

REVISION DU PLAN LOCAL D'URBANISME DE BARBENTANE (13)



5d5. RISQUE DE CHUTES DE BLOCS

Dates :

PLU approuvé par DCM du 25/02/2020

Révision générale du PLU prescrite par DCM du 25/02/2020

Débat sur les orientations générales du PADD le 19/02/2024

Modification simplifiée n°1 du PLU approuvée par DCM du 19/08/2024

PLU arrêté par DCM du 25/11/2024

PLU approuvé par DCM du 17/11/2025

DCM : Délibération du Conseil Municipal - PLU : Plan Local d'Urbanisme

DOSSIER APPROUVE



POULAIN URBANISME CONSEIL

78 bd Marx Dormoy, 83300 DRAGUIGNAN

Email : contact@poulain-urbanisme.com



PRÉFET DES BOUCHES-DU-RHÔNE

Direction départementale
des Territoires et de la Mer
Service Urbanisme
Pôle Risques

Marseille, le **9 OCT. 2012**

Le Chef du Service Urbanisme

à
Monsieur le Maire
Hôtel de ville
13570 Barbentane

Références : ST/12
Affaire suivie par : Serge Terramorsi

Tél. : 04 91 28 54 56
Courriel :
serge.terramorsi@bouches-du-rhone.gouv.fr

Objet : **Projet immobilier à Barbentane – courrier émanant de M.Dideron, en date du 13 juillet 2012**

Monsieur le Maire,

Par courrier cité en objet, adressé à Monsieur le Préfet des Bouches du Rhône, Monsieur Dideron nous a fait part de son inquiétude quant à la réalisation d'un projet immobilier de quatre maisons sur la commune de Barbentane, compte tenu du fait qu'il surplombe, par l'intermédiaire d'une petite falaise, haute de 6 à 10 m environ, le lotissement existant d'Auriol et Mouroumiou. En effet, selon lui, la stabilité des terrains constituant cette falaise pourrait être remise en cause du fait de ces travaux d'aménagement, induisant ainsi des risques non négligeables pour les habitations situées en contre-bas.

Ceci renvoie à la question plus générale des études des mouvements de terrain sur votre commune, comme Monsieur le Préfet a pu vous en faire part dans le « Porté à Connaissance » du 12 juillet 2012 sur le PLU.

La commune de Barbentane, compte tenu des contextes géomorphologique et géologique peut être exposée localement à des phénomènes de chutes de blocs, de glissement voire d'effondrement. Une étude globale permettant d'une part d'identifier précisément à l'échelle communale la nature réelle des phénomènes géologiques ainsi que leur localisation et d'autre part d'évaluer l'intensité de l'aléa (faible, modéré ou fort), vous permettra d'informer et de retranscrire des règles adaptées à la prévention de ces risques et de lever toute ambiguïté quant à la présence de risque de chutes de blocs voire d'éboulement plus important sur l'ensemble de la commune.

Dans le cas soulevé par Monsieur Dideron, du quartier d'Auriol et Mouroumiou, le ou les propriétaire(s) des parcelles à aménager ou le maître d'ouvrage du projet sont responsables en premier lieu des désordres qui pourraient apparaître au droit de la falaise, et ce, aussi bien durant les travaux d'aménagement (maître d'ouvrage) que par la suite (propriétaires des parcelles). Ils devront donc assurer à tous les stades du projet, la sécurité des habitations du lotissement situé en contre-bas de la falaise. Pour cela il sera probablement nécessaire, lors de la phase d'aménagement, si ce n'est déjà fait, de réaliser une étude géologique-géotechnique détaillée (à la charge du maître d'ouvrage) permettant d'appréhender les conditions réelles de stabilité de la falaise et de définir, s'il y a lieu, les mesures de protection à mettre en œuvre afin d'éviter tout risque de chutes de blocs / éboulement voire de glissement au droit de cette falaise.

Mon service et le Service Territorial d'Arles se tiennent à votre disposition pour vous apporter une aide à la réflexion sur ce sujet.

Je vous prie d'agréer, Monsieur le Maire, l'expression de ma considération distinguée.


Bénédicte Molsson de Vaux

Copie : - Chrono SU
- Service Territorial d'Arles
- Préfecture : DCLUPE/Bureau Utilité Publique Concertation Environnement (M. Payan)
- Sous-Préfecture d'Arles

ELEMENTS D'INFORMATION du Pôle Risques (Equipes inondation et séisme - mouvements de terrain)

Note interne à l'attention d'Anne Gaëlle Cousseau
Service Urbanisme – Pôle Aménagement
Affaire suivie par :
Carine Sallaz / Frédéric Chaptal : *risque inondation*
Serge Terramorsi : *risques séisme et mouvements*

1^{er} mars 2012

Commune de Barbentane

Porter à connaissance sur les risques naturels

I Inondation

1. Contexte général

La commune est concernée par deux types de risques d'inondation : risque de débordement du Rhône et de la Durance, et risque de ruissellement des eaux pluviales sur les pentes de la Montagnette.

Concernant le Rhône :

Le PZS a été approuvé par décret le 3 septembre 1911.

La crue de référence sur le Rhône aval est la crue de 1856, qui constitue la plus forte crue connue au cours des deux derniers siècles.

Plus récemment, sur le Rhône aval, la crue de décembre 2003 a approché, sans l'atteindre, le débit de 1856.

La commune de Barbentane est également concernée par la prescription du PPRI Rhône du 27 octobre 2008.

Concernant la Durance :

Le PPRI a été prescrit sur l'ensemble de la basse vallée de la Durance par arrêté interdépartemental en date du 21 janvier 2002. Cet arrêté a été abrogé en décembre 2011.

Le PPRI est désormais prescrit sur le territoire de la commune par arrêté préfectoral en date du 6 décembre 2011.

La crue de référence est de 5000 m³/s au pont Mirabeau, ce qui correspond à l'estimation des débits des grandes crues historiques du 19^{ème} siècle, dont celles de 1843, 1882 et 1886.

La plus forte crue récente date de janvier 1994. Son débit est estimé entre 2800 et 3000 m³/s.

Le PPRI vise également une crue supérieure à la crue de référence, crue exceptionnelle, dont l'enveloppe est définie par analyse hydrogéomorphologique de la basse vallée de la Durance.

Concernant le ruissellement :

Ce phénomène est inclus à l'étude menée par IPS'EAU en février 2005, pour le compte de la commune, intitulée « Etude hydraulique de définition des zones inondables de la commune de Barbentane ». Réalisée dans le cadre de l'élaboration du PLU, cette étude vise une approche historique et une analyse hydrogéomorphologique, une détermination des débits de référence, une analyse hydraulique par modélisation des écoulements, une analyse de la vulnérabilité des biens.

