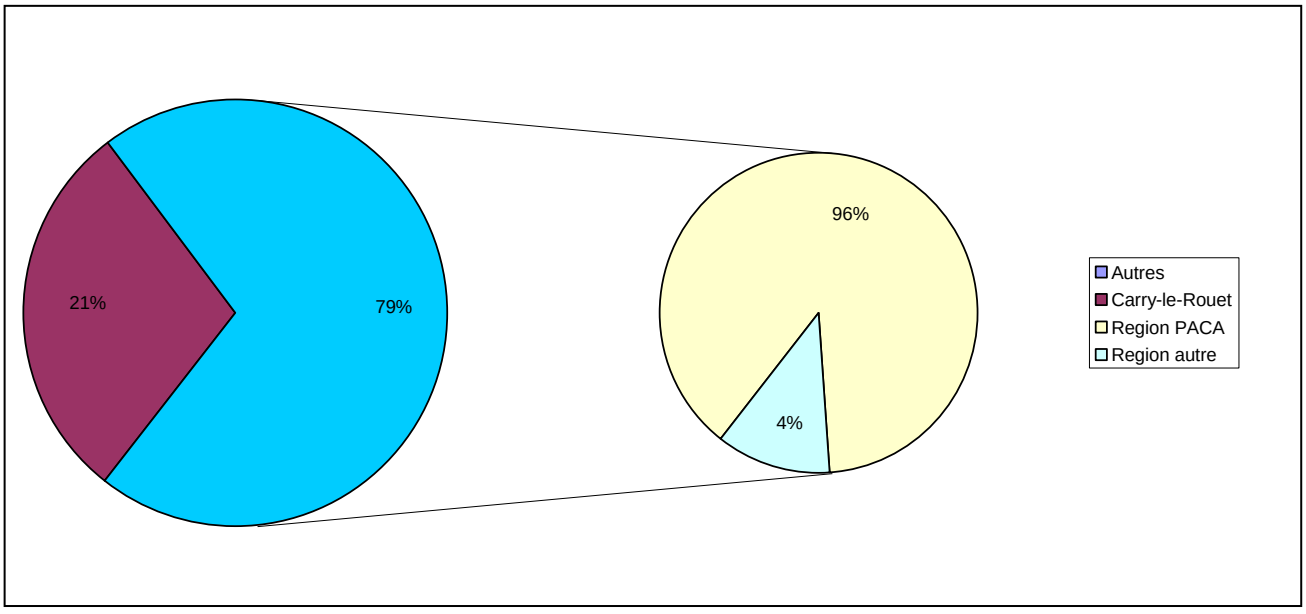
Croisement des variables fréquentation et résident de la commune de Carry-le-Rouet

- *« Ou se trouve votre résidence principale ? »*
- *« Fréquentez-vous régulièrement les sentiers littoraux de la commune de Carry-le Rouet ?(Si plus de 10 fois, combien de fois par mois ?) »*

Résidence principale Fréquentation au mois	Carry-le-Rouet	Autres communes	Total
1-2 fois/mois	27,8%	72,2%	**100%**
1 fois/semaine	6,7%	93,3%	**100%**
2-3 fois/semaine	46,9%	53,1%	**100%**
Tous les jours	64,7%	35 ,3%	**100%**
Total	**20,6%**	**79,4%**	**100%**

Nous avons appliqué le test du khi-deux : chi2 :19,8 ddl=3 p-1=99% : on rejette H0 :il y a une dépendance entre les variables

Résidence principale de notre échantillon



- **Répartition des résidants de la Région PACA (excepté les résidents de la commune de Carry-le-Rouet)**

Commune	Pourcentage
Marseille	41,7%
Aix-en-Provence	10,1%
Marignane	7,7%
Vitrolles	7,1%
Martigues	6,5%
Ensues-la-Redonne	2,4%
Gardanne	1,8%
Autres Communes	22,7%

- **Croisement des deux activités dominantes avec la zone de passation du questionnaire**

Lieu / Activités secondaires	Zone Moulin/phare de Carry-le-Rouet	Calanque du Cap Rousset/Calanque des Bouchons	Zone Ouest du Port abri du Rouet	Pointe du Rouet	Total
Plage	17,4%%	36,8%	30,3%	15,5%%	**100%**
Promenade	85,1%	10,6%	4,3%	0%	**100%**

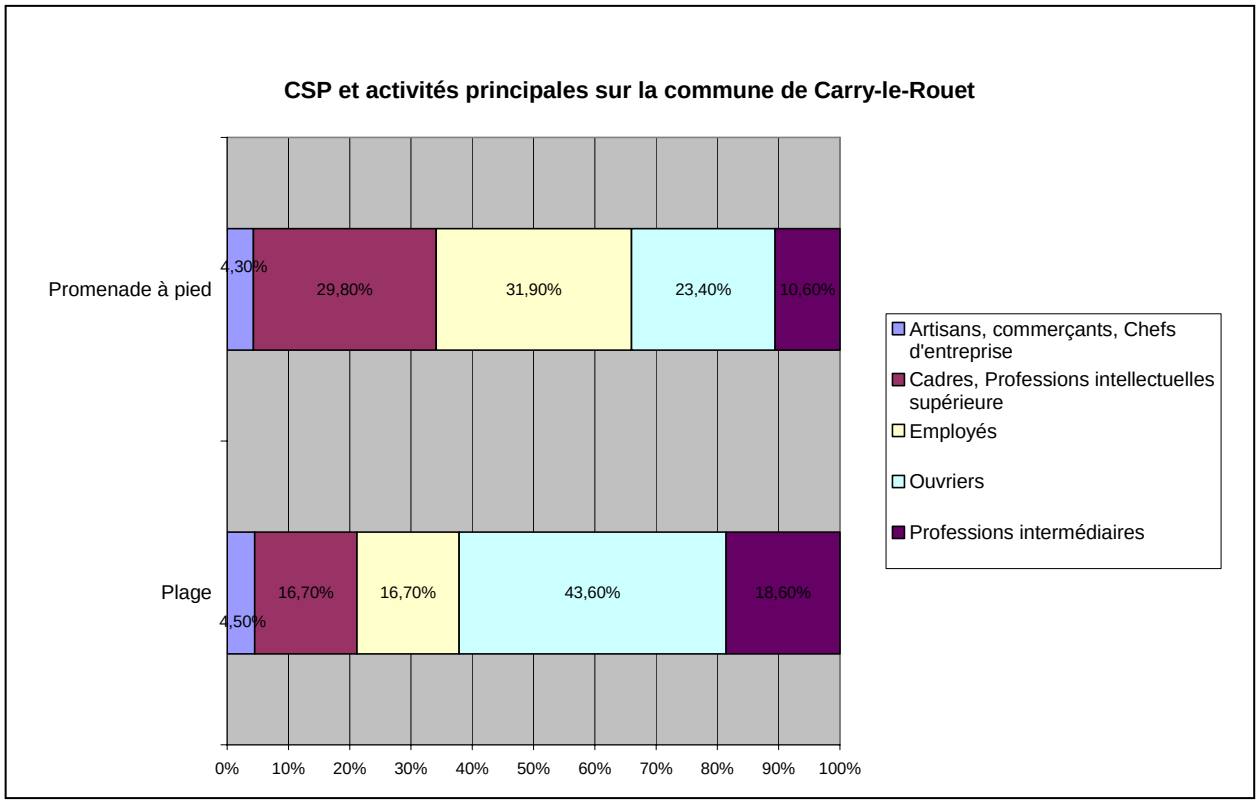
Nous avons appliqué le test du khi-deux : chi2 :75,22 ddl=3 p-1= >99% : on rejette H0 : il y a une dépendance entre les variables

Croisement des activités secondaires avec la zone de passation du questionnaire

Activités secondaires / Lieu	Baignade	Promenade	naturisme	Observa-tion nature	Pêche sous marine	Pêche-promenade en bateau	Total
Zone Moulin/phare de Carry	52%	12%	8%	7%	0%	21%	100%
Calanque du Cap Rousset/Calanque des Bouchons	60%	0%	34%	2%	4%	0%	100%
Zone Ouest du Port abri du Rouet	100%	0%	0%	0%	0%	0%	100%
Pointe du Rouet	87,5%	0%	0%	0%	12,5%	0%	100%

Khi-deux non significatif

Croisement des deux activités dominantes et la CSP



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

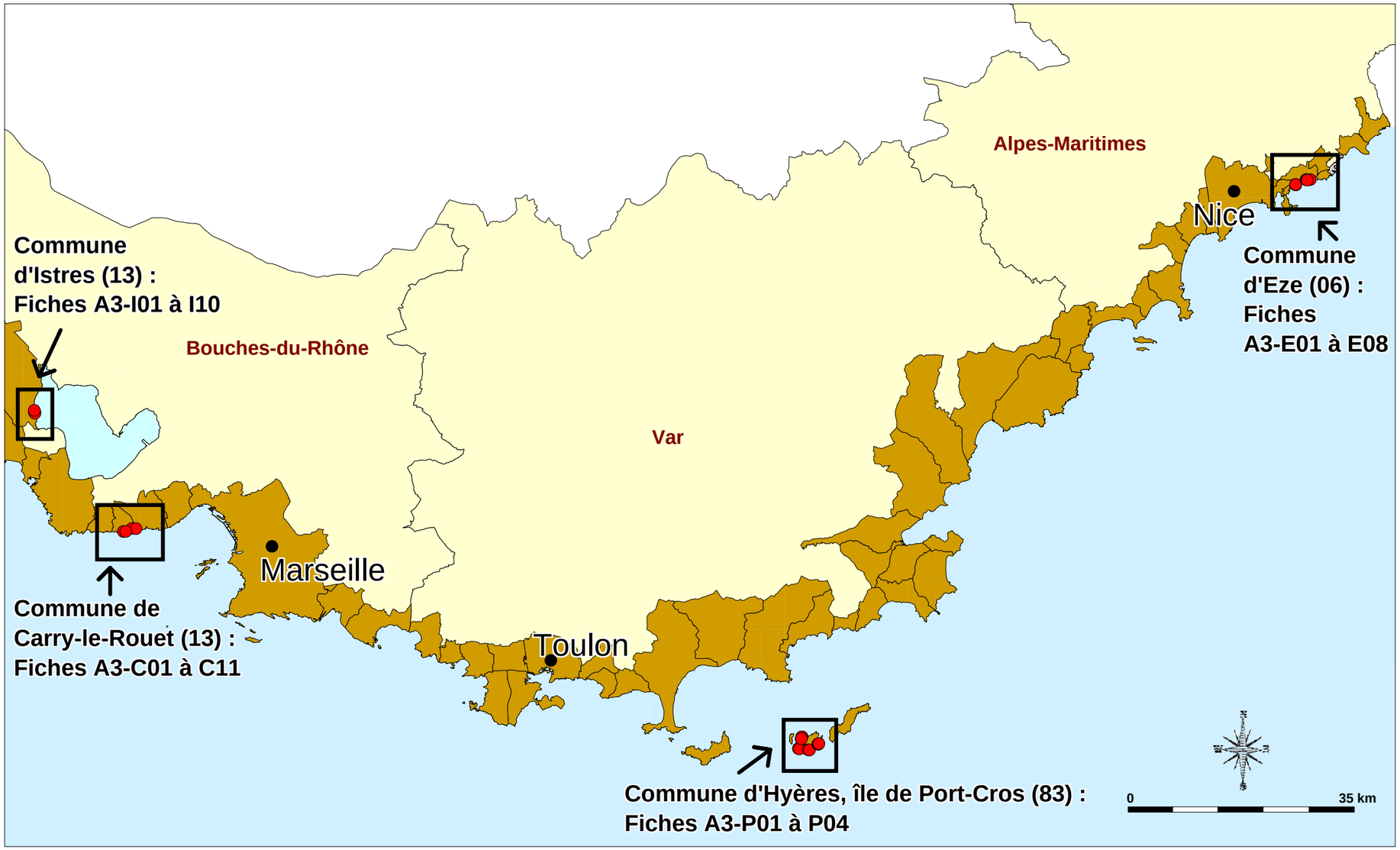
Service géologique régional Provence-Alpes-Côte d'Azur
117 avenue de Luminy BP 168
13 276 – Marseille cedex 09 - France
Tél. : 04 91 17 74 77

Planche hors-texte n°1

Propositions d'aménagements sur les sites sélectionnés du littoral de la région PACA

Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire

IVème Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation sur les risques naturels"



Géosciences pour une Terre durable
brgm

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire

IVème Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation sur les risques naturels"

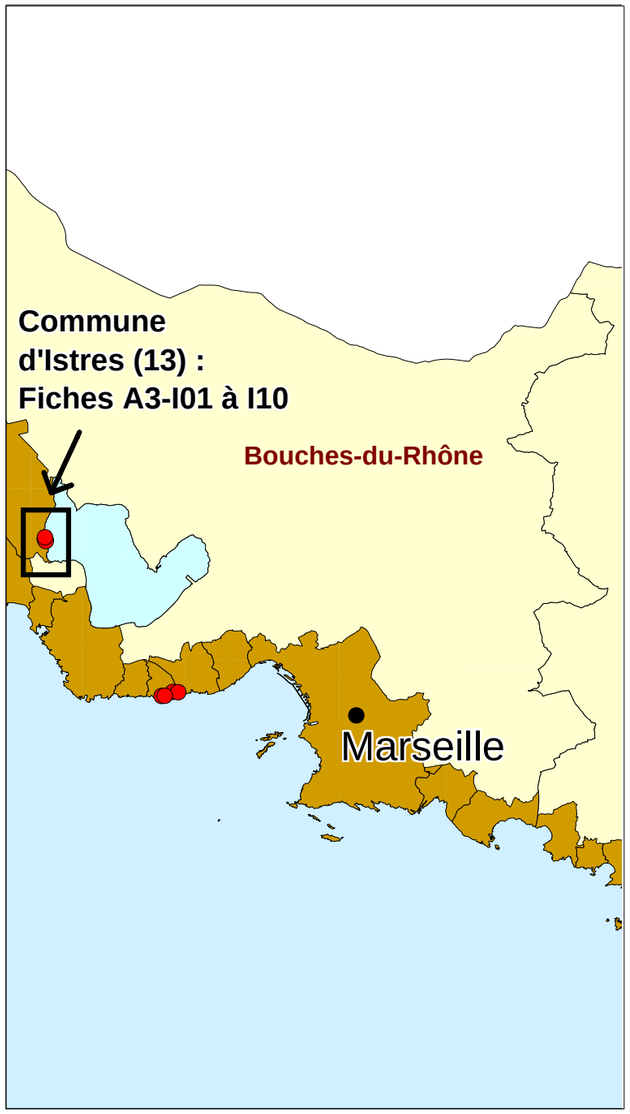


Planche hors-texte n°1

Propositions d'aménagements sur les sites sélectionnés du littoral de la région PACA

Commune d'Istres (Bouches-du-Rhône)

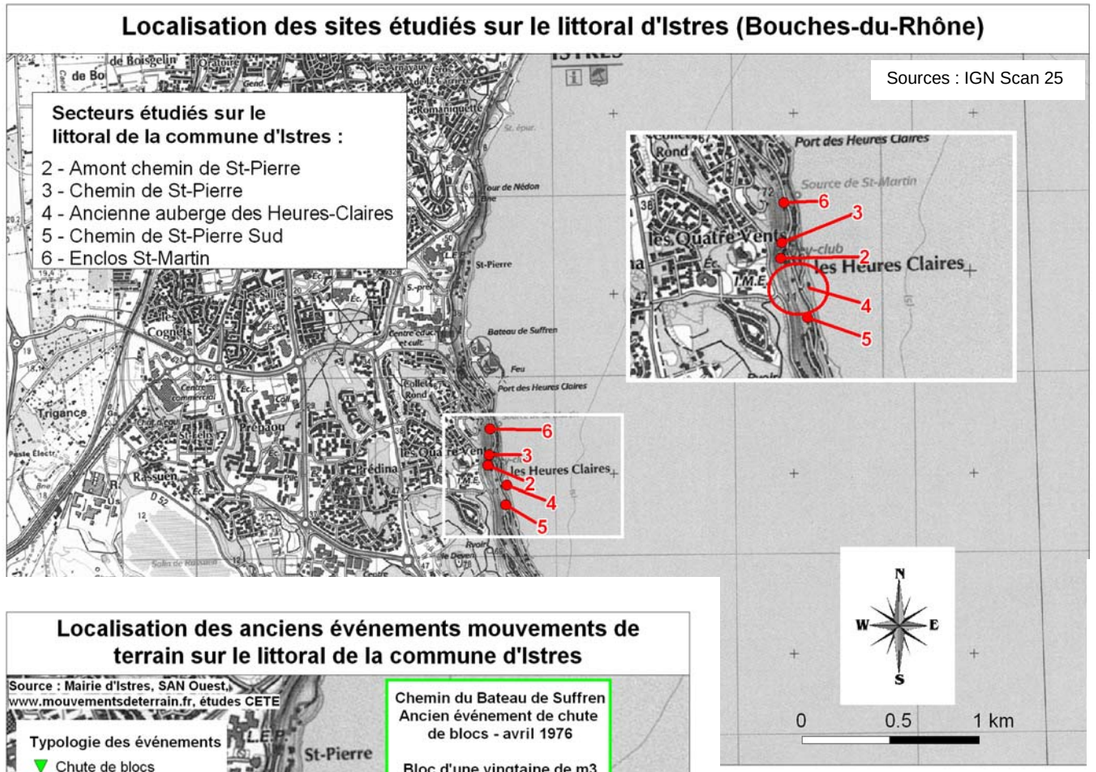
Quartier des Heures-Claires

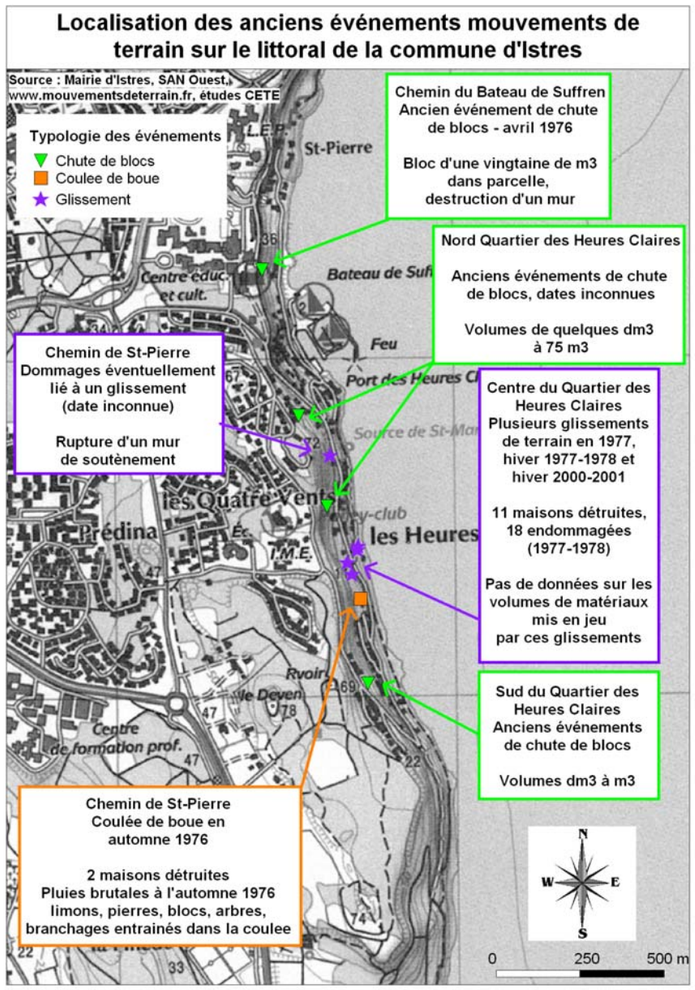
Fiches A3-I01 à I10

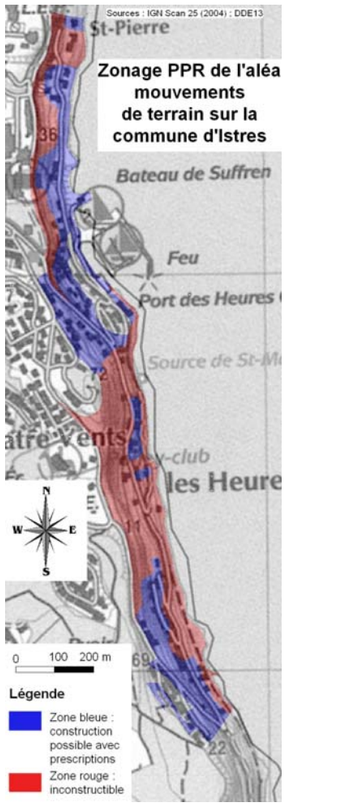
Rapport BRGM RP56090FR

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres	A3_I01

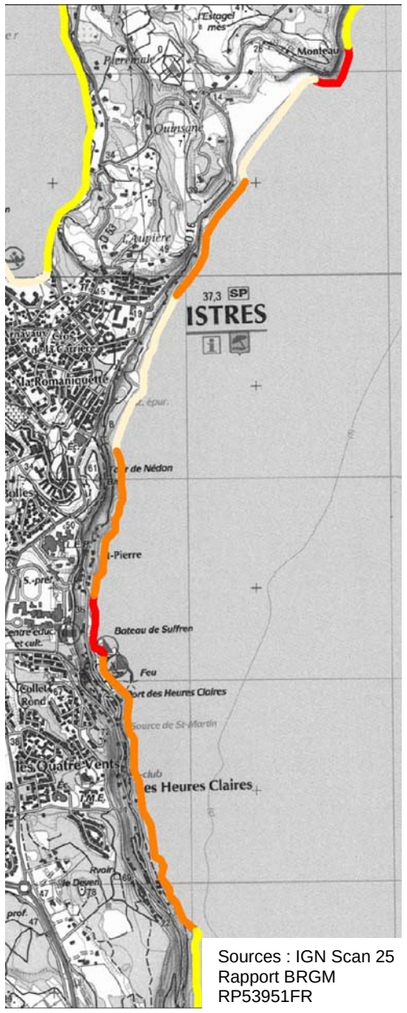
Rappel qualification de l'**aléa** et hiérarchisation du **risque** instabilités de falaises côtières (Rapports RP-52829/53951/54316-FR)







Le littoral de l'Etang-de-Berre fait partie intégrante de la basse Provence calcaire. Les déformations principales correspondent à des chevauchements vers le nord de la couverture sud-provençale, au fini Eocène (orogenèse pyrénéo-provençale). Les formations géologiques s'échelonnent entre le Crétacé (Calcaire du Bédoulien) et le Miocène moyen (Calcaires, sables et argiles du Vindobonien). Le secteur rocheux sédimentaire du littoral de l'étang de Berre forme des falaises de hauteur moyenne (au maximum une centaine de mètres au nord de Figuerolles sur la commune d'Istres.
On observe assez souvent un platier rocheux en pied de falaise, correspondant généralement à un banc de grès ou de calcaire plus massif.
Il s'agit donc sur ce littoral de micro falaises rocheuses pouvant néanmoins engendrer des instabilités liées aux hétérogénéités dans la lithologie plus qu'à la hauteur des falaises.
Les falaises littorales de l'Etang de Berre montrent les mêmes caractéristiques en termes d'instabilités rocheuses que celles en bord de mer. Les éboulements (chutes de blocs, de pierres…) sont répandus. Ce sont souvent les niveaux de grès et de calcaires qui, déstabilisés par une fracturation dense et surtout par l'érosion des marnes produisent des blocs parfois volumineux. Certains blocs basculent sans se propager et restent localisés en épandage sur la pente de colluvion. Les faciès marneux du Bégudien résistent peu à l'érosion et sont souvent sujets aux ravinements ou aux glissements de terrain.
Enfin, on constate aussi des phénomènes d'érosion différentielle associés à des sous-cavages, ces phénomènes sont liés à une alternance régulière de niveaux de marnes, de sable et de calcaire, ou seuls les niveaux compétents résistent à l'érosion.
Plus particulièrement à Istres au niveau des Heures-Claires, ce sont principalement les habitations qui sont exposées au risque de chutes de pierres ou de blocs.



Sources : IGN Scan 25
Rapport BRGM
RP53951FR

Illustrations : Surplombs de falaises de grès au dessus du chemin de Saint-Pierre (Istres)

Rappel sur la qualification l'aléa instabilité de falaises sur Istres :

- Aléa nul à faible
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres	A3_I02

Instabilités

Site 2 : Amont chemin de Saint-Pierre

Géologie / Lithologie : Colluvions et marnes du Crétacé terminal en bancs subhorizontaux surmontant un niveau de marnes et grès rouges.

Etat / Aspect de la falaise : Sous-cavage et surplomb important. Il existe un replat entre la falaise et les maisons, entièrement pris par la végétation.

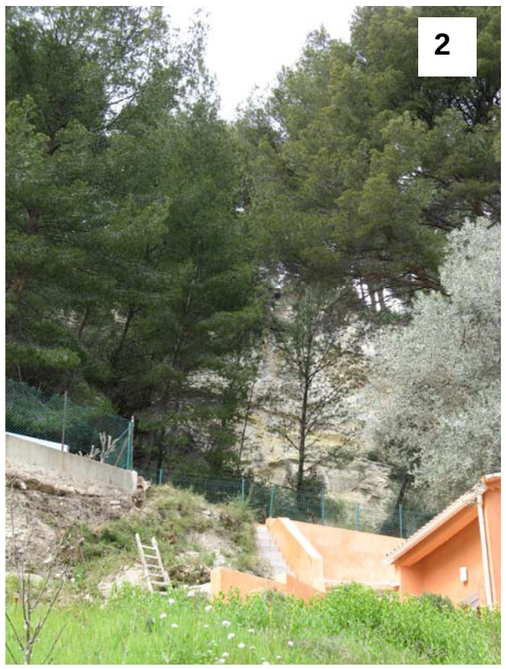
Vocation du site

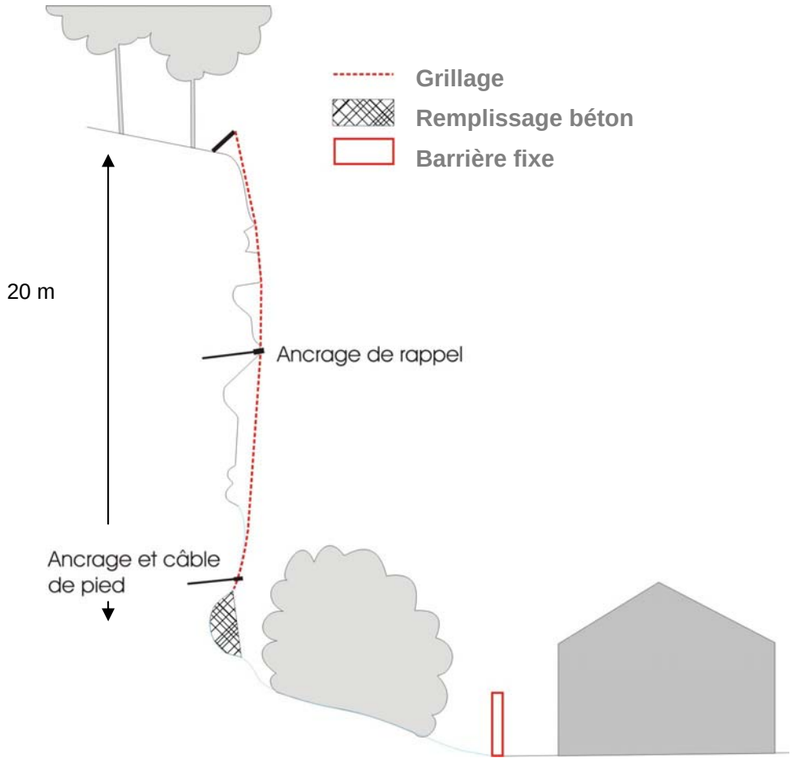
Zone pavillonnaire, plusieurs habitations en aval de la falaise.

Parades - aménagements

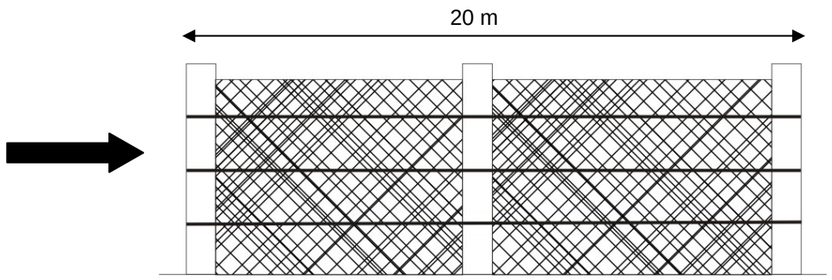
Propositions :

- grillage plaqué ou suspendu sur la falaise ;
- soutènement possible en cas de surplomb important ;
- possibilité d'ajouter une barrière en amont des habitations :





Vue de profil de la falaise avec les différents aménagements possibles



Exemple de barrière de protection

Illustration 1 - Falaise visible en arrière de la maison, présentant un surplomb (pointillés rouges) ;
Illustration 2 – Pied de falaise visible en arrière de la maison où pourrait être construit la barrière fixe.

