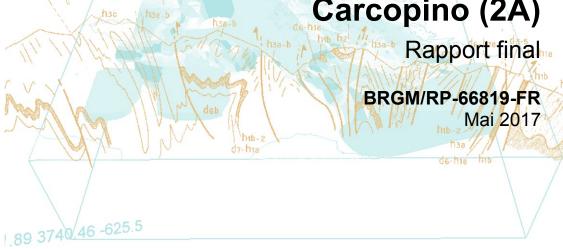




Cartographie de l'aléa chute de blocs depuis les falaises du Gozzi, communes d'Appietto, Afa et Sarrola-Carcopino (2A)





Préfet de la Corse du Sud DIRECTION DEPARTEMENTALE DES TERRITOIRES ET DE LA MER





# Cartographie de l'aléa chute de blocs depuis les falaises du Gozzi, communes d'Appietto, Afa et Sarrola-Carcopino (2A)

Rapport final

**BRGM/RP-66819-FR** 

Mai 2017

Étude réalisée dans le cadre des opérations d'Appui aux Politiques Publiques du BRGM

C. Garnier, B. Colas, T. Gutierrez

Vérificateur:

Nom: C. Lévy

Fonction: Ingénieure géotechnique

Date: 16/05/2017

Signature:

Approbateur:

Nom: N. Frissant

Fonction: Directeur régional du BRGM

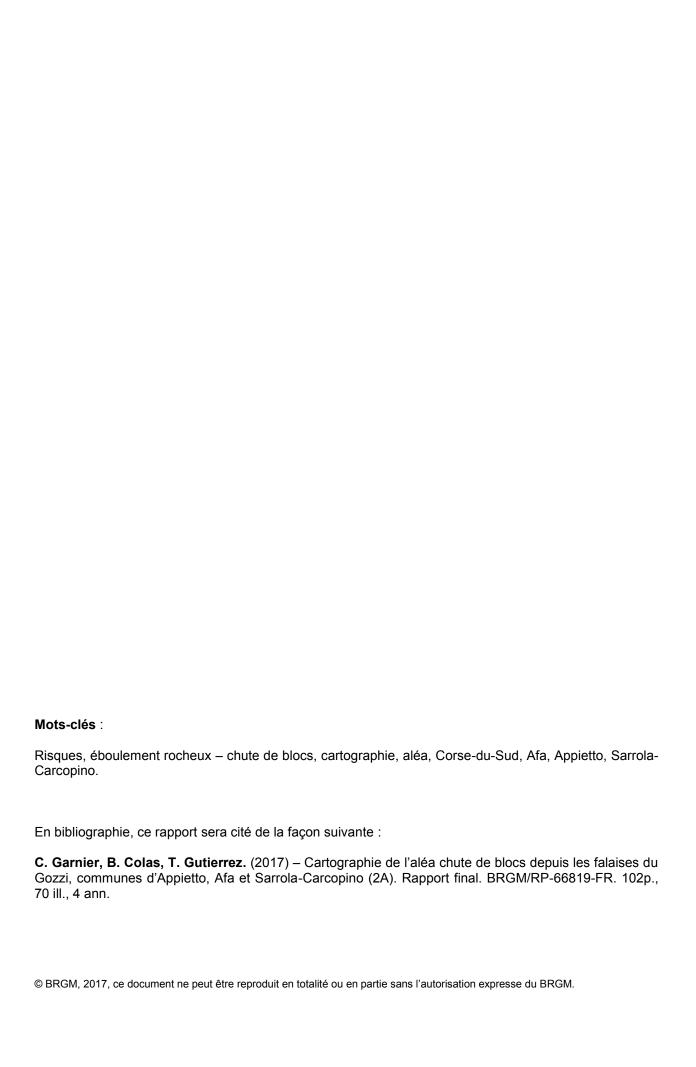
en Corse

Date: 16/05/17

Signature:

Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.





## **Synthèse**

L'historique plus ou moins récent en matière de chutes de blocs depuis les falaises du Rocher des Gozzi (communes d'Appietto, Afa et Sarrola-Carcopino) et les différents enjeux de pied de versant (en premier lieu les zones urbanisées) ont conduit les services de la Direction Départementale des Territoire et de la Mer de Corse-du-Sud (DDTM2A) à engager fin 2015 la réalisation d'une cartographie de l'aléa « chutes de blocs », à l'échelle du 1/5 000ème. Cette étude a été menée par le BRGM dans le cadre de ses missions d'appui aux politiques publiques.

La cartographie d'aléa « chutes de blocs » a été menée à partir :

- d'un inventaire évènementiel détaillé basé sur la bibliographie disponible, sur un travail d'enquête auprès des représentants communaux et de riverains, ainsi que sur des visites de terrain;
- de l'établissement d'une typologie d'éboulement rocheux sur le périmètre d'étude ;
- de l'identification et de la sectorisation des zones de départ potentiel de chutes de blocs (à l'appui notamment de campagnes de terrain) ;
- de l'évaluation des aléas de rupture zone par zone (volume, activité) ;
- de la détermination des propagations potentielles de blocs en versant à partir d'analyses croisées de trajectographie et de méthodes plus globalisantes. In fine, la cartographie des limites d'atteinte est réalisée manuellement à dire d'expert en prenant en compte les observations de terrain.

La cartographie d'aléas chute de blocs (dont l'échelle de validité est le 1/5 000 eme) a été établie pour un scénario de référence établi à partir des reconnaissances de terrain. Selon les secteurs de la zone d'étude, ces scénarios prennent en compte des phénomènes prévisibles d'intensité élevée (bloc unitaire après fragmentation se propageant de 1 à 10 m³), selon une activité considérée comme moyenne (de l'ordre d'un bloc du scénario tous les 10 ans) à faible (de l'ordre d'un bloc du scénario tous les 100 ans). On gardera à l'esprit que compte-tenu de l'étendue de la zone d'étude, des caractéristiques des falaises génératrices d'instabilités et de l'impossibilité dans le cadre de cette étude (au regard des moyens mis en œuvre) de recenser l'ensemble des compartiments instables, ces scénarios de référence correspondent aux événements les plus plausibles sur la zone d'étude sur la période de référence (centennale). On soulignera également, notamment au niveau de la partie centrale de la zone d'étude où les falaises sont les plus massives (Rocher des Gozzi), que l'occurrence au cours du siècle à venir d'événements de grande ampleur bien que non retenue comme scénario de référence ne peut être écartée.

Le volume des blocs pouvant se propager jusqu'aux enjeux conduit à considérer un aléa de niveau élevé sur l'ensemble de la zone d'exposition au phénomène, conformément aux développements en cours sur la thématique à l'échelle nationale (recommandations MEZAP à paraître : groupe de travail réuni sous l'autorité du MEDDE pour la détermination d'une MEthodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres, piloté par IRSTEA).

Le croisement de la carte d'aléa et des éléments exposés montre que la principale zone d'exposition (risques élevés) concerne le secteur de Piscia Rossa, à cheval sur les communes d'Appietto et d'Afa, où une trentaine de constructions en première évaluation (ainsi que les voies de desserte et un réservoir AEP) apparaissent de façon plus ou moins marquée

menacées. Sur ce secteur compte-tenu à la fois des caractéristiques du site et des événements prévisibles, une protection passive de type « ouvrage pare-blocs souples » (merlons) apparait la plus adaptée. Une solution de ce type a fait l'objet d'un pré-chiffrage qui devra être précisé sur la base d'une étude spécifique de conception des dispositifs de protection, dont la réalisation est indispensable pour garantir un niveau de sécurisation satisfaisant.

Sur le secteur de Vadi (Afa), l'essentiel des enjeux existants sont situés à l'extérieur de la zone cartographiée en aléas de chutes de blocs. Seules la bergerie de Lapenaju et deux constructions (terrain attenant mais également une partie de la bâtisse pour l'une d'elles) sont considérées comme exposées au phénomène (risques élevés). Sur ce secteur également, les seules stratégies jugées envisageables (opportunité à étudier sur la base d'une analyse coût/avantages) sont des solutions « passives » (merlon pare-blocs voire aménagement de zones de replat).

Par ailleurs, dans le cadre de l'éventuelle réalisation d'un Plan de Prévention des Risques, la zone d'exposition au phénomène a vocation au niveau du zonage réglementaire à être intégralement transcrite en zone rouge dite « *inconstructible* », compte-tenu du niveau d'aléa retenu (« élevé »).

# **Sommaire**

1.	Introduction	11
2.	Contexte général de l'étude	13
	2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE – ZONE D'ETUDE	13
	2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE	15
	2.3. CONTEXTE HISTORIQUE	16
3.	Collecte et structuration des données	17
	3.1. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE	18
	3.2. INVENTAIRE HISTORIQUE RECENT	20
	3.3. LEVE TOPOGRAPHIQUE	26
	3.4. LEVES GEOLOGIQUES	28
	3.5. LEVES STRUCTURAUX ET LIENS AVEC LES MOUVEMENTS DE TERRAII	<b>NS33</b>
4.	Cartographie d'aléa « chute de blocs »	36
	4.1. METHODE	36
	4.2. TYPOLOGIE DES RUPTURES	37
	4.3. INVENTAIRE EVENEMENTIEL	43
5.	Evaluation de l'aléa « chute de blocs »	47
	5.1. ALEA DE RUPTURE	47
	5.2. ALEA DE PROPAGATION : PROBABILITE D'ATTEINTE	58
	5.3. OCCURRENCE DE CHUTE DE BLOCS	69
	5.4. ALEA DE CHUTE DE BLOC	69
6.	Gestion du risque rocheux	75
	6.1. ANALYSE DU RISQUE D'EBOULEMENT ROCHEUX	75
	6.2. GESTION DU RISQUE D'EBOULEMENT ROCHEUX	
	Zonage du risque de chutes de blocs  Travaux de sécurisation	
7.	Conclusion	
8	Ribliographie	81

# Liste des illustrations

illustration 1 –	Situation générale du secteur d'étude ( <u>www.géoportail.gouv.fr</u> )
illustration 2 –	Identification du secteur d'étude ( <u>www.géoportail.gouv.fr</u> )14
illustration 3 –	Aperçu morphologique de l'escarpement du Rocher des Gozzi et identification des principales zones urbanisées (source : ©Google Earth)
illustration 4 –	Extrait de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 (BRGM)15
illustration 5 –	Evenements chutes de blocs recencés dans la BDMVT au démarrage de l'étude ( <a href="http://www.georisques.gouv.fr/">http://www.georisques.gouv.fr/</a> )
illustration 6 –	Identification (non exhaustive) des parcours pédestres réalisés
illustration 7 –	Localisation de l'écaille instable au-dessu de la Grande Vire, expertisée en décembre 2014 (rapport BRGM/RP-64211-FR)
illustration 8 –	Fissure récente en bordure Est (cliché de gauche) et discontinuité en tête de l'écaille instable expertisée en décembre 2014 (rapport BRGM/RP-64211-FR)
illustration 9 –	Cicatrice de l'écaille purgée en septembre 2015 au-dessus de la Grande Vire (rapport(BRGM/RP-65293-FR)19
illustration 10 -	- Carte des aléas mouvements de terrain au 1/25 000 produite par le CETE en 2010
illustration 11 -	- Localisation et vue du site de la « coulée de débris » à gros blocs entre la distillerie de Mandriolo et le hameau d'U Pastriccialone
illustration 12 -	<ul> <li>zone de départ et trajectoire suivie par le bloc de 1 m³ éboulé en 1983 (planche photographique extraite du rapport BRGM 84 AGI 222 CSC, Août 1984) 21</li> </ul>
illustration 13 -	- zone de départ probable de la chute de blocs de 09/1983 en amont de Piscia Rossa22
illustration 14 -	– Bloc de près de 10 t éboulé en 1982 en amont de Piscia Rossa22
illustration 15 -	– Bloc de 0,25 t observé en amont du pare-blocs n°1 (position basse), en amont de Piscia Rossa23
llustration 16 -	- exemple de bloc ancien supramétrique, non daté, observable aux abords des habitations de Piscia Rossa Rossa (à gauche : bloc n°08 sur l'illustration n°17)23
llustration 17 –	- Identification de quelques blocs éboulés aux abords de Piscia Rossa23
llustration 18 -	- Localisation et présentation des principales caractéristiques des ouvrages pare-blocs présents en amont de Piscia Rossa24
llustration 19 -	- Merlon-pare blocs n°1, au niveau du profil P125
llustration 20 -	- Merlon-pare blocs n°2, au niveau du profil P525
llustration 21 -	- Merlon-pare blocs n°2, au niveau du profil P625
llustration 22 -	- Restitution du MNT (résolution 1 m avec ombrage)26
llustration 23 -	Orthophotographie de la zone d'étude réalisées en février/mars 2016, et en partie basse comparatif à partir d'un zoom sur le secteur de Vadi avec la BDOrtho 2011 (5 m) de l'IGN
llustration 24 -	Repérage des ouvrages pare-blocs de Piscia Rossa par superposition du MNT et des orthophotographies 2016 (cf. illustrations n°18 à 21)27
illustration 25 -	- Principales lithologies observées sur le secteur des Gozzi29
illustration 26 -	- Carte géologique et structurale détaillée du site d'étude

illustration 27 –	- Familles de fractures mesurées sur les leucogranites permiens du assif des Gozzi
illustration 28 -	- Réseau de fracture sur le leucogranite du Gozzi
illustration 29 -	- Couloir de faille du Rocher du Gozzi, surmonté par des parois rocheuses orientées selon la famille F1 N60°E influençant la concentration des trajectoires de blocs (avec dispersion au pied du couloir)
illustration 30 -	- Configuration et mécanismes de chutes de blocs (Dussauge-Peissier, 2002) . 38
illustration 31 -	<ul> <li>Exemples de rupture possible par basculement de colonnes ou de blocs de volumes plurimétriques à décamétriques (à gauche : chicot rocheux en amont de Mandriolo ; à droite : barre rocheuse fracturée en amont de Piscia Rossa)</li></ul>
illustration 32 -	- Exemple de rupture possible par basculement de colonnes rocheuses de volumes décamétriques à pluridécamétriques (en amont de Piscia Rossa)
illustration 33 -	- Exemples de rupture possible de colonnes en pied (à gauche, partie sommitale du Rocher des Gozzi ; à droite : secteur de Piscia Rossa)
illustration 34 -	- Exemples de rupture possible de surplomb (à gauche, en amont de U Pastriccialone ; à droite : en amont de Murilicciu – mise en surplomb liée à une précédente instabilité)41
illustration 35 -	- Exemples de rupture possible de surplomb (secteur de Piscia Rossa) 41
illustration 36 -	- Exemples de rupture possible de surplomb (à gauche : secteur du Rocher des Gozzi ; à droite : secteur de Piscia Rossa – rupture possible associant surplomb et glissement plan en lien avec la famille de fracture faiblement inclinée F4) 42
illustration 37 -	- Exemples de blocs potentiellement remobilisables en amont de Piscia Rossa 43
illustration 38 -	- Recensement non exhaustif des principaux blocs éboulés
illustration 39 -	- Blocs identifiables sur l'orthophoto 2016 (échelle 1/1000) aux abords de la bergerie de Lapenaju
illustration 40 -	- Blocs identifiables sur l'orthophoto 2016 (échelle 1/1000) aux abords de Vadi 45
illustration 41 -	- Carte des pentes dérivées du MNT au pas de 1 m (secteur de Piscia Rossa sur l'illustration du bas) – Fond Scan25 IGN et en bas Orthophoto 2016 48
illustration 42 -	- Carte des zones de départ potentiels de blocs - pentes dérivées du MNT au pas de 1 m (secteur de Piscia Rossa sur l'illustration du bas) – Fond Orthophoto 201649
illustration 43 -	<ul> <li>Regroupement par « sites » des zones de départ potentiels de blocs et numérotation des fiches d'identification correspondantes – Fond Orthophoto 2016 50</li> </ul>
illustration 44 -	- Exemple de fiche d'identification de site – site AFA2
illustration 45 -	- Définition des classes d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume et du potentiel de dommages (source : document Mezap)
illustration 46 -	- Vue aérienne générale des versants en contrebas du Rocher des Gozzi et identification de gros blocs observables dans la pente (cerclé : blocs visibles sur l'illustration n°47)
illustration 47 -	- Exemples de compartiments des classes d'intensité « élevée » à « très élevée » en amont des construction du secteur de Vadi
illustration 48 -	- Définition des classes d'indice d'activité (source : document Mezap) 56
illustration 49 -	- Indices d'intensité / activité selon les sites de départs potentiels de blocs identifiés
illustration 50 -	- Localisation générale des profils de trajectographie simulés (fond :©IGN, scan25)59

llustration	51 – Localisation des profils, secteur de Piscia Rossa (fond :orthophotos 2016) 59	)
llustration	52 – Localisation des profils, secteur Afa (Vadi, Lapenaju) - (fond :orthophotos 2016)6	30
llustration	53 – Localisation des profils, secteur Afa (U Pastriccialone) - (fond :orthophotos 2016	•
llustration	54 – Localisation des profils, secteur Sarrola-Carcopino (Mandriolo) - (fond :orthophot 2016)	
llustration	55 –Partie basse légèrement « vallonnée » des profils P8 et P9 vue depuis la Grande Vire du Rocher des Gozzi	
llustration	56 – Distance (m) et probabilité d'atteinte par profil de référence	)
llustration	57 – Exemple de restitution sur profil trajectographique (P3 ; volume 2 à 5 m³) – dista horizontale en abscisse, altitude en ordonnées	
llustration	58 – Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pon déterminer l'angle β	
llustration	59 – Plages de valeurs indicatives des angles géométriques pour la méthode des cor issues de l'analyse statistique des valeurs publiées à ce jour (source : document MEZAP)	t
llustration	60 – Illustrations d'exemples de modulations (données à titre indicatif) apportées sur lintervalles d'angle de la méthode des cônes en fonction de types de profils d	ente
llustration	61 – Synthèse des distances d'atteinte définies par simulations trajectographiques et analyse statistique sur des événements de chutes de blocs (et angles de la métl des cônes correspondants)	hod
llustration	62 – Limites d'atteintes définies par simulations trajectographiques et méthode statist sur les profils P1 à P5, et limite de probabilité d'atteinte retenu	
llustration	63 – Limites d'atteintes définies par simulations trajectographiques et méthode statist sur les profils P4 à P9, et limite de probabilité d'atteinte retenu	
llustration	64 – Limites d'atteintes définies par simulations trajectographiques et méthode statist sur les profils P11 à P14, et limite de probabilité d'atteinte retenu	
llustration	65 – Cartographie de l'enveloppe maximale d'atteinte depuis les zones de départ identifiées	)
llustration	66 – Matrice de probabilité d'occurrence du phénomène de référence (source : MEZA	
llustration	67 - Matrice d'évaluation de l'aléa (source : document MEZAP)70	)
llustration	68 – Cartographie de l'aléa chute de blocs71	
llustration	69 – Superposition des zonages d'aléas issus de l'étude CETE (contours rouge) et de l'étude 2017 (aplat violet)73	
llustration	70 – Emprise globale des solution de sécurisation à envisager sur Piscia Rossa (merl pare-blocs) et Vadi (merlon pare-blocs et/ou « terrasses »)	
Liste de	es annexes	
Annexe 1	Fiches d'identification des zones de départ	,
Annexe 2	Données et résultats de trajectographie85	;
Annexe 3	Méthode des cônes	,
Annexe 4	Cartes résultats97	,

Cartographie de l'aléa chute de blocs depuis les falaises du Gozzi (2A)

#### 1. Introduction

Fin 2014, le BRGM a été sollicité par la Préfecture de Corse-du-Sud pour émettre un avis sur une écaille rocheuse jugée instable sur les pentes du Rocher des Gozzi, au niveau d'une des voies d'escalade du Gozzi dont la fréquentation est importante (rapport BRGM/RP-64211-FR). Au-delà de cette menace ponctuelle (qui a été supprimée par purge en septembre 2015), cette étude avait conduit à souligner l'exposition aux chutes de blocs des pratiquants sur l'ensemble des voies d'escalade, dans la mesure où depuis l'ouverture du site aucune opération de « nettoyage » des voies s'appuyant sur un diagnostic spécifique n'avait été réalisée.

En outre, au regard de l'urbanisation présente en pied de versant et des premières études existantes sur le risque de chutes de blocs depuis le Gozzi (cartographie d'aléas mouvement de terrain établie en 2010 par le CETE), il avait été recommandé que soit réalisée une étude d'aléas « chutes de blocs » à l'échelle du 1/5 000ème destinée à préciser les niveaux d'exposition pour les différents enjeux existants.

Cette étude a été diligentée par les services de la Direction Départementale des Territoire et de la Mer de Corse-du-Sud (DDTM2A) et engagée par le BRGM dans le cadre d'une convention de recherche et de développement partagés initiée en Novembre 2015.

Outre l'évaluation de l'aléa « chute de blocs », une analyse des risques (préalable à la mise en place d'un Plan de Prévention des Risques naturels) et des pistes de solutions de gestion associées au phénomène de chute de blocs sont également attendues.

## 2. Contexte général de l'étude

#### 2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET MORPHOLOGIQUE – ZONE D'ETUDE

La zone étudiée s'étend sur l'ensemble des falaises du Rocher des Gozzi, soit un linéaire proche de 4 km s'étendant sur les communes d'Appietto en partie ouest (secteur de Piscia Rossa, pour partie également sur Afa), Afa en partie centrale et sur la plus grande partie du linéaire, et Sarrola-Carcopino (hameau de Mandriolo) en partie Est. La zone d'étude se situe à moins d'une dizaine de kilomètres au Nord-Nord-Est de l'agglomération d'Ajaccio (cf. illustration 1).