Des arrêtés de catastrophe naturelle ont été pris sur la commune suite aux événements pluvieux de septembre 2002 (arrêté du 29/10/2002) et de décembre 2003 (arrêté du 12/12/2003).

Les événements de septembre 2010 et novembre 2011 ont également fait l'objet de quelques interventions du SDIS (inondations urbaines, sous-sols et habitations inondés...).

1. Contexte juridique

Les lignes directrices qui guident l'action de l'Etat dans le domaine de la prévention du risque inondation répondent aux principes énoncés dans les principales *circulaires* en date du :

- *24 janvier 1994 relative à la prévention des inondations et à la gestion des zones inondables,*
- *24 avril 1996 relative aux dispositions applicables au bâti et ouvrages existants en zones inondables,*
- *30 avril 2002 relative à la gestion des espaces situés derrière les digues de protection ,*
- *21 janvier 2004 relative à la maîtrise de l'urbanisme et à l'adaptation des constructions en zone inondable.*

Dans la vallée de la Durance, les dispositions réglementaires mises en oeuvre dans les PPRI sont conformes à celles définies par le guide méthodologique « *Les plans de prévention des risques d'inondation du fleuve Rhône et de ses affluents – Doctrine commune* » validé en juin 2006.

Par ailleurs, la *directive européenne du 23 octobre 2007 relative à la gestion et à l'évaluation des risques d'inondation*, transposée dans le droit français par la loi du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, marque une inflexion importante au niveau européen et crée un cadre nouveau pour la prévention des inondations avec la réalisation de nouvelles cartes des aléas et des enjeux plus détaillées et l'élaboration de plan de gestion du risques d'inondation à l'horizon 2015. Son application fait l'objet notamment du *décret n° 2011-227 du 2 mars 2011 relatif à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation*. Les types d'évènements visés sont les inondations par débordement fluvial, les inondations par submersion marine et les inondations par ruissellement des eaux pluviales.

Il convient également de prendre en compte les nouvelles dispositions du *Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) du bassin Rhône Méditerranée Corse*, approuvé le 20 novembre 2009, qui définit pour 6 ans les grandes orientations pour une gestion équilibrée de la ressource en eau ainsi que les objectifs de qualité des milieux aquatiques et de quantité des eaux à maintenir ou à atteindre dans le bassin. Le SDAGE a une

portée juridique qui impose aux documents d'urbanisme, notamment aux SCOT et aux PLU, un rapport de compatibilité avec ses orientations fondamentales.

Le SDAGE, dans son orientation fondamentale n°8, comprend 11 dispositions pour gérer le risque d'inondation en tenant compte du fonctionnement naturel des cours d'eau. Les principaux objectifs des mesures visées sont de préserver les zones d'expansions de crues, de contrôler les remblais en zone inondable et d'orienter l'urbanisation en dehors des zones à risques.

Le SDAGE a été porté à la connaissance des communes des Bouches-du-Rhône par courrier de Monsieur Le Préfet en date du 6 juillet 2010.

2. Définition de l'aléa

Inondabilité par les eaux de la Durance :

Les études réalisées dans le cadre de l'élaboration du PPRI de la basse vallée de la Durance, la méthode d'élaboration des cartes d'aléas, de même que la cartographie de l'aléa ainsi définie sur le territoire de Barbentane ont fait l'objet d'un PAC du Préfet auprès de la commune daté du 23 mai 2011.

Ruissellement et assainissement pluvial

Les études réalisées par IPS'EAU en 2005 et mentionnée ci-dessus doivent être intégrées au PLU, en particulier pour ce qui concerne la qualification de l'aléa ruissellement dans le centre urbain.

3. Prise en compte du risque

Les règles de maîtrise de l'urbanisation en zone inondable et la prise en compte du risque dans les décisions d'aménagement et de développement reposent sur la cartographie des zones inondables incluse au PAC du 23 mai 2011 et sur les conclusions de l'étude IPS'EAU de 2005.

En application des principes énoncés dans les circulaires relatives à la gestion de l'urbanisation dans les zones inondables, et notamment celles du 30 avril 2002 et du 21 janvier 2004, ainsi que dans la « Doctrine commune pour l'élaboration des PPRI du fleuve Rhône et de ses affluents », les objectifs à rechercher sont principalement les suivants :

- non-augmentation des enjeux exposés,
- préservation des champs d'expansion de crues,
- réduction de la vulnérabilité de l'existant,
- achèvement du renouvellement urbain en fonction du degré d'aléa.

De manière globale, comme rappelé dans l'annexe 1 du PAC de l'aléa, la traduction réglementaire de ces principes sera la suivante :

- dans l'enveloppe de la crue de référence : l'extension de l'urbanisation sera proscrite dans les secteurs peu ou pas urbanisés ; elle sera réglementée dans les centres urbains et les autres zones urbanisées en fonction du niveau d'aléa ;
- dans l'enveloppe comprise entre la crue de référence et la crue exceptionnelle : les zones d'expansion de crue et les axes d'écoulement préférentiel seront préservés de toute urbanisation nouvelle ;
- les établissements sensibles et les établissements nécessaires à la gestion de crise seront implantés en dehors de la zone inondable pour la crue exceptionnelle ;
- une zone de sécurité sera délimitée à l'arrière immédiat des ouvrages de protection afin de prendre en compte le risque de défaillance.

En ce qui concerne les travaux de sécurisation des ouvrages de protection, ils permettent de protéger les constructions existantes. Toutefois, même s'ils répondent au cahier des charges des digues résistantes à la crue de référence, toute urbanisation nouvelle restera interdite dans les zones protégées non urbanisées et dans les zones à risques (bande de sécurité et axes d'écoulements des déversoirs de sécurité).

Au vu de l'ensemble ces éléments, les grandes orientations permettant un développement compatible avec le risque inondation sur la commune de Barbentane sont les suivantes (cartes jointes en Annexe Hydro):

- **zone B2** : zone urbanisée soumise à un aléa modéré dans laquelle une densification de l'occupation à l'intérieur de l'enveloppe urbaine actuelle doit préférentiellement être recherchée (dents creuses...) ;
- **zones R1 et R2** : zones peu ou pas urbanisées soumises à un aléa modéré à fort, secteurs naturels ou d'activité agricole qui doivent être préservés, en tant qu'activité et en tant qu'espaces utiles à l'expansion des crues ;
- **zone RH** : zone de recul située à l'arrière immédiat des ouvrages de protection contre les crues qui doit être préservée de toute urbanisation (bande de recul de 100m) ;
- **zone RUI** : zone urbanisée soumise à un risque d'inondation par ruissellement dans laquelle les prescriptions d'urbanisme et les mesures constructives doivent tenir compte de l'ensemble des données connues, hauteurs d'eau de submersion et vitesses d'écoulement notamment ;
- **zone B3** : zone soumise à un risque d'inondation par une crue de la Durance supérieure à la crue centennale dans laquelle la création d'ERP sensibles et d'établissements utiles à la gestion de crise est interdite, et où les autres constructions font l'objet de mesures de précaution simples (planchers habitables à 0,5m au-dessus de la côte TN).