Schémas / Photos

Coûts

Estimation du coût de ou des ouvrages :

(hors amené et repris du matériel)

Grillage suspendu	6 000 €
Barrière	2 500 €
Béton projeté	2 500 €
Ancrage de rappel (?)	1 000 €
Total	**12 000 €**

Commentaires :

La surface de la falaise nécessitant la pose d'un grillage suspendu est estimée à 200 m².

La largeur de falaise concernée et devant être protégée par la barrière est estimée à environ 10 m.

Deux solutions pouvaient être envisagées sur ce site :

- grillage suspendu + barrière fixe

ou

- grillage plaqué (avec ancrage) sans la nécessité d'une barrière fixe en aval

La première solution a finalement été choisie d'être proposée à titre d'exemple pour des raisons de coûts, une série d'ancrage sur 200 m² de grillages pouvait se révéler plus cher qu'une simple barrière fixe en aval.

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www/francemaccaferri.com/

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres	A3_I03

Instabilités

Site 3 : Chemin de Saint-Pierre

Géologie / Lithologie : Colluvions et marnes du Crétacé terminal en bancs subhorizontaux surmontées de bancs gréseux.
Etat / Aspect de la falaise : Au-dessus de la route, le talus de colluvions présente une pente de 30 à 40° siège d'un glissement de terrain latent : tous les arbres enracinés sur la pente sont penchés. En arrière la falaise subit une érosion intense (sous-cavage et taffoni nombreux). Des écailles s'individualisent dans la paroi, dont certaines ont déjà reçu un traitement (ancrage). La végétation y est importante.

Vocation du site

Plusieurs habitations en aval de la falaise, de l'autre côté de la voie communale (Chemin de St Pierre – circulation peu importante, principalement les résidants).

Parades - aménagements

Propositions :

- Emmaillotage (câbles / filets de câbles) des écailles en train de se désolidariser de la paroi.
- Béton projeté pour combler des zones creusées.

Solution alternative :
Ce site étant situé à proximité d'habitations, leur évacuation peut s'avérer nécessaire en cas d'alerte de chute de blocs

Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et repris du matériel)

Emmaillotage	2 000 €
Ancrages	7 000 €
Béton projeté	3 000 €
Total	**12 000 €**

Illustration 1 - Ecaille ancrée dans la paroi ;

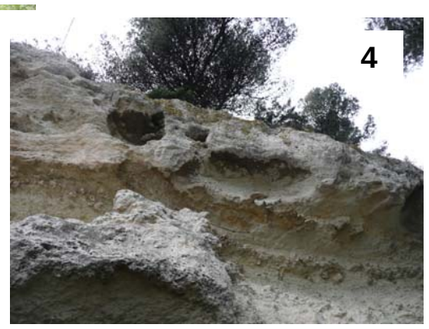
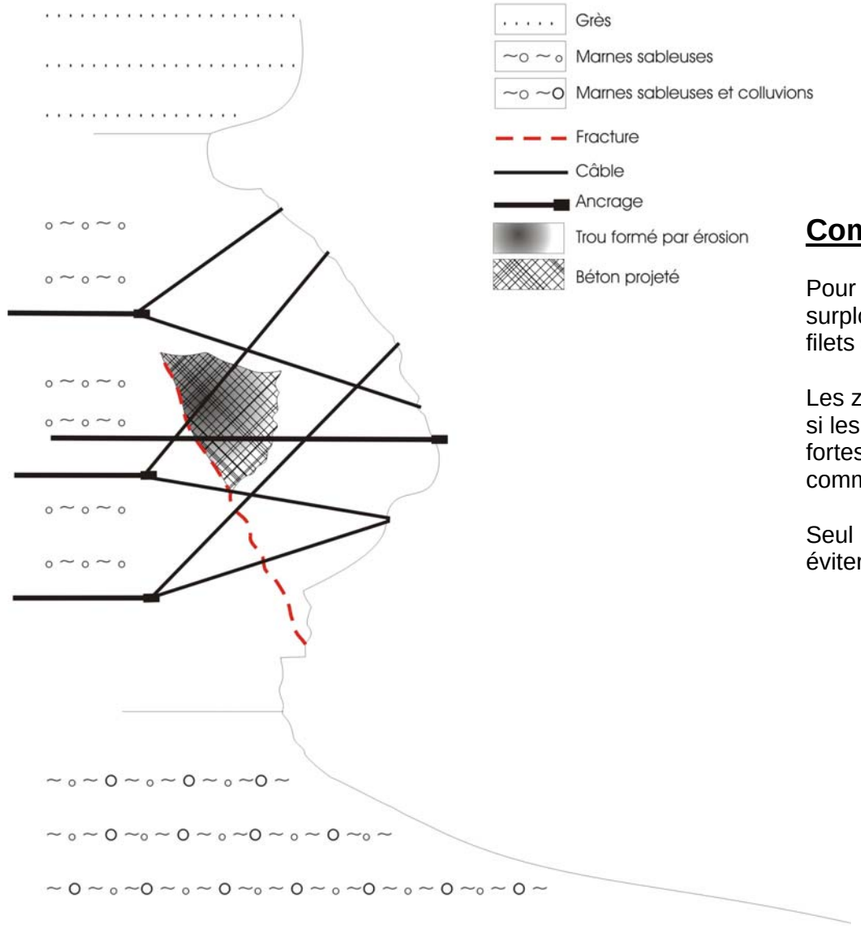


Illustration 2 - Ecaille en train de se désolidariser de la paroi ;
Illustration 3 - Sous-cavage et taffoni dans les marnes ;
Illustration 4 - Taffoni.



Vue de profil de la falaise et en particulier du surplomb avec les différents aménagements possibles

Commentaires :

Pour éviter la désolidarisation des écailles et du bloc en surplomb de la paroi, seul l'emmaillotage par câbles ou filets de câbles paraît être la bonne solution.

Les zones de taffoni ne sont en général pas traitées, sauf si les volumes de vide atteignent des valeurs tellement fortes qu'ils puissent jouer sur l'instabilité du massif, comme c'est le cas ici.

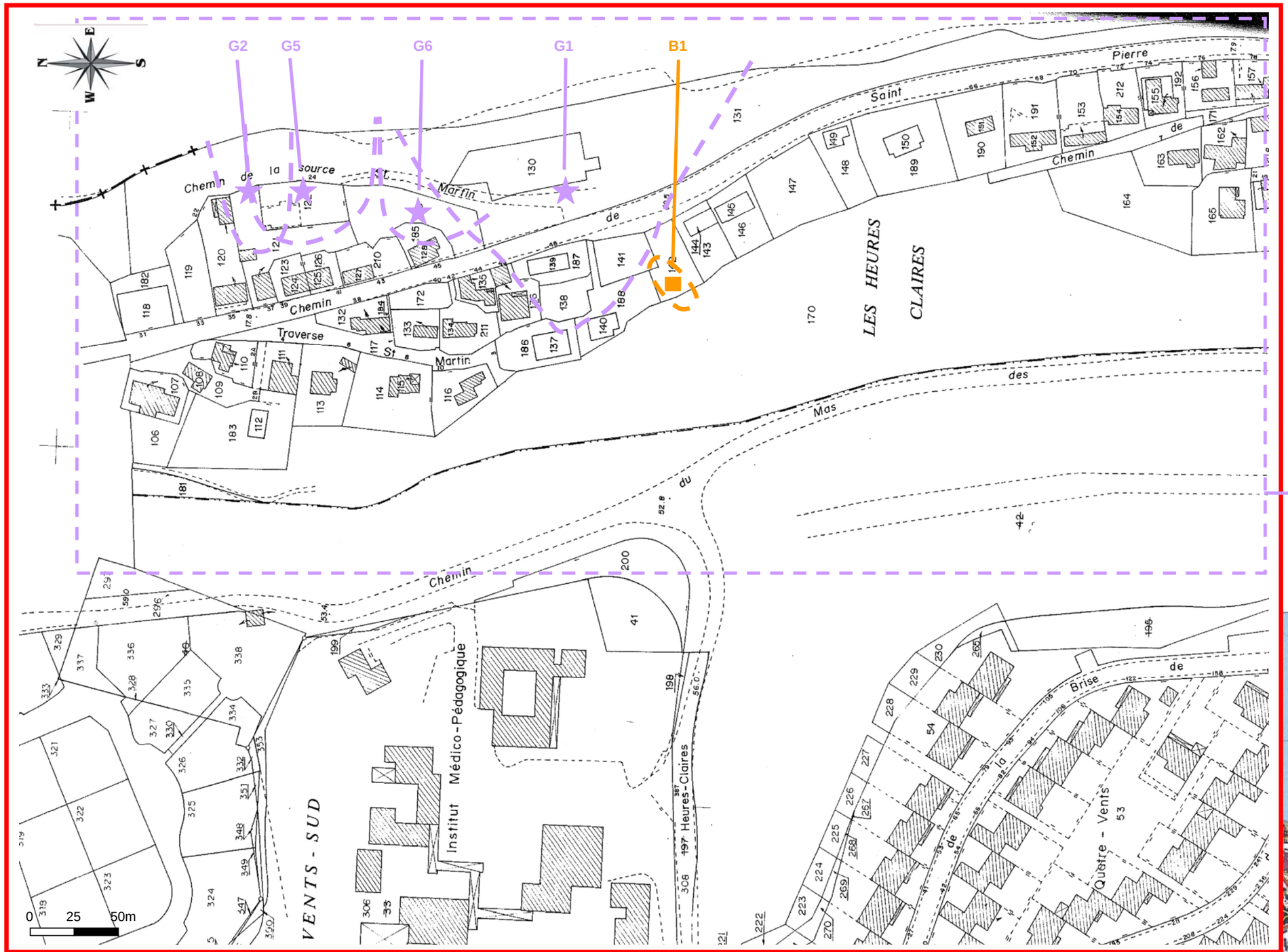
Seul le comblement du vide par du béton projeté peut éviter au taffoni de continuer à s'aggrandir.

Sources : Guide LCPC (2001) ;
RiskYdrogéo (2004-2006) ;
http://www/francemaccaferri.com/

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I04

Recherche bibliographique sur les anciens événements de glissement de terrain

Plan général de localisation des glissements de terrain et coulées de boue sur Istres



Extrait du cadastre du quartier des Heures-Claires, centré sur la zone affectée par des glissements de terrain :

Glissement G1 : 1978, Glissement de l'auberge des Heures-Claires

Glissement G2 : 2001, Réactivation du glissement G5

Glissement G3 : Début des années 2000, rupture d'un mur de soutènement.

Glissement G4 : Glissement superficiel actuel généralisé sur le secteur.

Glissement G5 : Glissement antérieur à 1978.

Glissement G6 : Glissement antérieur à 1978, destruction de l'annexe de l'auberge des Heures-Claires.

Coulée de Boue B1 : 1976, Coulée de boue

Quartier des Heures-Claires : localisation de l'extrait du cadastre (cadre rouge)

Sources : Service Urbanisme et Droit des Sols, mairie d'Istres et IGN Scan 25 (2004).

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I05

Recherche **bibliographique** sur les anciens événements de glissement de terrain - **G1** : **Glissement de l'auberge des Heures-Claires (chemin de St Pierre), Hiver 1977-1978**

Historique / Chronologie du glissement

Le glissement de terrain **G1** de l'auberge des Heures-Claires s'est produit entre les mois de décembre 1977 et mars 1978, soit sur une durée de 4 mois.

Il s'est déroulé en plusieurs étapes :

- 1e phase (décembre) : Les terrains situés près de l'auberge des Heures-Claires deviennent instables. Le glissement se généralise aux parcelles situées à proximité de cette zone, puis se propage presque simultanément aux colluvions situées en amont.
- 2e phase (du 03 au 11 janvier) : Une légère stabilisation du mouvement est observée.
- 3e phase (du 11 à fin janvier) : De fortes pluies s'abattent sur la région. Le glissement de terrain connaît une accélération suite à ces épisodes pluvieux. Le phénomène se propage sur les flancs de la zone de glissement principal, au Nord et au Sud.

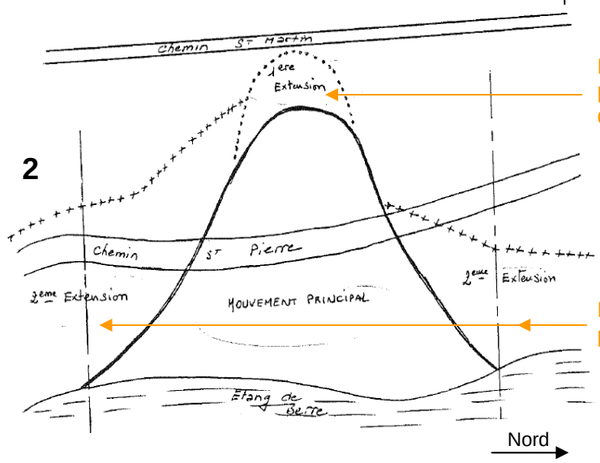
Au printemps 1978, la zone instable est bien identifiée au Nord mais reste imprécise au Sud.

Processus d'extension du glissement

Le glissement semble avoir connu une évolution lente mais continue, depuis la partie centrale vers la périphérie.

La déstabilisation successive des terrains aux abords du glissement a favorisé sa progression. Des phénomènes de décompression et d'appel au vide sont à l'origine de ces déstabilisations.

1 – Vue générale du glissement de terrain de l'auberge aujourd'hui (BRGM mai 2008) ;



Mouvement de régression du versant : le phénomène se propage de l'aval vers l'amont du versant.

Progression sur les flancs associée au phénomène de décompression.

Etudes géotechniques et géologiques réalisées sur la zone

Sondages carottés dans l'axe, les zones centrale et latérales du glissement et pose de piézomètres (Etude du CETE en 1978) :

Du sable très fin et à teneur variable en argile est sondé sur les 6,70 premiers mètres d'épaisseur. Des blocs de molasses sont présents à la base de la couche.
Ces colluvions sont gorgées d'eau à partir de 1,50 m de profondeur.

Les sables entrent directement en contact avec les marnes du Bégudien (Crétacé terminal). La frange de contact apparaît altérée et humide.

Les marnes sont sondées sur 1,5 m d'épaisseur (fond du sondage). La fracturation y est importante, au contraire de la compaction.
Ce niveau ne contient pas d'eau.

Analyse des échantillons prélevés lors des sondages (Etude du CETE en 1978) :

Des mesures effectuées sur les échantillons de roches apportent une estimation de leurs caractéristiques mécaniques :

- Les colluvions ont une cohésion nulle et un angle de frottement interne de 35° ;
- Les marnes ont également une cohésion nulle, et un angle de frottement interne de 30°.

Causes du glissement et conclusions

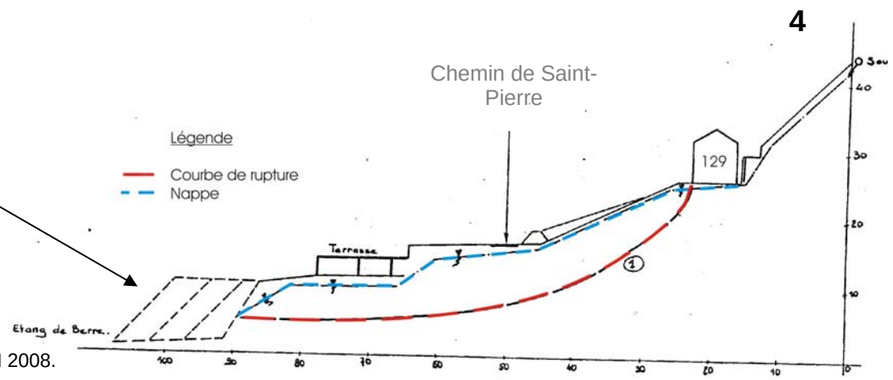
Plusieurs origines du glissement sont proposées dans les études :

- Surcreusement local mis en évidence dans les marnes : peut être dû à l'existence d'une ancienne crique ;
- Teneur en eau très importante dans les colluvions : diminution ou perte des capacités de portance de la roche ;
- Influence de l'Etang en pied de versant : existence d'un coin salé et de zones partiellement exposées aux vents du Sud et du Sud-Est ;
- Présence d'une ancienne coulée de boue importante et non traitée (automne 1976, 2 maisons avaient été détruites).

Une amplification des mouvements a été constatée suite à des périodes pluvieuses.

Deux hypothèses pour localiser et décrire la zone de rupture ont été avancées :

- Le plan de rupture décrit une courbe et se situe entièrement dans les marnes. La confrontation des relevés piézométriques et des caractéristiques mécaniques des roches réfute cette proposition ;
- Un niveau des formations marneuses s'est comporté comme une couche savon. C'est l'hypothèse qui a été retenue ;
- D'après les profils de la pente réalisés par le CETE, une tranche de sédiments d'une dizaine de mètres d'épaisseur a été mobilisée par le glissement.



Illustrations : 2 – Représentation de l'extension du glissement ;
3 – Enrochement en pied de pente (BRGM mai 2008) ;
4 – Profil de la pente affectée par le glissement.
Source : Rapport CETE Méditerranée, N°2131/78.6.525.50 de 1978, modifications BRGM 2008.

Bilan

Dommages

- 11 maisons détruites,
- 8 maisons endommagées.

Confortements proposés par le CETE

- La mise en place d'une butée sur l'ensemble de la zone de glissement a été préconisée. Bien que cet aménagement n'ait aucune incidence sur un éventuel glissement sur la pente en amont du chemin de St Pierre, d'autres atouts sont mis en avant : pérennité de l'ouvrage, protection et retalutage des berges, très faible entretien ;
- La stabilité de la pente peut être améliorée au moyen de deux ouvrages : la construction d'une collecte des eaux circulant au contact marnes-molasses ; et la reconstitution du versant à partir d'une seconde butée de dimensions plus modestes. Elle peut être implantée soit sur le chemin de St Pierre, soit en amont de cette voie ;
- La réalisation d'un réseau de drainage, proposée dès janvier 1978 est apparue insuffisante courant 1978, en partie car l'extension du glissement est devenue trop importante. Cette solution est néanmoins avancée à nouveau en 1979, en association avec des tranchées de drainage et une butée en pied de versant.

Sources : Etudes CETE Méditerranée (rapport n°2131/78.6.525.50 (1978)) et Fondasol (rapport provisoire n°RM/JH/279.009 (1979)).

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I06

Recherche **bibliographique** sur les anciens événements de glissement de terrain - **G2** : **Glissement du chemin de St Pierre, Hiver 2000-2001.**

Historique / Chronologie du glissement

Le glissement de terrain du chemin de Saint-Pierre (**G2**) s'est déclenché vers le mois d'octobre 2000 et s'est prolongé jusqu'en février 2001, soit une période d'activité de 5 mois.

Il s'est déroulé en plusieurs étapes :

- 1e phase (octobre-décembre 2000) : Une forte activité en aval du versant est constatée en octobre, novembre. Le phénomène se poursuit de façon continue en novembre et décembre.
- 2e phase (début janvier 2001) : Accélération du mouvement dans la partie aval, qui se répercute dans la zone située en amont.
- 3e phase (fin janvier 2001) : Une stabilisation s'amorce en aval de la pente. Elle survient dans la partie amont vers la fin février.

Illustration : Aspect général du talus au dessus du chemin de Saint-Pierre (BRGM mai 2008).

Processus d'extension du glissement

Mouvement de régression du versant : glissements emboîtés depuis la berge jusqu'au pied de falaise.

Décompressions successives des terrains, liés à la régression du talus.

Etudes géotechniques et géologiques réalisées sur la zone de glissement

Deux sondages carottés profonds de 15 m (à l'aval des désordres maximum et au nord du glissement initial dans une zone anciennement glissée – CETE 2001):

La structure du sous-sol diffère au niveau des sondages :
- Sables graveleux sur 6,80 m et marnes bariolées frictionnées localement gréseuses ou noduleuses jusqu'à 15 m de profondeur pour le premier sondage ;
- Limons argileux intercalés avec des marnes dans les 3,80 premiers mètres, puis 11,20 m de marnes bariolées avec quelques niveaux de nodules calcaires et de passages gréseux pour le second.

Les roches sondées ont été classées de la façon suivante :
- Les limons de surface sont classés dans la catégorie des argiles peu plastiques, de consistance dure.
- Une distinction est faite dans les marnes du substratum entre marnes bariolées et marnes gréseuses. Les premières sont assimilées à des sols, classées ainsi dans la catégorie des argiles plastiques de consistance dure. Elles ont une cohésion faible, entre 0 et 10 kPa, et un angle de frottement interne d'environ 24°. Ces valeurs sont faibles pour ce type de terrain.
  Les marnes gréseuses sont assimilées à des roches, entrant dans la catégorie des roches de très faible résistance.

De nombreux plans lustrés multidirectionnels affectent les formations marneuses.

Suivi inclinomètrique (niveau des sondages – CETE 2001) :

Aucun mouvement n'a pu être repéré par le CETE Méditerranée au cours des 3 mois de suivis inclinomètrique.
Toutefois une légère déformation d'un tube de sondage implanté au niveau du chemin de St Pierre a été constatée vers 7 m de profondeur (contact sables-marnes). Cette valeur a été retenue pour les calculs de dimensionnements de confortements.

Causes du glissement et conclusions

Origines probables du glissement :
- Action de la houle en pied de pente,
- Rejet d'eaux pluviales au niveau du talus : ravinement et infiltration en sont les conséquences.

Le glissement est considéré comme superficiel, aucun signe de glissement profond n'a été recensé.

Ce glissement s'est produit sur le même site que celui de 1978. De plus, des mouvements antérieurs à 1978 avaient déjà été constatés dans ce secteur :
- Un glissement de terrain (**G5**) a eu lieu au Nord de l'auberge, au bord de l'Etang, avec pour conséquence la destruction d'une maison et la coupure du chemin de la source St Martin,
- Un glissement de terrain (**G6**) s'était produit derrière l'annexe de l'auberge, entraînant la rupture d'un mur de l'annexe et l'abandon de cet édifice.

Le mouvement de 2000-2001 résulte de la réactivation partielle d'un ancien glissement (**G5**), situé à côté de celui de l'auberge des Heures-Claires de 1977-1978.

Bilan

Dommages

Il n'est fait état d'aucun dommage provoqué par ce glissement dans les rapports que nous avons à notre disposition.

Confortements proposés par le CETE

La solution de base comporte :
- La construction d'un mur poids dont la masse peut s'opposer aux mouvements des terres par son inertie et réalisé avec des matériaux insensibles à l'eau pour s'opposer à l'érosion marine.
- L'ajout d'un clouage et d'un parement en béton projeté peut permettre de limiter de façon pérenne l'érosion du talus due à la houle et au ruissellement.
- Une fois le volume d'enrochement nécessaire défini, le parement aval de l'édifice peut être raidi afin de limiter son emprise sur le domaine maritime. Dans ce cas le bétonnage des blocs ou l'utilisation de blocs cyclopéens de formes régulières est préconisé, ainsi que la réalisation d'une bêche en pied.

Des variantes de cette solution ont été proposées, consistant soit en un mur en enrochement et clouage, soit en une paroi en béton projeté ancrée.

Dans tous les cas, la surveillance des zones non traitées et des zones où des travaux sont projetés est indispensable afin de prévenir toute évolution catastrophique naturelle ou accidentelle. Les observations doivent être transmises aux services compétents.

Sources : Etudes CETE Méditerranée et GIA Ingénierie (Mission G52, 2005).

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I07

Recherche **bibliographique** sur les anciens événements de glissement de terrain : **G3** : **Rupture d'un mur de soutènement, Enclos St Martin (chemin de St Pierre), pas de date.**

Historique / Chronologie du glissement	Processus d'extension du	Etudes géotechniques et géologiques réalisées sur la zone de glissement	Causes du glissement et
Les études de 2003 et 2004 font suite à la rupture d'un mur de soutènement (**G3**) afin de remédier aux désordres observé sur le talus et de stopper leur régression. Effondrement d'un mur de soutènement sous la poussée des terrains. Il n'y a pas d'indication concernant le déroulement du mouvement, ni la date.		<u>Quatre sondages à la tarière</u> (réalisés sur le même secteur, Enclos St Martin – Etude GIA Ingénierie en 2003-2004) : Les sondages ont recoupé différents types de terrains : – De la molasse (calcaire coquiller) est sondé sur 7m au premier sondage. – Le second sondage a été effectué dans la zone effondrée. Les 5,25 premiers mètres recoupent du remblai et des matériaux décomprimés. Ils reposent sur des blocs de molasse ou des bancs fracturés. A partir de 7,70 m et jusqu'à 11m, ce sont des formations de marnes argileuses bariolées qui sont sondées. – Le troisième sondage recoupe des argiles sableuses gris-vert, plastiques et collantes sur 3m, puis de la molasse jusqu'à 6,50m. Des marnes argileuses bariolées sont présentes entre 6,50 et 9m avant de retrouver la molasse jusqu'à 11 m. – Le dernier sondage a été réalisé dans la zone effondrée, à l'instar du second. Des argiles sableuses gris-vert, plastiques et collantes ont été sondées dans les 4,70 premiers mètres, reposant sur une alternance de molasses et de marnes bariolées jusqu'à 9 m. Les remblais décomprimés et les argiles sableuses, retrouvés dans la zone évolutive au niveau des sondages 2 et 4 et recouvrant le substratum constitué de molasses et marnes bariolées, peuvent provenir au moins pour partie de matériaux de remblai. <u>32 essais pressiométriques</u> (Etude GIA Ingénierie en 2003-2004) : Les essais pressiométriques ont permis de déterminer certaines des caractéristiques mécaniques des roches sondées. Ces essais ont été effectués aux mêmes endroits que les sondages, à raison de 6 à 10 essais par sondages. Il en a résulté que trois des quatre sondages présentent des niveaux de roches surconsolidées. Ces niveaux correspondent à des marnes tendres ou des roches altérées, entre 5 et 7,5 m de profondeur pour deux sondages et entre 8 et 10 m pour le dernier. Ces essais montrent des sols totalement décomprimés ou de faible résistance mécanique sur les 2 premiers mètres de la zone évolutive. En profondeur, les sols n'ont pas les caractéristiques d'un substratum rocheux, excepté localement dans les niveaux plus massifs. Seul le terrain derrière le mur de soutènement (premier sondage) possède une pression limite élevée sur toute la profondeur sondée (banc de molasse franc et massif).	Aucune cause n'est proposée pour ce mouvement de terrain.

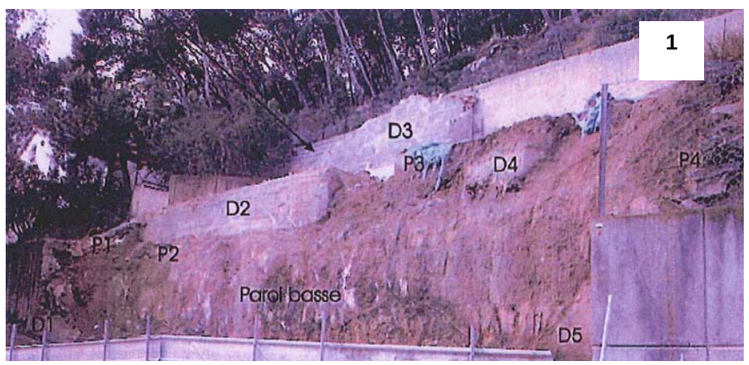
Bilan

Dommages

Destruction d'un mur de soutènement.

Confortements réalisés

Le talus a été bloqué au moyen d'une paroi en béton projeté associés à des ancrages retenant cette paroi. Ce dispositif vise à empêcher les glissements superficiels et le ravinement du talus. Un système de drainage des d'infiltration (barbacanes) a également été mis en place afin d'assurer la pérennité de l'ouvrage.



Illustrations
1 – Etat du site avant les travaux de confortement, source : GIA Ingénierie, réf. G3-407/03 ;
2 – Etat après la réalisation du confortement, source : BRGM avril 2008.

Sources : Etude GIA Ingénierie (Mission G3, réf. G3-407/03, 2004).

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I08

Recherche **bibliographique** sur les anciens événements de glissement de terrain : **B1** : **Coulée de boue, chemin de St Pierre, Automne 1976.**

Historique / Chronologie du glissement	Processus d'extension du glissement	Etudes géotechniques et géologiques réalisées sur la zone de glissement	Causes du glissement et conclusions
La coulée boueuse B1 de l'automne 1976 s'est produite dans la pente au bord du chemin de St Pierre. Au cours de sa progression, elle se charge en limons, pierres, blocs, arbres et branchages, et s'accumule derrière deux constructions. En quelques heures ces deux maisons sont détruites.	La coulée de boue est un phénomène rapide, qui n'affecte que les horizons superficiels de la pente (sol et matériaux en surface).	Les données concernant cet événement ont été recueillies par le CETE en 1978, mais il n'existe a priori pas d'étude réalisée pour analyser cet événement.	L'apport brutal d'eaux pluviales dans la pente, occasionné par d'importants orages, est à l'origine de cette coulée.