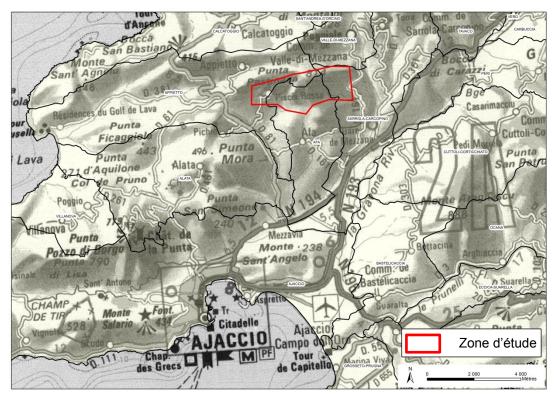


illustration 1 – Situation générale du secteur d'étude (www.géoportail.gouv.fr)

La zone d'étude se compose schématiquement de la façon suivante (cf. illustration 2 et illustration 3) :

- Un escarpement prononcé au Nord, délimité par une ligne de relief s'établissant approximativement entre les altitudes 400 m et 716 m. Le Rocher des Gozzi (716 m), situé en partie centrale de la barre rocheuse donne son nom à la falaise ;
- un piedmont constituant le bas du glacis de pente entre 180 m et 260 m d'altitude environ sur le secteur d'étude. Le piémont présente 4 principales zones d'urbanisation qui sont d'Ouest en Est :
  - o Piscia Rossa à l'Ouest (à cheval sur les communes d'Appietto et d'Afa) :
  - Vadi-Lapenaju-Murilicciu (Commune d'Afa);
  - U Pastriccialone (commune d'Afa);
  - o Mandriolo à l'Est (commune de Sarrola-Carcopino).

Les versants de pente forte (plus de 30°) sont entaillés par de nombreux talwegs parfois fortement incisés, qui segmentent la falaise et s'organisent en aval en cours d'eau dont les principaux sont le Ruisseau de Piscia à l'Ouest, le Ruisseau de Stagnolu (traversant en aval le bourg d'Afa), et le Ruisseau de Pajanacciu à l'Est.

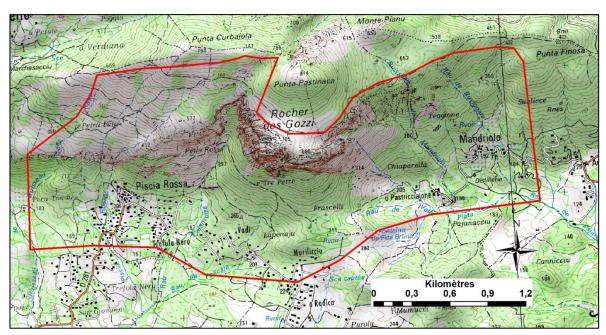


illustration 2 – Identification du secteur d'étude (www.géoportail.gouv.fr)

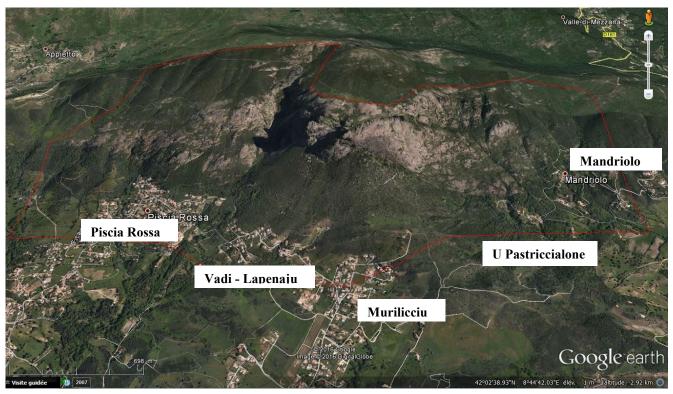


illustration 3 – Aperçu morphologique de l'escarpement du Rocher des Gozzi et identification des principales zones urbanisées (source : ©Google Earth)

#### 2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

La carte géologique au 1/50 000 (cf. illustration 4) montre que le secteur présente peu de variations. Les reliefs du Rocher des Gozzi sont intégralement constitués de Monzogranite quartzitique à biotite du Viséen (Carbonifère inférieur) et de leucomonzogranite à biotite (Permien inférieur), tandis que les secteurs bas (hors zones d'alimentation en blocs) se caractérisent par la présence de deux facies de granodiorites (Stéphanien-Permien inférieur) à biotite et amphibole. Ces facies sont distingués cartographiquement par la taille des cristaux, plus grossiers dans la partie ouest du massif.

Le pied des falaises (glacis de pente) est tapissé d'un cône d'éboulis dans l'ensemble stabilisé et colonisé par la végétation (maquis).

Du point de vue structural, une faille principale de direction N20°E est identifiée dans la partie centrale de la zone d'étude (à l'Est du Rocher des Gozzi proprement dit), « abritant » le Ruisseau Calancone.

Un levé géologique plus précis des formations granitiques, de leur état d'altération, des formations superficielles (altérites, alluvions, éboulis) et une description structurale plus détaillée sont réalisées dans les paragraphes suivants.

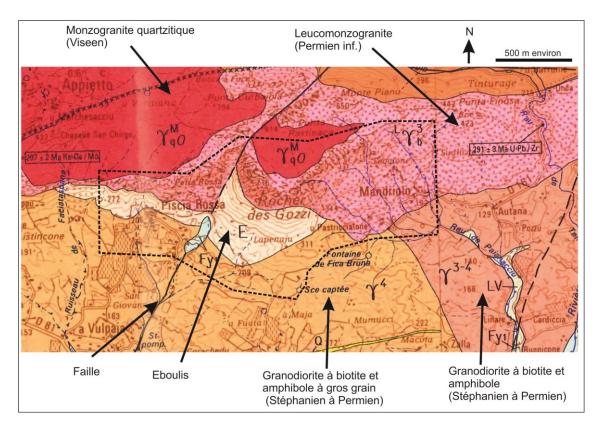


illustration 4 – Extrait de la carte géologique harmonisée au 1/50 000 (BRGM)

#### 2.3. CONTEXTE HISTORIQUE

Les falaises du Gozzi ne se caractérisent pas par un historique connu important en matière de chutes de blocs. La base de données nationale sur les mouvements de terrain gérée par le BRGM (BDMVT) ne recense ainsi que deux événements, localisés sur l'illustration 5 et au sujet desquels peu d'informations sont bancarisées :

- Identifiant 10900200 (Piscia Rossa): Eboulement daté de septembre 1983. Le phénomène se serait produit sur une dénivelée de 60 m, avec à l'arrivée (volume au départ non précisé) de l'ordre de 1 m³. Des informations complémentaires issues du travail d'enquête réalisé dans le cadre de cette étude sont présentées plus avant (paragraphe 3.3);
- Identifiant 57000098 (Rocher des Gozzi): Phénomène non daté survenu à partir du flanc ouest du Rocher des Gozzi. Aucune information disponible sur les volumes au départ et à l'arrivée ainsi que sur la zone atteinte.

Les informations historiques complémentaires collectées dans le cadre de cette étude sont présentées au paragraphe 3.3.

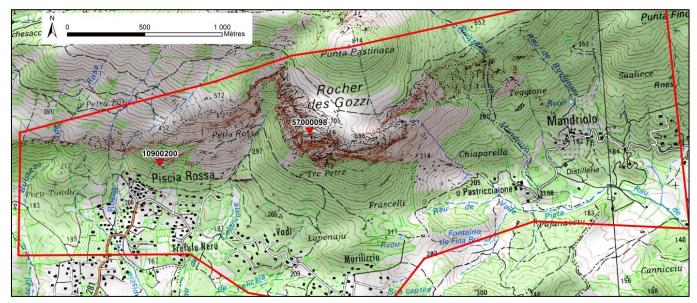


illustration 5 – Evenements chutes de blocs recencés dans la BDMVT au démarrage de l'étude (http://www.georisques.gouv.fr/)

### 3. Collecte et structuration des données

En plus d'une analyse bibliographie indispensable à ce type de mission et du travail d'enquête réalisé notamment auprès des communes concernées et de riverains, quatre campagnes d'investigations ont été organisées par le BRGM pour les besoins de l'étude: une campagne d'acquisition topographiques et trois campagnes de reconnaissance de terrains en mai, septembre et octobre 2016 : deux campagnes pédestres pour les zones accessibles et une reconnaissance héliportée (réalisée avec l'appui de la Préfecture de Corse-du-Sud et les moyens techniques de la Protection Civile). Les principaux relevés effectués concernent :

- la présence de blocs rocheux éboulés observés sur le terrain (position, volume, etc.), en complément de l'exploitation des photographies aériennes disponibles, pour aider à la caractérisation de l'intensité de l'activité chute de blocs sur le site et sur la propagation possible des instabilités ;
- les levés structuraux : mesure des fractures et failles repérables sur le terrain, complétées des linéations à grande échelle observées sur photographies aériennes, afin d'aider à définir les volumes de roche mobilisables et les capacités de fragmentation des compartiments mobilisables en cours de propagation ;
- la cartographie géologique (nature et état d'altération des granites), nature des formations superficielles pour préciser les caractéristiques de sols nécessaires pour les simulations trajectographiques réalisées (volet « aléa de propagation »);
- l'identification et la description de zones de rupture potentielles observables.

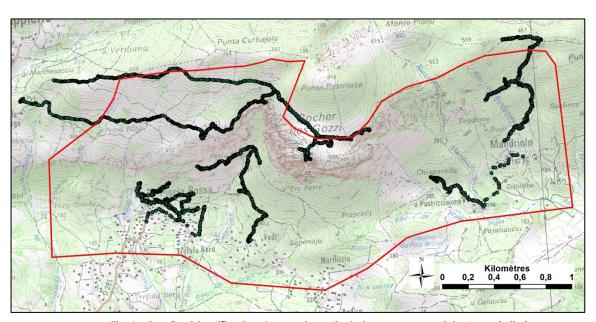


illustration 6 – Identification (non exhaustive) des parcours pédestres réalisés

#### 3.1. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE

Les différents rapports suivants intéressant la zone d'étude ont été collectés et exploités pour les besoins de l'étude :

Rapport BRGM/RP-64211-FR, Décembre 2014 : Avis technique relatif à la stabilité d'un compartiment rocheux – Rocher des Gozzi (Afa). Cette expertise porte un diagnostic défavorable quant à la stabilité d'une écaille d'une quinzaine de mètres cubes située 5 m environ à l'aplomb de la Grande Vire et menaçant notamment les pratiquants du site d'escalade et d'éventuels promeneurs ou autres personnes présentes au pied des falaises du Gozzi (cf. illustrations 7 et 8).



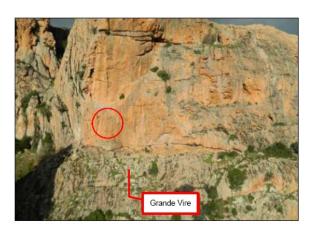


illustration 7 – Localisation de l'écaille instable au-dessu de la Grande Vire, expertisée en décembre 2014 (rapport BRGM/RP-64211-FR)





illustration 8 – Fissure récente en bordure Est (cliché de gauche) et discontinuité en tête de l'écaille instable expertisée en décembre 2014 (rapport BRGM/RP-64211-FR)

Le travail d'enquête réalisé a conduit à souligner que les conditions de stabilité de ce compartiment rocheux s'étaient dégradées de façon assez rapide, avec l'apparition d'une fissuration désolidarisant l'écaille, sous l'effet probablement conjoint de la décompression du massif (« appel au vide ») et d'un processus de fatigue de la matrice rocheuse

(phénomènes thermomécaniques liés à l'alternance gel/dégel et aux variations cycliques importantes de température en surface du rocher soumis à des variations quotidiennes marquées d'ensoleillement ; le Rocher du Gozzi étant orienté au Sud) ;

 Rapport BRGM/RP-65293-FR, Novembre 2015: Avis technique suite à la purge en septembre 2015 de l'écaille instable expertisée en décembre 2014. Le compartiment menaçant a été supprimé à l'aide d'un coussin pneumatique. Il s'est fragmenté sur la Grande Vire en éléments de volume unitaire de quelques centaines de litres.



illustration 9 – Cicatrice de l'écaille purgée en septembre 2015 au-dessus de la Grande Vire (rapport(BRGM/RP-65293-FR)

- Rapport BRGM 84 AGI 222 CSC, Août 1984 : Enquête relative à l'évaluation des risques d'éboulements consécutifs aux incendies de l'été 1983 en Corse-du-Sud. Ce document apporte notamment des éléments d'information sur l'instabilité de septembre 1983 recensée dans la base BDMVT (cf. paragraphe 2.3). Plus de précisions sont apportées au paragraphe 3.3.
- Rapport BRGM/RP-52097-FR, Mars 2003 : Cartographie de l'aléa mouvement de terrain sur le département de la Corse-du-Sud à l'échelle du 1/100 000ème (financement par l'Office de l'Environnement de la Corse). Cette cartographie à vocation informative est notamment vouée à identifier en première approche les secteurs du Département les plus sensibles. Elle a également pour objectif d'aider à la décision pour l'établissement d'une programmation de réalisation de cartographie préventive à échelle plus grande. Les falaises et versants du Gozzi y étaient bien entendu identifiés comme exposés aux phénomènes d'éboulements et chutes de blocs ;
- Rapport CETE Méditerranée de mars 2010 : Réalisation de la carte multi-aléas « mouvements de terrain » et « hydraulique » dans les secteurs à enjeux des communes d'Afa et Appietto. A la demande de la DDTM2A, le CETE a notamment réalisé une cartographie des aléas éboulements et chutes de blocs depuis le Gozzi à l'échelle 1/25 000, à partir d'une analyse géomorphologique et de simulations de propagations de blocs à l'aide du logiciel PROPAG. La cartographie produite par le CETE est présentée sur l'illustration 10.

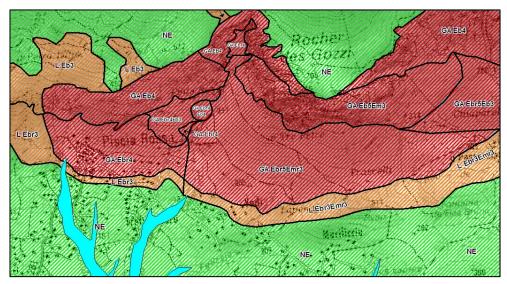


illustration 10 – Carte des aléas mouvements de terrain au 1/25 000 produite par le CETE en 2010

#### 3.2. INVENTAIRE HISTORIQUE RECENT

#### a) Secteur de Mandriolo - U Pastriccialone

Un seul événement historique a été recueilli auprès de riverains. En novembre 1917 semble-t-il, une « coulée de débris » importante entre la distillerie et le hameau d'U Pastriccialone, se serait produite suite à de fortes pluies. Les traces de cet événement sont encore visibles dans le paysage aux abords notamment du talweg du Mandriolo et de la route communale desservant le hameau d'U Pastriccialone (cf. illustration 11). Le phénomène est vraisemblablement lié à la remobilisation de matériaux éboulés dans le talweg en partie haute de versant sous l'effet de fortes pluies. Le phénomène aurait ravagé des terres et terrasses agricoles, des murets et autres chemins. S'agissant probablement d'un épisode de charriage hyper-concentré, cet événement ne relève pas directement des phénomènes considérés dans cette étude.



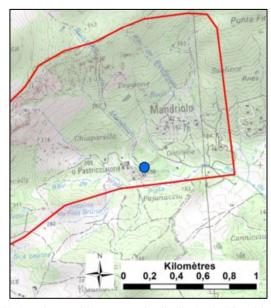


illustration 11 – Localisation et vue du site de la « coulée de débris » à gros blocs entre la distillerie de Mandriolo et le hameau d'U Pastriccialone

#### b) Secteur de Piscia Rossa

L'historique connu sur le site Piscia Rossa provient, outre les observations réalisées, d'informations transmises par les représentants des communes d'Afa et Appietto, par des riverains, ainsi que par le biais du rapport BRGM daté de 1984. Les informations mentionnées ci-après font l'objet de localisation sur les illustrations n°17 et 18.

- En 1958 (information mentionnée dans le rapport BRGM de 1984 et transmise oralement par une riveraine de Piscia Rossa), un bloc d'un volume évalué à un demi mètre cube aurait percuté une des constructions les plus en amont dans le village. Cette instabilité aurait été l'élément déclencheur de la plantation d'eucalyptus présente en amont du village;
- Le merlon pare-bloc n°1 (position basse, à hauteur du réservoir) aurait été édifié (sans étude spécifique pour son dimensionnement) au début des années 1980 :
- En 1982, un bloc de près d'une dizaine de tonnes (3 m³ environ bloc n°0 sur l'illustration n°17) encore observable aujourd'hui à son point d'arrêt dans un jardin à une quinzaine de mètres en amont de la construction touchée en 1958 (cf. illustration 13) traverse le merlon pare bloc n°1 et la plantation d'eucalyptus. L'évènement serait survenu quelques années après un incendie.
- En septembre 1983, un bloc de l'ordre de 1 mètre cube se détache des falaises et se propage sur une distance de 200 m pour un dénivelé de 60 m environ (pas de dégât à déplorer). Les illustrations n°12 et 13 ci-dessous (planche photographique issue du rapport BRGM de 1984) montrent la zone de départ reconnaissable en amont de Piscia Rossa, la trajectoire suivie et le bloc atterri.



illustration 12 – zone de départ et trajectoire suivie par le bloc de 1 m³ éboulé en 1983 (planche photographique extraite du rapport BRGM 84 AGI 222 CSC, Août 1984)



illustration 13 – zone de départ probable de la chute de blocs de 09/1983 en amont de Piscia Rossa

- En 1985, élargissement du pare bloc n°1 et construction du merlon pare-bloc 2 (position haute). Les caractéristiques des ouvrages sont synthétisées sur l'illustration n°18 ;
- En compléments des témoignages recueillis sur l'historique du site, il a été observé lors des reconnaissances de terrain plusieurs blocs plus ou moins anciens aux abords proches en amont des constructions voire au milieu de celles-ci. Le volume des blocs observés est compris entre quelques centaines de litres et près de 10 mètres cubes. Il a également été observé un élément de 0,25 t piégé dans le pare-bloc n°1, aux abords du réservoir (cf. illustration 14). Cet élément serait associé à un événement survenu entre 1985 et 2016.





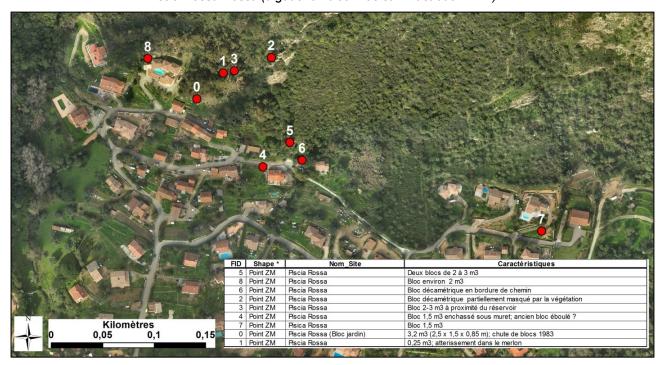
illustration 14 – Bloc de près de 10 t éboulé en 1982 en amont de Piscia Rossa



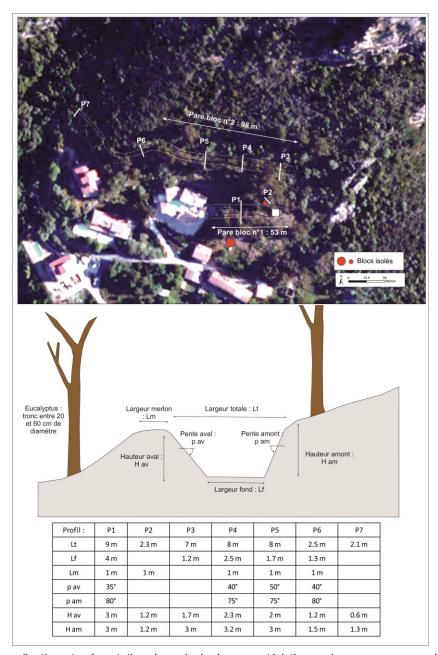
illustration 15 – Bloc de 0,25 t observé en amont du pare-blocs n°1 (position basse), en amont de Piscia Rossa



llustration 16 – exemple de bloc ancien supramétrique, non daté, observable aux abords des habitations de Piscia Rossa Rossa (à gauche : bloc n°08 sur l'illustration n°17)



llustration 17 – Identification de quelques blocs éboulés aux abords de Piscia Rossa



llustration 18 – Localisation et présentation des principales caractéristiques des ouvrages pare-blocs présents en amont de Piscia Rossa<sup>1</sup>

-

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> La position et la géométrie des ouvrages ont été levées à l'aide d'un DGPS



llustration 19 – Merlon-pare blocs n°1, au niveau du profil P1



llustration 20 – Merlon-pare blocs n°2, au niveau du profil P5



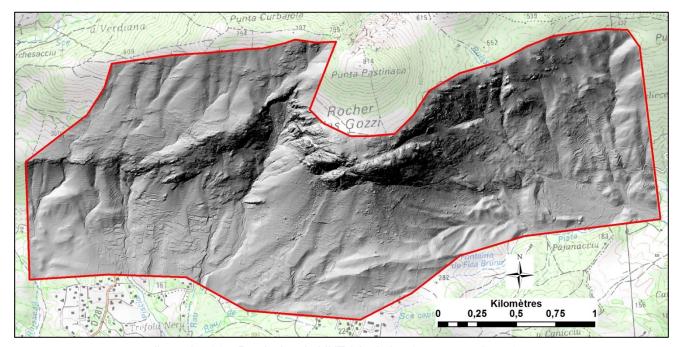
llustration 21 – Merlon-pare blocs n°2, au niveau du profil P6

#### 3.3. LEVE TOPOGRAPHIQUE

Dans l'optique de disposer d'une vision morphologique aussi précise que possible de la zone d'étude, un levé topographique précis a été engagé. La solution retenue a été de réaliser un levé Lidar héliporté, réalisé en février et mars 2016 par la société Hélimap. Le résultat est la fourniture d'un modèle numérique de terrain (MNT) à la maille de 20 cm (précision de l'ordre de 20 cm après filtrage de la végétation – cf. illustration n°22). Le retraitement de la donnée s'est borné à :

- la restitution à une maille de 1 m pour réaliser des extractions de profils-type nécessaires à la réalisation des simulations trajectographiques ;
- une dégradation du MNT à la maille de 4 m pour les calculs finaux d'enveloppe de propagation.