II Remarques générales concernant la prise en compte des risques sismique et mouvements de terrain.

A/ Plan de Prévention des Risques

Il n'existe pas de PPR pour la commune de Barbentane

B/ Aspects réglementaires de la prise en compte des risques sismique et mouvements de terrain

Se référer aux :

Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique.

Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français.

Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal ».

Le territoire couvert par la commune de Barbantane est situé, selon le nouveau zonage sismique de la France actuellement en vigueur dans une zone de sismicité 3 c'est à dire de sismicité modérée.

(Dans le nouveau zonage, il y a 5 niveaux >> 1 = Très faible, 2 = Faible, 3 = Modéré, 4 = Moyen et 5 = Fort)

Sur l'ensemble du territoire communal, depuis le 1er mai 2011 :

Les nouvelles règles de construction applicables sont celles des normes NF EN 1998-1 septembre 2005, NF EN 1998-3 décembre 2005, NF EN 1998-5 septembre 2005 dites « règles Eurocode 8 » accompagnées des documents dits « annexes nationales » des normes NF EN 1998-1/NA décembre 2007, NF EN 1998-3/NA janvier 2008, NF EN 1998-5/NA octobre 2007 s'y rapportant.

Les dispositifs constructifs non visés dans les normes précitées font l'objet d'avis techniques ou d'agrément techniques européens.

Les bâtiments appartenant à la catégorie d'importance II (maisons individuelles en particulier) qui remplissent les conditions du paragraphe 1.1 « Domaine d'application » de la norme « NF P 06-014 mars 1995 amendée A1 février 2001- construction parasismique des maisons individuelles et des bâtiments assimilés, règles PS-MI 89 révisées 92 », qui sont situés en zone de sismicité 3 et 4 sont dispensés, sous réserve de l'application de la norme précitée ci-dessus, de l'application des règles Eurocode 8.

Pour la définition des classes de bâtiments (I, II, III et IV) et l'application des normes à ces bâtiments se référer aux décrets et arrêté ci-dessus mentionnés.

On notera cependant qu'à titre transitoire, les anciennes normes parasismiques (PS 92) peuvent être encore utilisées jusqu'en octobre 2012.

C/ Mouvements de terrain

L'inventaire départemental et l'étude de cartographie régionale des mouvements de terrain réalisés respectivement en 2005 et 2007 par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM) **ne signale pas l'occurrence** de phénomène du type chutes de blocs, glissement ou effondrement sur la commune de Barbentane.

Par contre l'étude régionale (validité au 1/100 000) signale qu'au niveau des bordures Nord et Est (essentiellement) du massif de la Montagnette, compte tenu de la topographie, de la morphologie, de la géologie (nature des roches et structure (zones fracturées)) et de l'hydrogéologie, les terrains affleurants **sont susceptibles d'être affectés** par des mouvements du type chutes de blocs dans les terrains à dominante calcaire (notés m2, n3 sur la carte géologique de Châteaurenard au 1/50 000 éditée par le BRGM) et glissement voire des coulées de boues dans les niveaux de type colluvionnaire/épandages de pente et alluvionnaire (notés PCy-z) (voir carte en annexe 1 ci-dessous).

L'étude du BRGM indique également que les formations calcaires d'âge tertiaire (notées M1bL et M1bC sur la carte géologique) sont susceptibles d'avoir été exploitées comme carrières souterraines. Ces secteurs **sont également susceptibles d'être affectés** par des mouvements de type effondrement (voir carte n°1 en Annexe 1 ci-dessous).

La commune de Barbentane a été reconnue en état de catastrophe naturelle « sécheresse » (arrêtés du 11 juin 2008), lié au phénomène de retrait-gonflement des argiles.

Ce mécanisme peut induire des tassements différentiels au droit de certaines constructions et/ou équipements et engendrer localement et/ou ponctuellement différents types de désordres. Les niveaux argileux, limoneux et marneux (au sens large), affleurant sur la commune et en particulier dans les secteurs de plaine mais aussi dans le massif de la Montagnette, sont des terrains qui peuvent être éventuellement affectés par ce type de phénomène (voir carte n°2 en Annexe 1 ci-dessous).

On notera que les formations alluvionnaires de la plaine, entre Barbentane, Rognonas et Graveson, (notés FZR, FZG etc. sur la carte géologique >> voir carte n°3 en Annexe 1 ci-dessous) sont des niveaux constitués par des horizons de cailloutis, de limons, de sables etc. qui peuvent être susceptibles de se liquéfier en cas de séisme majeur d'autant plus que ce secteur est parcouru par des circulations hydrauliques en surface, sub-surface et en profondeur conduisant localement et ponctuellement à une saturation des terrains.

L'inventaire départemental des cavités souterraines (mine ou carrière) réalisé par la DRIRE-BRGM en 2000 **ne signale pas** la présence de vide de ce type sur la commune.

D/ Prise en compte du risque mouvements de terrain et principes généraux d'aménagement

D'une manière générale : En l'absence d'étude globale au niveau de la commune, les zones situées à proximité des secteurs susceptibles d'être affectés par des mouvements de terrain (chutes de blocs, glissement, effondrement...) ne doivent pas être ouvertes à l'urbanisation au titre du principe de précaution (carte 1, BRGM).

Les études globales doivent permettre de caractériser et quantifier les aléas de mouvements de terrain, la carte fournie en Annexe 1 a une échelle de validité au 1/100 000 et ne peut donc pas être directement reportée sur les documents d'urbanisme dont l'échelle est plus précise.

Cette étude au 1/ 100 000 n'est communiquée qu'à titre purement indicatif et demande donc à être précisée au niveau de la commune.

Les secteurs à aléas faible, modéré et fort doivent être identifiés sur les documents graphiques et des dispositions adaptées à chacun de ces secteurs doivent être appliquées dans le règlement. Comme principe on pourrait retenir globalement que dans les secteurs d'aléa fort les constructions nouvelles doivent être interdites, dans les secteurs d'aléa modéré celle-ci pourraient être autorisées sous réserve que des moyens de protection soient mis en œuvre par la collectivité et dans les secteurs d'aléa faible ces constructions pourraient être autorisées sous réserve de la mise en place de moyens de protection par les particuliers.

Par contre la définition des secteurs d'aléas ne peut être à la charge des particuliers.

D'autre part et d'une manière générale, les aménagements qui pourraient aggraver les risques dans les zones sensibles déjà exposées, comme par exemple, les défrichements, les surcharges, les terrassements, les assainissements individuels, etc. doivent être proscrits ou sérieusement contrôlés.