Bilan

Dommages	Confortements proposés
2 maisons détruites	La coulée n'a pas été traitée. Nous ne disposons pas de documents témoignant d'une éventuelle proposition de confortement ou de protection.

Recherche **bibliographique** sur les anciens événements de glissement de terrain / **G4** : **Glissements superficiels dans les versants au bord du chemin de St Pierre.**

Historique / Chronologie du glissement	Processus d'extension du glissement	Etudes géotechniques et géologiques réalisées sur la zone de glissement	Causes du glissement et conclusions
Les glissements superficiels G4 sont des phénomènes lents et réguliers (observés entre autre en 1995 – CETE et 2006-2008 – BRGM), qui provoquent l'inclinaison des pins situés sur la pente.	Glissements lents qui ne se produisent que dans les niveaux superficiels de colluvions et de molasses. Les pentes fortes à moyennement fortes permettent au phénomène de se développer.	<u>Observation de la morphologie des pentes et photographies</u> (Etude CETE en 1995) En plus de l'inclinaison des arbres, des zones d'arrachement et des « moutonnements » sont observables dans la morphologie du versant.	Aucune explication n'est proposée pour décrire ce phénomène. Il est néanmoins précisé que l'aménagement en restanques et murets des terrains joue en faveur de la stabilité des pentes. Ces aménagements peuvent cependant masquer des mouvements localisés.

Illustrations 1 et 2 – Effets du glissement superficiel : pins penchés dans le versant ;
Source : CETE Mediterranée, rapport n° JCP-H-95/309

Bilan

Dommages	Confortements proposés
Ce glissement n'a pour le moment engendré aucun dommage.	Ce glissement n'a pas fait l'objet d'étude de confortement.

Sources : Etudes CETE Méditerranée – rapport n° JCP-H-95/309.

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I09

Synthèse des données bibliographiques disponibles sur les différents événements glissement de terrain : Glissements profonds **G1**, **G2**, **G3**.

Définition

Le glissement de terrain correspond au déplacement gravitaire de terrains meubles le long d'une surface de rupture, généralement courbe ou plane. Les terrains généralement affectés appartiennent au substratum ou aux formations superficielles, et les profondeurs concernées vont de quelques mètres à une dizaine de mètres.

Les terrains marneux ou argileux, les massifs très fracturés, la présence de colluvions ou de moraines en surface, sont des milieux privilégiés pour le développement d'un glissement de terrain. La morphologie, la topographie des versants, les aléas naturels tels que des précipitations importantes ou l'affouillement des berges sont également des facteurs déclenchant.

Ce type de phénomène est classé dans la catégorie des mouvements lents, sa vitesse de progression étant comprise entre 1 mm/an et 100 mm/jour.

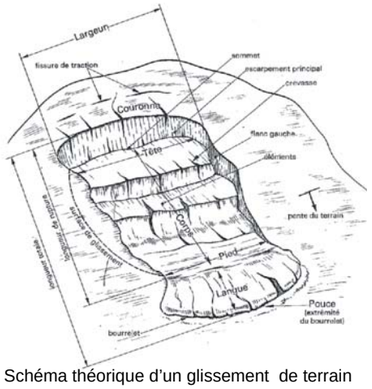


Schéma théorique d'un glissement de terrain

Géologie et géomorphologie

La géologie du site des Heures-Claires constitue un contexte favorable au déclenchement d'un glissement. Des niveaux de molasse contenant de l'eau reposent sur un substratum marno-gréseux qui en est dépourvu et qui forme une couche plutôt imperméable. Quand l'eau est apportée au versant, elle se concentre dans les molasses qui peuvent perdre progressivement leur cohésion, et commencer à glisser le long du contact avec les marnes. De l'eau peut s'infiltrer dans des discontinuités présentes dans les marnes (ou dans les niveaux gréseux), mais elle circule mal dans ces roches. Elles peuvent glisser sur des pentes assez faibles, or le versant des Heures-Claires présente une inclinaison de 30 à 40°.

Le site d'Istres possède ainsi des prédispositions au déclenchement des glissements de terrain. La morphologie de la pente, présentant des replats (restanques), permet néanmoins de ralentir la progression d'un éventuel glissement et d'en diminuer ainsi les effets.

Dommages

Au travers des études géotechniques que nous avons consultées, 6 événements de glissement de terrain et 1 événement de coulée boueuse ont été recensés. Ce sont au total 14 maisons détruites et 10 constructions endommagées en l'espace de quarante ans (plus ancien événement daté: coulée de boue de 1976, deux anciens glissements sont évoqués dans le rapport de 1978, dernier événement connu ayant provoqué des dommages : 2004). Les chemins de St Pierre et de la source St Martin ont également été coupés à plusieurs reprises. Ces phénomènes se sont de plus produits essentiellement dans le même secteur du chemin de St Pierre, situé dans le quartier des Heures-Claires. Le site est par conséquent particulièrement vulnérable.

Interprétation

Une comparaison à partir des données disponibles des deux événements suivants : le glissement de l'auberge de 1978 (**G1**) et le glissement de 2000-2001 (**G2**), met en évidence des similitudes et des différences dans la progression des deux phénomènes.

Similitudes

Les deux phénomènes se sont produits en période hivernale, durant laquelle les précipitations sont généralement récurrentes.

Les deux glissements ont évolué sur 4 et 5 mois.

Le glissement peut se caractériser en plusieurs phases :

- Initiation du mouvement du mouvement dans une zone située plutôt en bas de pente,
- Extension du phénomène dans les parties latérales et / ou en amont,
- Accélération ou reprise du mouvement suite à une courte étape de stabilisation (associée à un épisode de pluies très violentes par exemple en 1978),
- Stabilisation du glissement, en premier lieu dans la zone d'activité initiale.

La déstabilisation des terrains s'initie dans la partie basse du versant et se répercute successivement dans les parties situées plus en amont. Le modèle de glissements emboîtés est évoqué : l'arrachement et la mobilisation de terrains situés en aval de la pente met des zones en amont au contact de la surface. Ces zones subissent une décompression. Cette décompression entraîne la déstabilisation des différents compartiments, qui commencent alors à glisser. Ce processus se répercute de proche en proche dans le versant, permettant l'extension du glissement.

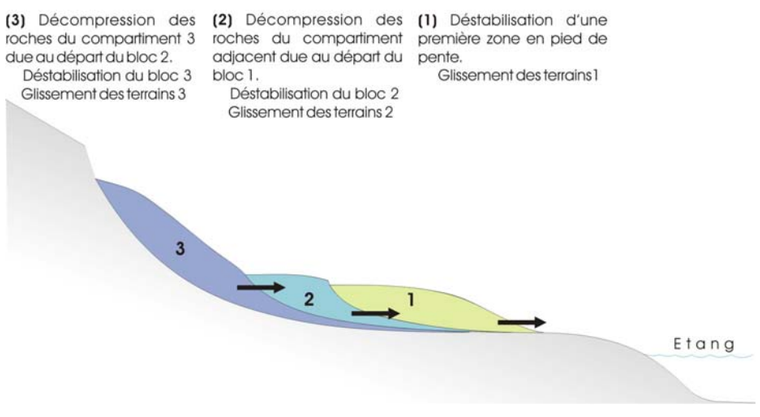
Différences

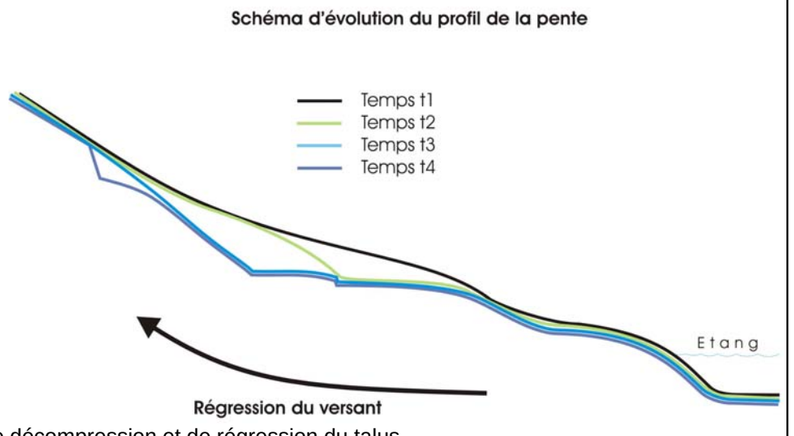
Les effets du mouvement ont été plus importants en 1978, provoquant de graves dommages (11 maisons détruites et 8 endommagées). Aucun dommage conséquent n'a été reporté en 2001. Plusieurs paramètres sont à prendre en compte :

- Le glissement de 1978 a pris naissance plus en profondeur : une quinzaine de mètres environ est estimée, contre 7 m pour le phénomène de 2001,
- L'extension du glissement est d'autant plus large en 1977-1978,
- Le glissement de 1978 est caractérisé par une première phase plus courte et plus brutale d'à peine un mois contre deux en 2000-2001.

L'événement de 2000-2001 est considéré comme la reprise partielle d'un l'ancien glissement, ayant eu lieu à proximité du glissement de 1978 et antérieur à celui-ci.

Le facteur pluie paraît jouer un rôle déterminant dans l'évolution du phénomène (accélération du glissement constaté en 1978, accroissement de son intensité révélé par l'augmentation des dégâts). Nous n'avons pas fait l'analyse des données météorologiques pour préciser le rôle de la pluie sur le déclenchement et l'évolution du glissement de 2001 mais cette précision pourrait apporter des informations intéressantes pour la compréhension du phénomène.





Illustrations : Schémas illustrant les phénomènes de décompression et de régression du talus

Conclusion

L'évolution du glissement de terrain semble répondre aux mêmes mécanismes lors de ces deux événements. Si l'on considère que ce comportement se répète d'un événement à un autre sur ce site, il est peut être possible de prévoir quels seront les terrains atteints lors de la progression d'un glissement en cas de déclenchement d'un nouveau mouvement. Toutefois nous ne possédons pas de données relatives à l'initiation et l'évolution des anciens glissements situés dans le même secteur. Il n'est pas possible de savoir si ces phénomènes ont suivi le même type de progression, et s'il peut être appliqué à tous les glissements se produisant sur ce site.

La localisation des glissements est intéressante. Les terrains qui ont glissé sont tous situés dans le même secteur. Certains se recouvrent, tels que les glissements à l'origine de l'abandon de l'annexe de l'auberge (**G2**) et de la destruction de l'auberge (**G3**). D'autres ont des limites d'extension qui se rejoignent, comme les deux plus vieux événements près du chemin de la source St Martin **G1** et **G2**. Ainsi, entre les parcelles n°131-142 au Sud de la zone et la parcelle n°120 au Nord, ce sont quasiment tous les terrains de ce secteur du chemin de St Pierre qui ont été remaniés et mobilisés en l'espace de 40 ans.

Le fait que ces terrains aient déjà glissé ne signifie pas pour autant que la zone est depuis stabilisée : la réactivation, en 2000-2001, d'un ancien glissement antérieur à 1978 en est exemple. Le site reste donc sujet au déclenchement de glissements profonds et par conséquent à un **aléa fort** en ce qui concerne les glissements de terrain.

Sources : BRGM, Etudes CETE et GIA Ingénierie, http://www.mementodumaire.net/01risques_naturels/RN4.htm#a1

Commune / Code INSEE : Istres / 13047	Site de la commune d'Istres : Quartier des Heures-Claires	A3_I10

Synthèse des données bibliographiques disponibles sur les différents événements glissement de terrain : Glissements superficiels **G4**, **B1** et **conclusion**.

Glissement superficiel

Des glissements superficiels (**G4**) ont été constatés à plusieurs reprises sur Istres, notamment en 1995 et 2008, à partir d'indices visuels tels que l'inclinaison des pins sur la pente, la présence de zones d'arrachement, et de « moutonnements » du versant.
Un glissement superficiel est un glissement pour lequel la tranche de terrains mobilisés est plus fine que celle d'un glissement profond. Seules les formations de surface, tels que les formations superficielles (colluvions, alluvions …) et ici les horizons du sol dans le cas du versant du chemin de St Pierre, sont affectées par ce mouvement.
Ce type de phénomène conserve une cinématique très lente et reste difficile à observer et par conséquent à étudier. A ce jour, aucun dommage n'a été directement relié au glissement superficiel d'Istres. Néanmoins, il semble admis de façon générale que des fissures apparaissent sur les édifices confrontés à ce type de mouvement de terrain 15 à 20 ans après leur construction.

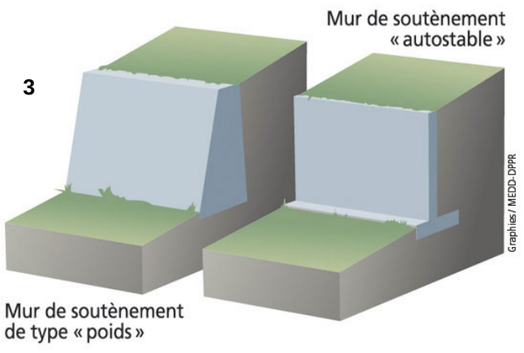
Coulée de boue

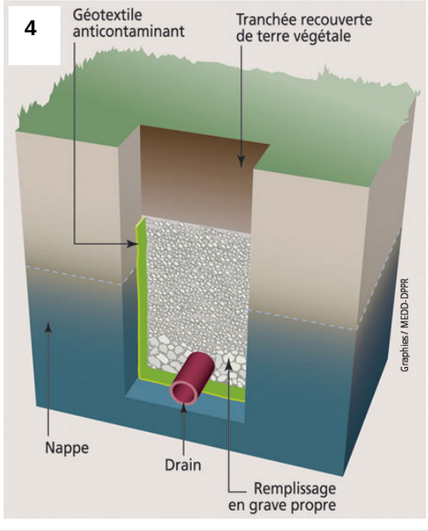
D'autres phénomènes superficiels se sont produits sur le secteur des Heures-Claires, notamment une coulée de boue (**B1**) qui à l'inverse du glissement superficiel est un mouvement très rapide : de 2500 à 10 000 mm/seconde. En 1976, cette coulée a provoquée la destruction de deux maisons en seulement quelques heures.
La coulée boueuse est un type de glissement de terrain, dont le comportement se rapproche d'un matériel visqueux. A l'instar du glissement superficiel, seuls les premiers décimètres à mètres du sol sont concernés par le mouvement.
L'apport important d'eau, via des épisodes de pluies intenses par exemple, est un facteur conséquent dans le déclenchement du phénomène. La couche superficielle du sol se décroche et glisse en amas visqueux le long de la pente.

En cas de pluies très violentes, le glissement superficiel se produisant actuellement au quartier des Heures-Claires pourrait évoluer localement en coulée boueuse.

Protection et de prévention

Les mesures de protection peuvent être de deux types : actives et passives. Les premières jouent un rôle sur la stabilisation du glissement, par exemple en contenant l'avancée en pied du talus (mur de soutènement), ou en captant ou dérivant l'eau contenue dans le talus (drainage). Ces deux techniques sont utilisées de manière récurrente en cas de glissement. Néanmoins le type de mur de soutènement ou/et de système de drainage doit être adapté au site d'après la connaissance de la dimension et des origines du glissement (Voir Chapitre 3.2.1.b Prévention des glissements de terrain).
Les mesures passives concernent entre autres la surveillance (suivi du phénomène) et l'alerte. La prévention et l'information de la population exposée à l'aléa glissement de terrain permet d'adopter un comportement adéquat en cas de survenance d'un phénomène.



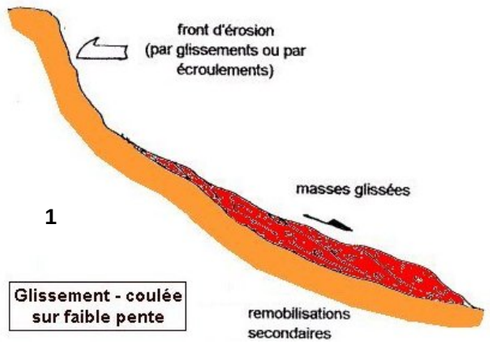


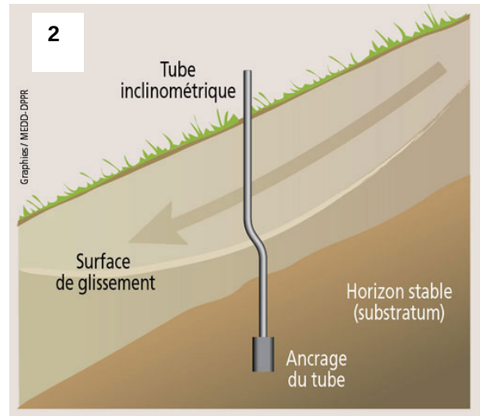
Illustrations :
3 – Différents types de mur de soutènement
4 –Exemple de système de drainage
Source : www.prim.net

Interprétation

La zone de glissement reste néanmoins mal définie : malgré les indices visuels permettant de déceler les terrains affectés par le mouvement, le déplacement n'est pas perceptible à l'œil nu.
Une étude approfondie pour mesurer l'emprise exacte du glissement serait pertinente, effectuer un suivi du glissement permettrait de mieux contraindre le phénomène. Afin de contrôler le glissement de la pente, sa direction, la profondeur de rupture et la teneur en eau dans les formations superficielles, des appareils de mesures tels que les inclinomètres et les piézomètres peuvent être mis en place. Prendre connaissance de tous ces paramètres de façon régulière permettrait d'obtenir des informations sur l'évolution et le comportement du glissement (phénomène continu dans le temps, présentant ou non des phases d'accélération/stabilisation…). Une description et une compréhension plus fine en découlerait, ainsi qu'une meilleure connaissance des facteurs déclenchant et/ou aggravant le phénomène (par exemple, le déphasage exact du couplage entre l'apport en eau dans les sols (pluies) et une accélération du mouvement).

Un contrôle régulier de l'état des bâtiments environnant et de l'apparition de fissures peut être complémentaire. Les bâtiments ayant fait l'objet de terrassements à l'amont au moment de la construction seront préférentiellement surveillés. En effet le volume et la hauteur de terrain terrassés ont un impact fort sur la stabilité du terrain.





L'inclinomètre est un appareil circulant dans un tube spécial qui traverse la surface de glissement. Ce dispositif permet de mesurer la vitesse et la profondeur du déplacement.

Illustrations :
1 – Schéma type de coulée de boue
2 – Schéma d'un inclinomètre
Sources : BRGM ; www.prim.net

Conclusion

Trois types de glissements de terrain se superposent sur le secteur des Heures-Claires :

Des **glissements superficiels**, dont l'extension est la plus importante et dont l'activité semble plus ou moins continue dans le temps. Le phénomène est évoqué dans les études à partir de 1995 (cependant nous ne possédons pas de documents pour l'intervalle de temps 1979-1995), il existerait depuis au moins 13 ans.

Des **glissements profonds** et ponctuels. 4 événements sont recensés sur une période d'au moins 40 ans (la rupture du mur de soutènement n'est pas comptabilisée), ce qui porte le délai d'occurrence à un événement par décennie selon les éléments dont nous disposons. Les dates des 2 plus anciens événements n'étant pas connues, cette période de retour est très probablement surestimée.

Des **coulées de boue**, correspondant à des phénomènes de glissement rapides et déclenchés dans des circonstances particulières de fortes intempéries, mettant en jeu des volumes d'eau importants. Il s'agit également d'événements ponctuels, mais finalement peu fréquents dans ce secteur. Un seul événement est connu pour ces quarante dernières années.

Sources : BRGM, Etudes CETE, articles : « Proposition d'une méthode de diagnostic des mouvements de déformation lente de versant sans rupture généralisée », A-B Marand, Sol Concept ; et « Studying slow displacements of the natural slopes using PIV method », Z. Marcin.

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Région
Provence-Alpes-Côte d'Azur

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire

Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire

IVème Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation sur les risques naturels"

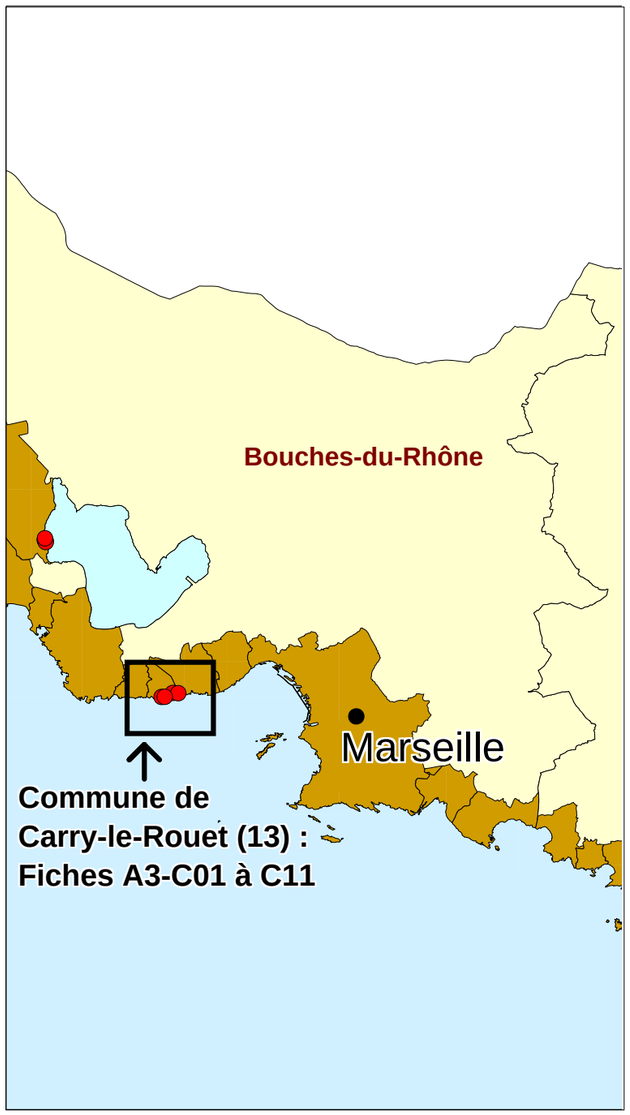


Planche hors-texte n°1

Propositions d'aménagements sur les sites sélectionnés du littoral de la région PACA

Commune de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône)

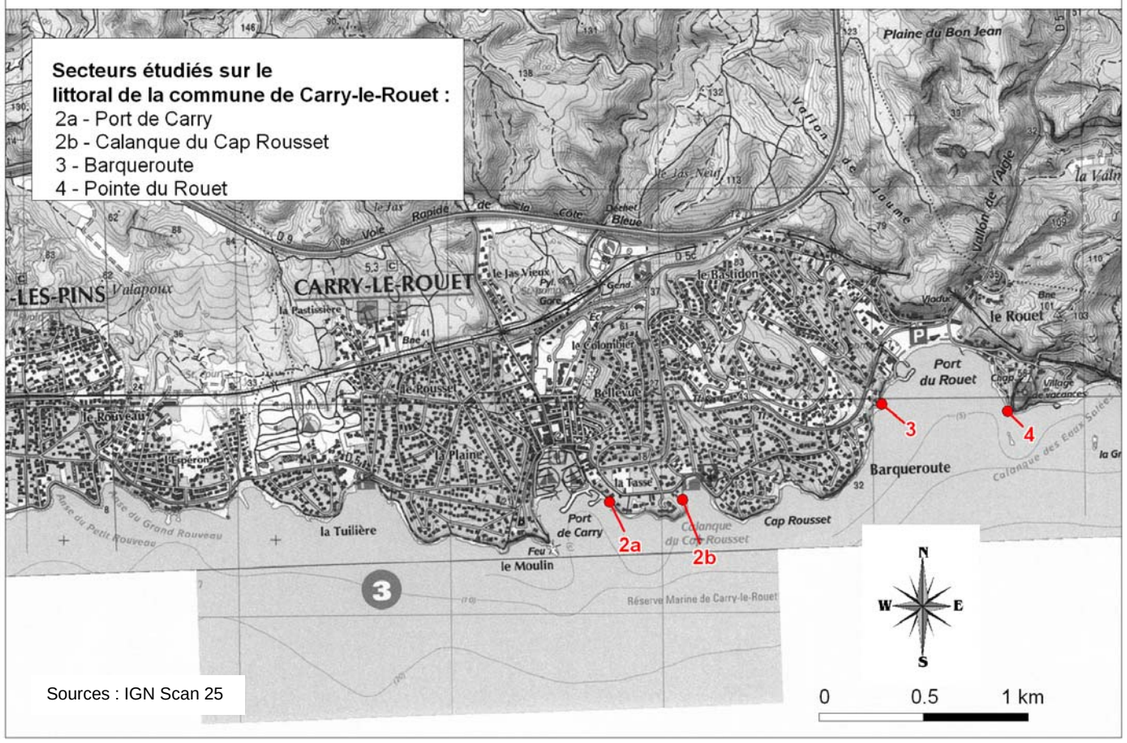
Fiches A3-C01 à C11

Rapport BRGM RP56090FR

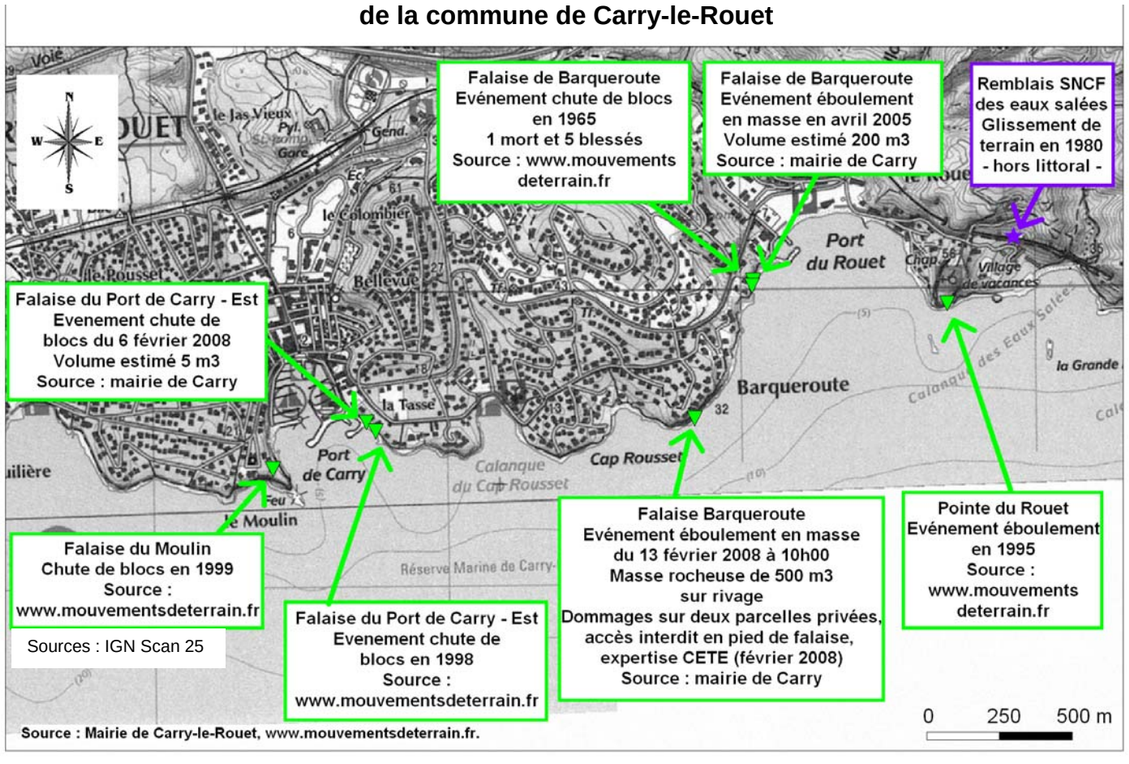
Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C01

Rappel qualification de l'**aléa** et hiérarchisation du **risque** instabilités de falaises côtières (Rapports RP-52829/53951/54316-FR)

Localisation des sites étudiés sur le littoral de Carry-le-Rouet (Bouches-du-Rhône)



Localisation des anciens événements de chutes de blocs sur le littoral de la commune de Carry-le-Rouet

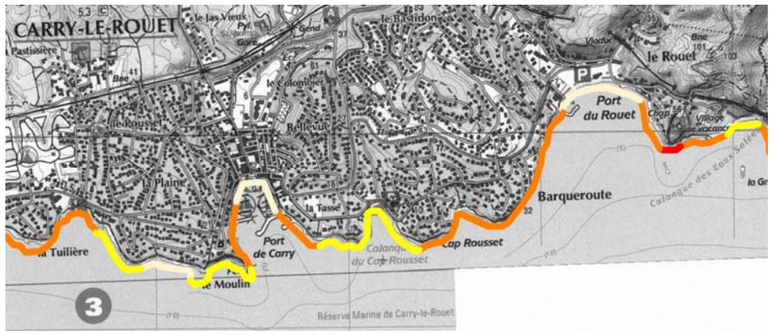


Le massif de la Côte Bleue, est composé de petites falaises atteignant parfois les 15 mètres de haut, et principalement constituées de terrains sédimentaires tertiaires (Miocène inférieur). Ces terrains tertiaires affleurent jusqu'aux environs d'Ensuès-la-Redonne (plus à l'Est).