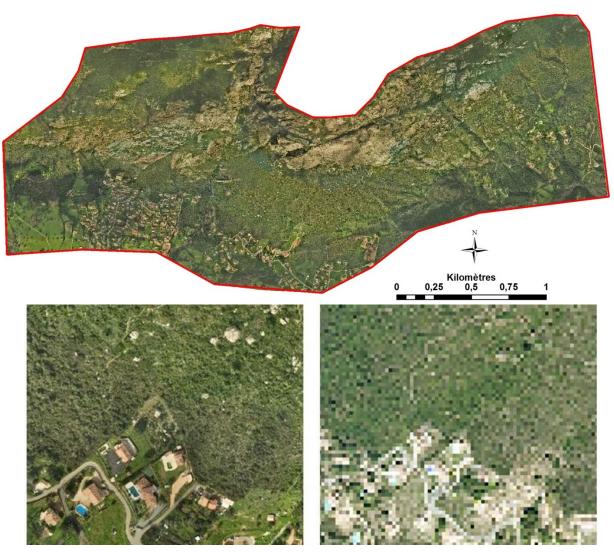
En parallèle au levé Lidar, des photographies haute résolution (cf. illustration n°23) ont été produites par le prestataire sur l'ensemble de la zone d'étude (orthophotos à 10 cm en tuiles de 500 m \* 500 m). L'ensemble de ces images est orthorectifié afin d'avoir une couverture photo aérienne de la zone.



*Ilustration 22 – Restitution du MNT (résolution 1 m avec ombrage)* 

L'intérêt majeur de ces données (MNT et orthophotos), utilisées de façon couplée, outre la connaissance des altimétries, est de fournir des éléments sur la nature et la rugosité globale des terrains :

- zone de barres rocheuses clairement apparentes (aide au repérage et positionnement des barres rocheuses, au-delà des principales falaises, « génératrices » de blocs et compartiments instables);
- identification des zones d'éboulis et principaux blocs anciens isolés non masqués par la végétation ;
- identification des ouvrages pare-blocs présents sur Piscia Rossa (cf. paragraphe 3.2 et illustrations n°24).



llustration 23 – Orthophotographie de la zone d'étude réalisées en février/mars 2016, et en partie basse comparatif à partir d'un zoom sur le secteur de Vadi avec la BDOrtho 2011 (5 m) de l'IGN



llustration 24 – Repérage des ouvrages pare-blocs de Piscia Rossa par superposition du MNT et des orthophotographies 2016 (cf. illustrations n°18 à 21)

#### 3.4. LEVES GEOLOGIQUES

#### a) Apports des levés réalisés

Les levés pédestres réalisés dans le cadre de cette étude ont permis d'affiner la connaissance géologique issue de la carte BRGM au 1/50 000 et de produire une carte géologique et structurale détaillée de la zone d'étude (cf. illustration 26). Ces levés ont ainsi permis de :

- distinguer les faciès de granite altéré (horizon feuilleté) et de granite sain ;
- préciser la nature et la représentation spatiale des formations superficielles :
  - o affinage de l'enveloppe d'éboulis en pied d'escarpement (Eg) ;
  - o identification des arènes granitiques meubles colluvionées (Cg);
  - o identification des alluvions torrentielles (Fz-g);
- compléter de façon significative les données structurales (failles et linéations structurales).

#### b) Leucogranites massifs au Nord

La falaise et le plateau des Gozzi, formant la moitié Nord du secteur d'étude, sont constitués par des Leucomonzogranites à biotites (Permien inf.) et des monzogranites quartzitiques à biotite du Viséen (Carbonifère inf.). Ces deux facies sont très voisins. Ils correspondent à des granites très clairs blanchâtres à rosâtres (cf. illustration 25) à minéraux noirs peu abondants (biotite principalement). Ces granites sont massifs et peu altérés au niveau de la falaise.

#### c) Granodiorites altérées au Sud

Les granitoïdes qui constituent la dépression au Sud du secteur associés correspondent à deux facies de granodiorites du Stéphanien-Permien, à biotites et amphiboles avec des tailles de cristaux différents (la granodiorite porphyrique à l'Ouest désigne un facies à gros phénocristaux de feldspath). Les granodiorites présentent beaucoup plus de minéraux noirs exprimés que les leucogranites (biotite et amphibole). Ces derniers minéraux étant plus facilement altérables que le quartz et les feldspaths, les granodiorites sont plus facilement altérables. De ce fait elles apparaissent sur le secteur presque toujours altérées avec deux faciès (cf. illustration 25) :

- Un horizon feuilleté : La texture granitique est conservée mais l'altération des biotites a provoqué un gonflement qui a feuilleté la roche. Cette dernière est tendre et a perdu sa cohésion. Cet horizon d'altération se situe au-dessus de l'horizon fissuré ;
- Un horizon fissuré: La roche demeure massive mais l'altération des biotites à créer des contraintes dans le massif qui ont conduit à une fracturation horizontale de la roche dont l'espacement se réduit de bas en haut.

#### d) Formations superficielles

Trois formations superficielles ont été distinguées. Les éboulis de bloc granitiques constituent un ensemble couvrant le talus de la falaise et les talwegs escarpés. La taille des blocs peut être très importante. Il est ainsi fréquent d'observer des blocs de plusieurs dizaines, voire plusieurs centaines de mètres cubes, en particulier au droit des flancs du Rocher du Gozzi (partie centrale de la zone d'étude). Ils peuvent présenter en pied de talus une matrice composée d'arène granitique (cf. illustration 25). Les colluvions sont accumulées sur le glacis de pente lorsque celle-ci devient subhorizontale. On observe principalement des arènes granitiques remaniées à petits blocs (cf. illustration 25). Enfin, les alluvions sont alimentées par les colluvions et constituent des dépôts torrentiels très grossiers, peu roulés se déposant dans le lit des talwegs lorsque le réseau hydrographique s'organise en aval du secteur.

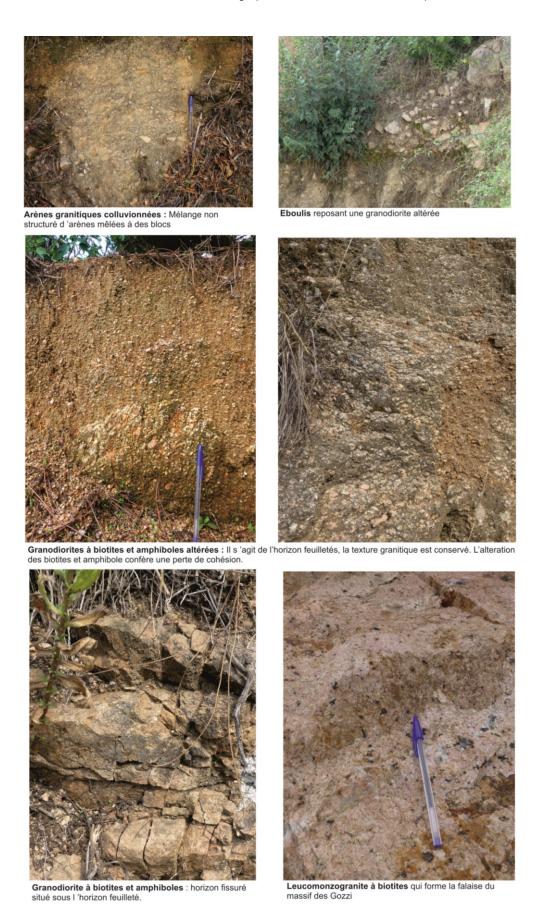


illustration 25 – Principales lithologies observées sur le secteur des Gozzi

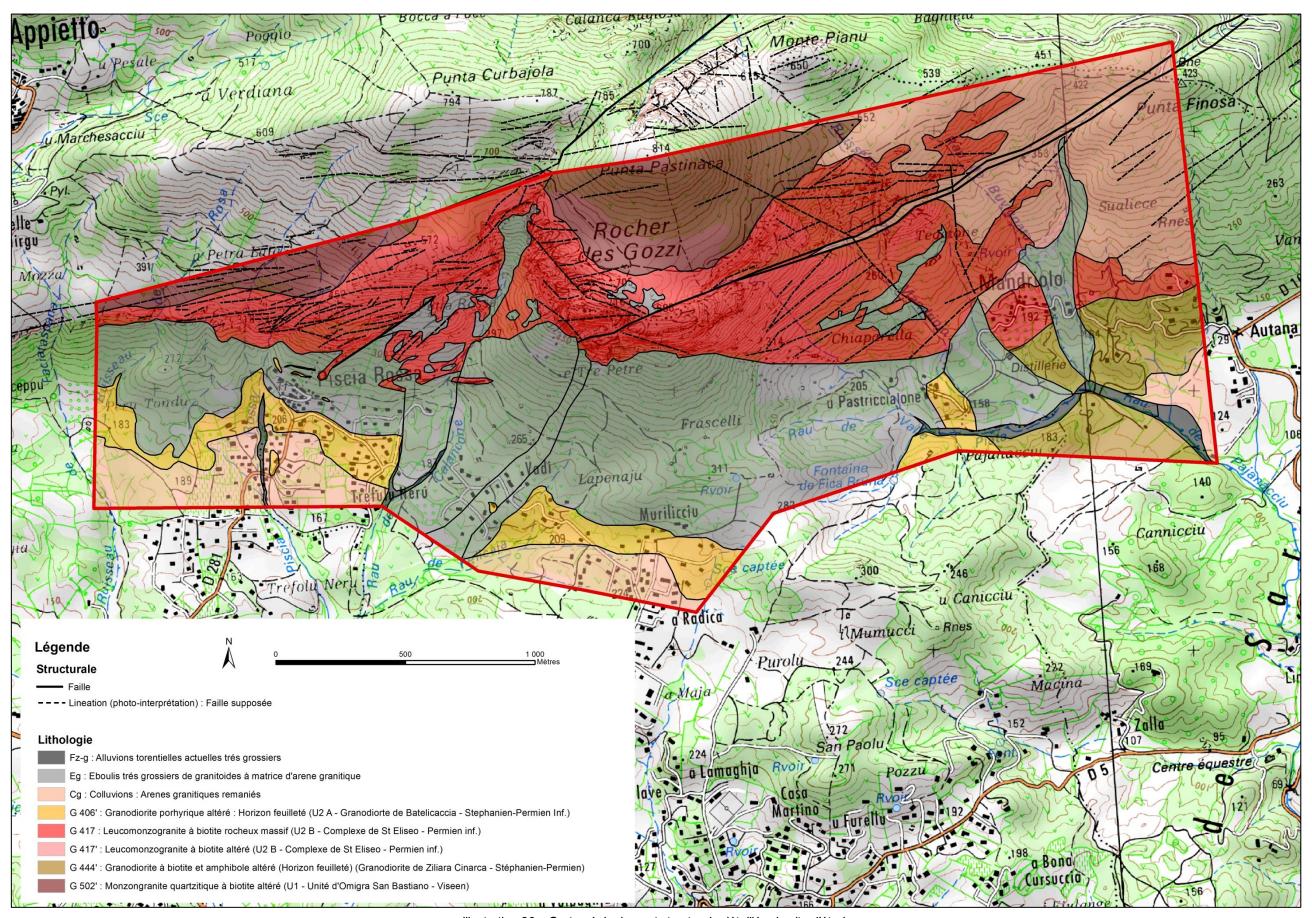


illustration 26 – Carte géologique et structurale détaillée du site d'étude

# 3.5. LEVES STRUCTURAUX ET LIENS AVEC LES MOUVEMENTS DE TERRAINS

#### a) Levés de mesures sur affleurement : définition des familles

Les levés de fracturations (cf. illustration 27) ont été réalisés sur deux stations de configuration lithologique analogue à celle constituant la falaise des Gozzi : les leucomonzogranites à biotite du Permien : le long de la D161 sous la Punta Finosa à l'Est et le long de la D581 sous le massif de Terra Mozza à l'Ouest. Ces mesures de fracturation à l'échelle de l'affleurement révèlent différentes familles de discontinuités plus ou moins fréquentes dans les granites, que l'on retrouve à l'Est et à l'Ouest du site, de la plus à la moins fréquemment mesurée :

- F1 (verticale transversale NE-SW): Azimut entre N55° et N65° E avec un pendage vertical (80-90° SE ou NW);
- F2 (verticale transversale SE-NW): Azimut entre N145° et N165°E avec un pendage sub-vertical (75-90° NE ou SW);
- **F3** (verticale N-S): Azimut entre N10 et N25°E avec un pendage vertical (85-90° W ou E);
- F4 (faiblement inclinées): Azimut très variable entre N0 et N170°E avec un pendage sub-horizontal entre 5° et 45° principalement vers le Sud-Ouest. C'est failles « horizontalisées » pourraient correspondre à l'horizon fissuré des massifs granitiques qui peuvent s'observer jusqu'à une centaine de mètres sous le niveau de l'ancienne surface d'altération. Cette phase de fracturation correspond au premier stade d'altération du granite contenant des biotites et ne correspondrait pas à une contrainte tectonique. Ceci pourrait expliquer la grande variabilité d'azimut observé.
- F5 (verticale Est-Ouest): Azimut N90°E avec un pendage vertical (90°). Ces fractures présentent la même orientation que la falaise du Massif des Gozzi. Cette famille, peu exprimée à l'échelle de l'affleurement, pourrait être sous-représentée compte-tenu de l'orientation des affleurements levés.

#### b) Discontinuités à l'échelle du massif sur photos aériennes

On retrouve les différentes familles de discontinuité à l'échelle du massif, sur images aériennes. Leur fréquence d'observation semble toutefois légèrement différer avec le changement d'échelle :

- La structuration du massif reste contrôlée par la famille F1 (N55-N65°E) qui est prédominante ;
- Les familles F2 et F3 sont plus rarement observées que sur affleurements ; elles recoupent la famille F1 et constitue souvent l'axe de talwegs ;
- La famille F5 est plus marquée que sur affleurements; elle a le même azimut que la falaise principale (Est-Ouest) entre 80 et 90°E;

La famille F4 (horizontale) ne s'observe pas sur photos aériennes.

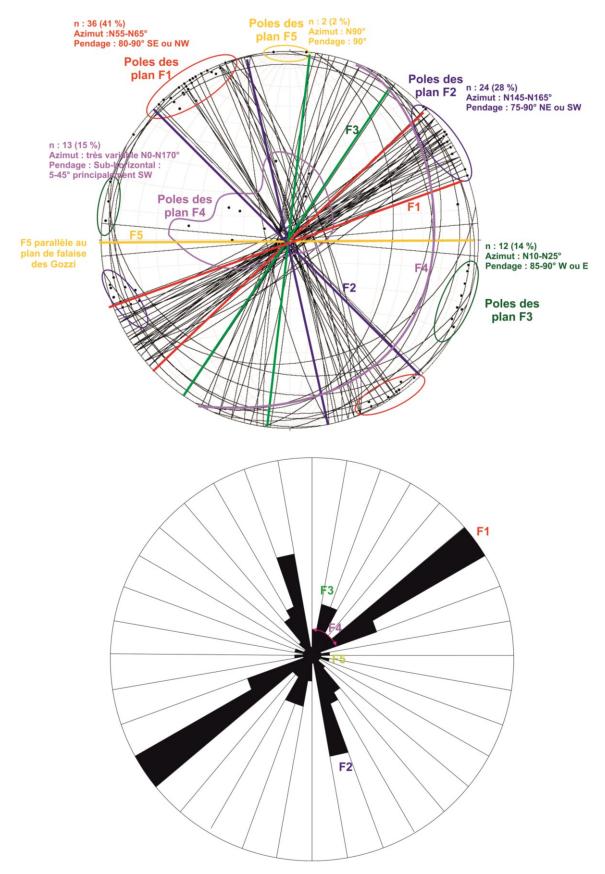


illustration 27 – Familles de fractures mesurées sur les leucogranites permiens du assif des Gozzi

Le réseau de fracture se retrouve sur paroi et détermine le débit du massif rocheux selon un réseau prédéfinis (cf. exemple sur l'illustration 28).

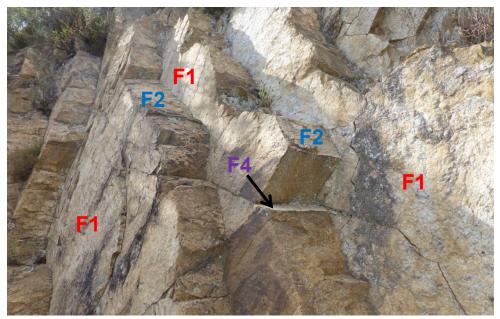


illustration 28 – Réseau de fracture sur le leucogranite du Gozzi

La densité et l'orientation des fractures conditionnent directement la typologie des mécanismes de rupture ainsi que les volumes mobilisables, au départ et après fragmentation (cf. paragraphe 4). La fracturation est susceptible également d'influencer la propagation des blocs. Les discontinuités majeures telles que celles appartenant à la famille F1 (qui peuvent conduire à la formation d'arrêtes rocheuses orienté N60°E) sont dans certaines configurations en mesure de concentrer les trajectoires de blocs en mouvement. C'est le cas du « couloir » situé à l'Ouest immédiat du Rocher des Gozzi, surplombé par de vastes plans subverticaux orientés N60°E et au débouché duquel on observe dans la pente une plus forte concentration de blocs éboulés (cf. illustration 29).

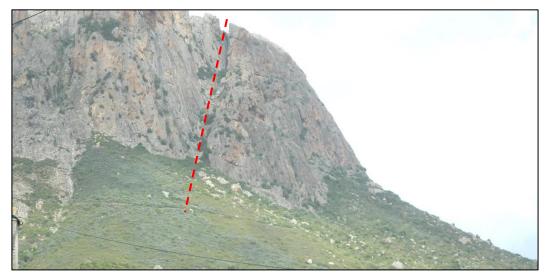


illustration 29 – Couloir de faille du Rocher du Gozzi, surmonté par des parois rocheuses orientées selon la famille F1 N60°E influençant la concentration des trajectoires de blocs (avec dispersion au pied du couloir)

# 4. Cartographie d'aléa « chute de blocs »

### 4.1. METHODE

La cartographie de l'aléa rocheux nécessite de définir les volumes susceptibles d'atteindre les enjeux. Ces volumes peuvent être issus de plusieurs types de scénarios : départ de volume unitaire se propageant vers l'enjeu, départ d'un volume important se fragmentant lors de sa chute et produisant des volumes plus faibles se propageant vers l'enjeu ou écroulements en masse avec propagation spécifique. La méthode valorisée dans le cadre du présent programme est issue des résultats à paraître d'un groupe de travail sur l'évaluation de l'« aléa rocheux » dans le cadre d'un PPRn (MEZAP²)

Pour l'aléa de chute de bloc, <u>le scénario de référence est caractérisé par le volume du plus gros bloc susceptible, sur la période de référence de 100 ans, de se propager jusqu'aux enjeux.</u> Cet aléa peut être reproductible ou non. Ce scénario de référence peut correspondre soit au plus gros évènement historique connu, soit être supérieur soit inférieur à celui-ci. Si aucun évènement historique n'est connu, une analyse spécifique est à mener.

Le prestataire ou l'expert, après examen des zones de départ, examen des zones de dépôt, référence à des contextes similaires (géologie, topographie), témoignages, synthèse historique, propose des zones homogènes de départ, chacune étant caractérisée par un volume unitaire de bloc (volume après fragmentation) susceptible de se propager dans la pente jusqu'aux enjeux. Il retient les scénarios de référence. Plusieurs scénarios par zone homogène peuvent être présentés. L'hypothèse d'un scénario de type phénomène de grande ampleur induisant un mélange turbulent dans la propagation sur la période de référence 100 ans est à préciser.

L'approche utilisée ensuite pour l'évaluation de l'aléa de référence est de type expert. Cette analyse est basée sur des observations in-situ (constats réalisés sur le terrain, cf. § 5.1) et en fonction des documents d'archives, le tout en prenant soin de compiler les données évènementielles servant de référence à l'analyse de propagation des blocs en versant. En termes pratiques, cette évaluation découle de 4 étapes résumées de la sorte :

### 1. Aléa de rupture

- On définit ce qui peut être mis en mouvement. C'est la quantité de roche, exprimée en volume, qui peut être déstabilisée et mise en mouvement. Le moteur de ce mouvement est gravitaire. Ces volumes potentiellement mobilisables décrivent l'intensité attendue des phénomènes, qualifiée par un indice d'intensité. Cette intensité est associée à l'endommagement potentiel engendré par une atteinte à des enjeux (ici un bâtiment d'habitation « classique »).
- On définit ensuite la fréquence avec laquelle ce ou ces volumes de roches se mettent en mouvement. On peut ainsi observer dans certains contextes, des chutes de pierres incessantes alors qu'une fois par décennie, un gros bloc se détache. Dans ce type d'étude, il s'agit de facto d'un facteur qui s'appuie, lorsqu'ils existent, sur de longs historiques d'observation, à défaut sur l'expertise. Ce paramètre qualifie un indice d'activité des zones de départ.