* A titre indicatif, concernant les **moyens de protection** à mettre en œuvre contre les **éventuels différents mouvements de terrain** (chutes de blocs, glissement et effondrement), il est joint à cette note, en Annexe 2, une liste non exhaustive de parades techniques pouvant être utilisées.

Concernant le phénomène (éventuel) de liquéfaction : Compte tenu du contexte géologique local, si des aménagements et/ou des équipements sont envisagés dans les zones recouvertes par les colluvions/alluvions/éboulis (au sens large du terme), les analyses géologiques-géotechniques devront permettre de préciser les caractéristiques mécaniques des roches vis à vis de ce type de phénomène et d'adapter les projets en conséquence si nécessaire.

Concernant le phénomène de « retrait-gonflement » des argiles : on peut noter qu'il ne génère pas d'inconstructibilité particulière sur le territoire, mais des prescriptions constructives (aménagement, fondations par ex...) peuvent être mises en œuvre. L'évacuation et la gestion des rejets d'eaux (usées, pluviales, drainage), devraient s'effectuer de préférence dans les réseaux collectifs.

De plus, un certain nombre de règles, simples, à prendre en compte au niveau de la construction permettront d'éviter les désordres consécutifs au retrait-gonflement des argiles (voir recommandations du BRGM en Annexes 3 et 4).

E/ Informations générales « internet »

Quelques sites « internet » pour obtenir des informations générales sur les risques naturels « séisme, mouvements de terrain et inondation » :

Portail pour la prévention des risques majeurs : <http://www.prim.net>

Site de la DREAL PACA (risques naturels en général) : <http://www.paca.developpement-durable.gouv.fr>

Sites sur les inondations : <http://www.ineris.fr/aida/> et <http://www.cepri.net/>

Site sur les mouvements de terrain en général : <http://www.bdmvt.net>

Site de données publiques des utilisations du sous-sol : <http://carol.brgm.fr>

Site sur l'aléa retrait-gonflement des sols argileux : <http://www.argiles.fr>

Sites sur les cavités souterraines : <http://www.bdcavite.net> et <http://www.ineris.fr>

Sites sur les séismes : <http://www.sisfrance.net>, <http://www.seisme-1909-provence.fr>, <http://www.planseisme.fr>, <http://www.paca.ecologie.gouv.fr> et <http://renass.u-strasbg.f>

ANNEXE 1

CARTES MOUVEMENTS DE TERRAIN

- * Carte n°1 « Aléa / Susceptibilité » (BRGM)
- * Carte n°2 « Aléa retrait-gonflement » des argiles (BRGM)
- * Carte n°3 « Extrait de la carte géologique de Châteaurenard au 1/50 000 » (BRGM)



PRÉFET DES
BOUCHES-DU-RHÔNE
Direction départementale
des Territoires et de la Mer

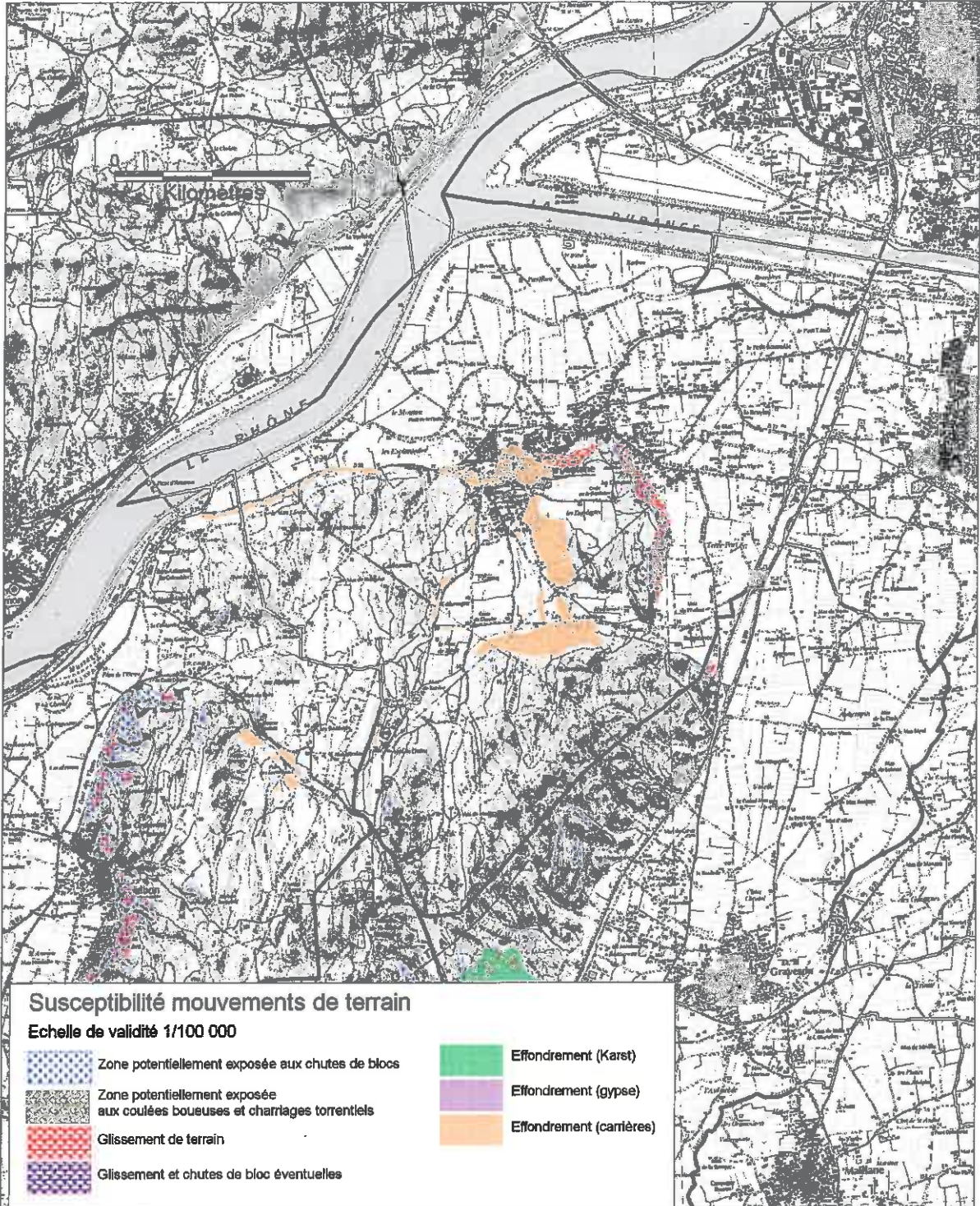
COMMUNE DE BARBENTANE

Carte n°1

Susceptibilité mouvements de terrain



Source :
Bd Scan25®-r-IGN
BRGM, Décembre 2007
DDTM Juillet 2011
Echelle: 1/50 000