Les faciès du Miocène très représentés sur la chaîne de la Nerthe sont marqués par des phénomènes d'érosion différentielle intense du fait d'une alternance régulière de niveaux de marnes, de sable et de calcaire (parfois de grès). Ces formes d'érosion déstabilisent généralement de grosses masses rocheuses et engendrent par conséquent des instabilités de type chutes de blocs en masses limitées ou non.

La côte Bleue centrale montre un certain nombre de secteurs avec un risque élevé en terme d'instabilités de falaises (principalement sur Carry-le-Rouet, la Redonne et les Figuières). D'un point de vue accessibilité du littoral, on trouve davantage de sentiers aménagés sur le littoral de Carry-le-Rouet et d'Ensuès-la-Redonne, ce qui draine une population de randonneurs et de plagiste toujours plus importante en été. De plus, les plages sont généralement au pied des falaises ou à proximité, ce qui accentue le nombre de personnes exposées.

Le littoral de Carry-le-Rouet a fait l'objet d'études photographiques sur l'évolution de l'érosion des falaises, en particulier sur la falaise du Rouet sur laquelle une analyse précise à l'aide d'un scan laser a été réalisée à 6 mois d'intervalle, afin d'estimer le recul possible de la falaise pendant une période hivernale.



Rappel sur la qualification de l'aléa instabilité de falaises sur Carry-le-Rouet :

- Aléa nul à faible
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort

Falaise de la pointe du Rouet (Face Est en 2005 à gauche – Face sud en 2007 à droite)

Falaise Nord de Barqueroute

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C02

Instabilités

Site 2a : Port de Carry-le-Rouet

Géologie / Lithologie : Formations saumâtres du Rousset, marnes et sables de l'Aquitanien Moyen.
Etat / Aspect de la falaise : Erosion différentielle très importante due à l'alternance de niveaux à compétences différentes, en particulier des niveaux sableux. Chutes de pierres entraînées par cette érosion différentielle

Illustrations :
1 – Falaise surplombant le quai Est du Port de Carry-le-Rouet ;
2 – Détails de l'éboulement du 6 février 2008 sur cette même falaise : délimitation en pointillés rouges de la cicatrice d'arrachement.

Vocation du site

Port de Carry-le-Rouet très fréquenté surtout en été par les touristes, club de voile à proximité, donc fréquentation accrue.

Parades - aménagements

Le 6 février 2008, un éboulement a eu lieu sur la falaise Est du port de Carry-le-Rouet, sous une parcelle privée.
Environ 5 m^3 de terrains composés de marnes et sables de l'Aquitanien moyen se sont éboulés, avec notamment des blocs atteignant plusieurs m^3.

La présence de circulations d'eau dans la falaise, quelle que soit son origine, peut expliquer en partie cet éboulement, survenu 8 jours avant un autre éboulement sur le littoral à falaise de la commune de Carry-le-Rouet à Barqueroute (voir fiche A3_C08 et A3_C09).

Etude existante sur la recherche de solutions de mise en sécurité :

- **Juin 2001 : <u>CETE méditerranée</u> – 15948.01. "Sentier littoral, secteur « Port de carry - Port du Rouet » Détermination de l'aléa chute de pierres et de masses rocheuses – Recherche de solutions de mise en sécurité :**
  Sur le secteur du Port de Carry (falaise Est), l'étude prévoit principalement des purges localisées (blocs et surplombs) sur l'ensemble de la falaise jusqu'au Cap Rousset, ainsi que la réalisation d'un escalier d'accès au rivage en cas de réalisation d'un sentier reliant la calanque du Cap Rousset au port de Carry.

Propositions d'aménagements :

L'étude du CETE de juin 2001 prévoit un certain nombre d'aménagements sur ce secteur et plus à l'est.
Ces aménagements sont en adéquation avec la vocation actuelle et future du site, et par conséquent nous n'avons pas proposé d'autres alternatives que celles décrites ci-dessus.

Néanmoins, suite à l'éboulement du 6 février sur la falaise du Port de Carry-le-Rouet, il conviendra de surveiller ce linéaire et de purger régulièrement les niveaux mis en surplomb par altération des sables et marnes.

Source : Juin 2001 : <u>CETE méditerranée</u> – 15948.01. "Sentier littoral, secteur « Port de carry - Port du Rouet » Détermination de l'aléa chute de pierres et de masses rocheuses – Recherche de solutions de mise en sécurité

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C03

Instabilités	Vocation du site	Parades - aménagements	Schémas / Photos

Site 2b : Calanque du Cap Rousset

Géologie / Lithologie : Formations saumâtres du Rousset, marnes et sables de l'Aquitanien Moyen.

Etat / Aspect de la falaise : Erosion différentielle très importante due à l'alternance de niveaux à compétences variables (sables, marnes, calcaire fin). Chutes de pierres entraînées par cette érosion différentielle.

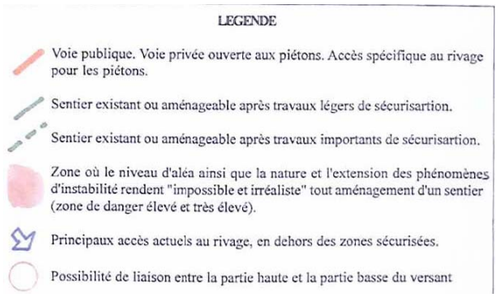
Accès à la calanque facilité (parking), pas de sentier sur les falaises latérales mais accès possible à pied.

Etude existante sur la recherche de solutions de mise en sécurité :

- **Juin 2001 : CETE méditerranée – 15948.01. "Sentier littoral, secteur « Port de carry - Port du Rouet » Détermination de l'aléa chute de pierres et de masses rocheuses – Recherche de solutions de mise en sécurité :**

  Sur le secteur de la Calanque du Cap Rousset, plusieurs séries d'interventions sont proposées :

  - côté ouest : purges de quelques surplombs du sommet et confortements localisés du bord aval du sentier, la réalisation de sentiers en surplombs nécessitera probablement d'empiéter ponctuellement sur le domaine privé ;
  - côté est : purges nombreuses et parfois importantes des blocs et surplombs de la falaise. Le sentier serpentera entre de gros blocs éboulés et sera calé le plus loin possible du pied de falaise ;
  - création d'un escalier de liaison au Cap Rousset entre la voirie existante et le rivage ;
  - à l'est du Cap Rousset : purges et travaux de sécurisation importants qui ne se justifient que si l'on veut assurer une continuité du sentier entre la Calanque du Cap Rousset et l'Anse de Barqueroute.



Propositions d'aménagements :

L'étude du CETE de juin 2001 prévoit un certain nombre d'aménagements sur ce secteur de la calanque du Cap Rousset.
Ces aménagements sont en adéquation avec la vocation actuelle et future du site, et par conséquent nous n'avons pas proposé d'autres alternatives que celles décrites ci-dessus.

Illustrations :
1 – Vue générale de la falaise Ouest de la calanque du Rousset ;
2 – Détail d'un sous-cavage important avec niveaux marno-calcaires fracturés

Source : Juin 2001 : CETE méditerranée – 15948.01. "Sentier littoral, secteur « Port de carry - Port du Rouet » Détermination de l'aléa chute de pierres et de masses rocheuses – Recherche de solutions de mise en sécurité

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C04

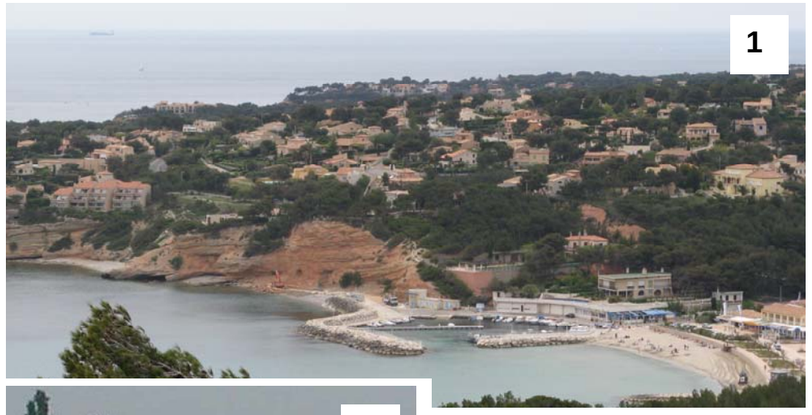
Instabilités

Site 3 : Barqueroute

Géologie / Lithologie : Formations du Rouet, grès, conglomérats et marnes de l'Oligocène Sup. devenant vers le sud la formation saumâtre du Rousset : marnes, sables de l'Aquitanien Moyen.
Etat / Aspect de la falaise : Alternance de grès, conglomérats et marnes avec niveaux de décollement, d'où érosion différentielle importante, et chutes de pierres issues du démantèlement du conglomérat. Le sous cavage est très marqué dans les niveaux gréseux et marneux en pied de falaise (parfois très profond, sur 2 à 3 mètres de profondeur)

Vocation du site

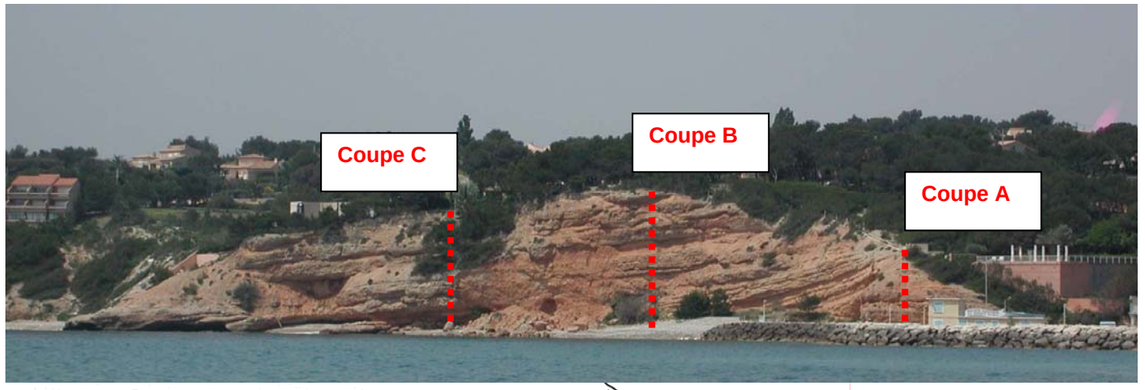
Partie nord accessible à pied par les plages et les propriétés en amont, partie sud accessible par le vallon de Testory mais passage escarpé aujourd'hui fermé suite à l'éboulement du 13 février 2008.

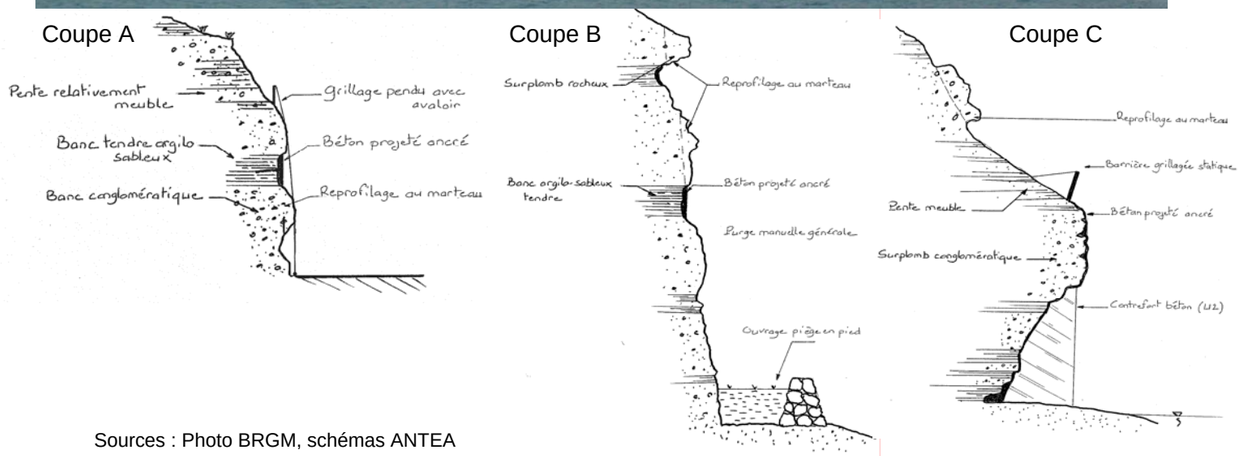


Illustrations :
1 – Vue générale de la falaise de Barqueroute (photo avril 2008) ;
2 – Détail de l'éboulement d'avril 2005 (photo 2007) ;
3 – Pointe Sud de Barqueroute, éboulement du 13 février 2008 (photo avril 2008).

Précédentes études de solutions de mise en sécurité

➢ **Mai 2000 : <u>Antea</u> – A 19827A "Falaise au Sud-ouest de la SN du Rouet Plage, Diagnostic des menaces – Proposition des solutions de confortement" :**
Cette étude a délimité des menaces élevées à très élevées pour ce qui est des chutes de masses argilo-sableuses, pierres, blocs rocheux et masses inférieures à 5 m^3 ; et faible à moyenne pour les masses rocheuses supérieures à 5 m^3 et les éboulements en masse des surplombs rocheux.





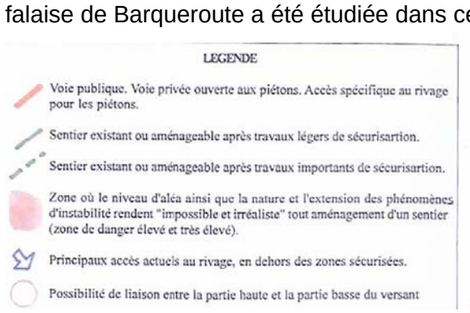
Sources : Photo BRGM, schémas ANTEA

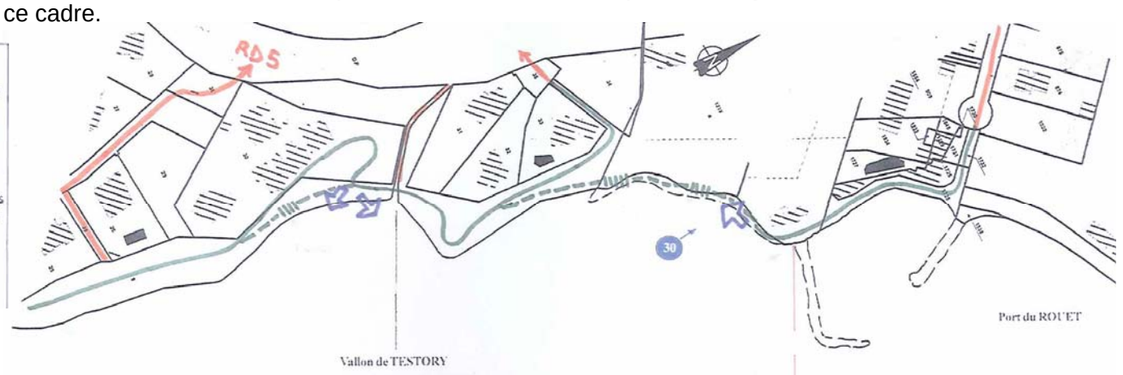
Trois séries de confortements avaient été proposées sur trois secteurs dans une première variante :
- **secteur A :** purges, reprofilage marteau, pose d'un grillage avec avaloir en tête de talus et béton projeté sur les bancs tendres ;
- **secteur B :** purges, reprofilage marteau, béton projeté et piège en pied de falaise ;
- **secteur C :** purges, reprofilage marteau, barrière grillagée statique, béton projeté (voir confortement béton si nécessaire).

La deuxième variante, consistait à ne pas réaliser de travaux sur cette zone et à en interdire l'accès.

Depuis l'éboulement de 200 m3 d'avril 2005, un arrêté municipal interdit l'accès à la plage en pied de falaise, et en avril 2008 les travaux de mise en place d'un piège à blocs étaient en cours de réalisation.

➢ **Juin 2001 : <u>CETE méditerranée</u> – 15948.01. "Sentier littoral, secteur « Port de carry - Port du Rouet » Détermination de l'aléa chute de pierres et de masses rocheuses – Recherche de solutions de mise en sécurité :**
L'objectif de cette étude était de trouver des solutions de mise en sécurité pour l'accès littoral entre le port de Carry-le-Rouet et celui du Rouet, la falaise de Barqueroute a été étudiée dans ce cadre.





Les interventions proposées pour aménager le site concernaient des purges localisées de pierres et de petits blocs, surtout en crête de talus et de falaise ; la création de liaisons en bord de rivage avec trois escaliers et des mains courantes et des petits terrassements pour constituer la plateforme du sentier. A ce jour, ces aménagements n'ont pas été réalisés. Ces aménagements sont en adéquation avec la vocation actuelle et future du site, et par conséquent nous n'avons pas proposé d'autres alternatives que celles décrites ci-dessus.

Site 3 : Barqueroute (suite)

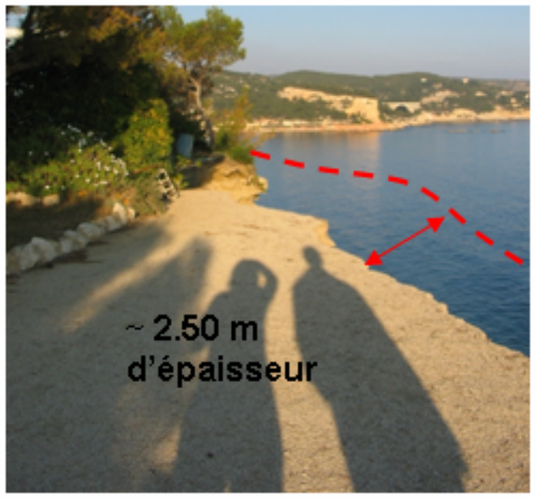
Evénement du 13 février 2008

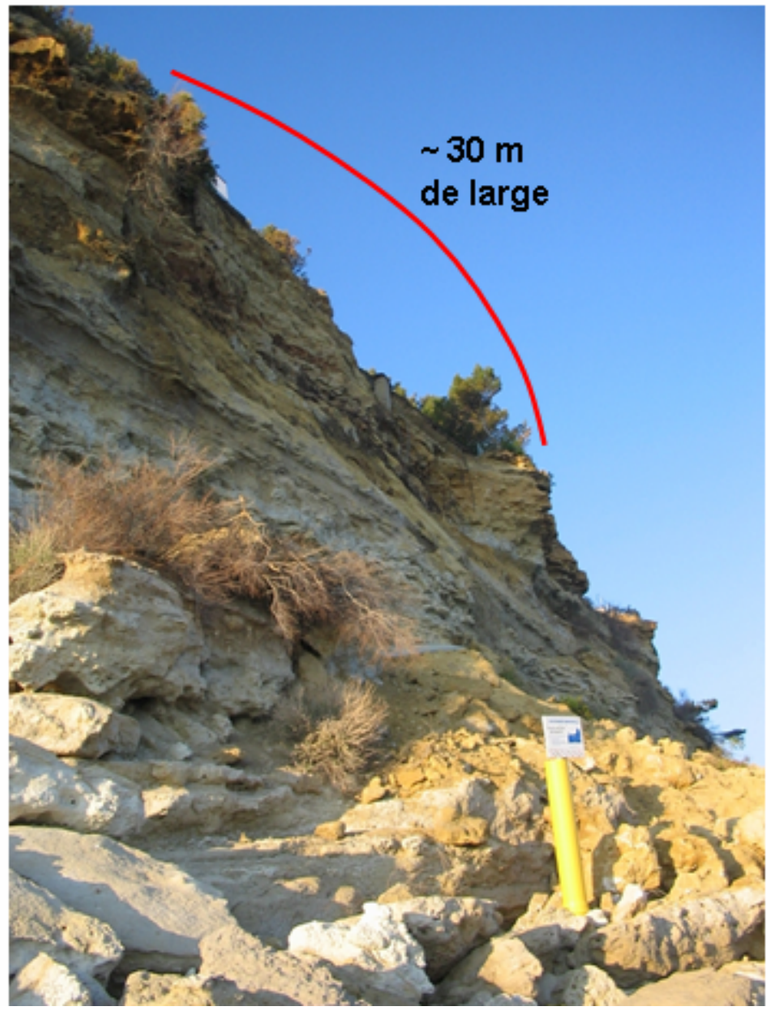
Le 13 février 2008, un éboulement en masse s'est produit sur la falaise de Barqueroute à Carry-le-Rouet, entraînant des dommages sur deux parcelles de terrain privés, ôtant 25 m² de surface de jardin sur l'une des deux parcelles et entraînant environ 500 m^3 de matériaux en pied de falaise.

Le CETE méditerranée a réalisé une expertise suite à cet événement (Rapport février 2008 – NC-H-08/56) qui montre bien le rôle à la fois des arbres (et surtout des systèmes racinaires) ainsi que de l'eau sur l'ensemble de la falaise.

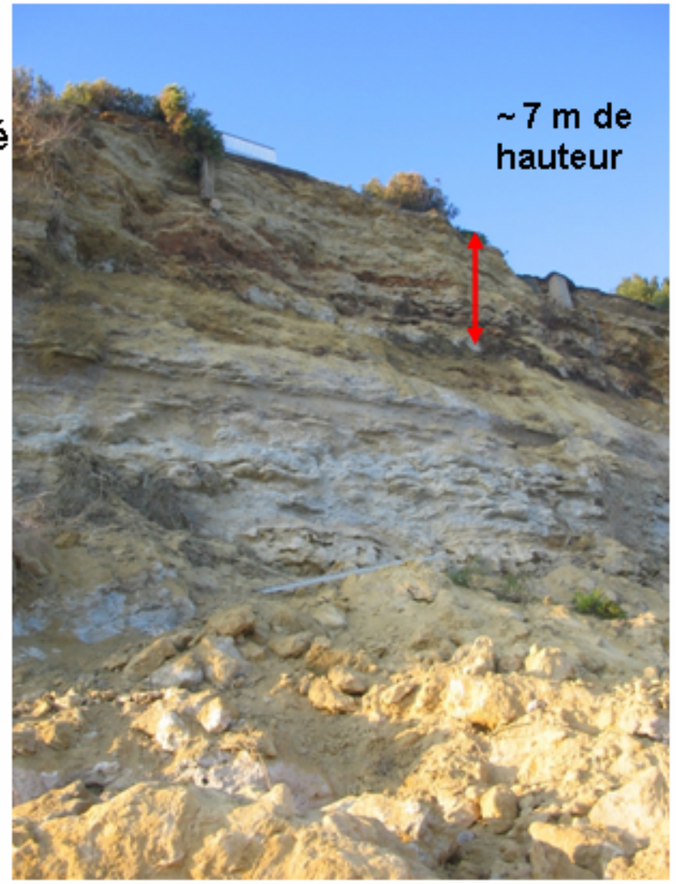
Evénement du 13 février 2008 – Carry-le-Rouet (13), falaise sud de Barqueroute

Evénement du 13 février 2008, à 10h00, volume estimé **500 m^3** dans les formations Miocènes de l'Aquitanien (marnes et sables), deux parcelles concernées.





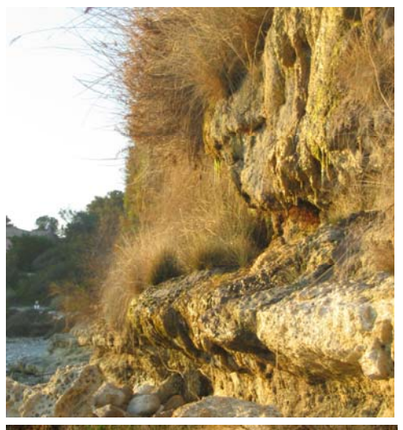
Photos prises le 14 février 2008

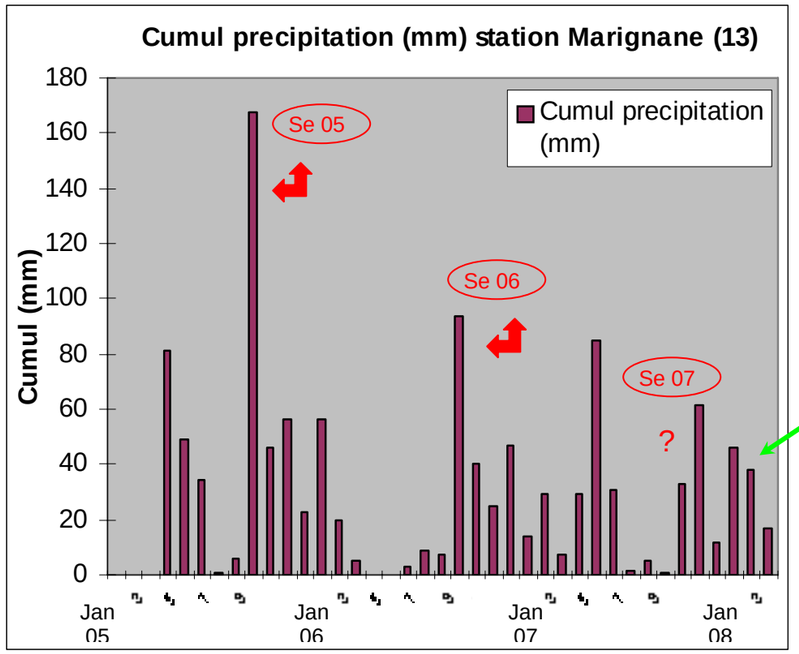


Sources : photos BRGM, BD Carto IGN 1/25 000

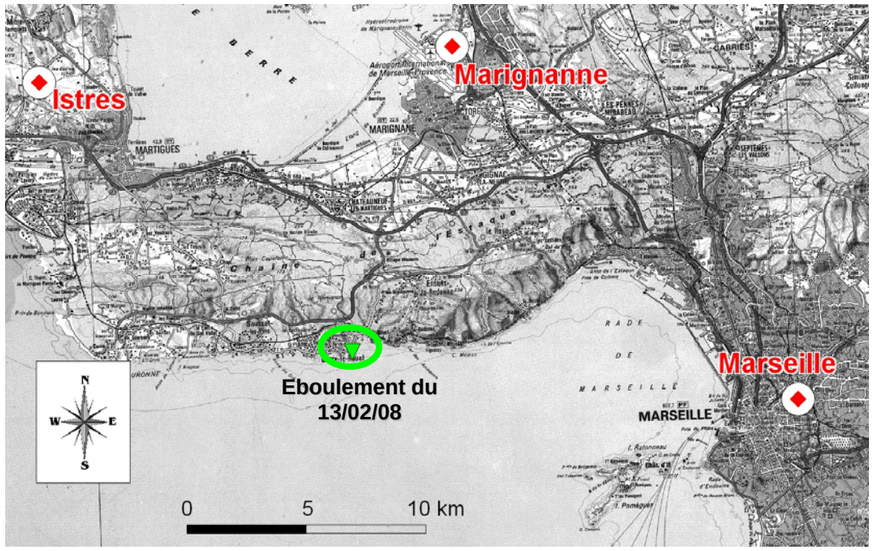
Site 3 : Barqueroute (suite)
Evénement du 13 février 2008

Une rapide analyse des cumuls de précipitations depuis 3 ans (2005 – 2006 – 2007 – début 2008) sur le secteur (stations météo Istres, Marignane et Marseille) montrent une accentuation des pluies fin janvier-début février qui pourrait expliquer une mise en charge des nappes perchées du massif, s'ajoutant à une eau d'origine anthropique qui pourrait être issue des arrosages privés ou des nettoyages de piscines.
Ce « trop-plein » d'eau par ailleurs bien visible sur les falaises du secteur de Carry-le-Rouet (voir photos ci-dessous prises le lendemain de l'éboulement) a forcément une action non négligeable sur une falaise déjà fracturée et altérée naturellement (lithologie fine, sableuse, action de la mer : embruns, houle…).
Une analyse plus précise pour localiser et étudier l'origine exacte des venues d'eau permettrait de comprendre davantage le mécanisme de rupture des falaises du type de celle de Carry-le-Rouet.