.

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> MEZAP : groupe de travail réuni sous l'autorité du MEDDE pour la détermination d'une MEthodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres, piloté par IRSTEA

 Le croisement de ces deux paramètres définit l'aléa de rupture. Cette notion est spatialisée en définissant les zones de départs potentiels, guidées essentiellement par la morphologie et en distinguant les compartiments rocheux potentiellement instables repérés sur site des zones de départ dites « diffuses » non nécessairement repérables.

### 2. Aléa de propagation – probabilité d'atteinte

- Une fois l'aléa de rupture défini, le principe est d'étudier la propagation des éléments rocheux en versant. Cette analyse est basée sur les retours d'expérience d'évènements passés et sur des modélisations plus ou moins complexes, validée ou « corrigées » par la connaissance terrain. Selon les cas, on définit les chemins probables des trajectoires de chutes de blocs (calculs déterministes en 2D ou 3D de trajectographie intégrant les volumes et forme des éléments rocheux, la nature des sols soumis à impacts, les vitesses de propagation …) ou des enveloppes globales résultant d'analyses empiriques.
- Le résultat permet de définir des probabilités d'atteinte de blocs en tout point du territoire.

#### 3. Probabilité d'occurrence

- La probabilité d'occurrence résulte du croisement de l'indice d'activité des zones de départ et des probabilités d'atteinte simulées.

### 4. Aléa résultant

- L'aléa de mouvement de terrain (ici « chute de blocs ») résulte du croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité du phénomène de référence considéré.

Dans la pratique, la mise en œuvre de cette démarche dans la zone d'étude du Gozzi impose la définition d'un (de) phénomène(s) de référence pour lequel/lesquels sont déclinés :

- l'estimation de la probabilité de départ (rupture) ;
- la détermination de la probabilité d'atteinte ;
- le calcul de l'aléa résultant « chute de blocs » à l'échelle communale.

### 4.2. TYPOLOGIE DES RUPTURES

La typologie générale des évènements « chute de blocs » est décrite de façon assez exhaustive sur l'illustration suivante. Les reconnaissances de terrain et l'analyse des évènements passés mettent en évidence les principaux types de rupture affectant les parois rocheuses et autres escarpements présents sur la zone d'étude. On relève une grande diversité des modes de rupture potentiels, caractéristique principale du site. On peut néanmoins mettre en avant trois grands types de mécanismes privilégiés :

### a) Le basculement de colonnes rocheuses ou de blocs

Ce mécanisme de rupture est assez bien représenté, en particulier dans la partie est de la zone d'étude à la faveur de chicots rocheux notamment, ainsi que dans sa partie ouest où sont présentes de nombreuses barres rocheuses découpées par des discontinuités redressées et profondes (familles de discontinuités F1, F2, F3 et/ou F5), les structurant en compartiments ou colonnes de dimensions variables mais fréquemment avec un élancement assez marqué. Du fait de cet élancement, un relativement faible effort peut suffire à les déstabiliser.

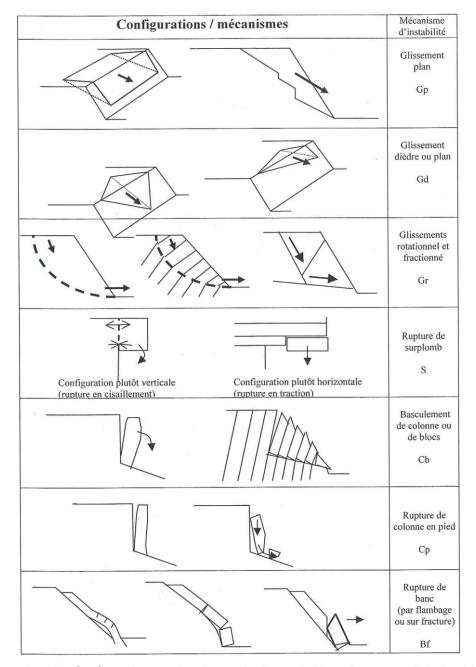


illustration 30 – Configuration et mécanismes de chutes de blocs (Dussauge-Peissier, 2002)

### Les conditions de rupture sont liées à :

- Des facteurs de prédisposition : orientation relative des discontinuités au sein de la masse rocheuse et organisation géométrique de la colonne rocheuse. Le basculement de colonne global ou partiel peut résulter d'une initiation en glissement plan, puis rupture par décollement le long du plan de glissement. La fragmentation locale des assises de colonne (en compression) peut également engendrer des zones de faiblesses en pied générant une rupture par basculement.
- Des facteurs d'activité: la présence de rejets locaux et de zones fracturées en pied de colonne témoigne de l'activité relative, signe d'amorce de rupture. Les cycles de gel/dégel constituent les principaux facteurs d'évolution sensibilisant les masses prédécoupées.

Les masses rocheuses – volumes et géométries, associées à ces ruptures sont également très variables (de l'ordre du mètre cube à plusieurs dizaines de mètre cube voire plus), fonction de l'organisation locale du réseau de fractures et de la géométrie des barres rocheuses. A ce titre, on se basera conjointement, pour l'évaluation de l'intensité des phénomènes, sur l'inventaire évènementiel et sur les constats de terrain.



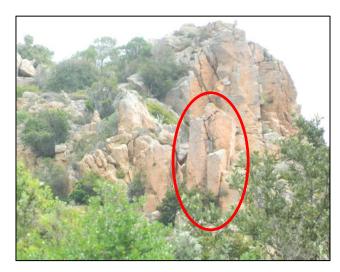


illustration 31 – Exemples de rupture possible par basculement de colonnes ou de blocs de volumes plurimétriques à décamétriques (à gauche : chicot rocheux en amont de Mandriolo ; à droite : barre rocheuse fracturée en amont de Piscia Rossa)



illustration 32 – Exemple de rupture possible par basculement de colonnes rocheuses de volumes décamétriques à pluridécamétriques (en amont de Piscia Rossa)

### b) La rupture de colonnes en pied

Il s'agit là d'un mécanisme assez proche de la rupture de colonnes ou de blocs par basculement, impliquant là encore les familles de discontinuités F1, F2, F3 et/ou F5. Les facteurs de prédisposition et d'activité sont globalement analogues. Les processus de fatigue de la matrice rocheuse, de démantèlement progressif du pied de colonne sous son propre poids et sous l'influence de la fracturation peuvent notamment entrainer de la partie basse de l'écaille

ou de la colonne rocheuse, entrainant dans la majeure partie des cas une rupture avec glissement de celle-ci vers l'extérieur de sa base.

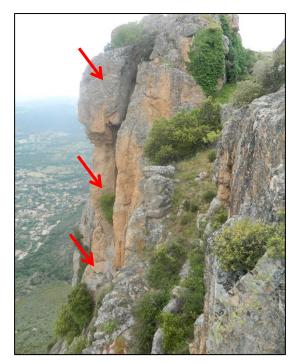




illustration 33 – Exemples de rupture possible de colonnes en pied (à gauche, partie sommitale du Rocher des Gozzi ; à droite : secteur de Piscia Rossa)

### c) Rupture de surplomb

A la faveur de glissement plans, l'organisation structurale des massifs dégage des masses en surplomb, partiellement enchâssées dans les barres rocheuses. Ce type de configuration a été rencontré sur l'intégralité de la zone d'étude, que ce soit au niveau des barres très fracturées au droit de Piscia Rosa et des chicots de Mandriolo, mais également de façon moins généralisé au niveau des falaises plus massives du Rocher des Gozzi où les zones de surplomb peuvent concerner des panneaux rocheux de volumes sensiblement plus importants.

Les conditions de mouvement sont liées à :

- <u>Des facteurs de prédisposition</u>: orientation relative des discontinuités et départs régressifs depuis le pied des abrupts. L'encastrement relatif des masses et la continuité des plans de fracturation « rentrants » sont essentiels dans la genèse de ce type de rupture.
- Des facteurs d'activité: les cycles de gel/dégel constituent les principaux facteurs d'évolution sensibilisant les masses prédécoupées. La micro-fissuration des assises encastrées développe l'appel au vide jusqu'à la rupture, initiée systématiquement de façon régressive des pieds vers le haut de parements.

Les masses rocheuses – volumes et géométries, associées à ces ruptures sont également très variables, fonction de l'organisation locale du réseau de fractures.



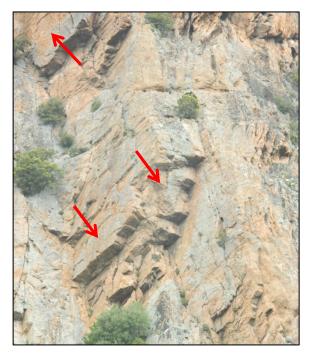


illustration 34 – Exemples de rupture possible de surplomb (à gauche, en amont de U Pastriccialone ; à droite : en amont de Murilicciu – mise en surplomb liée à une précédente instabilité)





illustration 35 – Exemples de rupture possible de surplomb (secteur de Piscia Rossa)



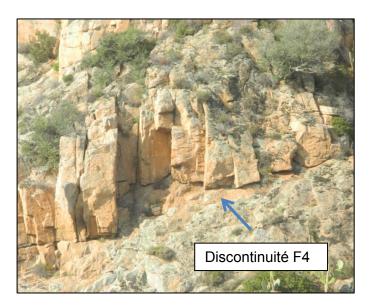


illustration 36 – Exemples de rupture possible de surplomb (à gauche : secteur du Rocher des Gozzi ; à droite : secteur de Piscia Rossa – rupture possible associant surplomb et glissement plan en lien avec la famille de fracture faiblement inclinée F4)

Au-delà des trois principaux types de rupture identifiés ci-dessus, on mentionnera également que la partie occidentale de la zone d'étude (versants de Piscia Rossa et Petra Rossa plus à l'Est) est marquée par la présence de nombreux blocs dans les pentes, au niveau des barres rocheuses. Ces éléments de volume unitaire inframétrique à plurimétrique, sont pour partie issus du démantèlement sur place (sans mouvement significatif) des barres rocheuses (par altération, érosion progressive et ravinement), mais aussi pour partie le fruit d'instabilités plus ou moins anciennes et n'ayant pas généré de trajectoires étendues. Certains de ces éléments sont imparfaitement stabilisés dans la pente et présentent un risque de remobilisation.

Les conditions de mouvement de ces compartiments sont liées à :

- <u>Des facteurs de prédisposition</u> : position et forme du bloc, érodabilité de l'assise, encastrement relatif de la masse dans le sol ;
- <u>facteurs d'activité</u>: le ravinement est le moteur essentiel de déstabilisation par affouillement de l'assise. Les incendies (tels que ceux de 1983) sont un facteur potentiellement fortement aggravant qui accentue l'érosion après les précipitations.

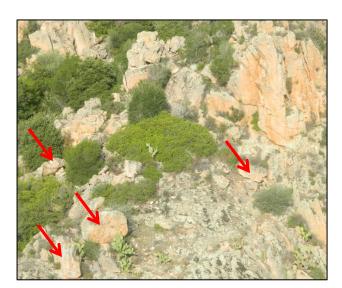




illustration 37 – Exemples de blocs potentiellement remobilisables en amont de Piscia Rossa

### 4.3. INVENTAIRE EVENEMENTIEL

Le report des évènements connus permet de circonscrire globalement les zones principales d'atterrissement. Cet inventaire ne saurait évidemment pas être exhaustif mais vise d'une part à identifier les zones plus particulièrement exposées et d'autre part à permettre de quantifier les volumes potentiellement mobilisables.

La carte présentée sur l'illustration 17 présentait spécifiquement sur le secteur de Piscia Rossa les caractéristiques de blocs issus d'événements historiques relativement « récents » et encore dans les mémoires, ainsi que de blocs atterris « non datés » mais dont le positionnement et le volume rendent plausibles leur lien avec des instabilités « contemporaines » résultant du démantèlement des barres rocheuses sus-jacentes (voire avec des phénomènes de remobilisation).

Par ailleurs, l'illustration n°38 présente sur une grande partie de la zone d'étude (le recensement étant plus difficile sur la partie orientale au regard d'une végétation plus présente et de la configuration topographique plus complexe) le recensement (non exhaustif) de blocs éboulés effectué à partir de différentes sources d'informations :

- Report de l'inventaire réalisé par le CETE Méditerranée lors de l'étude de 2010 (mode opératoire non précisé dans le rapport d'étude) ;
- Reconnaissances de terrain pédestres ;
- Exploitation des orthophotos 2016 réalisées en parallèle à la campagne Lidar (cf. illustration 19).

Une indication sur le volume des blocs est apportée, même si concernant les éléments identifiés par photo-analyse, cette information est à prendre avec précaution dans la mesure notamment où seules des données 2D (hauteur/largeur) peuvent être déterminées (avec une relativement bonne précision).

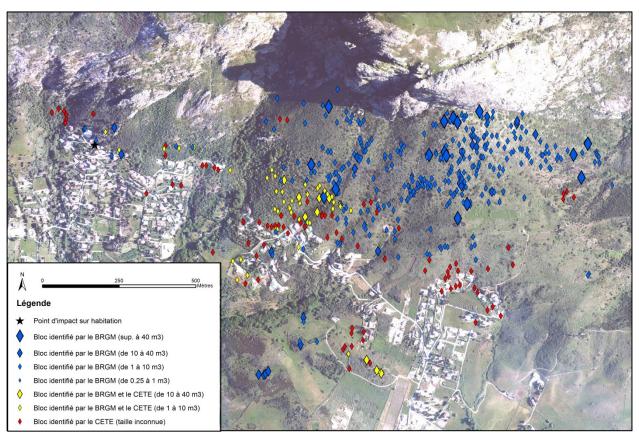


illustration 38 – Recensement non exhaustif des principaux blocs éboulés



illustration 39 – Blocs identifiables sur l'orthophoto 2016 (échelle 1/1000) aux abords de la bergerie de Lapenaju



illustration 40 – Blocs identifiables sur l'orthophoto 2016 (échelle 1/1000) aux abords de Vadi

Le recensement effectué montre une forte densité de blocs atterri à l'Ouest du thalweg de Calancone et sous les falaises du Rocher des Gozzi (dans les versants et jusqu'au sein même des zones bâties de Vadi et Murilicciu), alors même que sur ce secteur aucune information historique n'a été collectée auprès de la commune et des riverains interrogés. Ceci laisse à penser que ces blocs résultent pour une large part d'une activité suffisamment ancienne pour que, semble-t-il, aucune trace n'en soit consignée dans les mémoires et dans les archives communales.

Sur ces mêmes zones, de nombreux éléments de volume souvent décamétrique à pluridécamétrique sont par ailleurs identifiés bien au-delà de la route communale de Vadi. Il est fortement probable que ces éléments soient liés à des instabilités majeures anciennes à très anciennes, ne pouvant être considérées comme phénomène de référence dans le cadre de cette étude (dynamique de propagation particulière liée au volume mobilisé, période de retour très forte).

Sous le couloir de faille du Rocher des Gozzi, de gros blocs, pour certains très volumineux (dépassant 100 m³ voire 200 m³) sont présents dans la pente en amont des zones bâties. Il est possible là encore d'émettre l'hypothèse que ces éléments résultent de phénomènes de forte intensité, à la période de retour trop importante pour que l'événement soit pris en compte comme phénomène de référence dans le cadre de cette étude.

## 5. Evaluation de l'aléa « chute de blocs »

### 5.1. ALEA DE RUPTURE

On définit ici ce qui peut être mis en mouvement : à partir d'où ? quels volumes ? quand, à quelle échéance ? Le moteur de ce mouvement est gravitaire, à la faveur des facteurs exposés au § 4.2.

### a) Zones de départ

La définition des zones de départs potentiels est basée sur les paramètres de prédisposition suivants :

- la géologie : faciès rocheux pouvant générer des blocs ;
- la morphologie : présence de falaises ou de ressauts topographiques pouvant générer des éboulements ou des départs de blocs isolés ;
- les mécanismes de rupture : conditions de fracturation notamment propices aux éboulements.

A l'échelle de l'ensemble de la zone, et compte-tenu de la diversité des ruptures identifiées, le cas échéant au sein de mêmes ensembles, <u>il n'a pas été fait de discrimination spécifique sur le mode de rupture</u>, en considérant que tout relief était à même de produire des blocs.

### <u>Géologie</u>

Les zones favorables sont définies par rapport à la carte géologique au 1/50 000 en enrichie des levés de terrain (cf. paragraphe 3.4). Les résultats sont compilés sur l'illustration n°26. Du point de vue lithologique, les ensembles favorables au départ de chutes de blocs sont les formations cartées comme « leucomonzogranites à biotite rocheux massif » (identifiée G417) et « leucomonzogranites à biotite altéré » (identifiée G417'), formant l'ossature de l'intégralité des barres rocheuses et autres escarpements.

### Morphologie

L'inventaire exhaustif des zones de départs potentielles (falaises et barres rocheuses) lors d'une reconnaissance *in situ* est difficilement réalisable à l'échelle d'une zone d'étude de superficie aussi importante. A ce titre, le couplage par photo-interprétation et valorisation des données du MNT a été engagé. Des reflexions, par retour d'expérience de zones d'éboulement dans le massif alpin [Berger, 2009] ont été menées pour valoriser les données MNT au travers de la carte des pentes notamment. Sur cette base, un modèle permettant de calculer la valeur du seuil de pente  $\alpha$  en fonction de la résolution de MNT (avec RES résolution du MNT) est proposé :

$$\alpha = 55^{\circ} . RES^{-0.075}$$

Ainsi pour le MNT au pas de 1 m dont on dispose, une pente supérieure ou égale à 55° est considérée comme zone de départ potentielle. En complément, cette approche est croisée et ponctuellement enrichie avec la digitalisation des barres rocheuses apparentes sur l'orthophoto haute résolution afin de produire une carte des zones de départs potentiels la

plus exhaustive possible. Les résultats des démarches réalisées sont reportés sur les illustration n°41 et 42. L'illustratuion n°41 présente sur l'ensemble de la zone d'étude ainsi que sur un zoom intéressant le secteur de Piscia Rossa, la carte des pentes (regroupées par classes de valeurs) dérivée du MNT.

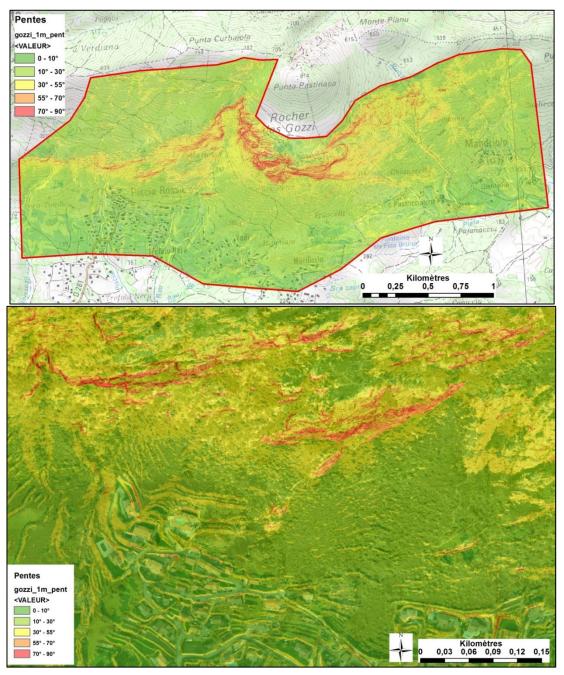


illustration 41 – Carte des pentes dérivées du MNT au pas de 1 m (secteur de Piscia Rossa sur l'illustration du bas) – Fond Scan25 IGN et en bas Orthophoto 2016

L'illustration n°42 présente la carte des zones de départs potentiels (pentes supérieures à 55°), en distinguant parmi celles-ci les zones très abruptes à subverticales (pentes supérieures à 70°).

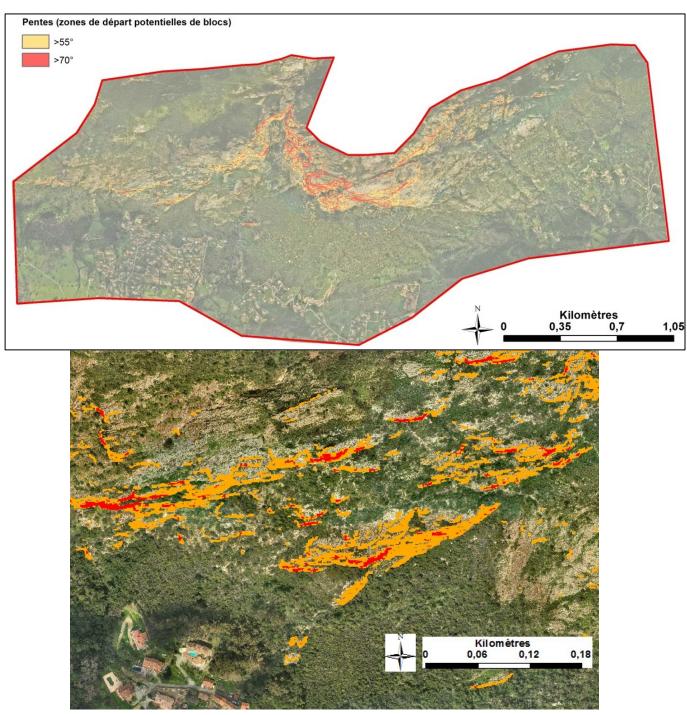


illustration 42 – Carte des zones de départ potentiels de blocs - pentes dérivées du MNT au pas de 1 m (secteur de Piscia Rossa sur l'illustration du bas) – Fond Orthophoto 2016

Ces zones de départ potentiels de blocs ont dans un second temps été sectorisées en grands ensembles homogènes du point de vue de leurs principales caractéristiques géomorphologiques et structurales, et de leur activité potentielle vis-à-vis des chutes de blocs. Vingt « sites » ont ainsi été distingués, faisant l'objet de fiches d'identification présentant les caractéristiques retenues en termes de masses potentiellement instables, les volumes concernés et les mécanismes associés. La délimitation des vingt « sites » est donnée sur l'illustration n°43. Un exemple de fiche d'identification de site est présenté ci-après, tandis que l'ensemble des fiches est donné en annexe 1.