Préfet des
Bouches-du-Rhône



Commune de Barbentane

Carte n°2

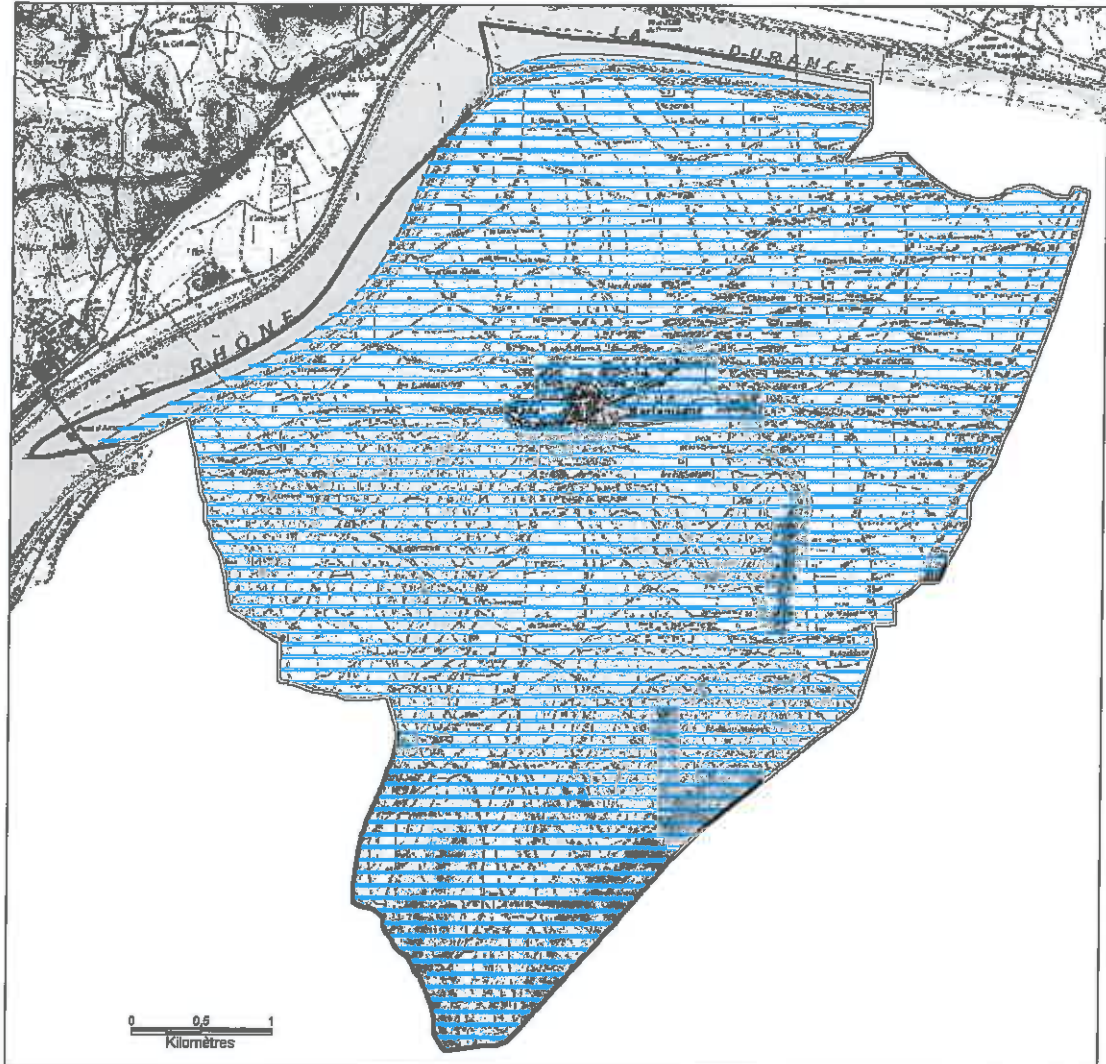
Retrait gonflement des argiles

 nord
Source :
BdTopo@IGN
Scan250@IGN
BRGM, Decembre 2007
DDTM 13

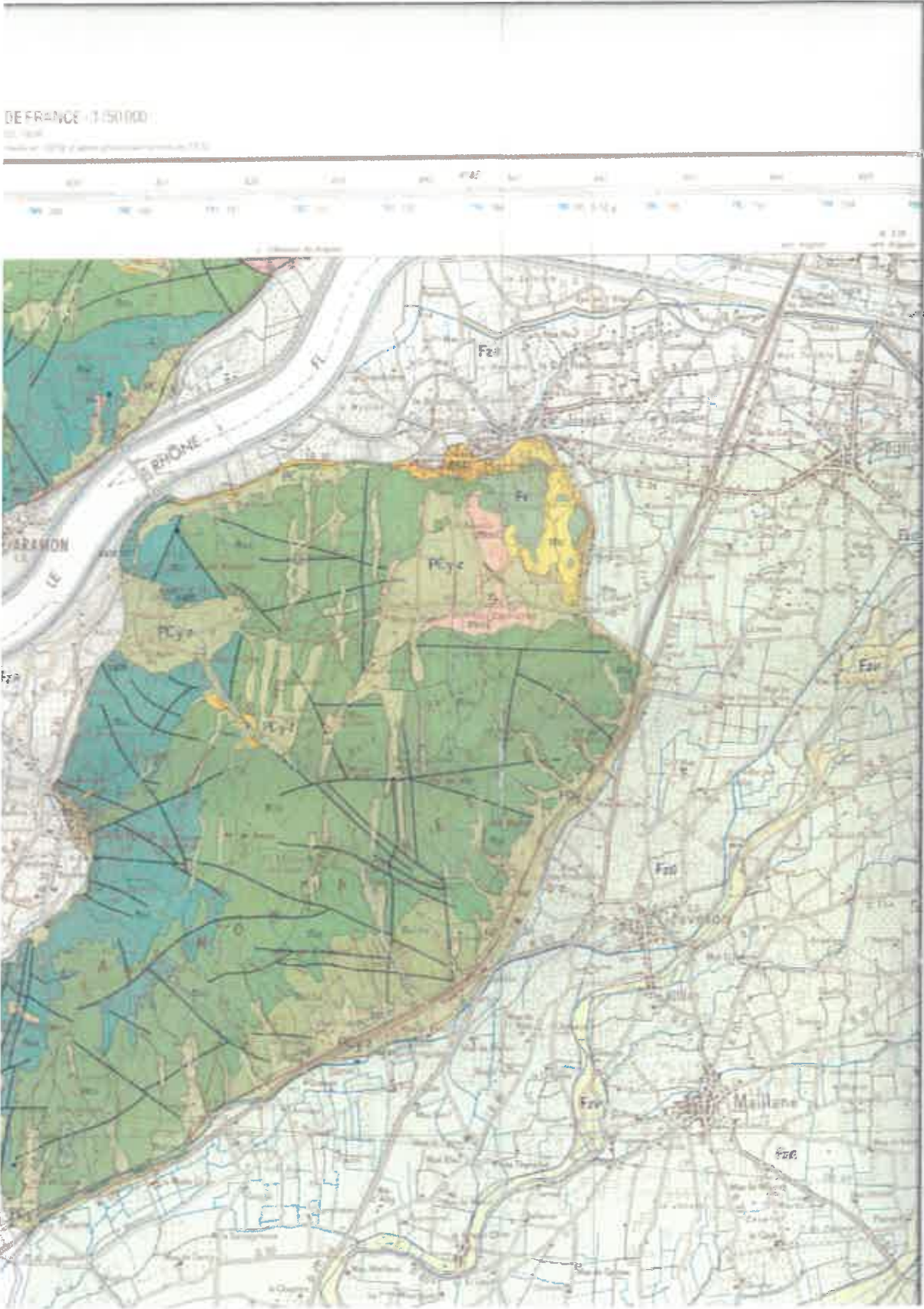
Légende

-  Zone fortement exposée
-  Zone faiblement à moyennement exposée

Echelle: 1/41100



Carte n° 3 : Extrait de la carte géologique de Châteaurenard au 1/ 50 000 (BRGM)



ANNEXE 2

MOUVEMENTS DE TERRAIN

Exemples de moyens techniques de protection par type de phénomène

Il convient de rappeler que ces exemples ne sont pas limitatifs des moyens à mettre en œuvre qui devront être définis par des études techniques spécifiques adaptées à chaque contexte.

CHUTES DE BLOCS

Etude de faisabilité de mise en place de parades passives ou / et actives portant sur tout ou partie de versant (étude de propagation et / ou de stabilité). Si l'étude conclut à la faisabilité de parades, celles-ci pourront être de différents types :

Parades passives (dans la zone de réception des blocs):

- type barrage (merlon),
- type écrans (écrans à structure rigide ou déformable, barrière fixe de grillage ou de filet),
- type fosse de réception;
- type déviateurs (grillage ou filet pendu, déviateur latéral, galeries et casquettes qui sont plutôt adaptées au domaine routier),
- type dissipateurs d'énergie (dispositif amortisseur, boisement).

Parades passives au niveau de la construction:

Une adaptation de la construction à l'impact des blocs pourrait être envisagée avec notamment:

- un renforcement des façades exposées,
- une réalisation, dans la mesure du possible, des accès et des ouvertures principales sur les façades les moins exposées,
- une intégration, dans la mesure du possible, des locaux techniques aux façades exposées.

Parades actives (sur la falaise ou sur le versant):

- suppression de la masse (purge, reprofilage),
- stabilisation / confortement (soutènement, ancrage, béton projeté, filet ou grillage plaqué et ancré),
- drainage (de surface, profond),
- végétalisation (grillage ancré et mélange de paille, bitume et semences).

GLISSEMENT

Etude portant sur la caractérisation de l'aléa (ampleur en profondeur et en superficie), sur sa possibilité de survenance et les moyens de confortements adaptés.

Si l'étude conclut à la faisabilité de parades, celles-ci seront de type:

- collecte des eaux en amont du projet,
- drainage profond (galerie, drains, etc. ...) ou superficiel,
- traitement et armement profond du sous-sol (renforcement de structures, fondations profondes...) pour les zones soumises à un aléa important où les mouvements peuvent être d'ampleur significative,
- mouvements de terre, butée, fondations adaptées, clouages etc...pour les zones soumises à un aléa faible où les mouvements sont d'ampleur limitée.