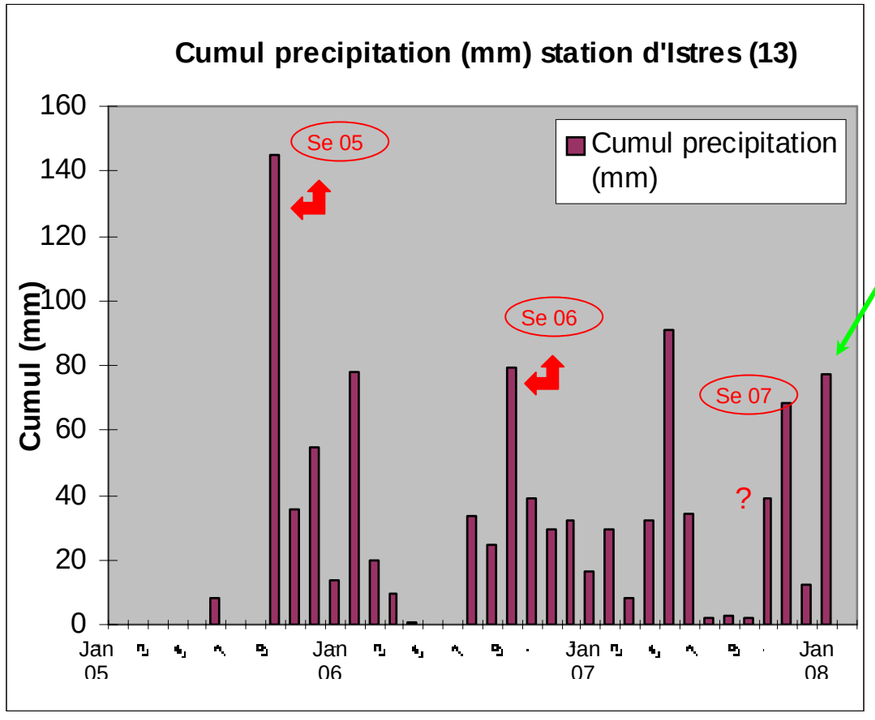




Eboulement du 13/02/08

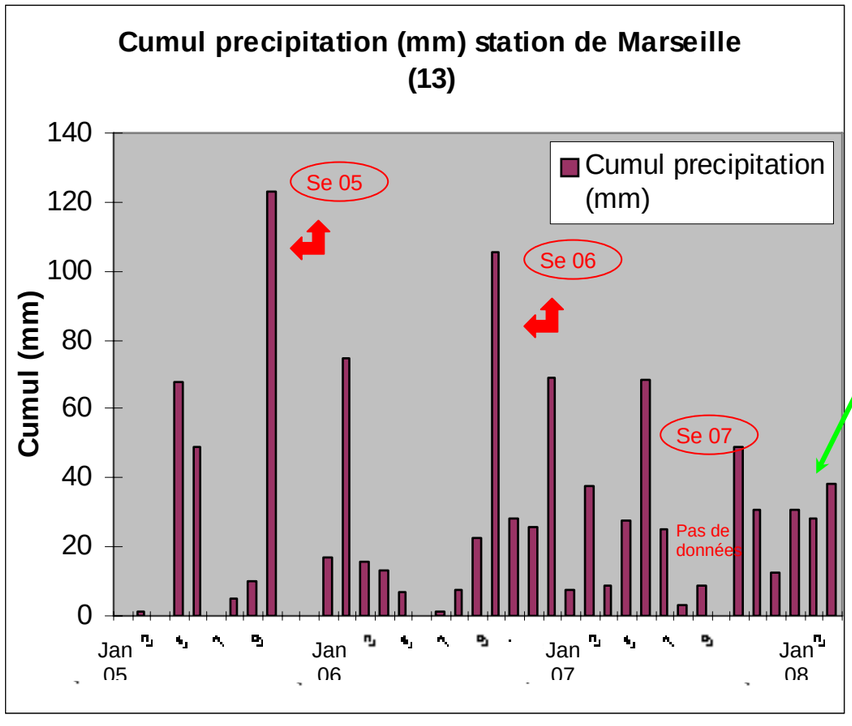


Localisation des stations Météo utilisées et de l'événement chute de blocs du 13 février 2008 sur la falaise de Barqueroute à Carry-le-Rouet.



Eboulement du 13/02/08

Sources : données Météo France – Bulletin Cigale ; BD Carto IGN 1/25 000 - 2004



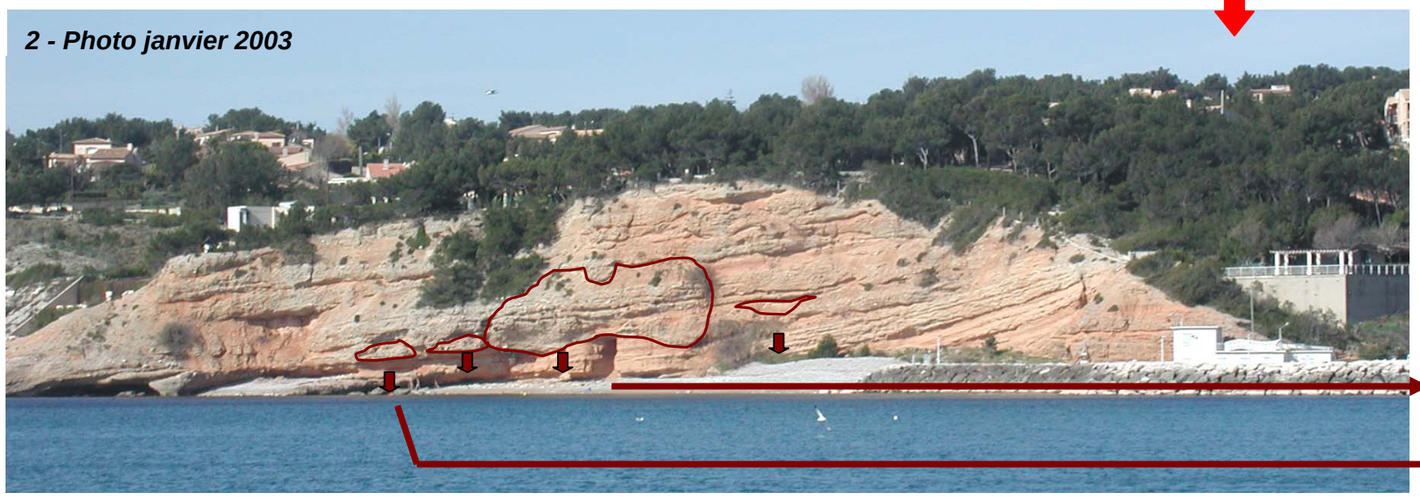
Eboulement du 13/02/08

Remarque :
Les graphiques amènent à une réflexion. Les mois de septembre 2005 et 2006 ont été particulièrement arrosés contrairement au mois de septembre 2007, ceci est visible sur les deux stations de Marignane et Istres, la station de Marseille n'ayant pas de données pour le mois de septembre 2007 celle-ci n'est pas prise en considération.
Le cumul de pluies hivernales sur un sol particulièrement sec en 2007 aurait-il eu une influence sur la déstabilisation des falaises en février 2008 ? Là aussi les données dont nous disposons sont insuffisantes pour y répondre mais la question reste importante à traiter dans une étude plus approfondie des mécanismes de rupture dans ce type de terrain en relation avec les circulations d'eau.

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C07

Site 3 : Barqueroute (suite)

Evolution



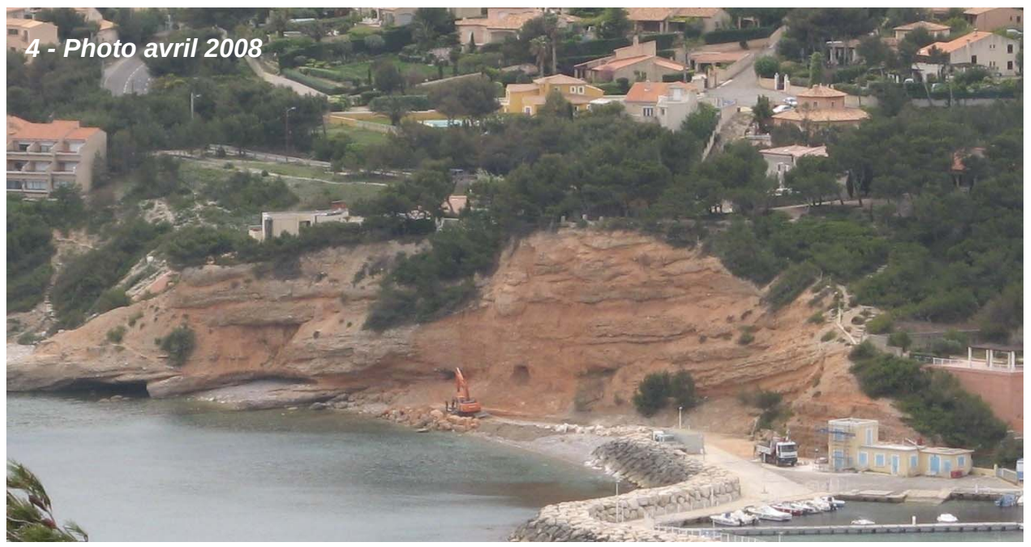
Evolution du site sur quatre périodes :

- 1 - années 1970
- 2 - janvier 2003
- 3 - mai 2007
- 4 - avril 2008

On peut observer sur cette série de photos prises depuis les années 1970 une évolution marquée de la falaise de Barqueroute, en particulier sur la zone Nord proche du port. Hormis l'événement décrit précédemment du 13 février 2008 sur la Pointe, l'un des événements le plus marquant sur ce secteur a été l'éboulement d'avril 2005 qui a engendré la chute d'environ 200 m^3 de roches (grès, conglomérats et marnes principalement) en pied de falaise sur la plage (photo 3). Ce niveau formait initialement un léger surplomb sur la falaise, accentué par un sous-cavage en pied de falaise particulièrement profond. Comme le montrent les photos 2a et 2b les sous-cavages se forment par érosion des zones marneuses et gréseuses autour des « points durs » formés par les niveaux conglomératiques, formant généralement des biseaux.

Lorsque le niveau conglomératique est mis en équilibre, il se déstabilise et provoque un éboulement en masse (photo 3) entraînant à la fois les niveaux marno-gréseux et les niveaux conglomératiques moins compacts.

Aujourd'hui (en 2008), des travaux sont en cours pour à la fois déblayer la zone de l'éboulement, et construire des pièges à blocs pour capturer les éventuels blocs ou pierres encore susceptibles de tomber (photo 4). Les blocs issus de l'éboulement sont réutilisés pour construire le piège en enrochement (cf fiche A3_C06).



Sources : photos BRGM

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C08

Instabilités

Site 4 : Pointe du Rouet

Géologie / Lithologie : Formations du Rouet à la base : ensemble marno-gréseux et conglomérats de l'Oligocène Supérieur et conglomérat au sommet appartenant à la formation des Brèches du Cap de la Vierge du Tertiaire indéterminé.

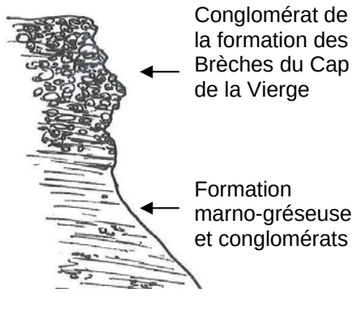
Etat / Aspect de la falaise : A la base (sur 20 m de hauteur) : alternance de conglomérats et marnes avec niveaux de décollements, d'où érosion différentielle importante, et chute de pierres issues du démantèlement du conglomérat. Chutes de blocs importantes (plusieurs m^3). Marnes grises à la base du talus, avec affouillement régulier à ce niveau et donc sous cavage. Au sommet (sur 15 m de hauteur) : érosion différentielle dans les brèches Tertiaire, et chutes de blocs importantes.

Illustration 1 - Vue générale de la falaise ;
Illustration 2 - Zoom sur ravinement et sous-cavage en pied de pente ;
Illustration 3 - Zoom sur érosion différentielle en amont de la falaise ;
Illustration 4 - Vue du passage en pied de falaise.

Vocation du site

Aujourd'hui accessible mais dangereux, pas de cheminement autorisé, le chemin passe en amont du Cap du Rouet.

Log lithologique

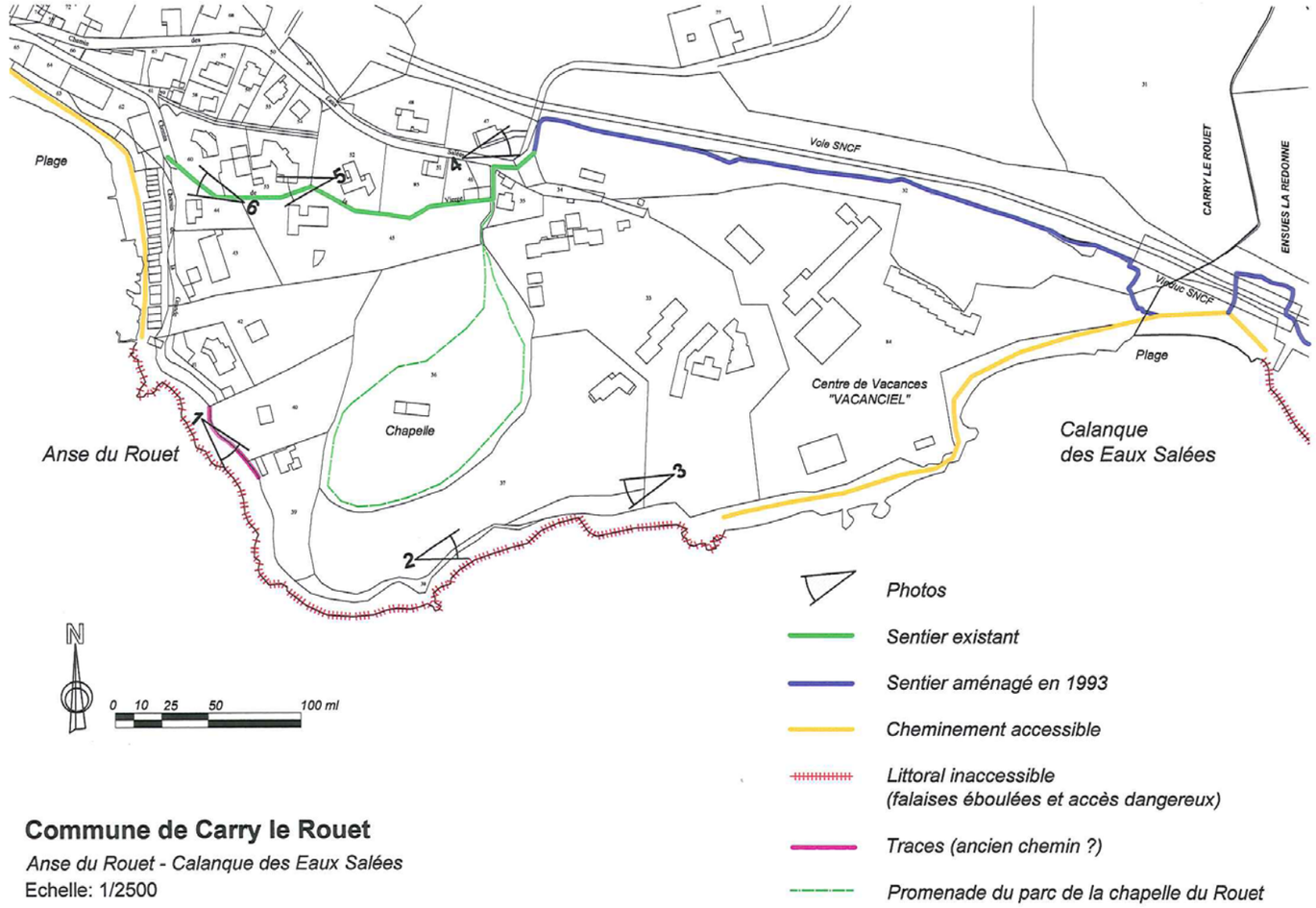


Parades - aménagements

➢ **Septembre 2006 : <u>DDE13 Arrondissement maritime subdivision littoral</u> – Commune de Carry-le-Rouet, Aménagement de l'Anse du Rouet – Accessibilité des piétons le long du littoral et continuité du cheminement. Rapport sur l'accessibilité du littoral entre l'anse du Rouet et l'anse des Eaux Salées :**

Projet d'accessibilité des piétons le long du littoral et continuité du cheminement.
Un chemin piéton existe aujourd'hui, et permet de relier la plage Est de l'Anse du Rouet à la plage de l'anse des Eaux Salées en partie haute du cap du Rouet. Cet itinéraire permet donc la liaison entre les deux plages en évitant un littoral inaccessible (parcelles privées, centre de vacances clôturé) et dangereux (risque instabilités de falaises).
Il apparaît à flanc de falaise le long des propriétés privées une trace (ancien chemin ?) aujourd'hui inaccessible pour cause d'éboulement, ravinement et fermeture par les riverains.
Le projet de cheminement étudié dans une étude d'impact concernant le passage par la plage implique des travaux gigantesques sur la falaise d'après l'étude des Services Maritimes.
Le rapport conclut que l'existence d'un risque falaise important pousse la commune à suspendre la réalisation d'un cheminement piétonnier en piémont de falaise, toutefois sa continuité peut être assurée par des chemins existants qui devront être entretenus par la commune.

Schémas / Photos



Commune de Carry le Rouet
Anse du Rouet - Calanque des Eaux Salées
Echelle: 1/2500

Ces décisions sont en adéquation avec la vocation actuelle et future du site, et par conséquent nous n'avons pas proposé d'autres alternatives que celles décrites ci-dessus.

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C09

Site 4 : Pointe du Rouet (suite)

Evolution

Le travail sur photographies a été réalisé à l'aide d'une analyse d'images. Après avoir ouvert deux images, une commande permet de les lier et les superposer afin de mettre en évidence les différences de reliefs les plus marquantes. La photographie des années 1970 étant de moins bonne qualité que celle de 2007 (en noir et blanc, ombres assez puissantes, à une échelle plus petite que l'ortho photo de 2007 réalisée avec une précision du cm), ce travail de comparaison ne se veut pas aussi précis que celui réalisé à l'aide du scan laser (A3_C10) mais il permet de mettre en évidence une érosion non négligeable de ce type de falaises côtières sur plus de 30 ans, et d'estimer approximativement les surfaces érodées.

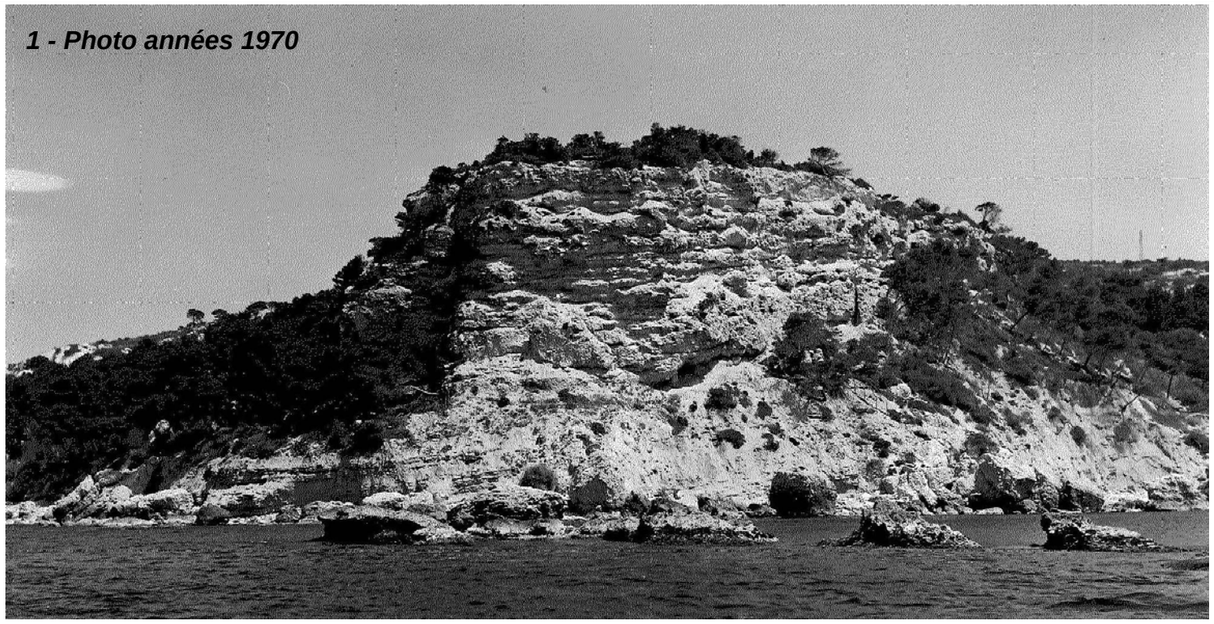
Evolution du site sur deux périodes :

- 1 : années 1970
- 2 : octobre 2007

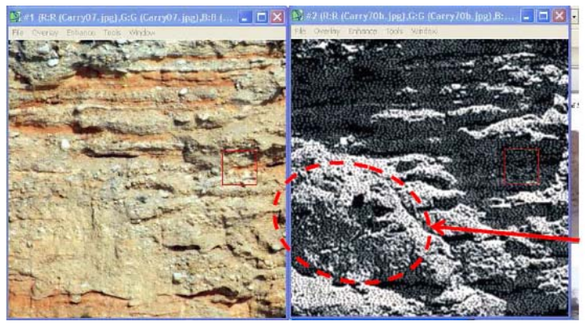
<u>Comparaison photographique multi temporelle :</u>
Le logiciel ENVI permet d'afficher simultanément deux photographies superposées. Un clic sur l'image à l'écran fait apparaître celle placée en-dessous. On peut ainsi analyser rapidement une même zone de la falaise sur deux photos distinctes préalablement calées l'une par rapport à l'autre, et déterminer des changements dans le relief de la paroi. Les zones où des volumes de roches existant en 1970 n'apparaissent plus en 2007 ont été reportées sur la photo 3 (et illustration ci-dessous : copies d'écran des fenêtres de travail sur le logiciel ENVI).

<u>Calcul de surface :</u>
L'outil « measurement tools » dans le logiciel ENVI permet en sélectionnant une zone prédéfinie, d' obtenir la surface de cette zone en pixels². La hauteur de la falaise est approximativement 35m, soit environ 1030 pixels. Les surfaces en pixels² ont été converties en m², malgré les nombreuses incertitudes.

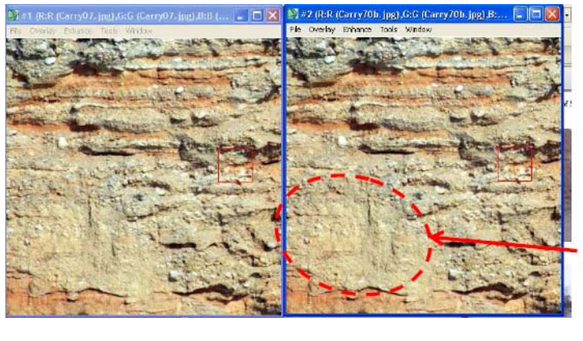
1 - Photo années 1970



2 - Photo octobre 2007

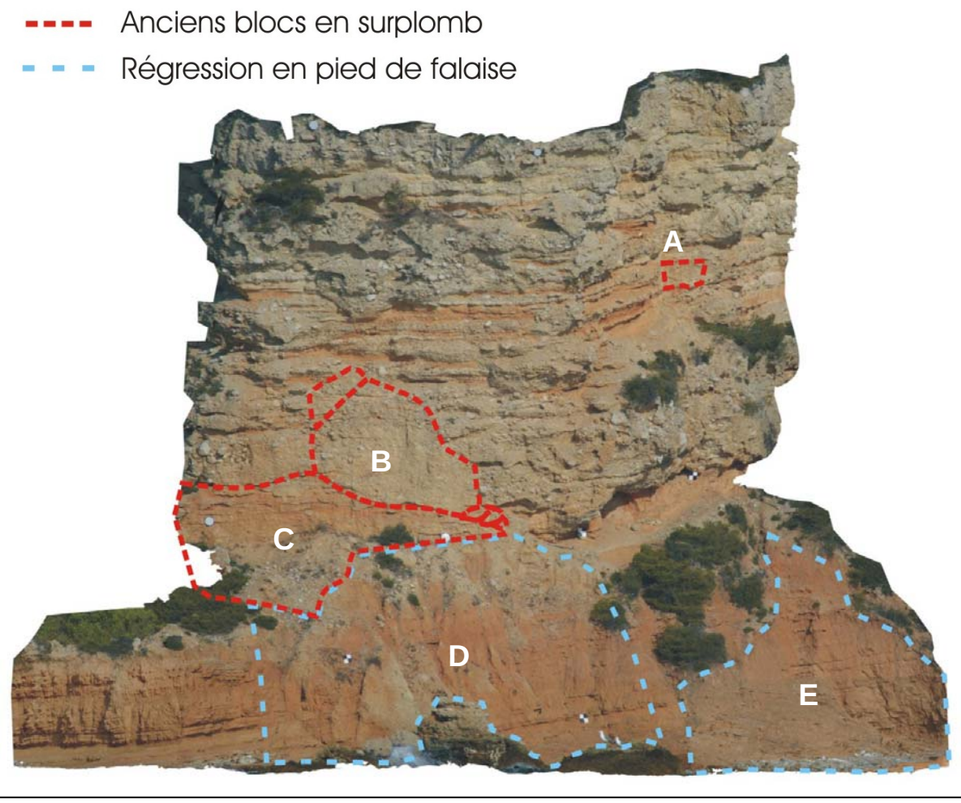


Relief existant dans les années 1970



Relief n'existant plus en 2007

3 – Résultat analyse 1970-2007



L'analyse des photographies a été réalisée sur des clichés de la face sud de la falaise du Rouet. Cinq zones ont été identifiées visuellement comme affectées par l'érosion depuis 1970. Cette analyse ne permet pas de calculer des volumes érodés mais des surfaces d'affleurements affectés par l'érosion, notamment la trace d'anciens blocs en surplomb (zones A, B et C) et la régression de matériaux meubles et pied de falaise (D et E) :

<u>Anciens blocs en surplomb :</u>

- zone A : surface estimée d'environ 4 m²
- zone B+C : surface estimée d'environ 165 m²

<u>Régression en pied de falaise :</u>

- zone D : surface estimée environ supérieure à 300 m²
- zone E : surface estimée environ supérieure à 150 m².

Ainsi, en une trentaine d'année, la falaise du Rouet (face sud) se serait érodée sur plus de 34 % de sa surface d'après l'analyse précédente effectuée avec un certain nombre d'incertitude (estimation des surfaces, mauvaise qualité de la photo de 1970, observation grossière).

L'érosion apparaît plus forte en pied de falaise, dans la Formation du Rouet composée de conglomérats, grès et marnes de l'Oligocène Supérieur c'est-à-dire de matériaux meubles. Alors que sur les deux tiers supérieurs se trouvent les brèches du Cap de la Vierge du Tertiaire indéterminé, beaucoup plus indurés, qui s'érodent par départ de blocs agglomérés de conglomérats à matrice sablo-gréseuse, à des fréquences plus faibles.
Le pied de la falaise est en effet soumis directement aux effets de la houle, des embruns et le phénomène est bien visible à l'œil nu.

Sources : photos BRGM ; ortho photo ATM3D - 2007-2008 ; logiciel ENVI

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C10

Site 4 : Pointe du Rouet (suite)

Evolution du site sur deux périodes :

- 1 : octobre 2007
- 2 : mai 2008

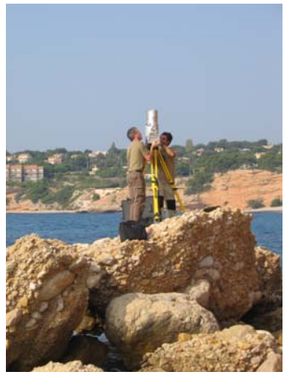
Afin d'évaluer l'aléa chutes de blocs de manière probabiliste, l'utilisation d'un scanner laser est apparue intéressante et novatrice. Grâce à deux levés successifs du relief de la falaise (l'un en octobre 2007, le deuxième en mai 2008), un maillage de points a été réalisé, ainsi qu'une ortho photo haute résolution. L'objectif est de mesurer l'érosion en comparant les deux levés topographiques, sur un secteur présentant des cicatrices d'éboulements antérieurs. Ces levés ont été réalisés avec un scanner laser terrestre utilisant une technologie dite « time of flight » pour déterminer la position des points atteints par le rayon laser. Les scans ont été réalisés par la société ATM3D avec un scanner laser Riegl de type LMS-Z390. Comme l'ensemble de la falaise n'est pas visible depuis un seul point de visée, le laser a été installé à des stations successives en pied de falaise, et exceptionnellement, compte tenu de la configuration du site, sur d'anciens blocs rocheux éboulés considérés comme stables. Chaque levé produit un nuage de millions de points mesurés en 3D, et les 2 levés ont été espacés de six mois afin d'essayer de voir les effets de l'érosion en période hivernale.