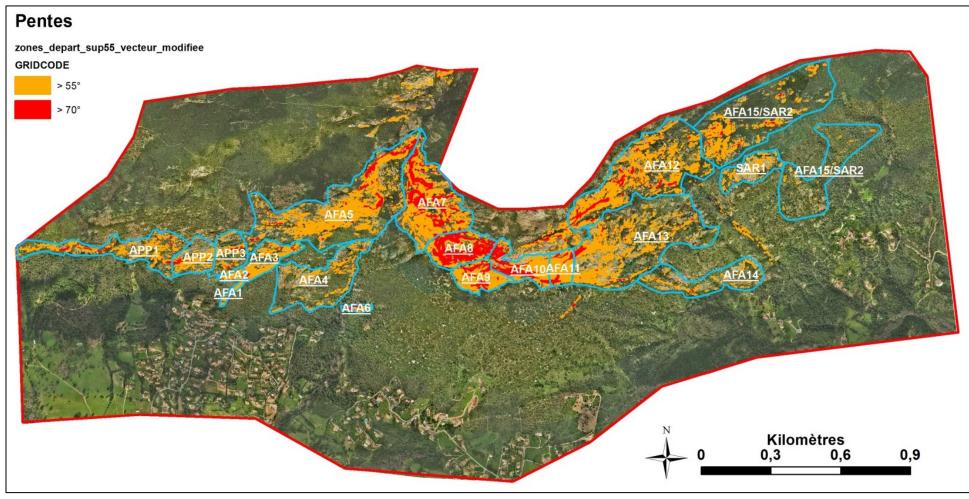


illustration 43 – Regroupement par « sites » des zones de départ potentiels de blocs et numérotation des fiches d'identification correspondantes – Fond Orthophoto 2016

### FICHE DE SITE : AFA2

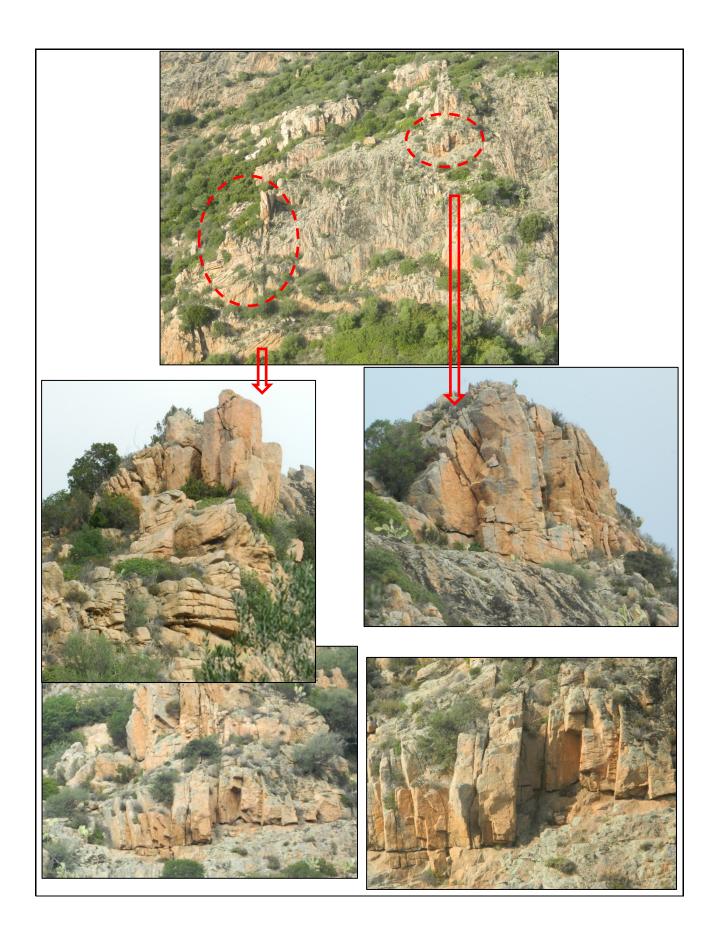
### COMMUNE / SECTEUR : Afa / Piscia Rossa

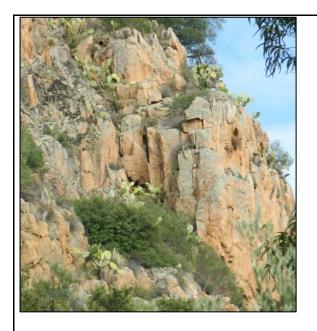
**Localisation / positionnement de l'instabilité** : extrémité Est d'une barre rocheuse armant la partie inférieure du versant, hauteur variant entre une vingtaine de mètres et de l'ordre d'une cinquantaine de mètres.

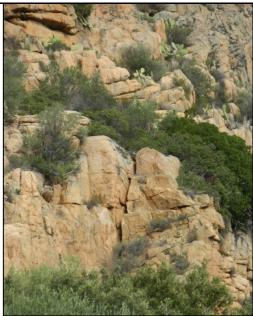


### Planches photographiques:













**GEOMETRIE**: Barre rocheuse fortement fragmentée montrant de nombreux indices d'instabilités passées et de nombreux compartiments instables. Zone de départ probable des instabilités recensées en 1982 et 1957.

VOLUME TOTAL : compartiments rocheux (colonnes, dièdres, etc.) potentiellement mobilisables compris entre plusieurs mètres cubes et potentiellement plusieurs dizaines de mètres cubes.

VOLUME UNITAIRE : le plus souvent de l'ordre du mètre cube à quelques mètres cubes, potentiellement volume unitaire susceptible de dépasser la dizaine de mètres cubes.

### **INDICE D'INTENSITE: TRES ELEVE A ELEVE**

MECANISME DE RUPTURE : glissement plan, basculement, déstabilisation par rupture de pied, rupture de surplomb, etc.

FACTEURS DE PREDISPOSITION : Discontinuités (plans de fracturation)

FACTEURS AGGRAVANTS : végétation, fatigue thermique, surplombs localisés.

### **INDICE D'ACTIVITE : FAIBLE A MOYEN**

illustration 44 – Exemple de fiche d'identification de site – site AFA2

### b) Intensité de phénomène

Les volumes potentiellement mobilisables (définis après fragmentation en cours de propagation de la masse au départ) conditionnent directement l'intensité attendue des phénomènes, qualifiée par un **indice d'intensité**. Cette intensité est associée à l'endommagement potentiel des enjeux engendré par leur atteinte. De façon globale, le niveau d'intensité du phénomène est définit à partir de la grille ci-dessous issue du groupe de travail MEZAP/

Indices d'intensité	Description	Potentiels de dommages
Faible	Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m³	Pas de dommage au gros œuvre, peu ou pas de dommages aux éléments de façade.
Modérée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m³ mais inférieur à 1 m³	Dommage au gros œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.
Elevée	Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m³ mais inférieur à 10m³	Dommage important au gros œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.
Très élevée	Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m <sup>3</sup>	Destruction du gros œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle

illustration 45 – Définition des classes d'intensité de l'aléa rocheux en fonction du volume et du potentiel de dommages (source : document Mezap)

L'analyse de la distribution des volumes des blocs recensés dans les zones d'atterrissement principales (cf. paragraphe 4.3) tend à indiquer qu'à l'échelle de la zone d'étude, les classes d'intensité majoritairement représentées sont la classe « élevée », avec sur certains secteurs également une représentation de la classe « très élevée ». Quelques blocs de volume supérieur à 10 m³ ont été identifiés en amont de Piscia Rossa, mais surtout au droit du Rocher des Gozzi (secteurs Vadi, Lapenaju). Ces blocs les plus volumineux sont positionnés soit très bas dans le versant et probablement associés à des phénomènes ne pouvant être retenus comme phénomène de référence dans le cadre de cette étude (cf. page 43), soit aux abords immédiats des constructions, soit encore largement plus en amont dans le versant (avec quelques compartiments de plusieurs dizaines voire plusieurs centaines de m³ – cf. illustrations n°46 et 47).

Les constats faits au niveau des zones de départ potentiels de blocs ont par ailleurs conduit à définir, pour chaque site, les classes de volumes susceptibles de se propager. Les classes « élevée » et « très élevée » sont les plus représentées au regard de l'importance des compartiments pouvant être libérer par les parois mais aussi des capacités de fragmentation en cours de chute. Les flancs du Rocher des Gozzi apparaissent ainsi en mesure de donner naissance à des volumes au départ de plusieurs centaines de mètres cubes (voir plus), et de générer après fragmentation des volumes unitaires finaux plurimétriques à décamétriques.

Un scénario de rupture potentielle en très grande masse entrainant un comportement de propagation de type « écroulement » (phénomène « de grande ampleur » dont la dynamique s'apparente à celle d'un mélange « turbulent ») n'a pas été retenu dans le cadre de la présente étude. La survenue d'un tel événement depuis les falaises du Rocher des Gozzi (partie centrale de la zone d'étude – potentiellement secteurs AFA7, AFA8, AFA10) n'est pas à exclure mais présente une probabilité d'occurrence trop faible sur la période de référence considérée (100

ans). En fonction du volume mobilisé et de l'importance de la fragmentation des compartiments rocheux, l'extension des zones d'atteinte pourrait être supérieure ou inférieure aux événements de référence pris en considération dans cette étude.



illustration 46 – Vue aérienne générale des versants en contrebas du Rocher des Gozzi et identification de gros blocs observables dans la pente (cerclé : blocs visibles sur l'illustration n°47)



illustration 47 – Exemples de compartiments des classes d'intensité « élevée » à « très élevée » en amont des construction du secteur de Vadi

### c) Activité

La fréquence avec laquelle les volumes de roches se mettent en mouvement qualifie un **indice** d'activité des zones de départ, défini à partir de la grille suivante établi par le groupe de travail MEZAP.

Indice d'activité par zone d'homogène	Description
Faible	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans
Moyen	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans
Fort	De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans

illustration 48 – Définition des classes d'indice d'activité (source : document Mezap)

La connaissance historique recensée dans le cadre de cette étude a été présentée précédemment. Piscia Rossa est à ce titre parmi la zone d'intérêt le secteur sur lequel l'activité chute de blocs connue est récurrente au cours des dernières décennies. Sur l'ensemble des différents sites de départs potentiels de blocs, une évaluation de l'activité a été faite à dire d'expert et consignée dans les fiches d'identification. Majoritairement, cette évaluation a conduit à un indice d'activité de niveau «faible » (de l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans) à « moyen » (de l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans). Seuls deux secteurs (AFA1 et AFA7) font apparaître une activité potentielle plus fréquente, de niveau qualifié de « fort » (de l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans).

### d) Synthèse aléa de rupture

L'illustration n°49 présente une synthèse des indices d'intensité et d'activité sur les différents sites de départs potentiels de blocs identifiés. La plupart des sites sont susceptibles de générer des phénomènes d'intensité élevée (voire très élevée) mais avec une fréquence le plus souvent moyenne, voire faible.

Les scénarii de référence retenus selon les secteurs de falaise sont les suivants :

- Secteurs APP1, APP2, APP3, AFA1, AFA2, AFA3, AFA5, AFA6, AFA7, AFA8, AFA9, AFA10, AFA11, AFA12, AFA13 :

Intensité élevée (bloc unitaire se propageant de 1 à 10 m³), activité moyenne (de l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans) ;

- Secteurs AFA4, AFA14, AFA15/SAR2, SAR1:

Intensité élevée (bloc unitaire se propageant de 1 à 10 m³), activité faible (de l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans).

Zone	Scénario volume mobilisable au départ	Volume unitaire (après fragmentation)	Indice d'intensité	Indice d'activité
APP1	quelques m3 à quelques dizaines de m3	de l'ordre de 1 m3 à quelques m3 (< 10 m3)	Elevé à modéré	Faible à moyen
APP2	quelques m3 à une centaine de m3 environ	de l'ordre de 1 m3 à quelques m3 (< 10 m3)	Elevé à modéré	Faible à moyen
APP3	quelques m3 à une centaine de m3 environ pour l'essentiel ; compartiment de plusieurs centaines de m3 en partie haute	quelques m3, voire > 10 m3	Très élevé à élevé	Faible à moyen
AFA1	quelques m3 à volume décamétrique	< 1m3, voire potentiellement 1 à quelques m3	Elevé à modéré	Moyen à fort
AFA2	quelques m3 à potentiellement plusieurs dizaines de m3	de l'ordre de 1 m3 à quelques m3, voire potentiellement > à 10 m3	Très élevé à élevé	Faible à moyen
AFA3	de l'ordre de 1 m3 à potentiellement plusieurs dizaines de m3	1 m3 à moins de 10 m3	Elevé	Moyen
AFA4	de l'ordre de 1 m3 à une trentaine de m3	< 1 m3, voire potentiellement jusqu'à quelques m3	Elevé à modéré	Faible à moyen
AFA5	de l'ordre de 1 m3 à potentiellement plusieurs dizaines de m3	1 m3 à moins de 10 m3	Elevé	Moyen
AFA6	< 1 m3 et potentiellement jusqu'à une trentaine de m3	< 1 m3, voire potentiellement jusqu'à quelques m3	Elevé à modéré	Faible à moyen
AFA7	de l'ordre du m3 à potentiellement plusieurs milliers de m3	de l'ordre du m3 à plusieurs dizaines de m3	Très élevé à élevé	Faible à fort
AFA8	de l'ordre du m3 à potentiellement plusieurs centaines de m3	de l'ordre du m3 à plusieurs dizaines de m3	Très élevé à élevé	Faible à moyen
AFA9	de l'ordre de 1 m3 à potentiellement plusieurs dizaines de m3	de l'ordre du m3 à plusieurs dizaines de m3	Très élevé à élevé	Faible à moyen
AFA10	de l'ordre du m3 à potentiellement plusieurs centaines de m3	de l'ordre du m3 à plusieurs dizaines de m3	Très élevé à élevé	Faible à moyen
AFA11	de l'ordre du m3 à potentiellement plusieurs centaines de m3	de l'ordre du m3 à plusieurs dizaines de m3	Très élevé à élevé	Faible à moyen

AFA12	de l'ordre du m3 à potentiellement plusieurs dizaines de m3	entre le m3 et de l'ordre d'une dizaine de m3	Elevé	Faible à moyen
AFA13	entre moins de 1 m3 et de l'ordre de 20-30 m3	< 1 m3, voire potentiellement jusqu'à quelques m3	Elevé à modéré	Faible à moyen
AFA14	entre moins de 1 m3 et de l'ordre de quelques m3	< 1 m3, voire de l'ordre de 1 à 2 m3	Elevé à modéré	Faible à moyen
SAR1	de l'ordre du m3 à potentiellement plusieurs m3	de l'ordre du m3 à quelques m3	Elevé à modéré	Faible à moyen
AFA15/SAR2	de l'ordre de 1 m3 à potentiellement une trentaine de m3	de l'ordre du m3 à quelques m3	Elevé à modéré	Faible à moyen

illustration 49 – Indices d'intensité / activité selon les sites de départs potentiels de blocs identifiés

### 5.2. ALEA DE PROPAGATION : PROBABILITE D'ATTEINTE

L'évaluation de la propagation de chutes de blocs en versant a été menée en suivant les étapes complémentaires suivantes :

- Simulations trajectographiques en 2D;
- Analyse à partir de la méthode dite de la ligne d'énergie permettant la définition d'enveloppes de propagation en fonction des caractéristiques topographiques du site ;
- Cartographie de synthèse basée sur les résultats des méthodes précédentes enrichis d'une approche « experte ».

### a) Trajectographie 2D

L'outil utilisé est PIERRE98, logiciel probabiliste de trajectographie 2D de chute de bloc prenant en compte l'impact bloc / sol [Mella A. et Hungr, 1999]. Le calcul d'une trajectoire est effectué de manière déterministe en prenant potentiellement en compte la variabilité des paramètres liés au bloc, au sol et aux interactions sol/bloc. L'analyse probabiliste résulte de la multiplication des trajectoires calculées en simulant, pour chaque paramètre d'entrée, une réalisation possible d'une variable aléatoire et de l'analyse statistique qui résulte de l'ensemble des simulations.

Les profils de calcul jugés représentatifs des configurations les plus pénalisantes rencontrées sur l'ensemble de la zone d'étude et ayant fait l'objet des simulations sont présentés sur les illustrations  $n^{\circ}50$  à 54. Ils correspondent à :

- à des zones de départ remarquables identifiées ;
- à des configurations topographiques préférentielles, favorables pour la propagation de blos en mouvements (cf. illustration 55) ;
- à des atteintes potentielles aux zones d'enjeux ;
- à un couloir de propagation préférentiel au niveau de Piscia Rossa (P2), correspondant selon toute vraisemblance aux événements des années 1980.

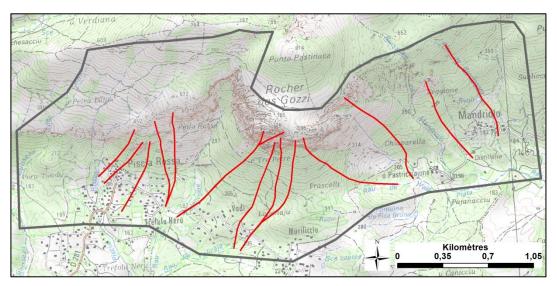


illustration 50 – Localisation générale des profils de trajectographie simulés (fond :©IGN, scan25)

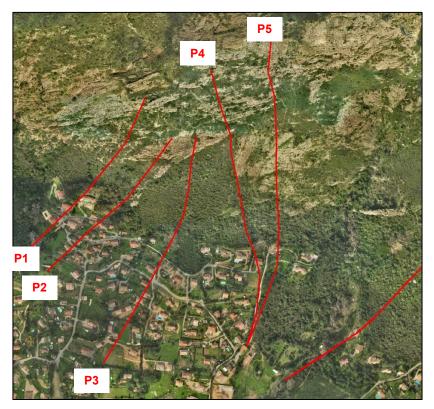


illustration 51 – Localisation des profils, secteur de Piscia Rossa (fond :orthophotos 2016)

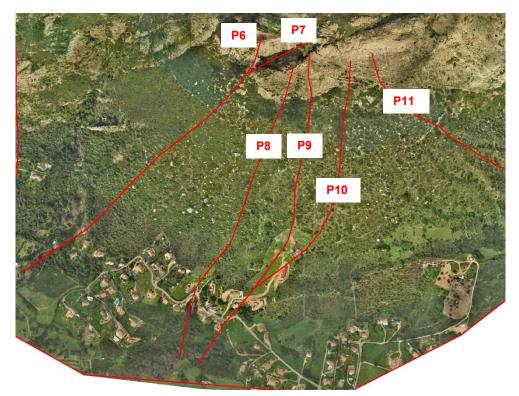


illustration 52 – Localisation des profils, secteur Afa (Vadi, Lapenaju) - (fond :orthophotos 2016)

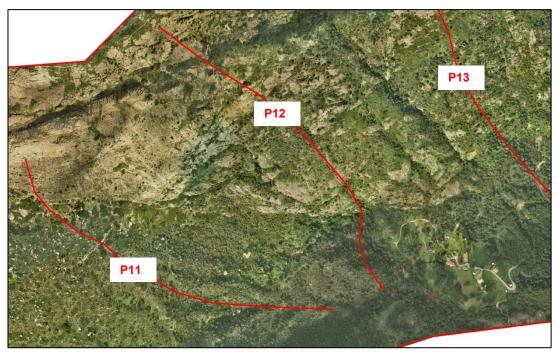


illustration 53 – Localisation des profils, secteur Afa (U Pastriccialone) - (fond :orthophotos 2016)

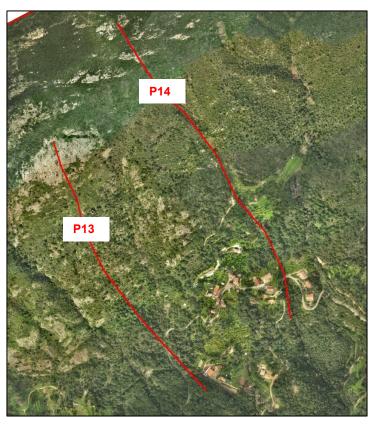


illustration 54 – Localisation des profils, secteur Sarrola-Carcopino (Mandriolo) - (fond :orthophotos 2016)



illustration 55 –Partie basse légèrement « vallonnée » des profils P8 et P9 vue depuis la Grande Vire du Rocher des Gozzi

Les types de sols considérés sont ceux de l'**Erreur! Source du renvoi introuvable.**6. Les hypothèses de blocs retenues, guidées par les observations de terrain, sont les suivantes : blocs de forme parallélépipédique avec des volumes moyens (selon une distribution uniforme) après fragmentation compris entre 2 et 5 m³ (fourchette basse de la classe d'intensité moyenne). Le choix de cibler ces éléments, plutôt que ceux de 5 à 10 m³ (dans la même classe) est issu de la représentativité plus forte de cette sous-classe de volume sur site. Par ailleurs, des tests de propagation ont été menés sur la classe 5-10 m³ mais ceux-ci n'ont pas montré de modification significative dans la répartition des zones d'arrêt, ce qui est attribuable aux paramètres de rugosité des éboulis très grossiers à matrice d'arène granitique. Pour les secteurs pour lesquels des blocs atterris de classe d'intensité élevée (V > 10 m³) ont été observés (ou pour lesquels l'aléa de départ est susceptibles de donner de tels volumes), il est rappelé que ce scénario n'a pas été retenu comme scénario de référence (absence d'information historique sur de tels événements, probabilité d'occurrence jugée trop faible).