AFFAISSEMENT / EFFONDREMENT

Étude portant sur la caractérisation de l'aléa, en particulier sur la mise en évidence de roches susceptibles de générer des cavités par dissolution et sur celle de cavités déjà formées. L'étude portera en particulier, en cas de mise en évidence de ce type de vides, sur leur géométrie et les traitements adaptés qui pourront être du type:

- comblement, remblaiement, injection de remplissage et de consolidation de la cavité,
- report de fondation,
- fondations monolithiques adaptées, renforcement des structures,
- collecte des eaux de ruissellement et autres ainsi que l'interdiction de leur rejet dans le sol et le sous-sol, etc. ...

ANNEXE 3

Principales dispositions générales permettant de résister au phénomène de tassement différentiel lié au phénomène de retrait-gonflement des argiles

Si une étude géotechnique couvrant la conception, le pré-dimensionnement et l'exécution des fondations ainsi que l'adaptation de la construction aux caractéristiques du site n'est pas réalisée, certaines dispositions peuvent être mises en œuvre afin d'éviter ou du moins limiter les effets du phénomène géologique concerné:

1/ en matière de fondations:

* la profondeur minimum des fondations peut être fixée à 0,80 m dans les zones faiblement à moyennement exposées et 1,20 m dans les zones fortement exposées, sauf rencontre de sols durs non argileux à une profondeur inférieure,

* sur terrain en pente et pour les constructions réalisées sur plate-forme en déblais ou déblais-remblais, ces fondations doivent être descendues à une profondeur plus importante à l'aval qu'à l'amont afin d'assurer une homogénéité d'ancrage,

* les fondations sur semelles doivent être continues, armées et bétonnées à pleine fouille, selon les préconisations de la norme DTU 13-12 (règles pour le calcul des fondations superficielles).

2/ en matière de conception et de réalisation des constructions:

* toutes parties de bâtiment fondées différemment et susceptibles d'être soumises à des tassements différentiels doivent être désolidarisées et séparées par un joint de rupture sur toute la longueur de la construction,

* les murs porteurs doivent comporter un chaînage horizontal et vertical liaisonné selon les préconisations de la norme DTU 20-1 (règles de calcul et dispositions constructives minimales),

* la réalisation d'un plancher sur vide sanitaire ou sur sous-sol total est recommandée. A défaut, le dallage sur terre plein doit faire l'objet de dispositions assurant l'atténuation du risque de mouvements différentiels vis-à-vis de l'ossature de la construction et de leurs conséquences, notamment sur les refends, cloisons, doublages et canalisations,

* la mise en place d'un dispositif d'isolation thermique le long des murs extérieurs en cas de source de chaleur en sous-sol.