Méthodologie d'acquisition

Numérisation 3D de la falaise du Cap du Rouet (Carry-le-Rouet)

Installation du matériel :

- scanner laser terrestre
- cibles
- points topographiques



Acquisition :

- scan laser 3D, acquisition en direct sur PC du maillage de points en 3D
- ortho photo haute résolution (précision cm)

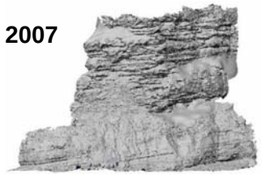
Géoréférencement :

- Installation d'un GPS
- Géoréférencement du site à partir d'un point topographique IGN

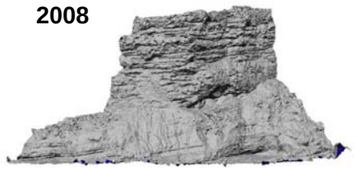
Méthodologie d'analyse

1/ Acquisition du scan laser par un maillage de points avec une précision au cm

2007

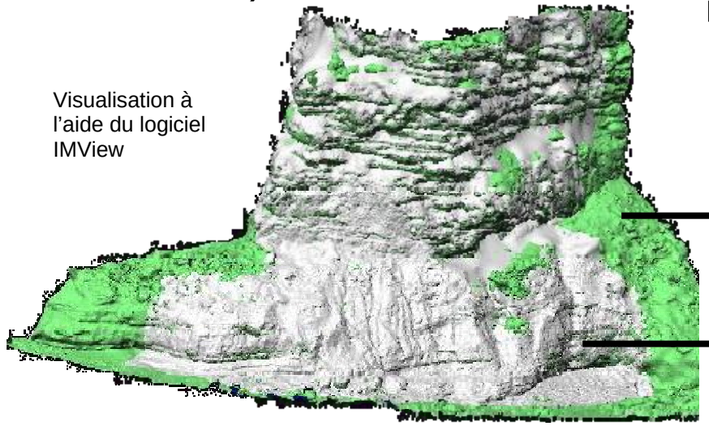


2008



2/ Superposition des deux scan laser (en gris le scan de 2007 et en vert les différences apparues avec le scan de 2008).

Visualisation à l'aide du logiciel IMView

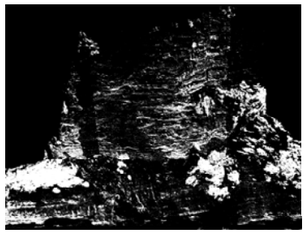


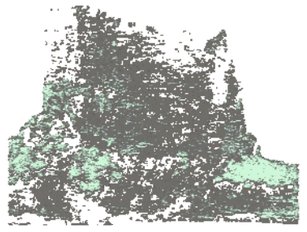
Différence de relief topographique entre les scans de 2007 et 2008

Scan de 2007

3/ Mise en évidence des zones de végétation à supprimer de l'analyse différentielle des mouvements de terrain

Analyse à l'aide du logiciel ENVI



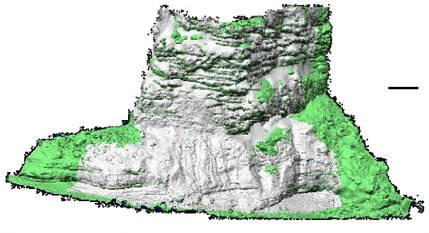


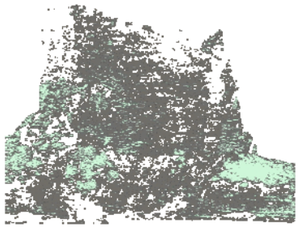
Végétation

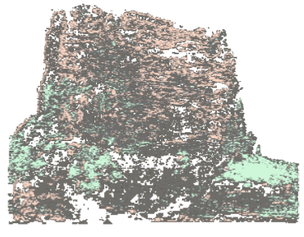
4/ Evaluation des zones ayant effectivement bougé de type instabilités de terrain

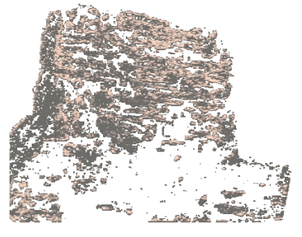
Végétation

Mouvements de terrain









Un travail d'analyse photographique sur ENVI a été réalisé en utilisant un rapport de bande V/R et V/B puis une classification pour :

- distinguer d'une part la végétation sur l'ortho photographie
- reporter la végétation sur la superposition des deux scans 2007 et 2008
- supprimer la végétation sur l'analyse des deux scans faisant apparaître les mouvements différentiels
- mettre en évidence les secteurs ayant effectivement bougés entre les deux prises de vue et qui peuvent s'apparenter à des mouvements de terrain de type instabilités de falaises.

Néanmoins, il est apparu difficile compte tenu de l'analyse et des résultats obtenus de calculer précisément la surface en mouvement sur la falaise (à la fois en érosion et en accrétion) et d'estimer précisément la vitesse d'érosion de cette falaise. Les erreurs dues à la prise photographique, à la morphologie de la falaise (zones d'ombre), à la présence de végétation, et au calage du scan laser ne sont pas exclues et nécessiteraient un lourd travail de réajustement pour pouvoir analyser quantitativement les résultats.

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Carry / 13021	Site de la commune de Carry-le-Rouet	A3_C11

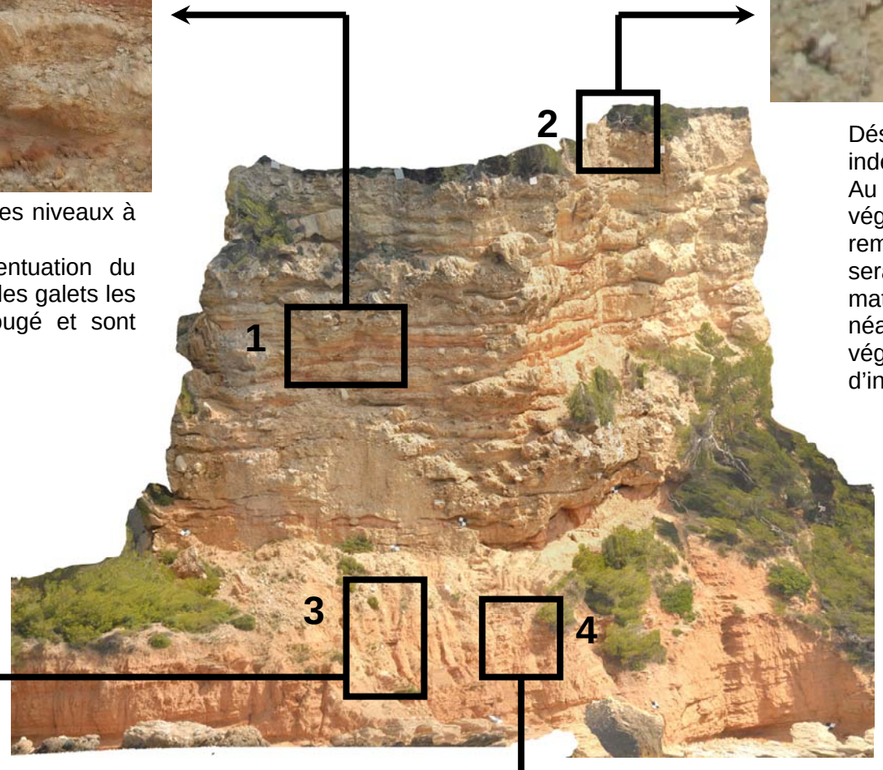
Site 4 : Pointe du Rouet (suite)

Evolution du site sur deux périodes :
- 1 : octobre 2007
- 2 : mai 2008

L'analyse des instabilités s'est portée à titre d'exemple sur 4 zones de la falaise particulièrement représentatives des types d'érosions rencontrées sur ce genre de morphologie et de faciès lithologique de la Côte Bleue dans les Bouches-du-Rhône, à savoir :
- 1 : érosion différentielle ;
- 2 : déstabilisation de galets issus d'un poudingue par altération de la matrice et fragilisation du faciès en superficie par les systèmes racinaires ;
- 3 : ravinement en pied de falaise et dépôts de formations meubles de type marnes ;
- 4 : ravinement et érosion sous forme de plaquettes de marnes indurées et dalles de grès.

Analyse des résultats

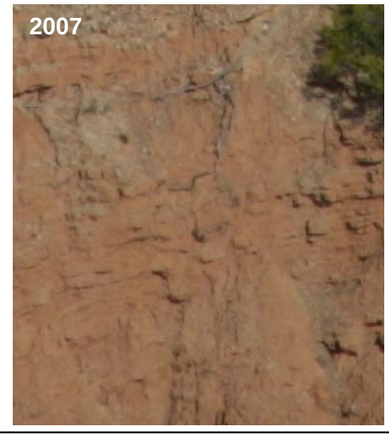
Erosion différentielle dans la brèche du Tertiaire indéterminé mettant en relief les niveaux à galets, et en retrait les niveaux de la matrice marno-gréseuse.
L'analyse entre octobre 2007 et mai 2008 montre une très légère accentuation du phénomène avec les niveaux en retrait légèrement plus marqués. En revanche les galets les plus gros (diamètre de l'ordre de 10 cm maximum) n'ont à priori pas bougé et sont particulièrement bien ancrés dans la matrice.



Déstabilisation de galets du poudingue de la brèche du Tertiaire indéterminé.
Au sommet de la falaise, au niveau duquel le système racinaire de la végétation joue un rôle dans l'instabilité de l'affleurement, on peut remarquer une différence au niveau des blocs. Certains blocs se seraient décrochés de la falaise par altération progressive de la matrice. Ces galets d'un volume maximum de l'ordre du dm^3, sont néanmoins très rarement déstabilisés. Mais la proximité de la végétation et des racines a certainement eu un effet sur cette forme d'instabilité.

Ravinement dans les conglomérats, grès et marnes de l'Oligocène Supérieur en partie inférieure de la falaise.
Ce niveau récupère tous les produits d'altération de la partie supérieure, ainsi que les eaux de ruissellement qui engendrent le phénomène de ravinement.
Les deux photos montrent assez précisemment le volume de matériaux déposés sur les replats des dalles gréseuses, ainsi que les quelques petits galets transportés lors du

Ravinement et érosion dans les conglomérats, grès et marnes de l'Oligocène Supérieur en partie inférieure de falaise.
En plus du ravinement décrit sur le site 3, on observe ici davantage le phénomène d'érosion en plaquettes de grès et le rôle des racines dans l'accélération du phénomène. On remarque également l'apport de matériaux issu de l'altération des niveaux supérieurs.



Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire

IVème Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation sur les risques naturels"

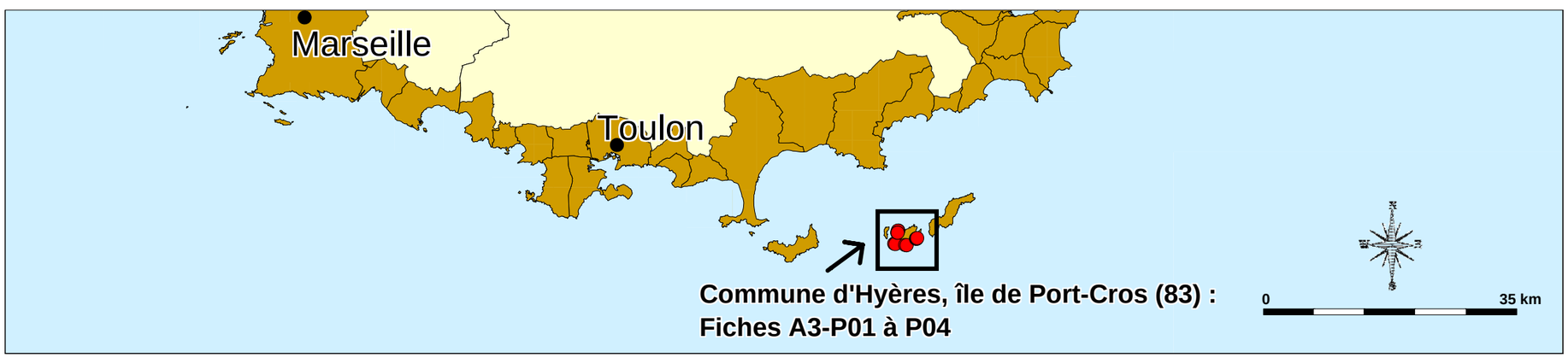
Planche hors-texte n°1

Propositions d'aménagements sur les sites sélectionnés du littoral de la région PACA

Commune d'Hyères (Var)

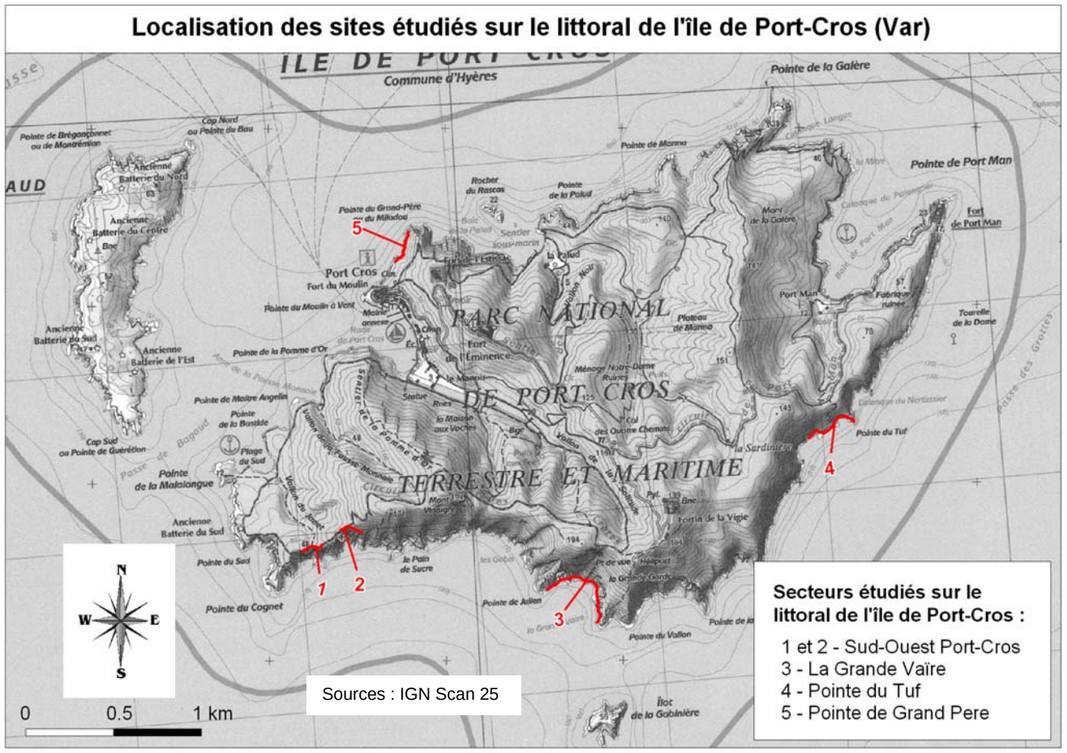
Ile de Port-Cros (Parc National de Port-Cros)

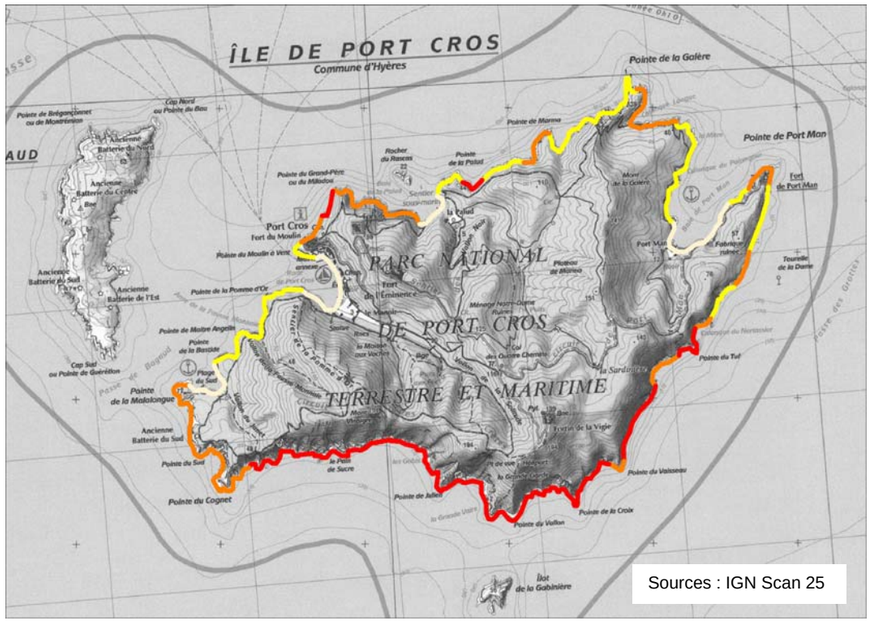
Fiches A3-P01 à P04



Commune / Code INSEE : Port-Cros / Hyères / 83069	Site de l'île de Port-Cros sur la commune d'Hyères	A3_P01

Rappel qualification de l'aléa et hiérarchisation du risque instabilités de falaises côtières (Rapports RP-52829/53951/54316-FR)





Rappel sur la qualification de l'aléa instabilité de falaises sur le littoral de l'île de Port-Cros (commune d'Hyères – Var) :

- Aléa nul à faible
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort

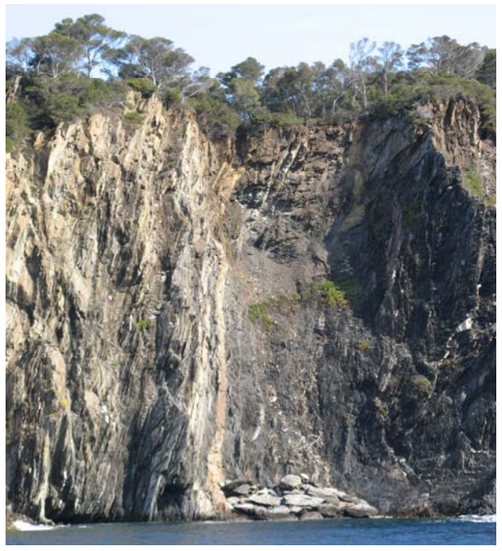
Le Parc national de Port-Cros, premier parc national marin en Europe, a été créé en décembre 1963. Il s'étend sur 700 ha de superficie terrestre, avec les îlots de Bagaud, du Rascas et de la Gabinière et 1300 ha en mer. Espace témoin, il rassemble un grand nombre des espèces terrestres et marines caractéristiques de la Méditerranée occidentale.

Le littoral rocheux de l'île de Port Cros est formé de falaises de roches cristallines métamorphiques. Il s'agit de la prolongation des faciès géologiques rencontrés sur le continent. La formation des îles étant liée à un basculement général le long de grands accidents Est-Ouest, les faciès évoluent d'ouest en est avec un degré de métamorphisme croissant, on passe ainsi des phyllades à l'ouest, aux micaschistes puis aux faciès gneissiques à l'est de l'île.
L'île de Port Cros compte de belles falaises sur la partie nord, mais d'une hauteur ne dépassant pas les 15 ou 20 m. Au sud en revanche, les falaises peuvent atteindre jusqu'à plus de 100 m de hauteur.
Concernant les instabilités, dans beaucoup de secteurs rocheux à falaises élevées on rencontre des éboulements en masse, limités ou non, des chutes de blocs et de pierres, on observe également des sous cavage dans les Tufs à l'est de l'île.

Contrairement aux fiches concernant les sites d'Eze-Bord-de-mer, de Carry-le-Rouet et d'Istres, le site de Port-Cros n'a pas fait l'objet de dimensionnement de parades ni d'aménagements proprement dits sur les sites particulièrement sensibles, compte tenu de l'impact esthétique que ces aménagements pourraient avoir dans le cadre du Parc National et de son attrait touristique très fort. En effet, le parc national s'attache, par une gestion attentive, à y conserver le patrimoine naturel, historique et paysager exceptionnel, tout en maintenant une ouverture raisonnée à l'accès du public.

Néanmoins, l'étude a permis de préciser les phénomènes d'érosion et de proposer des solutions alternatives en cas de forte érosion du littoral.

Sud-Ouest de l'île : sentier à proximité de la falaise



Pointe de Grand-père

Est de l'île : pointe du Tuf accessible par un sentier

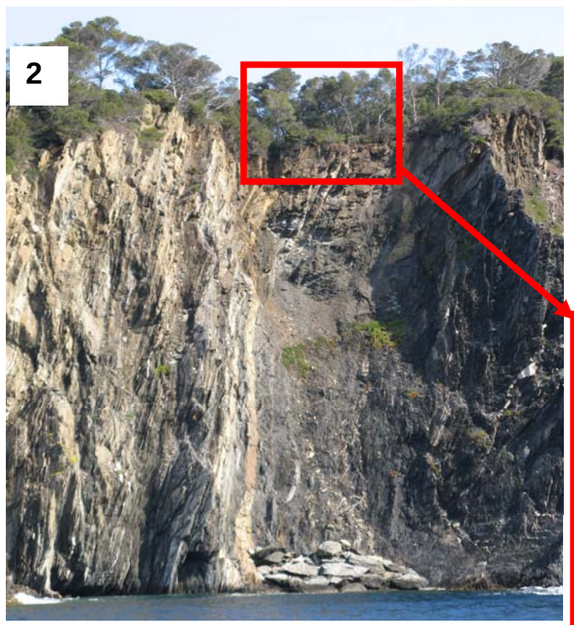
Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Port-Cros / Hyères / 83069	Site de l'île de Port-Cros sur la commune d'Hyères	A3_P02

Instabilités

Sites 1 et 2 : Sud-Ouest Port-Cros

Géologie / Lithologie : Phyllades des Sauvettes.

Description de la falaise : Phyllades très redressées, plissées, et rubanées. Production de blocs (dalles) qui basculent et se fracturent au sol. Fauchage quand les dalles sont peu épaisses.

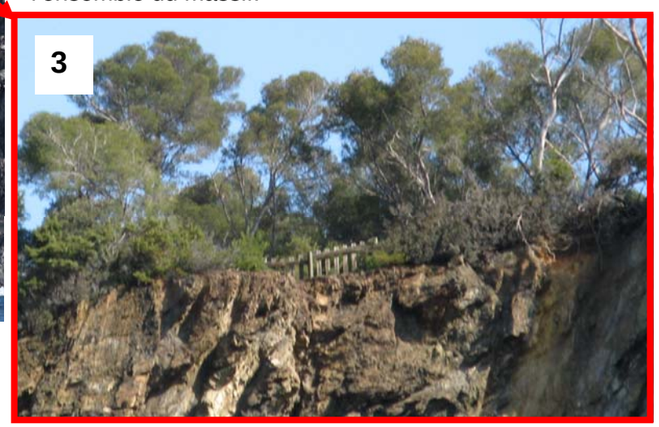


Vocation du site

Falaises du sud-ouest de l'île appartenant au Parc National de Port Cros et dont l'accès par la mer a été récemment réglementé suite aux résultats de l'étude BRGM sur l'aléa (RP-53951-FR). En revanche, le sentier de randonnée en amont passe très à proximité du bord de la falaise. Des barrières de sécurité ont été installées en bordure de sentier.

Illustrations : 1 et 2 – Balustrades en bordure de falaise de phyllades (et d'une zone bréchique altérée sur la photo 2) permettant aux promeneurs de s'approcher de la falaise ;
3 – Zoom de la photo 2.

Il paraît évident qu'aucun aménagement n'est envisageable sur ce littoral compte tenu du caractère sauvage qui veut être maintenu dans ce Parc National.
Néanmoins compte tenu des indices d'érosion marqués de ces falaises, il conviendrait de réaménager le sentier entre la Pointe du Cognet et le Pain de Sucre en particulier au niveau des deux balustrades pour le faire passer plus en retrait de la falaise afin d'éviter le passage de promeneurs à proximité de la falaise.
En effet, l'observation de la falaise a bien montré un mécanisme de rupture de dalles de phyllades qui peut provoquer des éboulements en masse limitée ou non et entraîner un recul de la crête de falaise de plusieurs mètres si jamais une grosse masse de phyllades se déstabilise. Le phénomène peut donc se produire avec une intensité forte mais une fréquence assez faible ou tout du moins assez espacée dans le temps, le temps de déstabiliser à nouveau l'ensemble du massif.



Instabilités

Site 3 : La Grande Vaïre

Géologie / Lithologie : Micaschistes détritiques à faciès de gneiss.

Description de la falaise : Zone très instable : hautes falaises de plus de 100 m de haut avec déstabilisation dans les talwegs, zones bréchiques parfois graphiteuses au passage de grands accidents. En hauteur, gros surplombs rocheux fracturés et instables. Nombreux blocs éboulés au pied des talwegs, et glissement banc sur banc sur structures aval pendage.

Vocation du site

Hautes falaises du sud de l'île appartenant au Parc National de Port Cros et dont l'accès par la mer a été récemment réglementé suite aux résultats de l'étude BRGM sur l'aléa (RP-53951-FR). En revanche, le sentier de randonnée en amont passe relativement loin du bord de falaise, mettant à l'écart les promeneurs du danger.

Photo ci-dessus : Falaises de la Grande Vaïre au sud de l'île de Port-Cros montrant des talwegs remplis de dalles de micaschistes qui ont basculés des crêtes.
Il paraît évident qu'aucun aménagement n'est envisageable sur ce littoral compte tenu du caractère sauvage qui veut être maintenu dans ce Parc National. Le Parc National s'attachant, par une gestion attentive, à y conserver le patrimoine naturel, historique et paysager exceptionnel, il maintient une ouverture raisonnée à l'accès du public Par conséquent, il convient, pour les gestionnaires du Parc, de veiller à ce que les sentiers ne soient pas aménagés trop près des falaises, mais plutôt en arrière en privilégiant des points de vue en retrait dans des zones plus stabilisées.
Concernant le pied de falaise, l'arrêté pris par le Parc National pour empêcher l'accès aux falaises par la mer suffit à empêcher toute circulation de promeneurs dans ces zones dangereuses.

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Port-Cros / Hyères / 83069	Site de l'île de Port-Cros sur la commune d'Hyères	A3_P03

Instabilités

Site 4 : Pointe du Tuf

Géologie / Lithologie : Affleurement de tuf et de colluvions au milieu du gneiss migmatitique de Bormes.

Description de la falaise : Affleurement de tufs jaunâtres largement sous cavés au niveau de la mer ; érosion différentielle marquée par des niveaux plus indurés ; ravinement en pied de falaise ; chutes de blocs déstabilisés par le sous cavage.

Vocation du site

Pointe accessible à pied par un sentier depuis le sentier principal en amont, et par conséquent très fréquenté. Les randonneurs n'hésitent pas à sortir du chemin et s'approcher du secteur instable, d'où un risque élevé sur ce secteur.

Schémas / Photos

Illustrations : 1 – Pointe du Tuf vue du sud avec sous-cavage important ; 2 – Vue du nord avec ravinement dans la partie meuble formée par les colluvions.

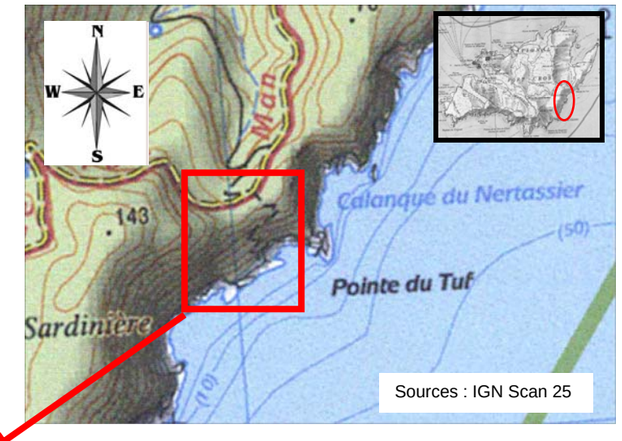
Propositions :

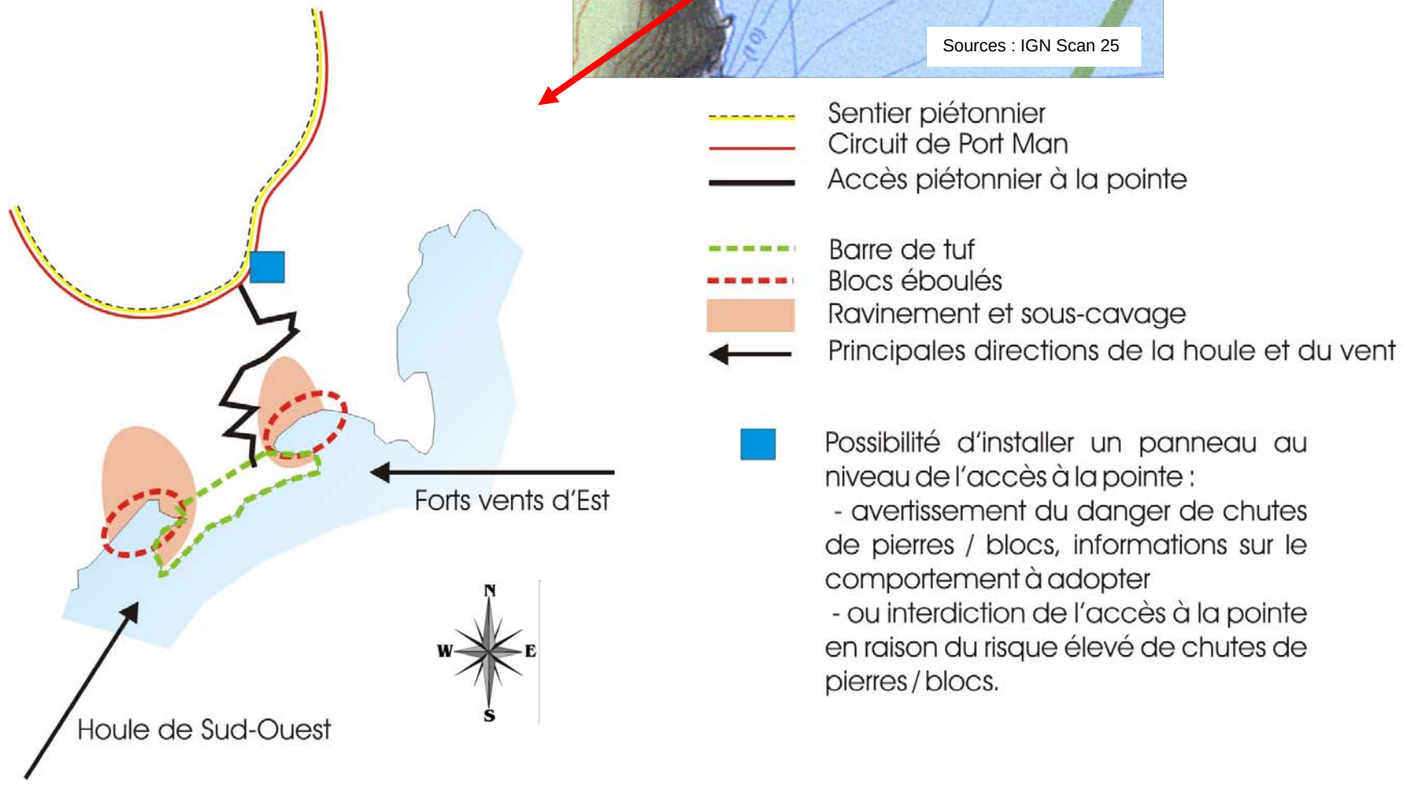
Au même titre que les autres sites mis en évidence à Port-Cros, la Pointe du Tuf ne nécessite pas forcément d'aménagements de type parades contre les chutes de blocs ou éboulements.