Pour chaque profil, les calculs ont été menés pour des lancers de 10000 blocs depuis chaque zone de départ identifiée sur les profils. Les résultats se présentent comme une distribution des zones d'arrêt de blocs dans les versants. La donnée est valorisée comme une probabilité d'atteinte en chaque point du profil.

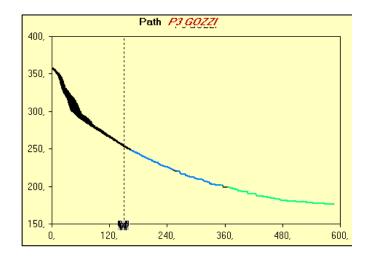
La synthèse des analyses est présentée sur l'illustration n°56. L'ensemble des simulations est annexé. Les classes de probabilité d'atteinte sont définies comme suit en référence aux valeurs communément admises (ADRGT, MEZAP) :

- P > 10<sup>-2</sup> (1 bloc sur 100 atteint l'enjeu) : probabilité forte ;
- 10<sup>-4</sup> < P < 10<sup>-2</sup> (1 bloc sur 10000 atteint l'enjeu) : probabilité moyenne ;
- 10<sup>-6</sup> < P < 10<sup>-4</sup> (1 bloc sur 1 000 000 atteint l'enjeu) : probabilité faible.

Dans les cas de figures étudiés (longueur des profils, pas du MNT, nombre de sols et variabilité des paramètres), l'outil Pierre98 n'a pas permis de calculer / afficher plus de 10 000 lâchés de blocs par profil. A ce titre, la probabilité de 10-4 est seule accessible (atteinte « moyenne ») :

	Distance (m) et probabilité d'atteinte						
	Forte (P > 10 <sup>-2</sup> )	Moyenne (10 <sup>-4</sup> > P > 10 <sup>-2</sup> )					
P1	300	360					
P2	220	260					
Р3	190	200					
P4	380	420					
P5	440	465					
P6	395	430					
P7	Blocs restant dans le couloir de faille						
P8	460	540					
P9	405	435					
P10	335	365					
P11	320	410					
P12	720	720					
P13	490	500					
P14	570	580					

illustration 56 – Distance (m) et probabilité d'atteinte par profil de référence



Summary	of Motion	Observations	at $X = 120$ , m
---------	-----------	--------------	------------------

Number of Pa	rticles Released
Particle Veloci	ty (m/sec):     Average 4,2     Minimum 0,2     Maximum 10,9
Height of Fligh	at Above Ground Surface (m): Average

#### Height Distribution:

0 to 1 m: 248 1 to 2 m: 1 2 to 3 m: 0 3 to 4 m: 0 4 to 5 m: 0

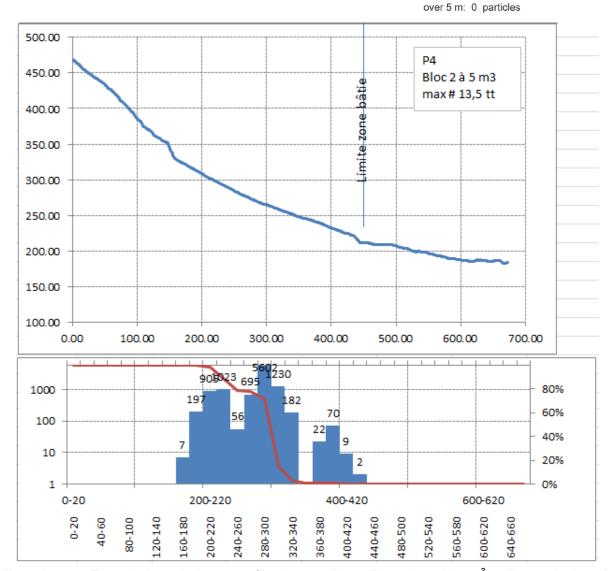


illustration 57 – Exemple de restitution sur profil trajectographique (P3 ; volume 2 à 5 m³) – distance horizontale en abscisse, altitude en ordonnées

### b) Méthode de la « ligne d'énergie »

Il existe un type de modèle dit statistique qui permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile et qui ne nécessite pas à proprement parlé de détermination des coefficients de réponse des sols. Ce modèle est basé sur le principe de la ligne d'énergie développée par HEIM A. en 1932 qui a donné naissance à la méthode dite des "cônes" (cf. annexe 3). Ce modèle repose sur un principe simple et trivial : un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide.

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite  $\beta$ , il accélère. Si elle est inférieure à  $\beta$ , il ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle  $\beta$  avec l'horizontal (cf. illustration n°58illustration 58). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle  $\beta$ , l'angle de la ligne d'énergie.

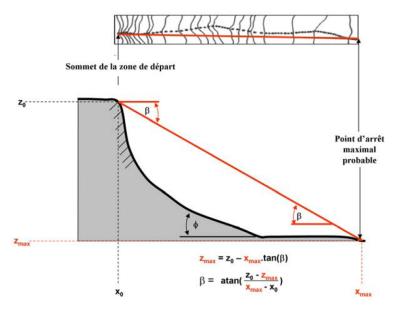


illustration 58 – Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie et de la formule pour déterminer l'angle  $\beta$ 

La méthode des cônes permet donc de cartographier l'extension prévisible de l'aléa rocheux par le choix de valeurs d'angle variables en fonction de singularités locales (topographie, végétation dont la forêt). L'observation et la mesure d'angles sur plusieurs phénomènes permet de présenter des plages statistiques de valeurs permettant une quantification de la probabilité d'atteinte (cf. illustration n°59illustration 59).

Probabilité d'atteinte d'un point	Intervalle d'angles de la méthode du cône
Très fort	35° et plus
Fort	33°-35°
Moyen	30°-33°
Faible	26°-30°

illustration 59 – Plages de valeurs indicatives des angles géométriques pour la méthode des cones issues de l'analyse statistique des valeurs publiées à ce jour (source : document MEZAP)

Le choix de la valeur d'angle au sein de l'intervalle exposé est pratiqué et justifié en fonction de la connaissance du site et des retours d'expérience sur des sites équivalents. Le tableau figurant sur l'illustration n°61 permet de comparer pour chaque profil :

- les distances et probabilité d'atteinte définies à partir des simulations trajectographiques effectuées à l'aide de Pierre98 (cf. Illustration n°56);
- Et les distances de propagation (ainsi que les angles d'énergie correspondants) pour des probabilités d'atteinte forte, moyenne et faible, définies par une approche statistique basée sur le retour d'expériences d'événements de chutes de blocs (base de données de plus de 2700 événements couvrant un spectre très large en termes de configuration géomorphologique et de volumes mobilisés.

L'illustration n°60 ci-dessous (extrait du document MEZAP) donne une indication (à titre indicatif) des fourchettes d'intervalles d'angle de la méthode des cônes en fonction de types de profils de pente rencontrés sur la zone d'étude du Gozzi.

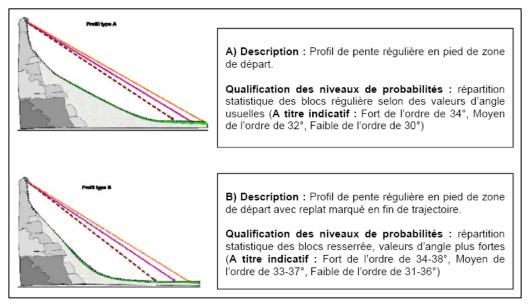


illustration 60 – Illustrations d'exemples de modulations (données à titre indicatif) apportées sur les intervalles d'angle de la méthode des cônes en fonction de types de profils de pente (source : document MEZAP)

Pierre 98					Approche statistique							
D 61	Taille des blocs	prob	ce (m) et abilité teinte	Distance de	Angle correspon	Limit	e Forte	Limite	Limite moyenne		Limite faible	
Profil	(événe ment de référenc e)	Forte (P > 10 <sup>-2</sup> )	Moyenne (10 <sup>-4</sup> > P > 10 <sup>-2</sup> )	propaga tion max	dant (distance max)	Angle (°)	Distance (m)	Angle (°)	Distance (m)	Angle (°)	Distance (m)	
P1	2-5 m3	300	360	465	27.5	32	335	29	430	26	500	
P2	2-5 m3	220	260	327	26.5	30	260	28	305	26	340	
Р3	2-5 m3	190	200	348	24.5	39	115	33	175	26	310	
P4	2-5 m3	380	420	569	26	30	425	28	490	26	565	
P5	2-5 m3	440	465	656	27.5	32	505	30	560	26	705	
Р6	2-5 m3	395	430	719	34.5	51	290	45	410	40	540	
Р8	2-5 m3	460	540	637	30	46	260	40	375	36	460	
Р9	2-10 m3	405	435	675	29	37	390	33	520	29	670	
P10	2-10 m3	335	365	673	32	48	250	43	335	35	570	
P11	2-10 m3	320	410	824	30.5	43	350	36	600	31	810	
P12	2-5 m3	720	720	870	28	33	705	31	750	28	870	
P13	2-5 m3	490	500	570	23.5	33	165	28	270	26	410	
P14	2-5 m3	570	580	672	21.5	30	130	28	180	26	235	

illustration 61 – Synthèse des distances d'atteinte définies par simulations trajectographiques et par analyse statistique sur des événements de chutes de blocs (et angles de la méthode des cônes correspondants)<sup>3</sup>

### c) Synthèse aléa de propagation

L'analyse croisée des travaux réalisés permet de proposer une cartographie de l'aléa de propagation. Afin d'aboutir à une hiérarchisation de l'atteinte potentielle de blocs rocheux en versant (blocs correspondant au scénario de référence), la démarche a été la suivante :

- exploitation des profils trajectographiques 2D en associant les probabilités d'atteintes aux classes qualitatives suivantes :
- P >10<sup>-2</sup>: probabilité d'atteinte forte;
- 10<sup>-4</sup> < P < 10<sup>-2</sup> : probabilité d'atteinte moyenne ;
- Valorisation à travers la méthode des cônes du retour d'expérience statistique en matière d'événements de chutes de blocs par le positionnement pour chaque profil des limites de probabilité d'atteinte faible, moyenne et forte;

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Les valeurs représentatives du profil P7 (n'apparaissant pas dans ce tableau) sont considérées comme étant celles du profil P6.

 In fine, positionnement des enveloppes de propagation et cartographie résultante arrêtées à dire d'expert, en intégrant les caractéristiques topographiques locales, les caractéristiques et la disposition des blocs présents dans les zones d'arrêt, ainsi que les distances maximales d'atteinte déterminées à partir des simulations trajectographiques.

Les illustrations suivantes présentent les différentes limites de propagation définies par simulations trajectographiques et méthode statistique (illustration n°62 à 64), ainsi que la carte de probabilité d'atteinte finale depuis les zones de départ identifiées (illustration n°65). Pour les profils P13 et P14, les simulations trajectographiques définissent des valeurs d'angle pour les distances maximale de propagation très inférieures à 26° (seuil minimal pour la limite de probabilité d'atteinte faible selon le guide MEZAP – cf. illustrations n°59 et 61). A contrario, les limites « statistiques » apparaissent minorer les risques de propagation. L'approche retenue s'appuie ainsi essentiellement sur les probabilités d'atteinte forte et moyenne des simulations et sur l'adoption d'une « bande sécuritaire » définie à dire d'expert (configuration topographique) intégrant les trajectoires probables les plus étendues.

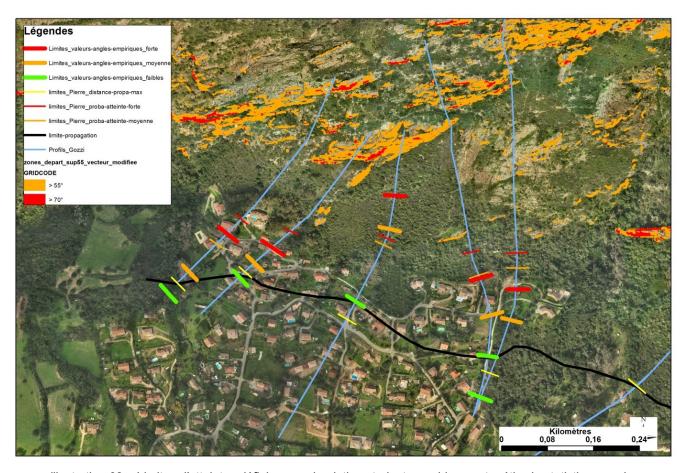


illustration 62 – Limites d'atteintes définies par simulations trajectographiques et méthode statistique sur les profils P1 à P5, et limite de probabilité d'atteinte retenue

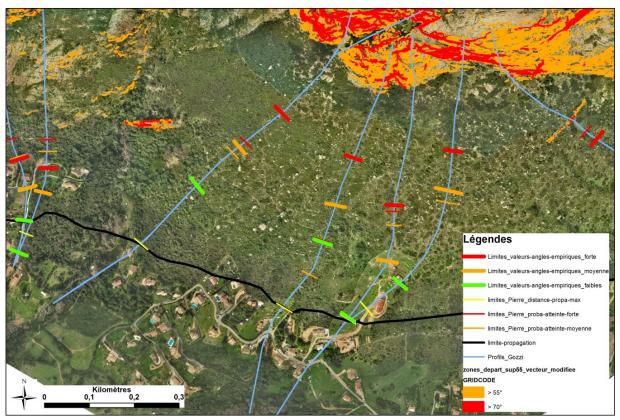


illustration 63 – Limites d'atteintes définies par simulations trajectographiques et méthode statistique sur les profils P4 à P9, et limite de probabilité d'atteinte retenue

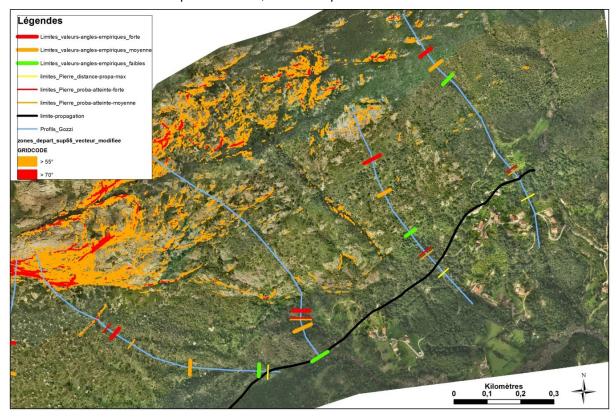


illustration 64 – Limites d'atteintes définies par simulations trajectographiques et méthode statistique sur les profils P11 à P14, et limite de probabilité d'atteinte retenue

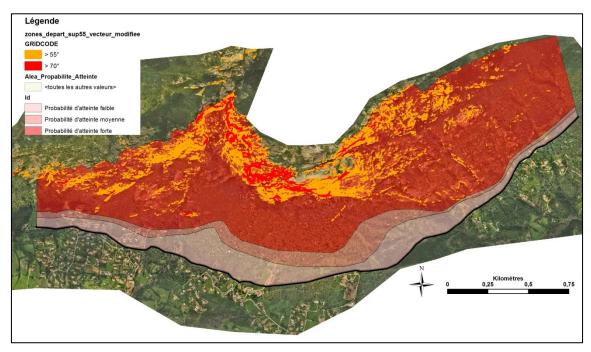


illustration 65 – Cartographie de l'enveloppe maximale d'atteinte depuis les zones de départ identifiées

### 5.3. OCCURRENCE DE CHUTE DE BLOCS

La qualification de la probabilité d'occurrence est définie à partir de la matrice de l'illustration n°66, en croisant la probabilité d'atteinte en un point et la probabilité de départ qualifiée par l'indice d'activité (qualifié de « moyen » à « faible » - cf. § 5.1).

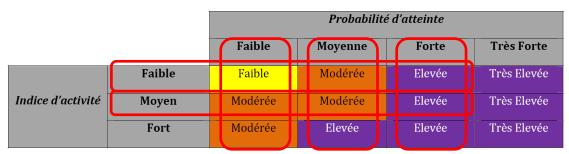


illustration 66 – Matrice de probabilité d'occurrence du phénomène de référence (source : MEZAP)

L'application de cette grille conduit à considérer des zones de probabilité d'occurrence « faible », « modérée » et « élevée » du phénomène de référence.

### 5.4. ALEA DE CHUTE DE BLOC

Le niveau d'aléa résultant est qualifié en tout point de la zone d'étude en utilisant la matrice cidessous (illustration n°67). L'intensité des phénomènes redoutés (volumes se propageant de 1 à 10 m³ après fragmentation) majoritairement identifiés au niveau des zones de départ potentielles, conduit à un aléa résultant (« chutes de blocs ») considéré systématiquement de niveau « élevé » dans les zones où des blocs sont susceptibles de se propager (l'intensité du phénomène - et donc son potentiel d'endommagement, y compris en fin de trajectoire<sup>4</sup> – prenant le pas sur sa probabilité de survenue).

		Intensité					
		V≤0,25 m³	0,25 <v≤1 m³</v≤1 	1 <v≤10 m³<="" th=""><th>V&gt;10 m³</th><th>Phénomène de grande ampleur (écoulement turbulent)</th></v≤10>	V>10 m³	Phénomène de grande ampleur (écoulement turbulent)	
		Faible	Modérée	Elevée	Très élevée		
Probabilité d'occurrence	Faible	Faible	Modéré	Elevé	Elevé		
	Modérée	Faible	Modéré	Elevé	Elevé	Cartographie avec un niveau d'aléa unique:	
	Elevée	Modéré	Elevé	Elevé	Très élevé	très élevé (Cf. 3.1)	
	Très élevée	Elevé	Elevé	Très élevé	Très élevé		

illustration 67 – Matrice d'évaluation de l'aléa (source : document MEZAP)

\_

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Un bloc de 2 m³ en fin de course (v # 2 m/s) possède une énergie de translation de l'ordre de 10 kJ suffisante pour endommager sérieusement des habitations vulnérables (ouvrants côté pentes, structures maçonnées non armées...)

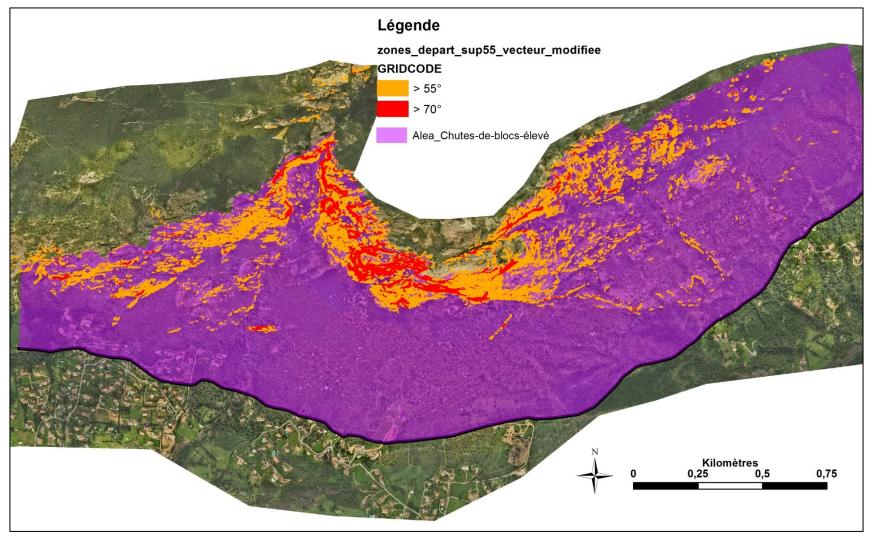


illustration 68 – Cartographie de l'aléa chute de blocs

Pour rappel, jusqu'à présent la connaissance en matière d'aléas chute de blocs résultait de l'étude du CETE Méditerranée de 2010 (entre Piscia Rossa et U Pastriccialone). L'illustration cidessous présente à titre indicatif, sur les secteurs Piscia Rossa et Vadi, un comparatif entre le zonage « CETE » et celui issu de la présent étude.

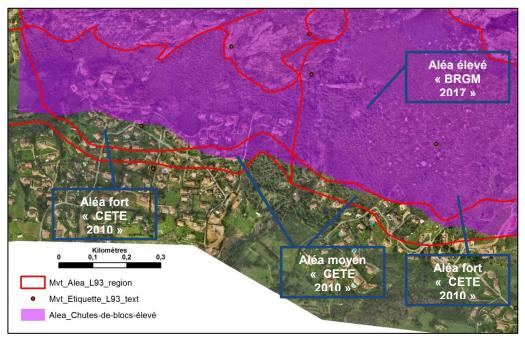


illustration 69 – Superposition des zonages d'aléas issus de l'étude CETE (contours rouge) et de l'étude 2017 (aplat violet)

Ce comparatif montre globalement que sur la base des hypothèses prises en compte dans le cadre de la présence étude, le niveau d'exposition global de la zone étudiée est considéré moins marqué qu'en 2010. Au-delà de ces hypothèses (en termes d'aléas de départ, etc. - cf. paragraphes précédents), les différences entre les cartographies produites sont notamment liées aux évolutions méthodologiques (prises en compte de la méthode MEZAP, logiciels de trajectographie différents) et aux différences d'échelle retenues pour les démarches (1/5000 dans le cadre de la présente analyse contre 1/25 000 en 2010).