De plus, afin de limiter les variations hydriques au droit des constructions, certaines précautions pourront être prises, il s'agit essentiellement :

* du respect d'une distance minimale entre la construction projetée et toute nouvelle plantation d'arbres ou d'arbustes égale au moins à la hauteur à maturité de ces plantations (1,5 fois en cas de rideau d'arbres ou d'arbustes), sauf mise en place d'un écran anti-racines d'une profondeur minimale de 2 mètres entre l'arbre et toute construction existante.

* du raccordement des rejets d'eaux usées ou pluviales (eau de drainage, eau de vidange de piscine) au réseau collectif:

- immédiatement lorsqu'il existe
- dans un délai de 1 an à compter de la mise en service d'un nouveau réseau.

En cas d'absence ou d'insuffisance de ces réseaux, la zone d'épandage de l'assainissement autonome pour les eaux usées et/ou l'exutoire des rejets des eaux pluviales doivent être situés à une distance minimale de 15 mètres de toute construction. Si le respect de cette distance s'avérait impossible, il sera nécessaire de déterminer par une étude, confiée à un bureau compétent, les conditions d'épandage ou de rejets (stockage à la parcelle par exemple) afin que ceux-ci soient sans conséquence néfaste sur la construction projetée. En tout état de cause, le maître d'ouvrage doit veiller à l'assurance d'une maintenance régulière du système et à une vérification périodique de son bon fonctionnement,

* de la mise en place de dispositifs assurant l'étanchéité des canalisations d'évacuation des eaux usées et pluviales (joints souples, ne pas bloquer la canalisation dans le gros œuvre, éviter les canalisations qui longent les bâtiments...),

* de la récupération des eaux de ruissellement et leur évacuation des abords de la construction par un dispositif d'évacuation type caniveau éloigné d'une distance minimale de 1,5 mètre,

* de la mise en place, sur toute la périphérie de la construction, d'un dispositif d'une largeur de 1,5 mètre, s'opposant à l'évaporation, sous la forme d'un écran imperméable sous terre végétale (géomembrane) ou d'un revêtement étanche (terrasse), dont les eaux de ruissellement seront récupérées par un dispositif d'évacuation par caniveau; il peut être dérogé à cette prescription en cas d'impossibilité matérielle (maison construite en limite de propriété, par exemple),

* du captage des écoulements épidermiques, lorsqu'ils existent, par un dispositif de drainage périphérique à une distance minimale de 2 mètres de toute construction,

* pour les arbres existants situés à une distance inférieure à leur hauteur à maturité de l'emprise de la nouvelle construction et pour limiter l'action des végétaux sur les terrains sous-jacents des fondations de cette dernière, la mise en place d'un écran anti-racines d'une profondeur minimale de 2 mètres entre l'arbre et la construction nouvelle ou la réalisation des fondations à une profondeur où les racines n'induisent plus de variation en eau.

* de ne pas pomper pour usage domestique, entre les mois de mai et d'octobre, dans un puits qui serait situé à moins de 10 m de toute construction et où la profondeur du niveau de l'eau est inférieure à 10 mètres (par rapport au terrain naturel).

ANNEXE 4

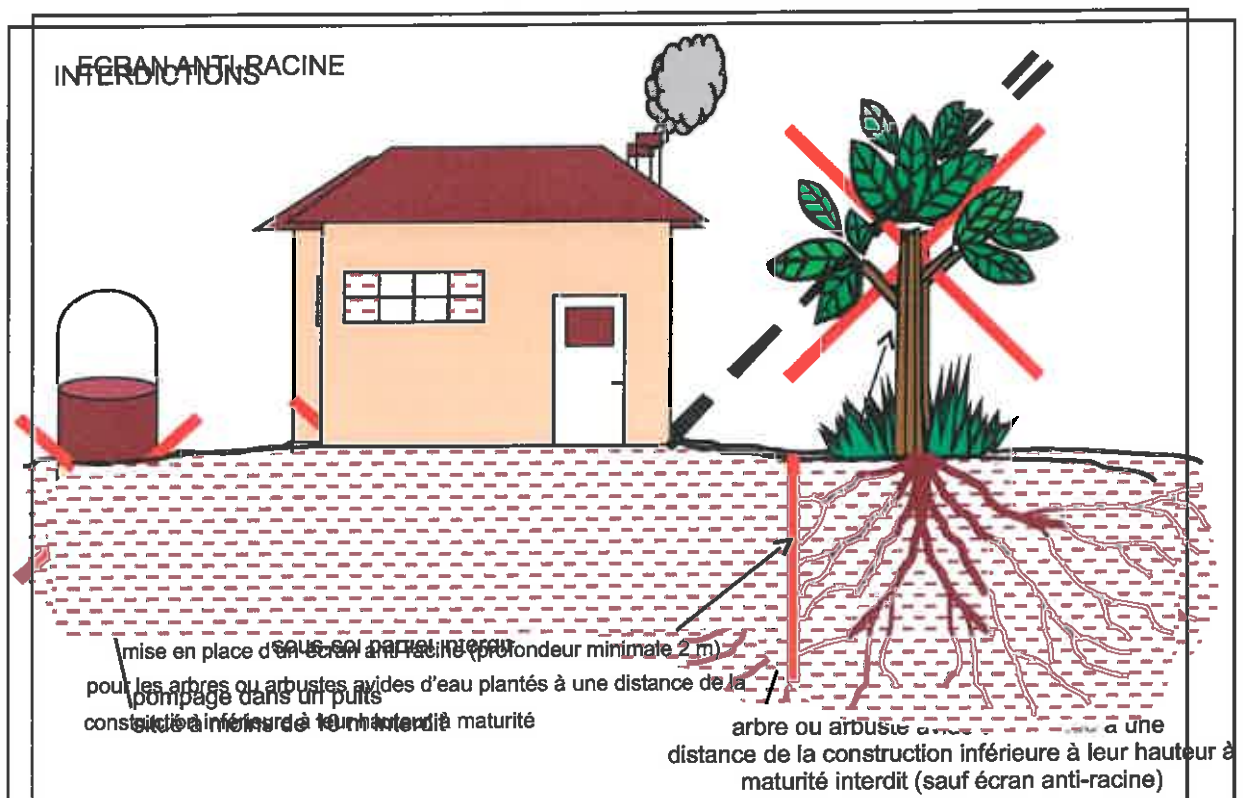
Illustration des principales dispositions de prévention des risques de mouvements de terrain différentiels liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles

Une période de sécheresse provoque le retrait qui peut aller jusqu'à la fissuration du sol. Le retour à une période humide se traduit alors par une pénétration d'autant plus brutale de l'eau dans le sol par l'intermédiaire des fissures ouvertes, ce qui entraîne des phénomènes de gonflement. Le bâtiment en surface est donc soumis à des mouvements différentiels alternés dont l'influence finit par amoindrir la résistance de la structure. Contrairement à un phénomène de tassement des sols de remblais, dont les effets diminuent avec le temps, les désordres liés au retrait-gonflement des sols argileux évoluent d'abord lentement puis s'amplifient lorsque le bâtiment perd de sa rigidité et que la structure originelle des sols s'altère.