Ce qu'il convient de mettre en évidence, c'est l'augmentation du risque sur ce secteur du fait de l'accès des promeneurs directement sur les zones d'aléa élevé. En effet, ce secteur subit une très forte érosion décrite ci-dessous :

- le pied de la Pointe du Tuf est largement sous-cavé, les dépôts colluvionnaires latéraux ont été balayés par la mer, et le tuf a été érodé de façon intensive provoquant également la chute de blocs volumineux (de l'ordre du m^3) ;
- les talwegs latéraux sont eux ravinés à chaque intempérie, dégageant la zone de sous-cavage et entraînant des éléments solides issus des colluvions ;
- de part et d'autre de la pointe, on retrouve les gneiss migmatitiques de Bormes fortement pentés et parcourus de grands accidents bréchiques produisant également des blocs ;
- enfin, la végétation constituée principalement de pins est affectée par les sécheresses successives dans la région, et de nombreux arbres morts jalonnent le secteur, on notera un système racinaire très développé qui accentue la fracturation des roches.

Accès piétonniers et facteurs de risques à la Pointe du Tuf (Est de l'île de Port-Cros)





Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Port-Cros / Hyères / 83069	Site de l'île de Port-Cros sur la commune d'Hyères	A3_P04

Instabilités

Site 5 : Pointe de Grand-père

Géologie / Lithologie : Phyllades des Sauvettes.
Description de la falaise : Masses d'apparence meubles dans les phyllades argileuses, issues en fait d'un fauchage des phyllades qui bascule les dalles à l'horizontale avant de s'altérer en matériaux meubles. En pied de falaise, les phyllades saines conservent une structure verticale. Le phénomène de fauchage pénètre dans le massif sur 4 à 5 m de profondeur.

Vocation du site

Falaise naturelle faisant partie du Parc National de Port-Cros dans laquelle nichent de nombreuses colonies de puffins endémiques et par conséquent empruntée très régulièrement par des scientifiques qui viennent observer les oiseaux. Pas d'accès pour les promeneurs sur ce secteur.

Schémas / Photos

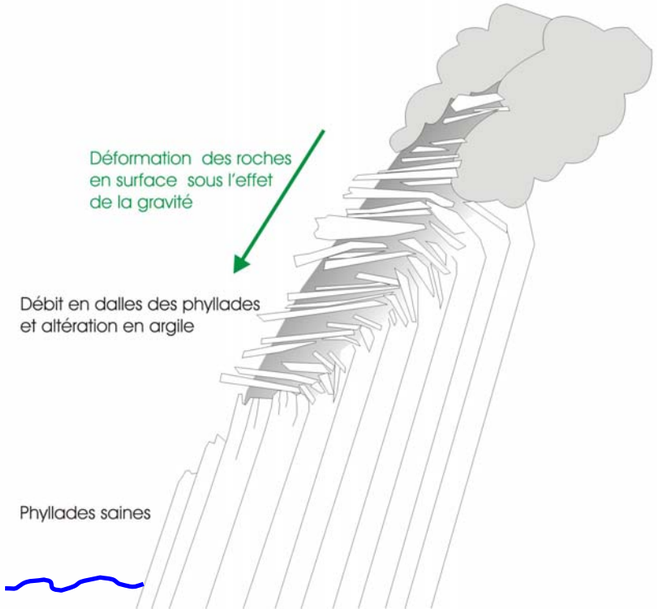
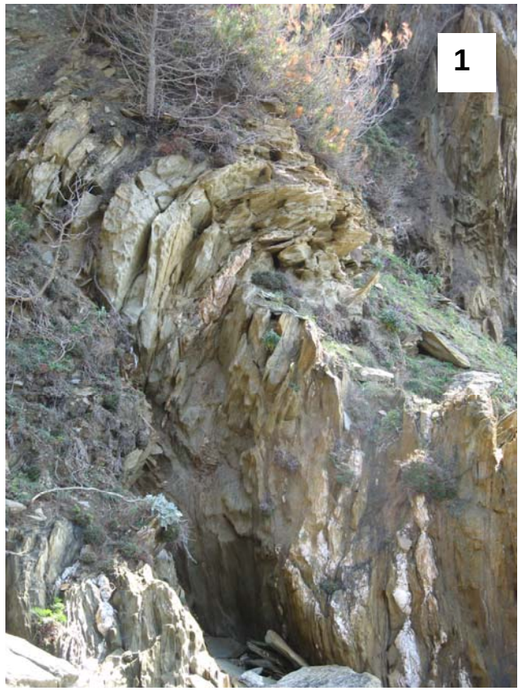
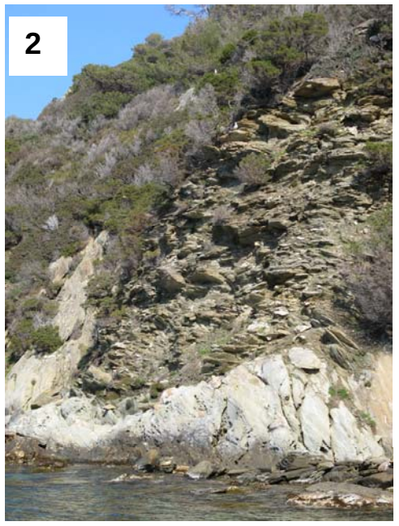


Schéma illustrant le phénomène de fauchage dans les phyllades de la Pointe Grand-père à Port-Cros





Illustrations :

1 – Phénomène de fauchage vu de profil ;

2 – Résultat du fauchage sur le talus ;

3 – Vue d'ensemble de la falaise.

Propositions :

Ce phénomène très particulier de fauchage en partie supérieure de falaise comme ici dans les Phyllades des Sauvettes est difficilement maîtrisable, dans un contexte tel que celui du Parc National de Port-Cros.
En effet, ce secteur néanmoins inaccessible au Public est en revanche parcouru régulièrement par des scientifiques qui viennent étudier et observer des colonies de Puffins de Méditerranée qui nichent justement dans les Phyllades altérées.

Le processus de fauchage reste cependant néanmoins superficiel et il déstabilise les niveaux de phyllades superficiels, qui basculent ensuite par gravité.
Néanmoins, à terme, le fauchage peut entraîner des phénomènes de glissements de terrain et/ou d'éboulements localisés.
La falaise du Grand-père montre un état avancé du phénomène de fauchage qui depuis la mer peut très facilement être considéré comme un ancien glissement de terrain meuble et réactivable. C'est pourquoi il est préférable de maintenir l'inaccessibilité de ce site au public, et de rester vigilant pour ce qui est de la fréquentation du site par les scientifiques, en privilégiant l'accès par bateau pour ne pas déstabiliser davantage les blocs sur la pente. Les périodes suivant des intempéries conséquentes sont bien évidemment à éviter compte tenu de la possible remobilisation des niveaux meubles en coulées de boue ou en ravinements.

Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire

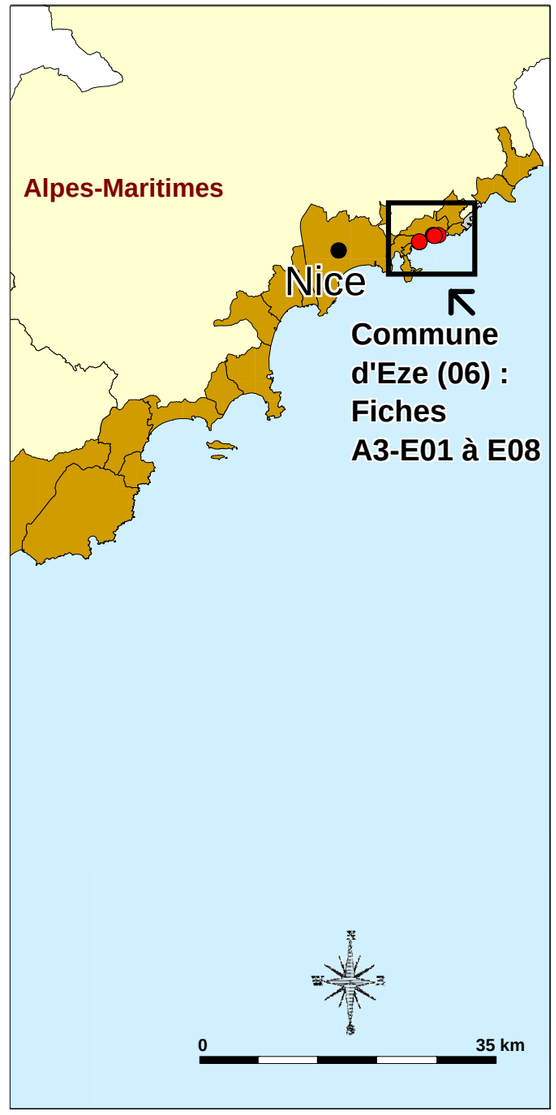
IVème Contrat de Plan Etat Région
"Risques naturels et nuisances -
Action : Données, information, évaluation sur les risques naturels"

Commune d'Eze-Bord-de-mer (Alpes-Maritimes)

Fiches A3-E01 à E08

Planche hors-texte n°1

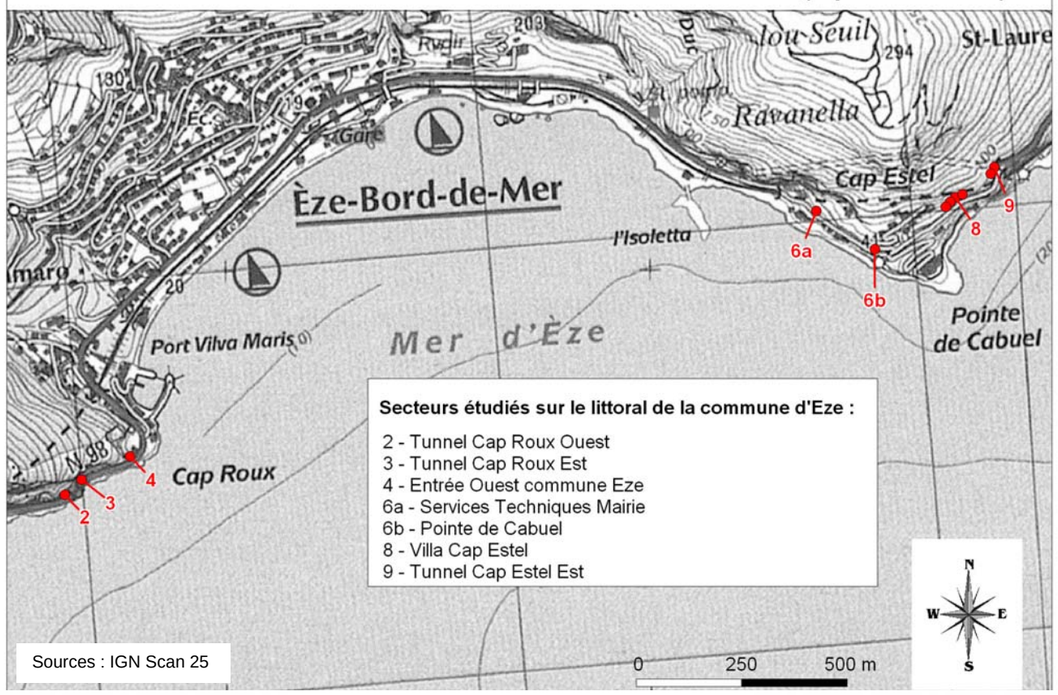
Propositions d'aménagements sur les sites sélectionnés du littoral de la région PACA



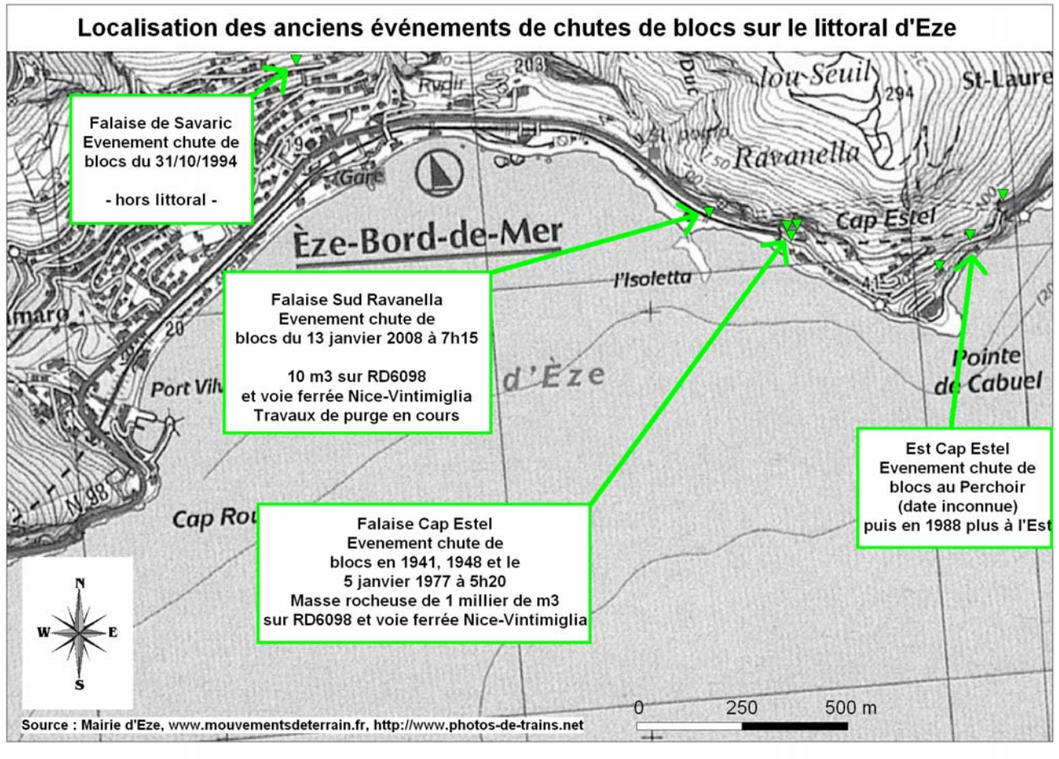
Commune / Code INSEE : Eze-bord-de-Mer / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E01

Rappel qualification de l'aléa et hiérarchisation du risque instabilités de falaises côtières (Rapports RP-52829/53951/54316-FR)

Localisation des sites étudiés sur le littoral de la commune d'Eze (Alpes-Maritimes)



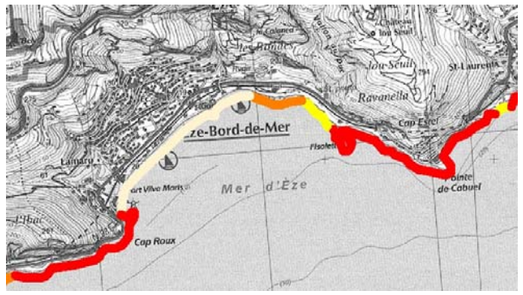
Localisation des anciens événements de chutes de blocs sur le littoral d'Eze



Source : Mairie d'Eze, www.mouvementsdeterrain.fr, http://www.photos-de-trains.net

Sources : IGN Scan 25

Le littoral de la commune d'Eze-Bord-de-mer dans les Alpes-Maritimes fait partie de la "*Corniche de la Riviera*", qui s'étend de Villefranche-sur-Mer au Cap d'Ail.
Sur ce secteur, les falaises sont de nature sédimentaire. Ce sont les calcaires du Jurassique inférieur et moyen qui constituent la majorité des falaises côtières, à des altitudes variant entre 100 et 200 mètres. Cette portion du littoral est également caractérisée par la juxtaposition sur une frange littorale très étroite de zones urbanisées, de voies de communications (routes, voies ferrées), de plages, et de zones naturelles (falaises côtières). Les instabilités très importantes sur ces falaises calcaires ont été en partie traitées et les zones exposées protégées, mais certains sites restent néanmoins à risque.
Sur l'ensemble du linéaire à falaise appartenant à la commune d'Eze, nous avons identifié dans le cadre de cette troisième année d'étude, 7 secteurs à risques sur lesquels nous avons suggéré des aménagements adaptés.



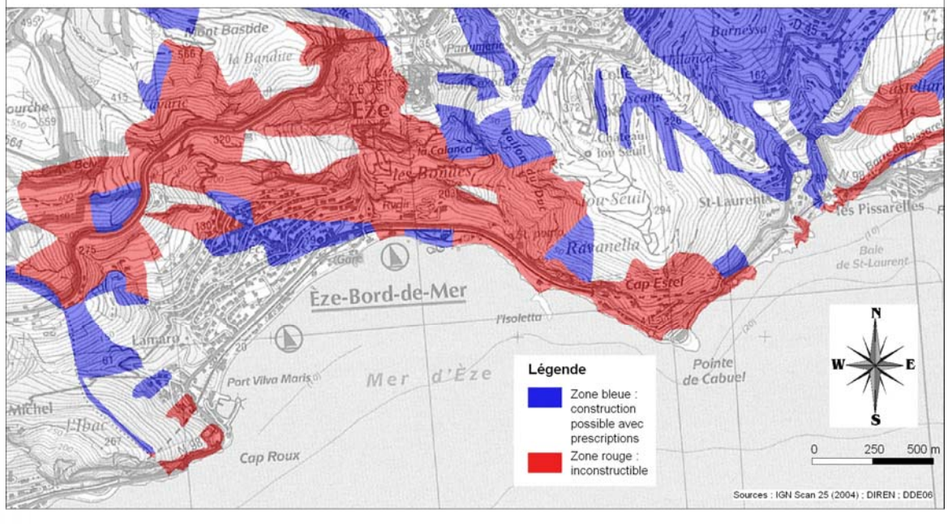
Rappel sur la qualification de l'aléa instabilité de falaises sur Eze-bord-de-Mer :

- Aléa nul à faible
- Aléa faible
- Aléa moyen
- Aléa fort

Entrée Ouest du tunnel du Cap Roux

Sortie Est tunnel ferroviaire du Cap Estel

Zonage PPR de l'aléa mouvements de terrain sur la commune d'Eze



Parc des Services Techniques de la mairie Falaise Cap Estel

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E02

Instabilités

Site 2 : Tunnel Cap Roux Ouest

Géologie / Lithologie : Calcaire massif du Jurassique supérieur, en bancs épais (pluri décimétriques).
Description de la falaise : Existence de surplombs, blocs en crête, écailles pluri métriques. Plusieurs écailles ont déjà subit un traitement (emmaillotage par filet ou câbles et ancrages). Un gros bloc se désolidarise de la falaise au-dessus d'une écaille ancrée. On note des traces de circulations d'eau importantes.

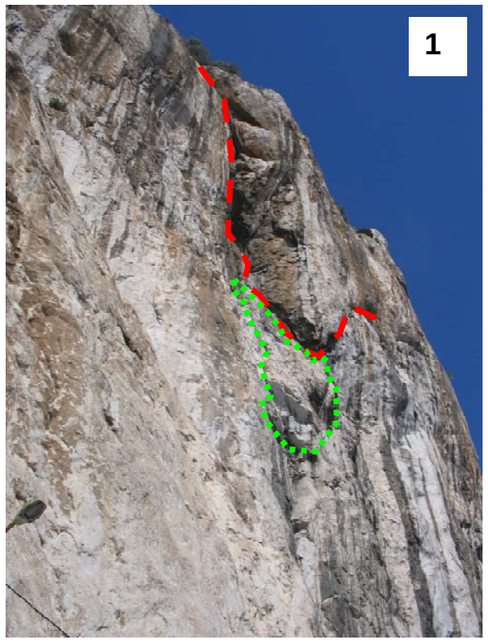
Vocation du site

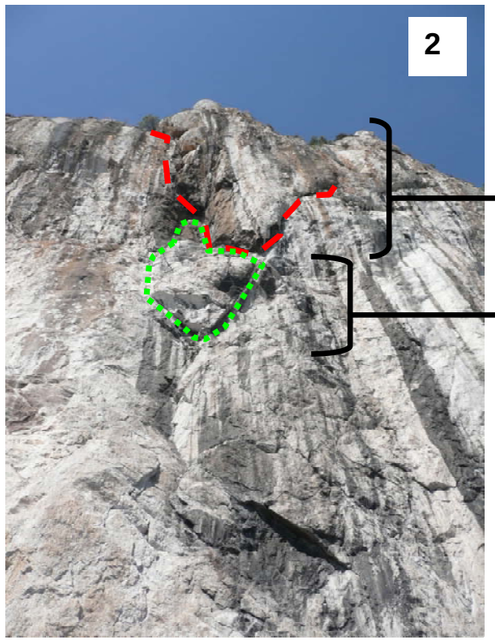
Voie routière départementale D6098, Route de la Basse Corniche. Trafic important, portion de route souvent embouteillée, surtout en période estivale.

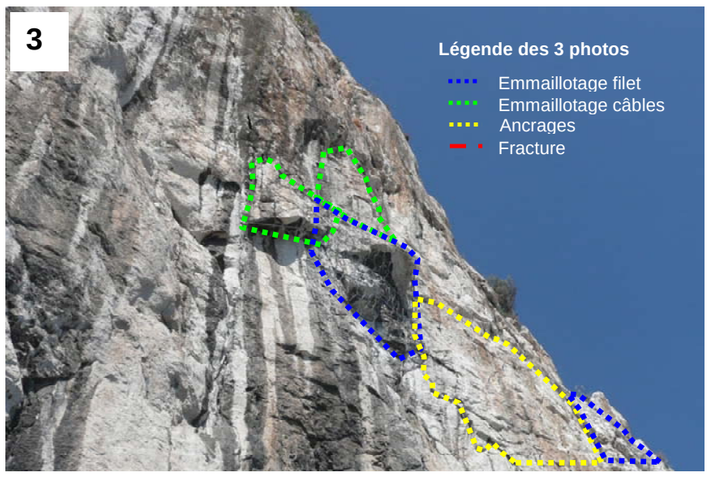
Parades - aménagements

Propositions :

- Emmaillotage du gros bloc se séparant de la paroi ;
- Filets câblés ;
- Boulons d'ancrage.

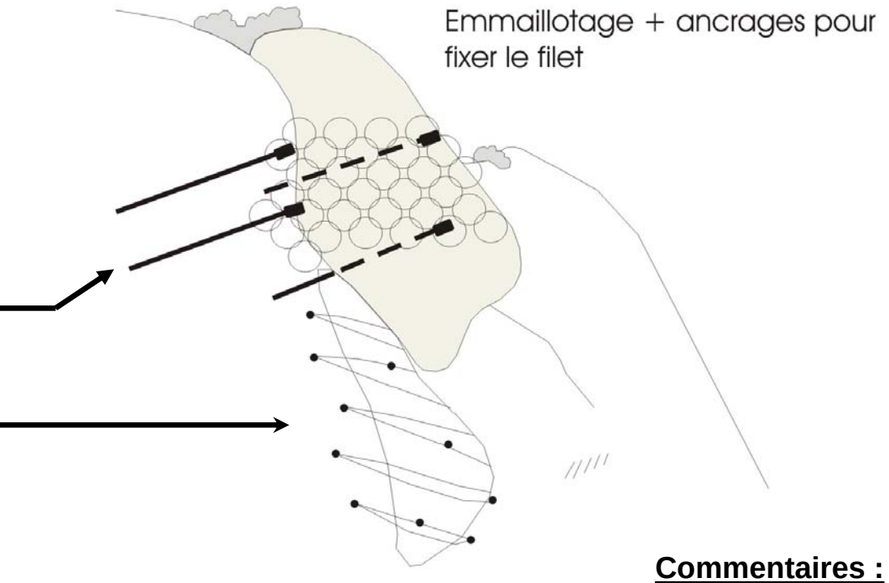






Illustrations : 1 - Ecaille câblée au-dessous d'un bloc se séparant de la paroi ; 2 - Mêmes blocs vus de dessous avec zones à protéger ; 3 - Parades déjà réalisées sur le site

Schémas / Photos



Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et reprise du matériel)

Emmaillotage	2 000 €
Filet	6 000 €
Boulons	2 000 €
Total	**10 000 €**

Commentaires :

Cette solution proposée doit permettre sur cet affleurement directement au dessus de la route de maintenir en place les zones instables, sans avoir recours à une purge qui serait délicate, et qui entraînerait de gros dégâts sur la chaussée compte tenu du volume mis en jeux. Des purges très localisées de volumes de pierres ou blocs restreints (inférieurs au m^3) sont néanmoins envisageables si besoin.

Surface à emmailloter estimée à 12 m²
Surface à protéger par des filets câblés estimée à 20 m²

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ;
http://www.francemaccaferri.com/

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E03

Instabilités

Site 3 : Tunnel du Cap Roux Est

Géologie / Lithologie : Calcaire du Jurassique supérieur, en bancs épais (pluri décimétriques), un peu moins compact que les précédents.
Description de la falaise : Existence de blocs en crête, et d'écailles sur la paroi. Plusieurs ont déjà subit un traitement (emmaillotage par filet ou câbles et ancrages). Un grillage a été mis en place sur la paroi, ainsi qu'un écran au-dessus du grillage. Il existe néanmoins une zone de blocs qui n'a fait l'objet d'aucune parade.

Vocation du site

Voie routière départementale D6098, Route de la Basse Corniche. Trafic important, portion de route souvent embouteillée, surtout en période estivale.

Parades - aménagements

Propositions :

- Grillage plaqué étendu vers l'Est jusqu'à la zone de blocs.

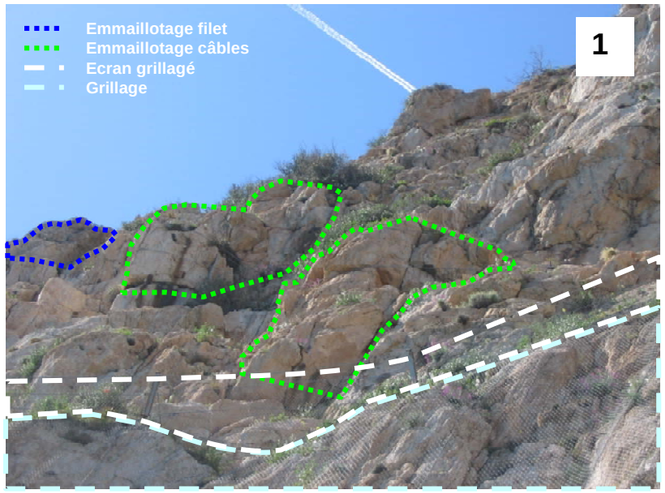
Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

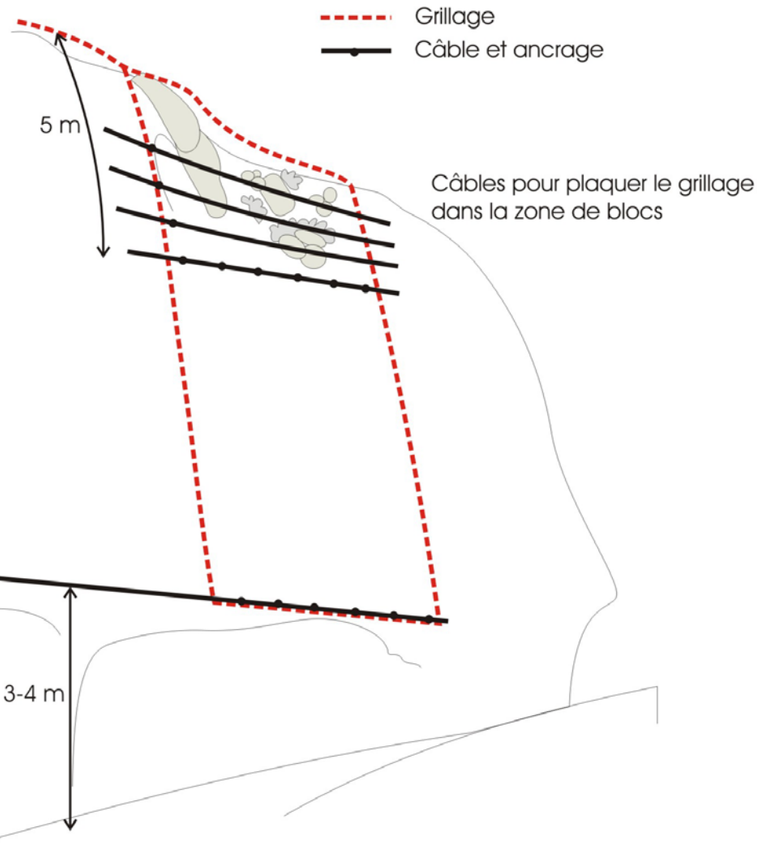
(hors amené et reprise du matériel)

Grillage	6 500 €
Câbles	4 500 €
Total	**11 000 €**

Schémas / Photos



1 - Parades déjà mises en place au-dessus du tunnel ;



Illustrations : 2 - Vue d'ensemble de la zone vers le tunnel - Encadré rouge : localisation de la photo 1 ; 3 - Vue de l'autre côté, zone de blocs instables.