### 6. Gestion du risque rocheux

#### 6.1. ANALYSE DU RISQUE D'EBOULEMENT ROCHEUX

Le croisement de la carte d'aléas chute de blocs et des enjeux existants sur la zone d'étude est effectué sur la base des reconnaissances de terrain et des données de l'ortho-photographie réalisée dans le cadre du projet. D'Est en Ouest, l'identification des principaux enjeux concernés par l'aléa chutes de blocs est la suivante :

#### Commune de Sarrola-Carcopino :

- Réservoir AEP et chemin d'accès menant à celui-ci ;
- Voie d'accès privée à une construction d'habitation et garage attenant ;

### • Commune d'Afa:

- Bergerie de Lapenaju;
- Emprise partielle de deux constructions et jardins attenants au niveau de Vadi ;
- Partie haute du quartier de Piscia Rossa (une vingtaine d'habitations concernées en première approche et voirie de desserte) ;
- Réservoir AEP de Piscia Rossa (en service ?).

### • Commune d'Appietto :

- Partie haute du quartier de Piscia Rossa (une dizaine d'habitations concernées en première approche et voirie de desserte) ;

Le volume des blocs susceptibles de se propager jusqu'aux enjeux se traduit par <u>un risque</u> considéré comme de niveau « élevé » en cas d'atteinte au bâti, et de niveau « élevé » à « moyen » sur les autres enjeux (considérant notamment la fréquentation assez limitée des infrastructures routières concernées).

### 6.2. GESTION DU RISQUE D'EBOULEMENT ROCHEUX

#### Zonage du risque de chutes de blocs

Dans le cadre de l'éventuelle élaboration d'un Plan de Prévention des Risques mouvements de terrain, la carte d'aléa chutes de blocs définie, matérialisant un aléa de niveau « élevé » sur l'ensemble de la zone considérée comme exposée au phénomène, a vocation *in extenso* à être transcrit réglementairement en zone de risque « fort » (ce quel que soit le classement des terrains aux documents d'urbanisme en vigueur).

Sans présager des dispositions du règlement qui serait associé à ce zonage réglementaire, le zonage considéré sera nécessairement marqué par une zone « Rouge – Rp » (p pour chutes de pierres/blocs) se traduisant par une interdiction de construction dans les zones urbanisables et par des mesures conservatoires en zone bâtie. Les dispositions nationales en la matière (Guide d'élaboration des PPR) conduisant systématiquement à un classement en zone dite « inconstructible » les secteurs exposés à un aléa fort - ou élevé - de mouvements de terrain, quelle que soit la nature de celui-ci et plus particulièrement en ce qui concerne les chutes de blocs.

Les simulations trajectographiques réalisées ont montré que les merlons pare-blocs présents en amont de la partie ouest de Piscia Rossa ne constituaient pas une protection suffisante vis-à-vis des phénomènes de référence. Il ressort des éléments d'enquête collectés dans le cadre de cette étude que ni l'implantation ni les caractéristiques et le dimensionnement de ces ouvrages ne se sont appuyés sur une étude spécifique, tandis qu'à notre connaissance aucune disposition particulière d'entretien courant périodique (ni même de simple tournée d'inspection) n'a été mise en œuvre au moins au cours des dernières années.

De la même façon, la plantation d'eucalyptus présente en amont de Piscia Rossa, même si son efficience vis-à-vis des chutes de blocs ne peut être niée pour ce qui concerne des instabilités d'intensité modérée, ne peut être considérée comme une protection optimale vis-à-vis des instabilités d'intensité élevée comme ceux pris en considération pour l'événement de référence. Au regard en outre du risque de feu de forêt, le rôle de protection de cette plantation dans l'affichage réglementaire du risque ne semble pouvoir être pris en compte.

#### Travaux de sécurisation

Au regard des enjeux mentionnés précédemment, la protection du quartier de Piscia Rossa (constructions et par la même routes de desserte sur un linéaire total d'environ 650 m) apparait comme la priorité à l'échelle de la zone d'étude. La multiplicité et le caractère diffus des escarpements rocheux générateurs de blocs rendent peu envisageables, à la fois techniquement et économiquement, toutes stratégies de protection au niveau des zones de départ potentielles. Seules des mesures dite « passives » visant à minimiser le risque d'atteinte des enjeux en cas d'événements, apparaissent ici pouvoir être envisagées. On recommandera ainsi que la réalisation d'une étude spécifique visant à étudier une stratégie de protection du secteur de Piscia Rossa par le biais de merlon(s) pare-blocs (éventuellement à parement renforcé et/ou complété par une fosse de rétention) soit envisagée (l'illustration n°70 présente l'emprise de la zone à protéger). Il s'agira d'étudier :

- La pertinence de la création d'ouvrages nouveaux au regard des caractéristiques des instabilités rocheuses (énergie et hauteur de passage des blocs en mouvement) et du contexte topographique du site :
- L'opportunité d'une reprise in extenso (cad conception et/ou repositionnement) ou d'un redimensionnement des merlons existants (couvrant à l'heure actuelle un linéaire de l'ordre de 160 m).

Selon son positionnement, l'ouvrage pare-blocs pourra assurer la protection du réservoir AEP (dans la mesure où celui-ci serait toujours en service).

Sur une hypothèse maximaliste de 650 ml à protéger et d'une fourchette de coût (hors études) de l'ordre de 400 € à 800 € le mètre linéaire (selon les caractéristiques de l'ouvrages : hauteur, présence ou non d'une fosse de réception, parement raidi ou non, etc.), le montant de cette protection en première évaluation s'établirait entre 260 k€ et 520 k€.

Au-delà de la réflexion pouvant s'engager sur l'opportunité de créer de nouveaux dispositifs de protection, il est nécessaire que les collectivités concernées mettent en place un protocole d'entretien des ouvrages existants basé notamment sur la réalisation de visites périodiques, l'enlèvement des blocs éboulés et l'entretien de la végétation.

En ce qui concerne les autres enjeux menacés :

### - Sur la commune de Sarrola-Carcopino :

La vulnérabilité des enjeux concernés est relativement limitée (réservoir AEP et chemin d'accès à celui-ci d'une part, chemin et garage privés d'autre part), tandis que la probabilité d'atteinte et l'activité chutes de blocs restent relativement limitées. Les zones de départ potentielles identifiées étant diffuses, la possibilité de mise en œuvre de solutions « actives » est très réduite. L'opportunité d'étudier la faisabilité d'une solution de protection doit raisonnablement être envisagée à la lumière de ces éléments d'analyse.

#### - Sur la commune d'Afa:

Les constructions de Vadi situées en amont de la route sont situées pour l'essentiel à l'extérieur de la zone considérée comme exposée au phénomène ; seules deux d'entre elles se trouvent en bordure immédiate ou sont légèrement empiétées par la zone d'exposition (zone de probabilité d'atteinte jugée faible). L'emprise de la bergerie de Lapenaju (bâtiments et terrains attenants), située légèrement plus en amont dans le versant, est globalement considérée comme étant plus nettement exposée, mais présente une moindre vulnérabilité (pas de présence humaine permanente).

Globalement sur ce secteur au regard là encore des caractéristiques des zones de départ, seule une protection « passive » est envisageable. L'opportunité de la création de merlons pare-blocs pourrait être envisagée. Une alternative (à étudier) à la création d'un merlon, notamment côté ouest en amont des habitations, où l'on se situe en fin de trajectoire, pourrait consister à terrasser les terrains en amont des enjeux avec la création de replats (« terrasses » de largeur à préciser - 10 m ?) favorisant l'arrêt des blocs (matelas de matériaux meubles).

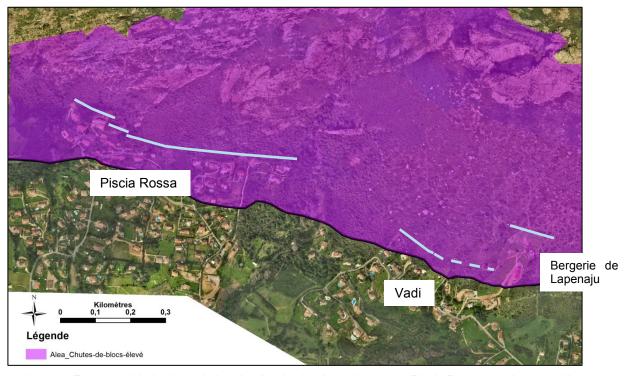


illustration 70 – Emprise globale des solution de sécurisation à envisager sur Piscia Rossa (merlon pare-blocs) et Vadi (merlon pare-blocs et/ou « terrasses »)

### 7. Conclusion

La cartographie d'aléa chutes de blocs sur les versants du Rocher des Gozzi (communes d'Appietto, Afa et Sarrola-Carcopino) a été menée à partir :

- d'un inventaire évènementiel détaillé basé sur la bibliographie disponible, sur un travail d'enquête auprès des représentants communaux et de riverains, ainsi que sur des visites de terrain;
- de l'établissement d'une typologie d'éboulement rocheux sur le périmètre d'étude ;
- de l'identification et de la sectorisation des zones de départ potentiel de chutes de blocs (à l'appui notamment de campagnes de terrain) ;
- de l'évaluation des aléas de rupture zone par zone (volume, activité) ;
- de la détermination des propagations potentielles de blocs en versant à partir d'analyses croisées de trajectographie et de méthodes plus globalisantes. In fine, la cartographie des limites d'atteinte est réalisée manuellement à dire d'expert en prenant en compte les observations de terrain.

La cartographie d'aléas chute de blocs (dont l'échelle de validité est le 1/5 000ème) a été établie pour un scénario de référence établi à partir des reconnaissances de terrain. Selon les secteurs de la zone d'étude, ces scénarii prennent en compte des phénomènes prévisibles d'intensité élevée (bloc unitaire après fragmentation se propageant de 1 à 10 m³), selon une activité considérée comme moyenne (de l'ordre d'un bloc du scénario tous les 10 ans) à faible (de l'ordre d'un bloc du scénario tous les 10 ans). On gardera à l'esprit que compte-tenu de l'étendue de la zone d'étude, des caractéristiques des falaises génératrices d'instabilités et de l'impossibilité dans le cadre de cette étude (au regard des moyens mis en œuvre) de recenser l'ensemble des compartiments instables, ces scénarii de référence correspondent aux événements les plus plausibles sur la zone d'étude sur la période de référence (centennale). On soulignera également, notamment au niveau de la partie centrale de la zone d'étude où les falaises sont les plus massives (Rocher des Gozzi), que l'occurrence au cours du siècle à venir d'événements de grande ampleur bien que non retenue comme scénario de référence ne peut totalement être écartée.

Le volume des blocs pouvant se propager jusqu'aux enjeux conduit à considérer un aléa de niveau élevé sur l'ensemble de la zone d'exposition au phénomène, conformément aux développements en cours sur la thématique à l'échelle nationale (recommandations MEZAP à paraître : groupe de travail réuni sous l'autorité du MEDDE pour la détermination d'une MEthodologie de Zonage de l'Aléa chute de Pierres, piloté par IRSTEA).

Le croisement de la carte d'aléa et des éléments exposés montre que la principale zone d'exposition (risques élevés) concerne le secteur de Piscia Rossa, à cheval sur les communes d'Appietto et d'Afa, où une trentaine de constructions en première évaluation (ainsi que les voies de desserte et un réservoir AEP) apparaissent de façon plus ou moins marquée menacés. Sur ce secteur compte-tenu à la fois des caractéristiques du site et des événements prévisibles, une protection passive de type « ouvrage pare-blocs souples » (merlons) apparait la plus adaptée. Une solution de ce type a fait l'objet d'un pré-chiffrage qui devra être précisé sur la base d'une étude spécifique de conception des dispositifs de protection, dont la réalisation est indispensable pour garantir un niveau de sécurisation satisfaisant.

Sur le secteur de Vadi (Afa), l'essentiel des enjeux existants sont situés à l'extérieur de la zone cartographiée en aléas de chutes de blocs. Seules la bergerie de Lapenaju et deux constructions (terrain attenant mais également une partie de la bâtisse pour l'une d'elles) sont considérées comme exposées au phénomène (risques élevés). Sur ce secteur également, les seules stratégies jugées envisageables (opportunité à étudier sur la base d'une analyse coût/avantages) sont des solutions « passives » (merlon pare-blocs voire aménagement de zones de replat).

### 8. Bibliographie

Enquête relative à l'évaluation des risques d'éboulements consécutifs aux incendies de l'été 1983 en Corse du Sud (BRGM/84-AGI-222-CSC), 1984.

Corse-du-Sud (2A). Cartographie départementale de l'aléa mouvement de terrain (BRGM/RP-52097-FR), 2003.

Réalisation de la carte multi-aléas « mouvements de terrain » et « hydraulique » dans les secteurs à enjeux des communes d'Afa et Appietto. Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement Méditerranée, 2010.

Commune d'Afa. Avis technique relatif à la stabilité d'un compartiment rocheux – Rocher des Gozzi (BRGM/RP-64211-FR), 2014.

Comune d'Afa. Avis technique suite à la purge en septembre. 2015 de l'écaille instable expertisée en décembre 2014 (BRGM/RP-65293-FR), 2015.

<u>A paraître</u>: Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'Etat en charge des procédures PPRn. Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRn. Rédaction du groupe de travail MEZAP du Ministère de l'Ecologie, du Développement durable et de l'Energie (BRGM, CETE, DGPR, DDT 06, DDT 38, DDT 74, IFSTTAR, Irstea, ONF-RTM). Version du 21/01/2014.

Guide d'Agrément Technique Européen n° 027 « Kits de protection contre les chutes de blocs rocheux » (ETAG 027), EOTA, février 2008, 53 p. & avril 2013, 58p.

NF P95-308 « Équipements de protection contre les éboulements rocheux – Écrans de filets », AFNOR, décembre 1996, 11p.

# Fiches d'identification des zones de départ

# Données et résultats de trajectographie

### Méthode des cônes

(document extrait du document « Proposition d'une note technique à l'attention des Services Déconcentrés de l'Etat en charge des procédures PPRn. Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRn ». Rédaction du groupe de travail MEZAP, version 21/01/14.

#### ANNEXE 2 : METHODE DES CONES

Il existe un type de modèle dit statistique qui permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile et qui ne nécessite pas à proprement parlé de détermination des coefficients de réponse des sols. Ce modèle est basé sur le principe de la ligne d'énergie développée par HEIM A. en 1932 qui a donné naissance à la méthode dite des "cônes". Ce modèle repose sur un principe simple et trivial:

 un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide.

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite  $\beta$ , il accélère. Si elle est inférieure à  $\beta$ , il ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle  $\beta$  avec l'horizontal (Cf. Fig. 1). Cette ligne est appelée la ligne d'énergie et l'angle  $\beta$ , l'angle de la ligne d'énergie.

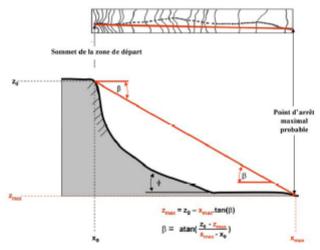


FIGURE 1 : REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU PRINCIPE DE LA LIGNE D'ENERGIE ET DE LA FORMULE POUR DETERMINER L'ANGLE B

Pour une zone de départ et avec le profil en long de la pente, on peut alors, si on connaît la valeur de l'angle  $\beta$ , proposer le point maximal probable qu'atteindra tout projectile qui se détachera de la zone de départ.

Compte tenu de la possibilité de déviation des trajectoires des blocs, que ce soit à cause de leur forme ou des obstacles rencontrés, ils peuvent donc progresser dans un cône, appelé cône de propagation. Ce cône a une pente β et son sommet est placé au niveau de la zone de départ A, d'où le nom de méthode des cônes.

Depuis sa formalisation, ce principe a fait l'objet de nombreuses études. Différents auteurs se sont, entre autre, intéressés à l'adaptation de cette méthode en fonction de la localisation du point de départ A et du type de profil en long à utiliser pour les calculs. Ainsi des auteurs tels que Lied (1977), Wieczoreck et al. (1990) et Evans and Hungr (1993) proposent d'utiliser non le

25

point sommital des falaises mais les sommets des « talus » (intersection entre la pente et le pied de falaise). Ils ont ainsi élaboré le principe « d'angle d'ombrage » (Shadow angle) (cf. Fig.2). La valeur de l'angle de la ligne d'énergie étant pour chacun de ces auteurs de respectivement de : 28°, 22° et 27,5°. L'utilisation du shadow angle nécessite de déterminer le sommet des « talus ». Une telle détermination n'est pas chose aisée à réaliser de façon automatique à partir de l'analyse d'un MNT.

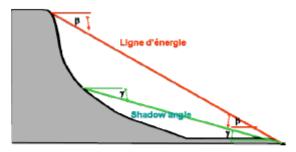
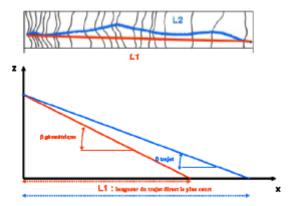


FIGURE 2 : PRINCIPE DE LA LIGNE D'ENERGIE SELON HEIM (1932) ET PRINCIPE DU SHADOW ANGLE SELON LIED (1977)

En ce qui concerne le choix d'implantation du profil en long, il existe deux grandes écoles de pensées. La première préconise d'utiliser la ligne de plus grande pente et est à l'origine du concept de l'angle géométrique (aussi dénommé « reach angle »). La deuxième quant à elle propose d'utiliser le profil en long correspondant au trajet le plus probable sur la pente et est ainsi à l'origine du concept de « l'angle de trajet » (travel angle). La figure 3 présente ces deux concepts.

Avec le principe de l'angle de trajet, l'angle de la ligne d'énergie est plus faible qu'avec le principe de l'angle géométrique. La différence entre les deux angles est de l'ordre du degré. Le principe de la ligne d'énergie avec l'angle de trajet est là encore plus difficile à traduire dans un utilitaire de calcul permettant de travailler sur de vastes surfaces géographiques. En effet, il faut développer ou utiliser un principe de calcul d'écoulement permettant de déterminer les lignes de plus grandes pentes, les thalwegs et micro-thalwegs présents.



L2 : lengueur du trujet calculés selon le principe d'ésculement d'une grette d'esu

FIGURE 3: PRESENTATION DES PRINCIPES DE CALCUL DE LA LIGNE D'ENERGIE AVEC LE PRINCIPE DE L'ANGLE GEOMETRIQUE ET DE L'ANGLE DE TRAJET, DANS LES DEUX CAS LE POINT D'ARRET GEOGRAPHIQUE EST LE MEME MAIS PAR CONTRE LES DISTANCES DES TRAJETS D'ATTEINTES SONT DIFFERENTES.

26

Plusieurs auteurs ont travaillé sur la détermination de l'angle  $\beta$  de la ligne d'énergie selon le principe de Heim (1932) et celui de l'angle de trajet. Le tableau 8 donne les valeurs observées.

Auteur/Source	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie (entre parenthèse valeur de l'angle géométrique)		
nateur/source	Minimum ou intervalle Moyenne		
Shreve (1968)	(26,57° - 38,66°)		
Hsū (1975)	31° (32°)		
Onofri & Candian (1979)	28,34° - 40,73°		
	(28,84°-41,73°)		
Grunder (1984)	32,6° - 33,4°		
	(33,1° - 34,4°)		
Moser (1986)	33° - 42°		
	(34° - 43°)		
Domaas (1985 in Toppe 1987)	32° (33°)		
Mac ewen (1989)	(30,96°) ≈ (31°)		
Gerber (1994)	33°- 37°		
	(33,5° - 38°)		
Meissl (1998)	29° - 47,5°	38° (38°)	
	(29,5°- 48,5°)		
Heinimann et al. (1998)	(33,5° - 38°)		
	27° - 29°		
Focardi & lotti (2001)	(27,5° - 30°)		
		(31,9°) pour la valeur	
Ayala-carcedo et al. (2001)	(29,1° - 38,9°)	minimale	
Jaboyedoff & Labouise (2003)	32° (33°)		
Jaboyedoff & Labouise (2011)	(32,6° - 35,6°)	34°	
Corominas et al. (2003)	26° - 54°		
	(27° 55°)		
Dorren & Berger (2005, 2006)	31,3° - 37°		
	(31,9° - 38°)		

Copons et al.(2009) site a	(36,87° - 56,3°)	
Copons et al.(2009) site b	(28,81° - 42,0°)	
Hutter et al. (2005) modèle réduit	(30° - 37°)	
Scheidegger (1973)	(29,68° - 39,69°)	
Marquinez et al. (2002) cas 1	(32,5° - 40,9°)	(31,5° - 40,2°)
Marquinez et al. (2002) cas 2	(29,4° -38,5°)	(
Antoniou & Lekkas (2009)	(35°)	
Deparis et al (2008)	(31,61° - 47,20°)	
Hyndman & Hyndman (2009)	(33°)	
Berger et al. (2009) sans forêt	(27,67° - 33,88°)	
Berger et al. (2009) avec forêt	(31,32° - 37,86°)	
Berger et al. (2014) modèle réduit	(24,65° - 90°)	
Base de données RTM (données (2011-2013)	(24,65° - 58,42°)	

TABLEAU 1 : VALEURS DE L'ANGLE B (TRAJET ET GEOMETRIQUE) SUIVANT DIFFERENTS AUTEURS.

Le tableau 2 présente les résultats de l'analyse statistique réalisée sur les données du tableau 1.

Statistique	Angle géométrique minimal	Angle géométrique maximal
Moyenne	30.68°	43,55°
Min	23.28°	30°
1 <sup>er</sup> quartile	28.84°	37,93°
2ème quartile	31.32°	38,90
3ème quartile	33°	45,10°
Max	36,87°	90,00°

TABLEAU 2 : ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES DU TABLEAU 8.

La bibliographie indique des valeurs de  $\beta$  variant de 23,28 à 90,00°. Cependant, les études de Gerber (1994) et de Meissl (1986) préconisent de déterminer la valeur de cet angle en tenant compte de la dimension des projectiles et de la rugosité du sol. (Cf. Tableau 3).