Commentaires :

L'objectif ici est d'étendre la surface de grillage plaqué déjà en place au dessus du tunnel, vers l'Est, c'est à dire vers la zone où subsistent encore des blocs instables.

L'option du grillage plaqué a été préférée ici au grillage suspendu du fait de la présence de la route directement en pied de falaise, et notamment de l'existence d'un surplomb à 4 mètres de hauteur qui entraînerait les blocs directement en milieux de chaussée.

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www.francemaccaferri.com/

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E04

Instabilités

Site 4 : Entrée Ouest commune Eze

Géologie / Lithologie : Calcaire compact du Jurassique supérieur, en bancs épais.

Description de la falaise : Paroi plutôt saine, pas de saillies ou de fracturation dense. Présence néanmoins de petites pierres individualisées sur la falaise. Léger surplomb au-dessus de la route.

Illustration 1 - Encadré rouge localise la photo 2 ci-dessous ;

Vocation du site

Voie routière départementale D6098, Route de la Basse Corniche. Trafic important, portion de route souvent embouteillée, surtout en période estivale.

Parades - aménagements

Propositions :

- Purge des pierres désolidarisées : cette parade consiste à supprimer des pierres instables pour réduire leur risque de chute. Cela n'affecte pas la stabilité de la falaise. Ces éléments sont enlevés manuellement, en s'appuyant sur les plans de rupture entre pierre et paroi.

Le périmètre de la zone à purger doit être protégé de toute chute de pierres au cours de l'intervention (arrêt de la circulation sur tout ou partie de la voie routière).

La purge est une solution à court terme, il convient de répéter l'opération aussi souvent que le besoin se fait ressentir. Le processus d'érosion et de fracturation de la falaise n'est en effet ni contrôlé ni supprimé, de nouveaux éléments instables peuvent réapparaître au cours du temps. Un contrôle régulier de l'évolution de la paroi permet de repérer l'apparition de ces éléments.

Schémas / Photos

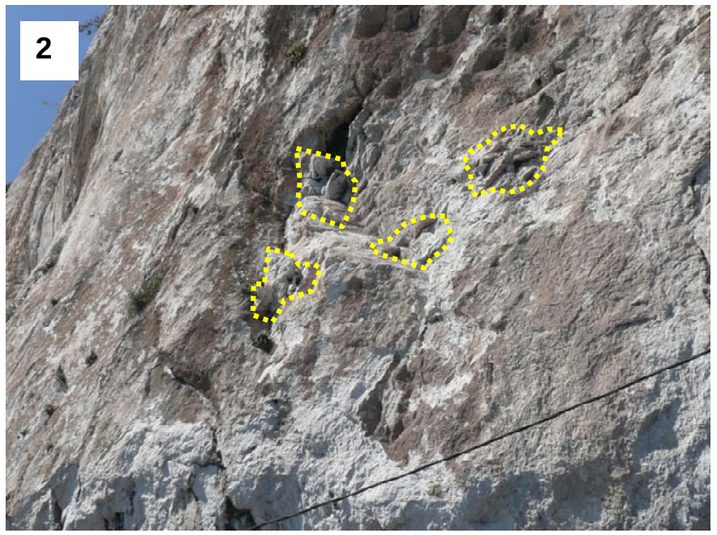


Illustration 2 - Détail sur de petites pierres désolidarisées de la paroi (pointillés jaunes).

Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et reprise du matériel)

Purges sur cordes : 2 000 à 3 500 €

Total **2 à 3 500 €**

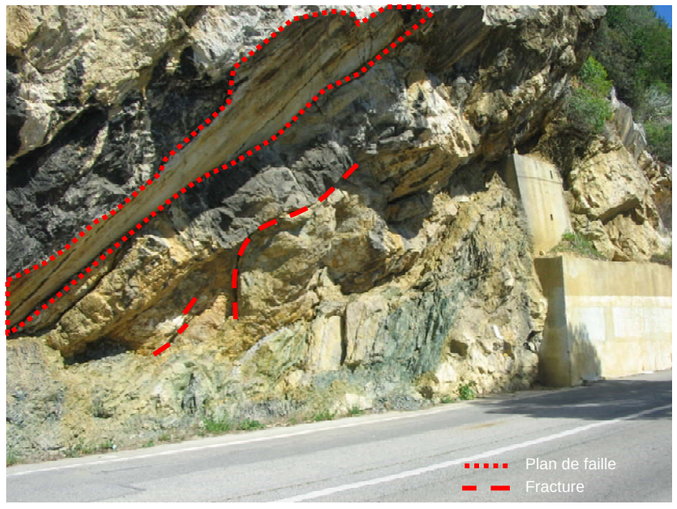
Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www.francemaccaferri.com/

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E05

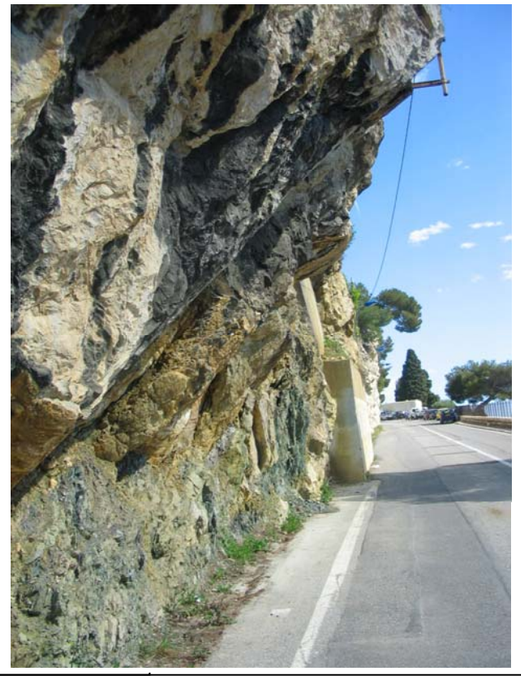
Instabilités

Site 6a : Services Techniques Mairie

Géologie / Lithologie : Faille (pendage Nord) correspondant à une zone de brèches mettant en contact calcaire du Jurassique supérieur et marnes vertes du Crétacé inférieur.
Description de la falaise : Calcaire très fracturé et altéré. Le plan de faille détermine un surplomb de plusieurs mètres au dessus de la route, des blocs de calcaire bréchifiés sont fracturés. Un contrefort a été édifié à droite de la zone.



Vues de ¾ et de profil de la zone en surplomb



Vocation du site

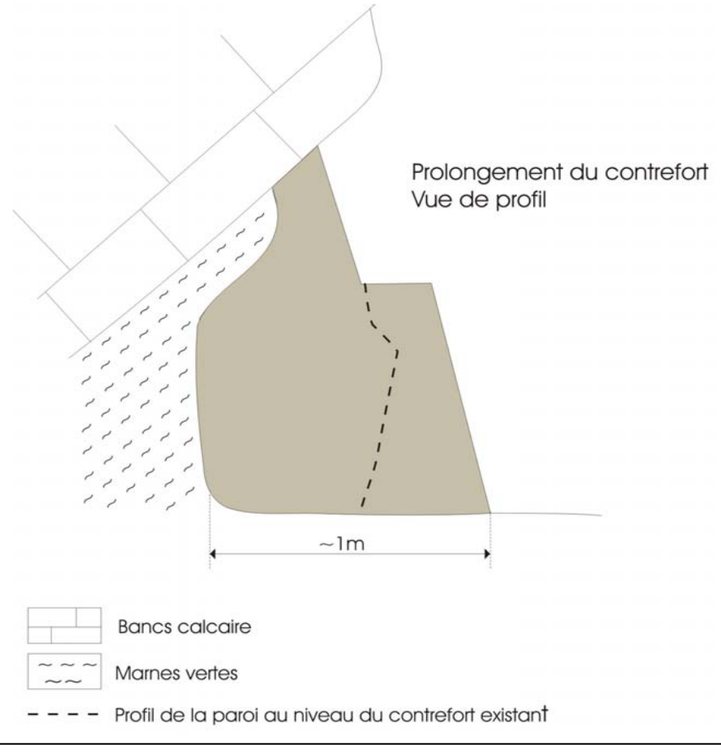
Voie routière communale (avenue Raymond Poincaré). Peu de trafic (les véhicules passant davantage dans le Tunnel du Cap Estel), mais présence d'habitation en aval de la falaise, de l'autre côté de la voie et par conséquent passage de piétons et quelques voitures.

Parades - aménagements

Propositions :

- Extension du contrefort existant sous la zone en surplomb vers l'ouest

Schémas des aménagements proposés : profil et 3/4



Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et reprise du matériel)

Pour 10 ml : 25 000 €

Total **25 000 €**

Commentaires :

L'aménagement proposé consisterait à prolonger vers l'Ouest le contrefort déjà existant, sur 10 mètres linéaires, et sur 1 mètre de largeur en empiétant légèrement sur la chaussée.

Cette technique va nous permettre de soutenir la masse calcaire en surplomb qui est particulièrement bien individualisée par la présence d'une faille et d'un pendage contraire à la pente. Compte tenu de la forte pente, le contrefort sera composé de deux parties, l'une en pied de falaise et l'autre dans la deuxième moitié supérieure.

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E06

Instabilités

Site 6b : Pointe de Cabuel

Géologie / Lithologie : Alternance de bancs calcaires et de petits bancs marneux du Jurassique. Les plans de stratification présentent un pendage amont.

Description de la falaise : Calcaire très fracturé et altéré. La terrasse d'une maison est située sur un bloc en surplomb. Une fissure parcourt les murs de la maison. La végétation est très développée.

Vocation du site

Voie routière communale (avenue Raymond Poincaré). Peu de trafic (les véhicules passant davantage dans le Tunnel du Cap Estel), mais présence d'habitation en aval de la falaise, de l'autre côté de la voie et par conséquent passage de piétons et de quelques voitures.

Parades - aménagements

Propositions :

- Débroussaillage de la végétation ;
- Ancrages.

Schémas / Photos

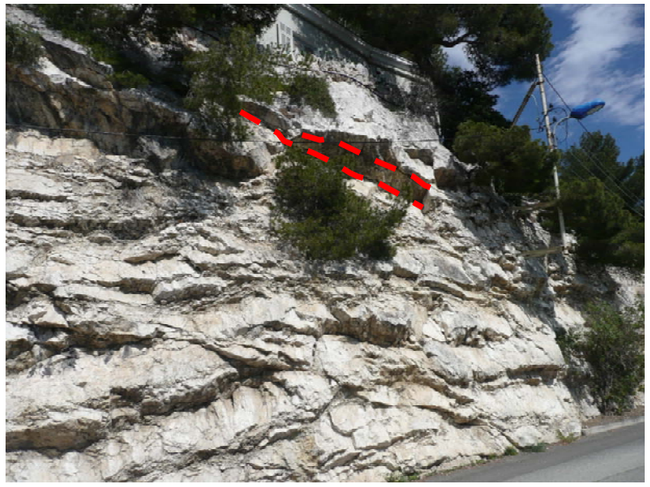
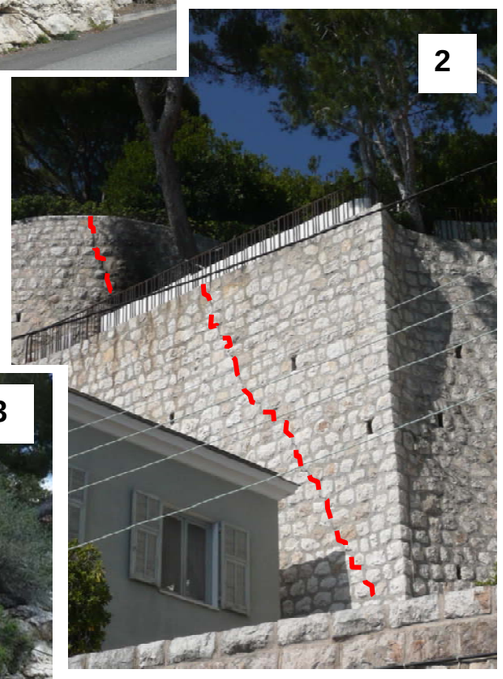


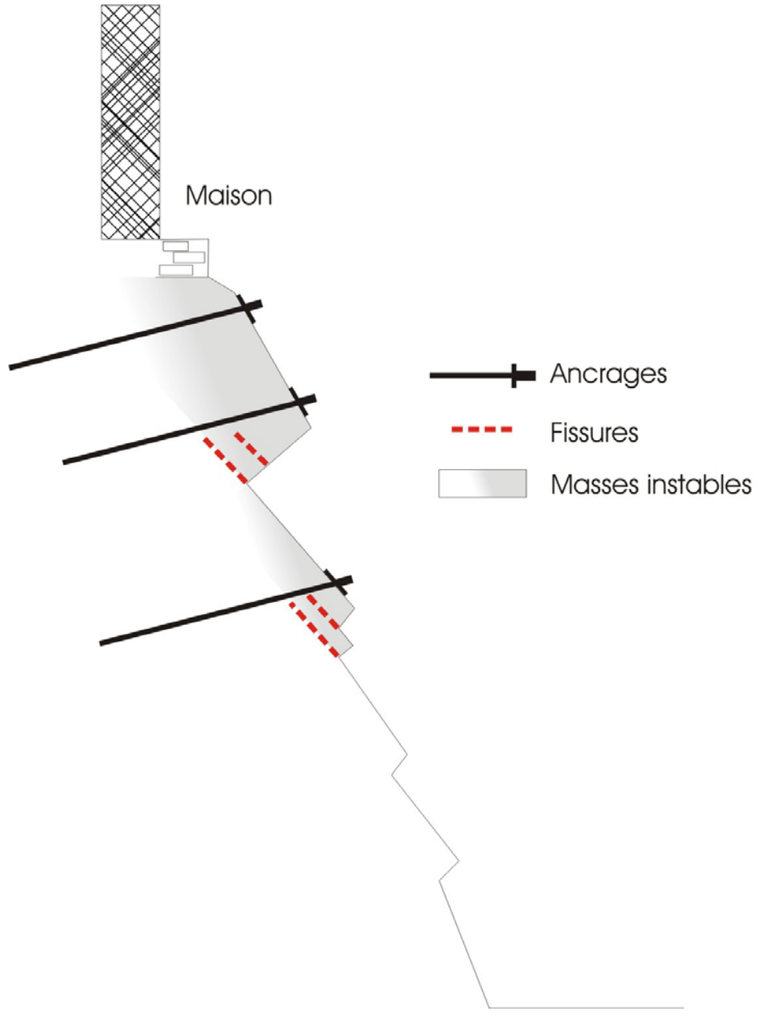
Illustration 1 - Bloc en surplomb sous la maison, fracturation du bloc (pointillés rouges) ;



Illustrations :

2 - Fissure affectant les murs de l'habitation (pointillés rouges) ;

3 - Développement important de la végétation et du système racinaire au niveau des fractures.



Stabilisation de la paroi rocheuse au moyen d'ancrages

Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et reprise du matériel)

Quinzaine de boulons 6 000 €

Total **6 000 €**

Commentaires :

Des masses calcaires en surplomb ont été mises en évidence sur ce site, notamment par la présence de fissures bien marquées, et de végétation et racines au même niveau.
Par ailleurs, un mur maçonné montre également une longue fissure sur la totalité de sa hauteur.

Une série de boulons d'ancrages (environ une quinzaine) sur chacune des écailles en surplomb et suffisamment profonds pour atteindre la zone de calcaire sain, permettrait de stabiliser la falaise et de ralentir le processus d'évolution de ces fractures.

En parallèle, un débroussaillage actif des plantes et racines présents sur l'affleurement serait également indispensable à la bonne stabilité de la falaise.

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www.francemaccaferri.com/

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E07

Instabilités

Site 8 : Villa Cap Estel

Géologie / Lithologie : Calcaire d'âge Jurassique supérieur en petits bancs à pendage amont.

Description de la falaise : Calcaire très altéré, notamment en haut de falaise, et très fracturé. La falaise est verticale sur les 10 premiers mètres, puis le haut de falaise présente une pente d'une quarantaine de degrés.

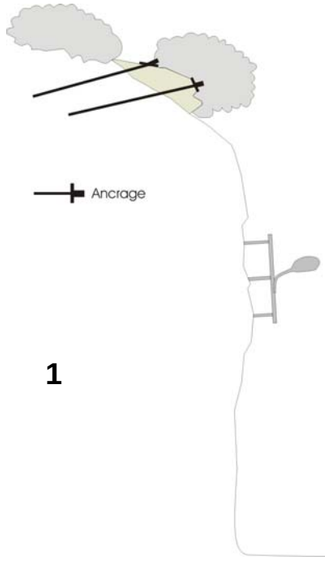
Vocation du site

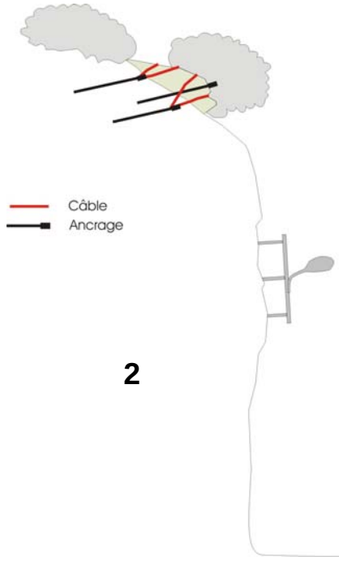
Voie routière communale (avenue Raymond Poincaré). Peu de trafic (véhicules passant dans le Tunnel du Cap Estel), mais présence d'un hôtel en aval de la falaise, de l'autre côté de la voie, donc passage de piétons et de quelques voitures.

Parades - aménagements

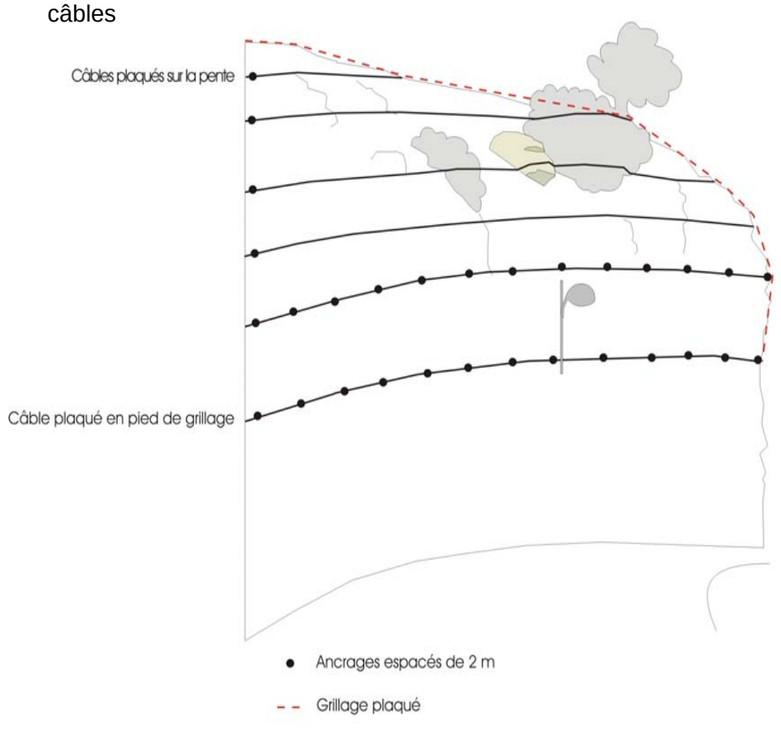
Propositions :

- Purges de quelques blocs en surplomb ;
- Débroussaillage ;
- Ancrages ;
- Emmaillotages ;
- Grillage.

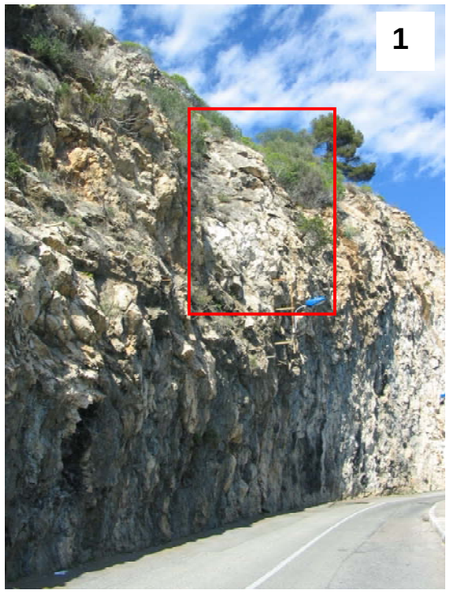




1 - Stabilisation à l'aide d'ancrages seuls ; 2 - Stabilisation à l'aide de câbles



Schémas / Photos



Illustrations : 1 - Vue d'ensemble de la falaise (Encadré rouge localise la photo 2) ; 2 - Bloc en surplomb au-dessus d'un lampadaire (fracture en pointillés rouges) ; 3 - Vue du haut de la falaise.

Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et reprise du matériel)

Purges	2 000 €
Filet câble	5 000 €
Grillage	7 500 €
Ancrages et câbles	12 000 €
Autres frais	3 500 €
Total	**30 000 €**

Commentaires :

Ce secteur montre un calcaire particulièrement fracturé, découpant des blocs avec des volumes de l'ordre du dm^3 et exposant la route juste en dessous à des chutes de blocs assez fréquentes.

Il conviendra dans un premier temps de purger les quelques blocs instables et en surplomb sur la falaise, ainsi que de débroussailler toute la végétation nuisible à ce niveau.

Nous proposons dans un deuxième temps d'installer un grillage en tête de falaise (sur environ 300 m² de surface), là où les éléments instables sont trop nombreux pour procéder à une purge. Ce dispositif permettra de contrôler le trajet des blocs et des pierres dans leur chute.

Pour certaines masses rocheuses en surplomb et déjà très fracturées, et pour lesquelles une purge ne paraît pas réalisable, il peut être proposé un emmaillotage par câble ciblé sur ces zones particulièrement sensibles.

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www.francemaccaferri.com/

Aménagements / Parades	Commune / Code INSEE : Eze / 06059	Site de la commune d'Eze-Bord-de-mer	A3_E08

Instabilités

Site 9 : Tunnel Cap Estel Est

Géologie / Lithologie : Calcaire d'âge Jurassique supérieur.
Description de la falaise : Calcaire très altéré et fracturation très dense. Nombreux blocs et écailles désolidarisées, dont certains ont été traités (emmaillotage et ancrages). Poche de cryoclastie au niveau du virage au Sud. La végétation est très développée sur la paroi.

Vocation du site

Voie routière communale (avenue Raymond Poincaré) et sortie du tunnel du Cap Estel. Trafic principalement situé au niveau du tunnel.

Parades - aménagements

Propositions :

- Débroussaillage ;
- Grillage.

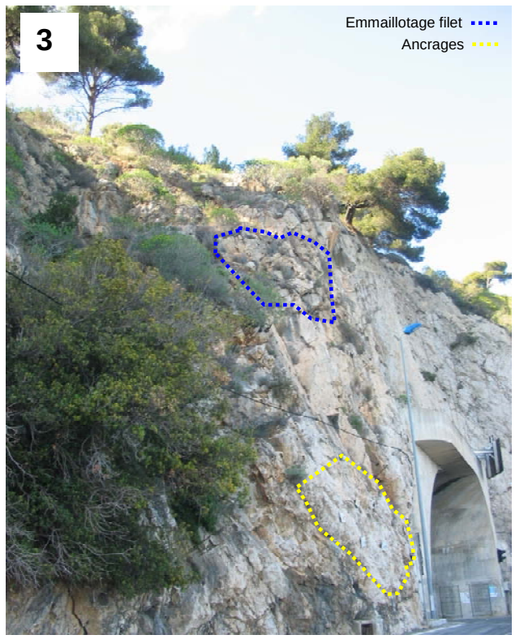
Coûts

Estimation du coût de l'ouvrage :

(hors amené et reprise du matériel)

Grillage	3 500 €
Câbles transverses	1 000 €
Boulons	5 500 €
Total	**10 000 €**

Schémas / Photos



Illustrations :

1 - Fracturation, blocs et écailles se désolidarisant de la paroi (pointillés rouges) ;

2 - Fracturation intense et production de blocs ;

3 - Emmaillotage de blocs au-dessus du tunnel et ancrages.

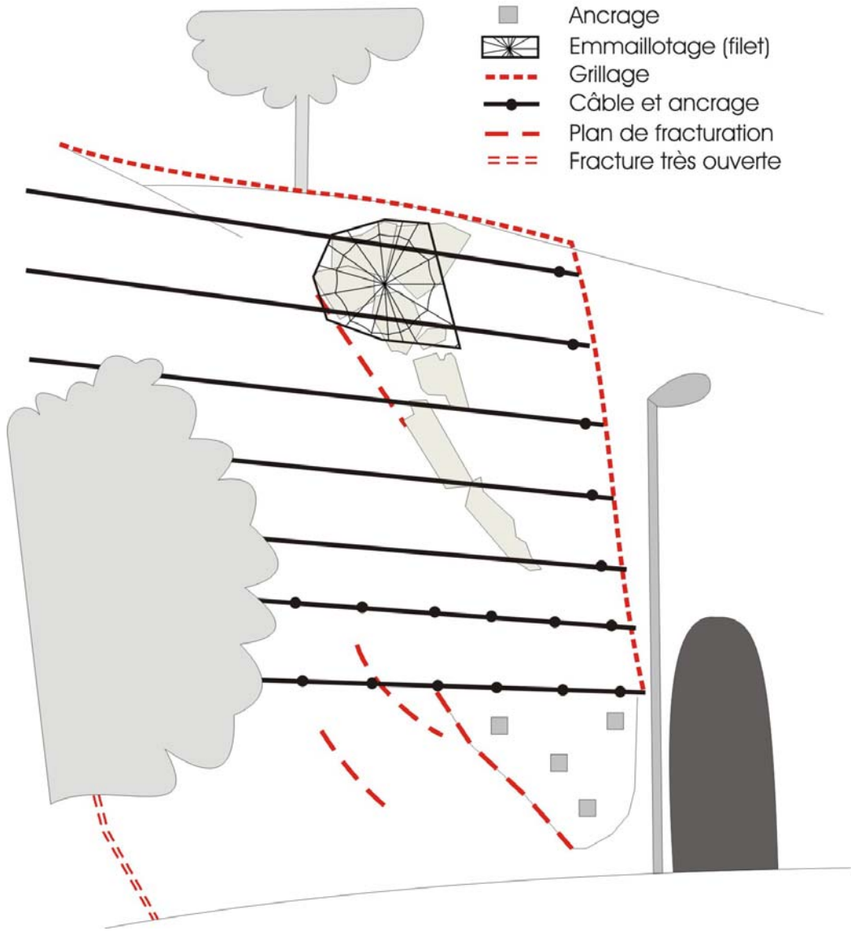


Schéma synthétique des propositions d'aménagements

Commentaires :

Ce site présente déjà un certain nombre d'aménagements en place (emmaillotages de filets, ancrages…), néanmoins il reste des secteurs à conforter.

Il conviendrait dans un premier de débroussailler l'ensemble du site étant donnée la grande quantité de plantes avec des systèmes racinaires perturbant la falaise en accroissant les fractures déjà ouvertes.

L'idée proposée ici serait d'installer un grillage sur 150 m² de surface (comme indiqué en tirets rouges sur le schéma) associé à des câbles transverses (60 m) et une série de quinze boulons. Ce grillage recouvrirait une partie des aménagements déjà présents (notamment le bloc emmailloté), mais s'arrêterait juste à la limite avec la zone boulonnée.
L'ensemble de la paroi serait ainsi maintenue dans son ensemble.

Sources : Guide LCPC (2001) ; RiskYdrogéo (2004-2006) ; http://www.francemaccaferri.com/