	Valeur de l'angle de la ligne d'énergie et rugosité du sol			
Type de projectile	33° et faible rugosité	35° et rugosité moyenne	37° et forte rugosité	
	Prairie	Broussaille	Arbres	
Pierre (inférieure au dm³)	Pas d'irrégularités	Petites irrégularités	Grosses irrégularités	
	Sol superficiel	Sol superficie	Sol profond	
	Broussaille	Arbres		
1dm3 <pierre-bloc<1m3< td=""><td>Petites irrégularités</td><td>Grosses irrégularités</td><td></td></pierre-bloc<1m3<>	Petites irrégularités	Grosses irrégularités		
	Sol superficie	Sol profond		
	Arbres			
Bloc>1m <sup>3</sup>	Grosses irrégularités			
	Sol profond			

TABLEAU 3: VALEURS DE L'ANGLE GEOMETRIQUE B EN FONCTION DE LA RUGOSITE DU SOL ET DE LA DIMENSION DES PROJECTILES (D'APRES MEISSL 1986 ET GERBER 1994).

Au regard des expériences grandeur nature de chutes de blocs du Cemagref sur le site de Vaujany (Isère) (Dorren L.K.A et al., 2005), des valeurs des tableaux 1, 2, 3 et des résultats que obtenus lors des travaux d'expertise et de contre-expertise des PPRn de Veyrier-du-lac et de Talloires, les analyses des résultats font ressortir les critères d'angle suivants pour le calcul de la ligne d'énergie selon les principes de l'angle géométrique et de Heim (1932):

Niveau de probabilité d'atteinte d'un point		d'énergie avec	Différence d'angle : avec forêt – sans forêt
Fort	33,88°	37,86°	3,99°
Moyen	30,22°	34,13°	3,91°
Faible	27,67°	31,32°	3,65°

TABLEAU 4 : VALEUR DES ANGLES GEOMETRIQUES POUR LE CALCUL DE LA LIGNE D'ENERGIE OBTENUS PAR LA RETRO ANALYSE DE PHENOMENES PASSES ET DU ZONAGE DE 2 PPRN.

Il est intéressant de noter que la présence de la forêt se traduit par une augmentation systématique de la valeur d'angle de l'ordre de  $3.8^{\circ}$  ( $\approx 4^{\circ}$ ) par rapport au terrain nu.

Il peut donc être préconisé, d'utiliser pour les versants boisés les valeurs suivantes :

Valeur seuil de l'angle géométrique	Niveau de probabilité d'atteinte d'un point par un bloc unitaire		
≥ 35°	Fort		
33°≤ <35°	Moyen		
30°≤ < 33°	faible		
26° < < 30°	très faible mais non nul		

TABLEAU 5 : VALEURS DE SEUILLAGE DES ANGLES GEOMETRIQUES POUVANT ETRE UTILISES POUR L'AIDE A L'EXPERTISE ET LA REALISATION D'UNE PRE-CARTOGRAPHIE DE L'ALEA CHUTES DE PIERRES ET DE BLOCS.

Dans la pratique, l'opérateur devra justifier et argumenter le choix fait pour les valeurs de seuillage (en fonction de la topographie, de la nature d'occupation des sols, cas similaires connus,...) et à ce titre, il peut utiliser les données présentées dans cette annexe. S'agissant de paramètres souvent variables géographiquement, il n'est pas concevable de définir autre chose que des intervalles de valeurs à l'échelle du territoire national.

Dans le cas des éboulements en masse, l'intervalle de valeurs préconisé est de [25°, 28°].

Afin d'aider l'opérateur dans ses choix, il est intéressant de comparer les valeurs du tableau 5 avec celles issues de l'analyse statistique des 194 cas réels (période 2011-2013) de la base de données évènements du RTM. Evènements pour lesquels la valeur de l'angle d'énergie a été mesurée. Le tableau 6 présente les résultats de l'analyse statistique de cette base de données.

Statistique	Angle géométrique
Moyenne	36,69°
Min	24,65°
1er quartile	33,00°
2ème quartile	36,00°
3ème quartile	40,00°
Max	58,42°
0,43 percentile	25,99°
10,00 percentile	30,00°
25,00 percentile	33,00°
40,00 percentile	35,00°

TABLEAU 6 : ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES 2011-2013 DE LA BASE DE DONNEES RTM

Là encore et afin d'illustrer la distribution des valeurs d'angle de ligne d'énergie, nous donnons la distribution observée lors de la réalisation des expérimentations à échelle réduite par Irstea. Lors de ces expérimentations en laboratoire, le même projectile est lancé 100 fois de suite sur un dispositif constitué de 3 plans inclinés et recouvert d'une couche homogène de sable humide. Après chaque lancé le dispositif est remis en état. Ce dispositif permet de tester à la fois l'influence des conditions topographiques en faisant varier l'angle et la longueur des différents

plans, et l'influence de la forme et de la masse des projectiles. A ce jour 3400 lâchers ont été analysés. Le tableau 7 présente l'analyse statistique de la base de données expérimentales et la figure 4 la distribution des valeurs d'angle de ligne d'énergie en fonction du pourcentage cumulé de passage des projectiles.

Statistique	Angle géométrique
Moyenne	33,47°
Min	23,28°
1 <sup>er</sup> quartile	27,94°
2ème quartile	31,56°
3ème quartile	36,62°
Max	90,00°
8,00 percentile	26,06°
40,00 percentile	29,92°
58,00 percentile	33,00°
68,00per centile	35,03°

TABLEAU 7 : ANALYSE STATISTIQUE DES DONNEES EXPERIMENTALES DE IRSTEA (2014)

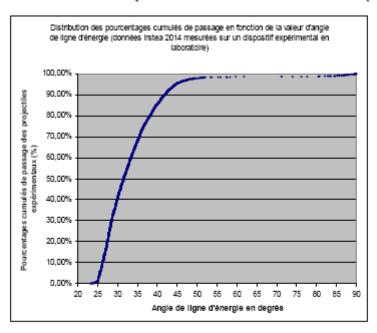


FIGURE 4 : DISTRIBUTION DES POURCENTAGES CUMULES DE PASSAGE EN FONCTION DE LA VALEUR D'ANGLE DE LIGNE D'ENERGIE (DONNEES IRSTEA 2014 MESUREES SUR UN DISPOSITIF EXPERIMENTAL EN LABORATOIRE)

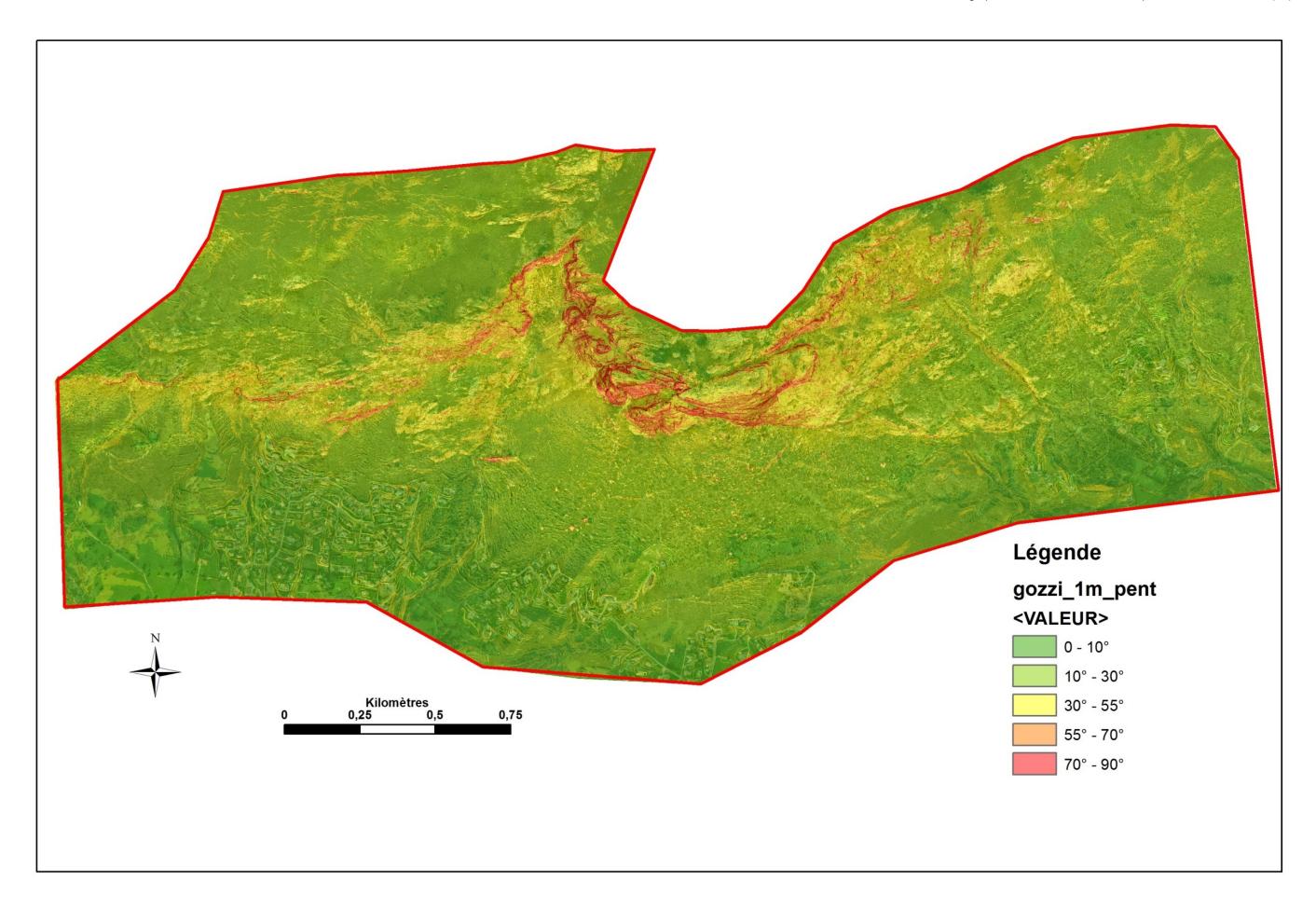
31

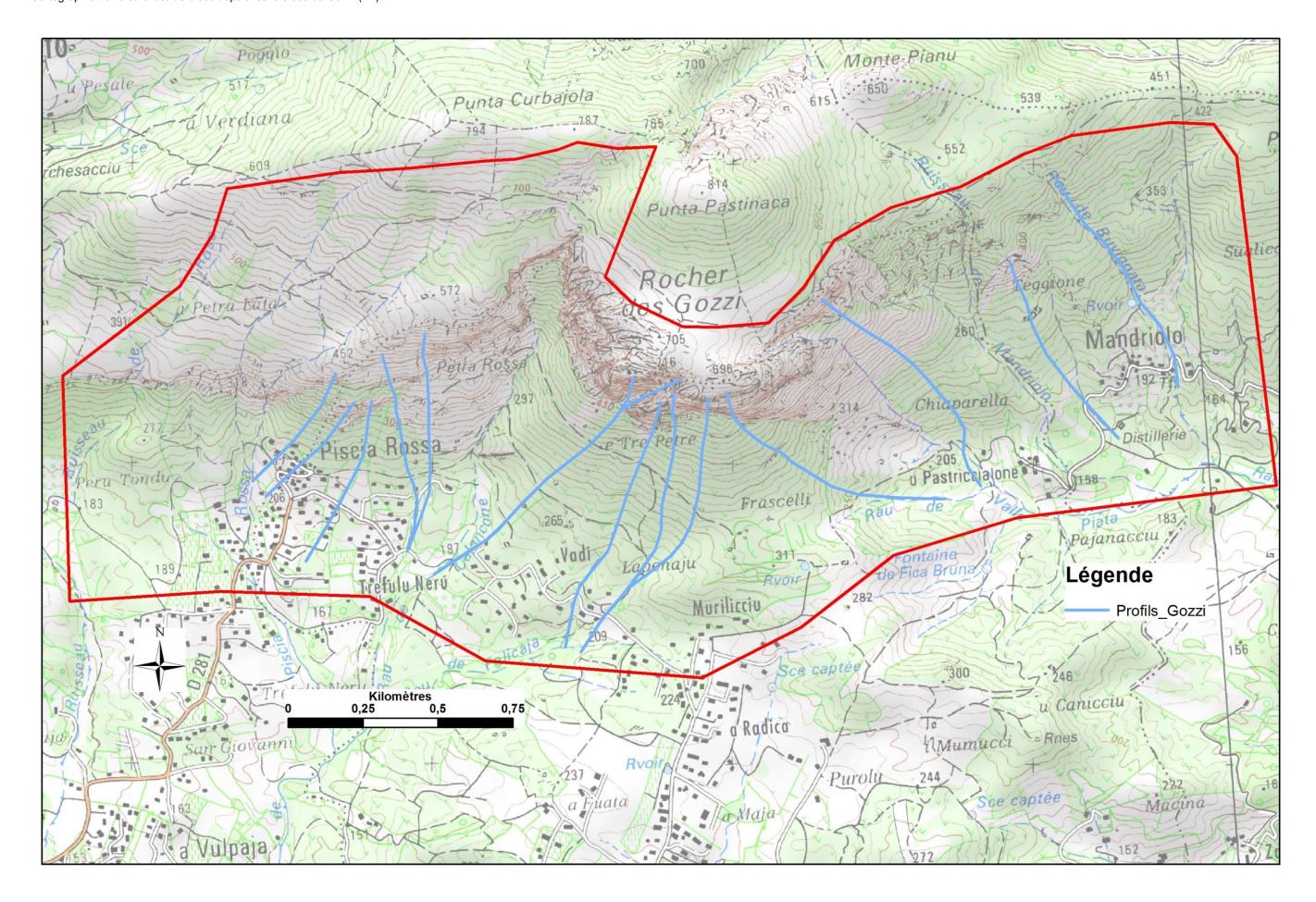
### **Cartes résultats**

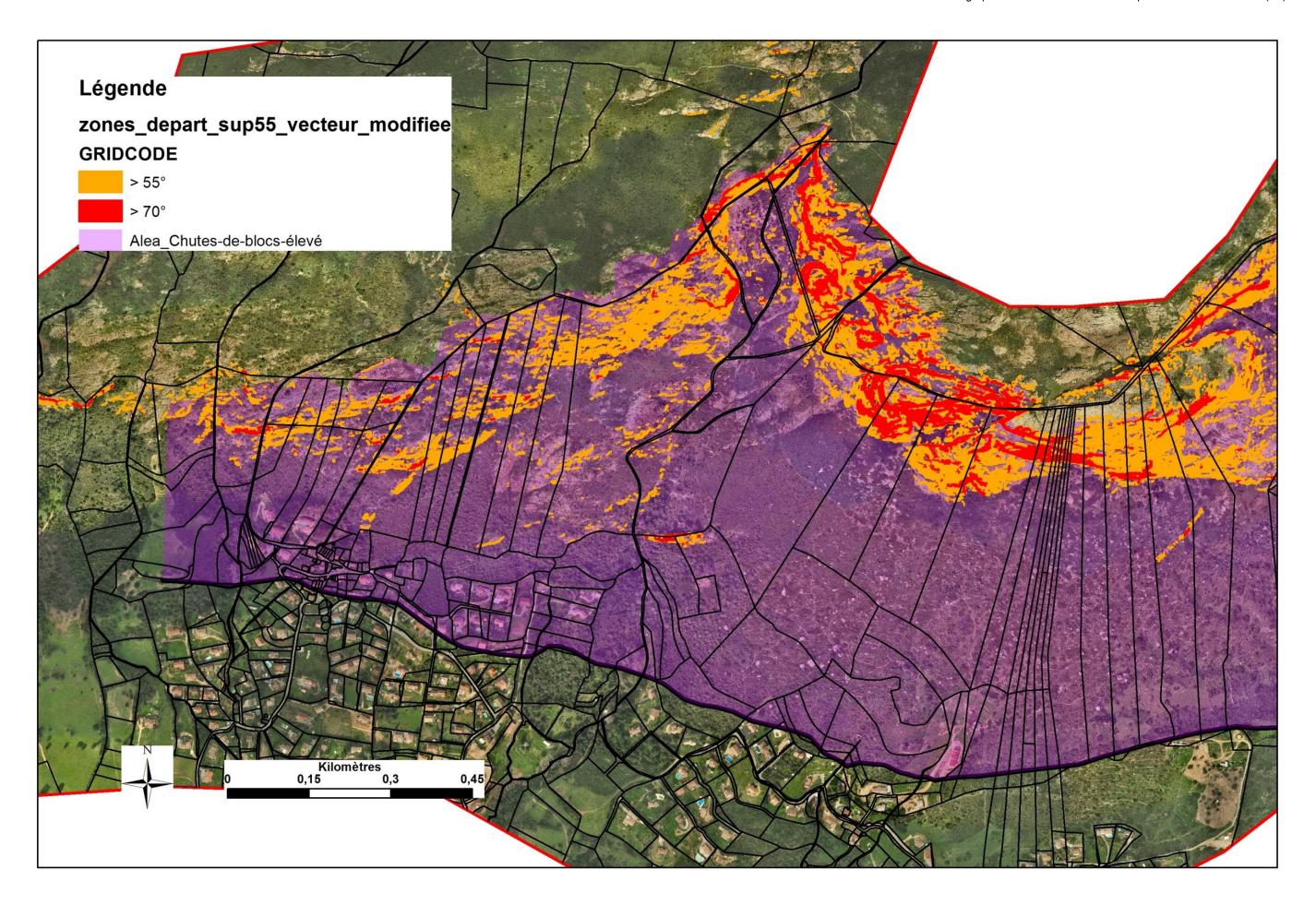
Carte des pentes

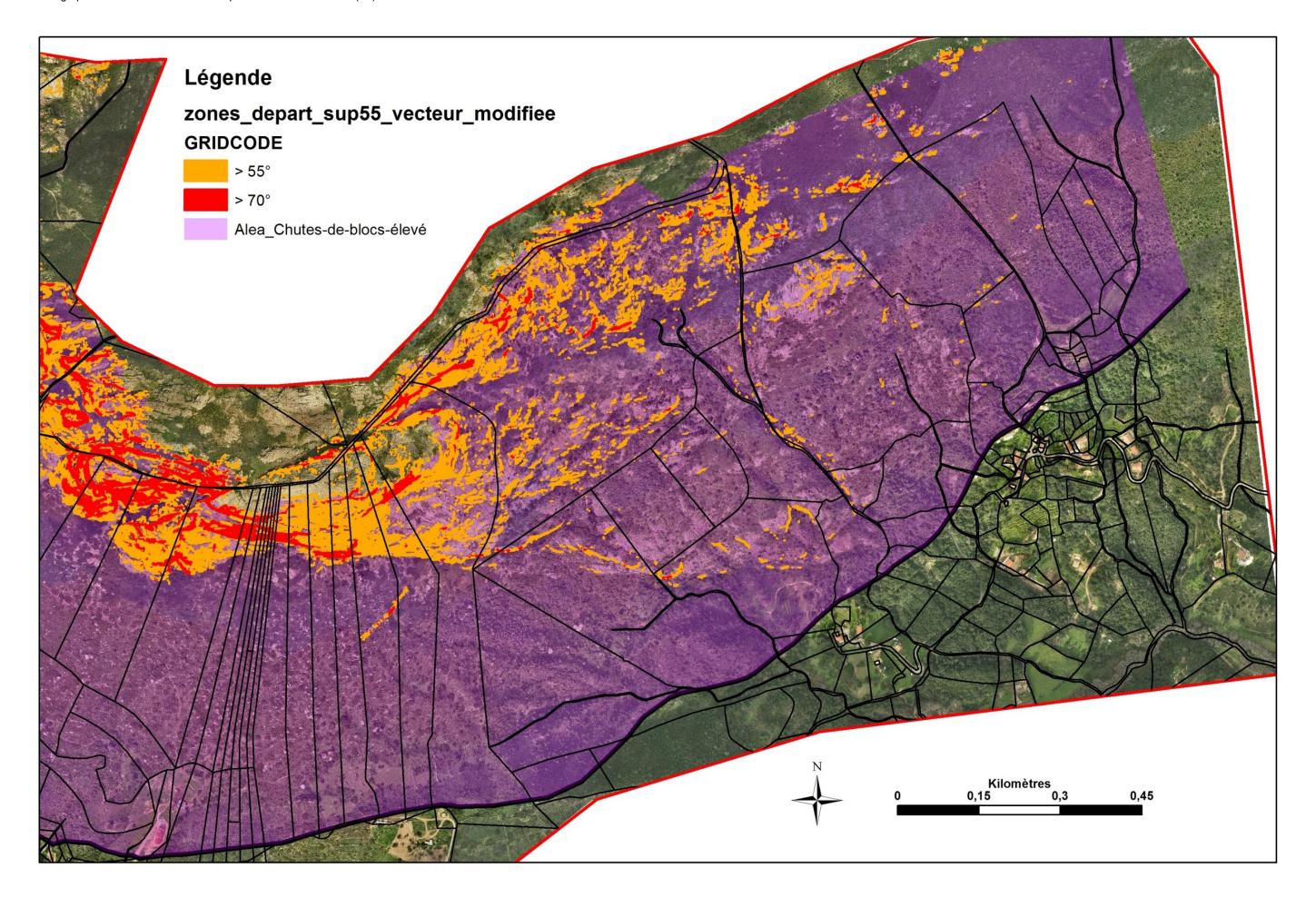
Carte de localisation des profils de trajectographie

Carte d'aléas « chute de blocs »









Cartographie de l'aléa chute de blocs depuis les falaises du Gozzi (2A)



Centre scientifique et technique 3, avenue Claude-Guillemin BP 36009

BP 36009 45060 – Orléans Cedex 2 – France Tél. : 02 38 64 34 34 - www.brgm.fr Direction régionale Corse Immeuble Agostini Zone industrielle de Furiani 20600 – Bastia Tél.: 04 95 58 04 33