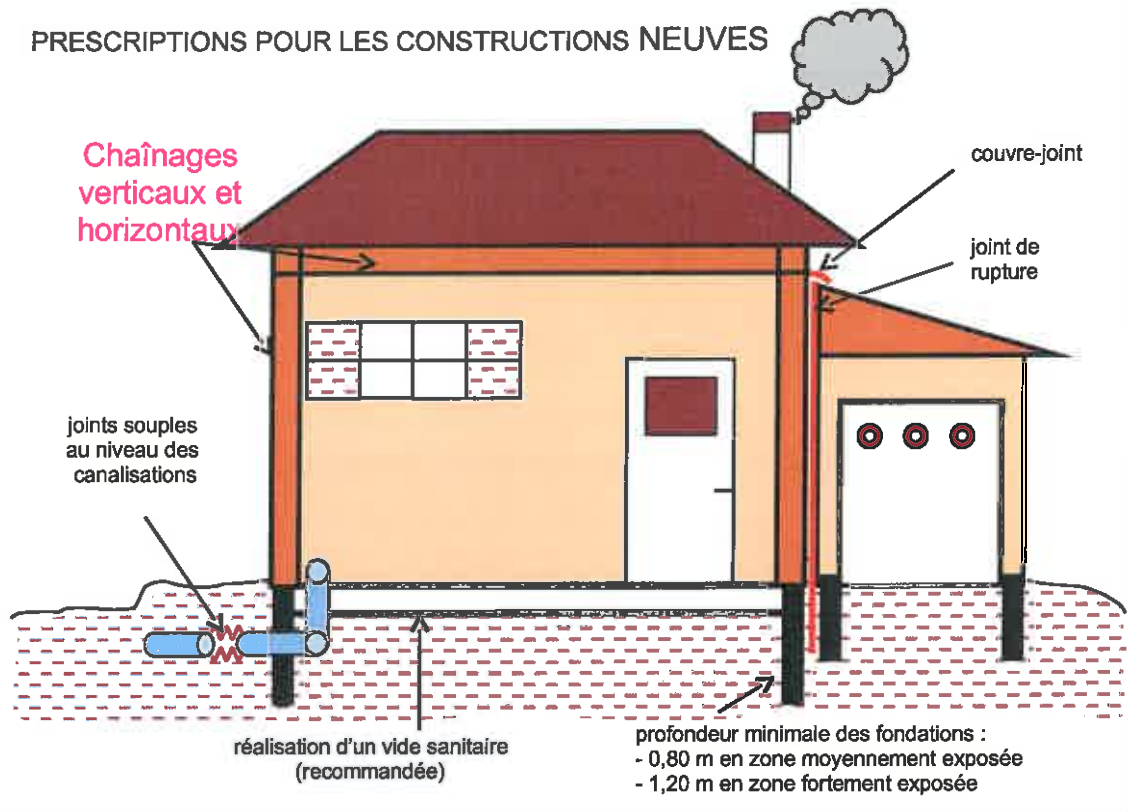
Illustration du mécanisme de dessiccation

Sous une maison, l'évaporation ne peut se produire qu'en périphérie. Il apparaît un gradient (variation d'intensité d'un phénomène par unité de distance entre deux points) entre le centre du bâtiment et les façades, et par suite des mouvements différentiels.

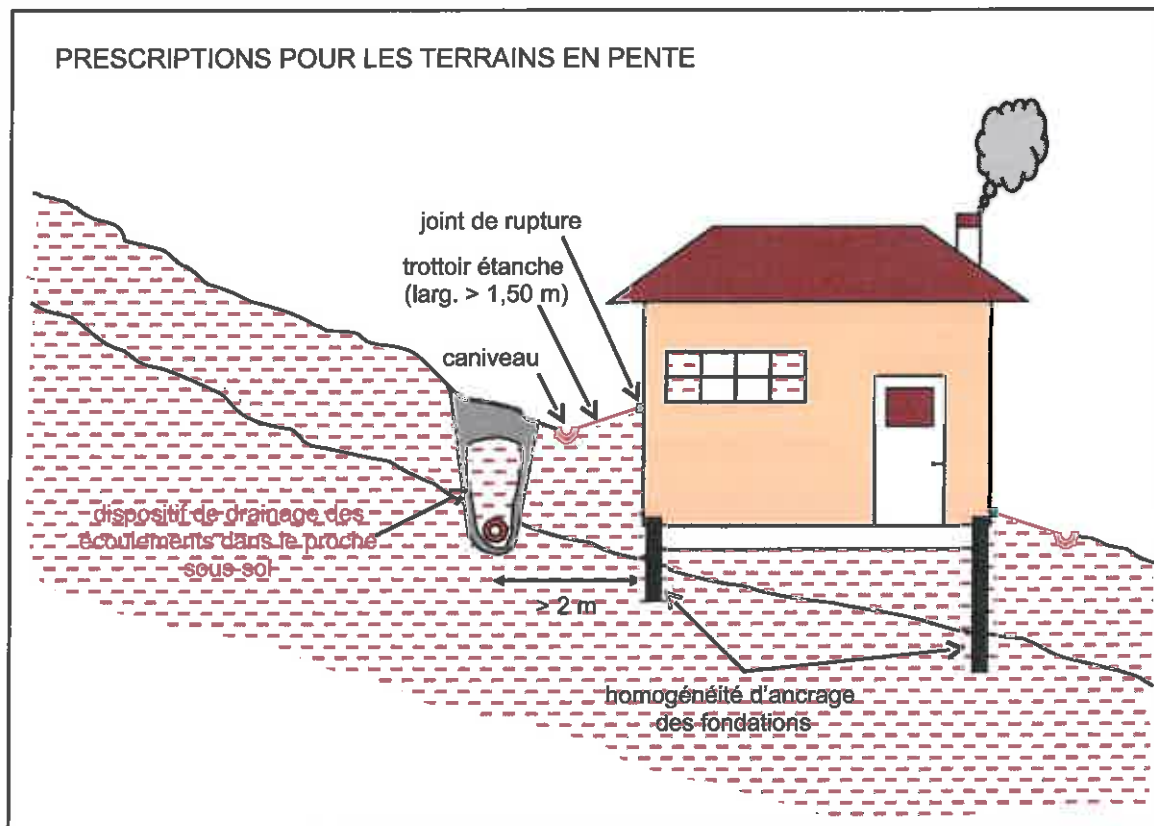
Contrairement aux phénomènes de tassement par consolidation, les effets ne s'atténuent pas avec le temps mais augmentent quand la structure perd de sa rigidité.

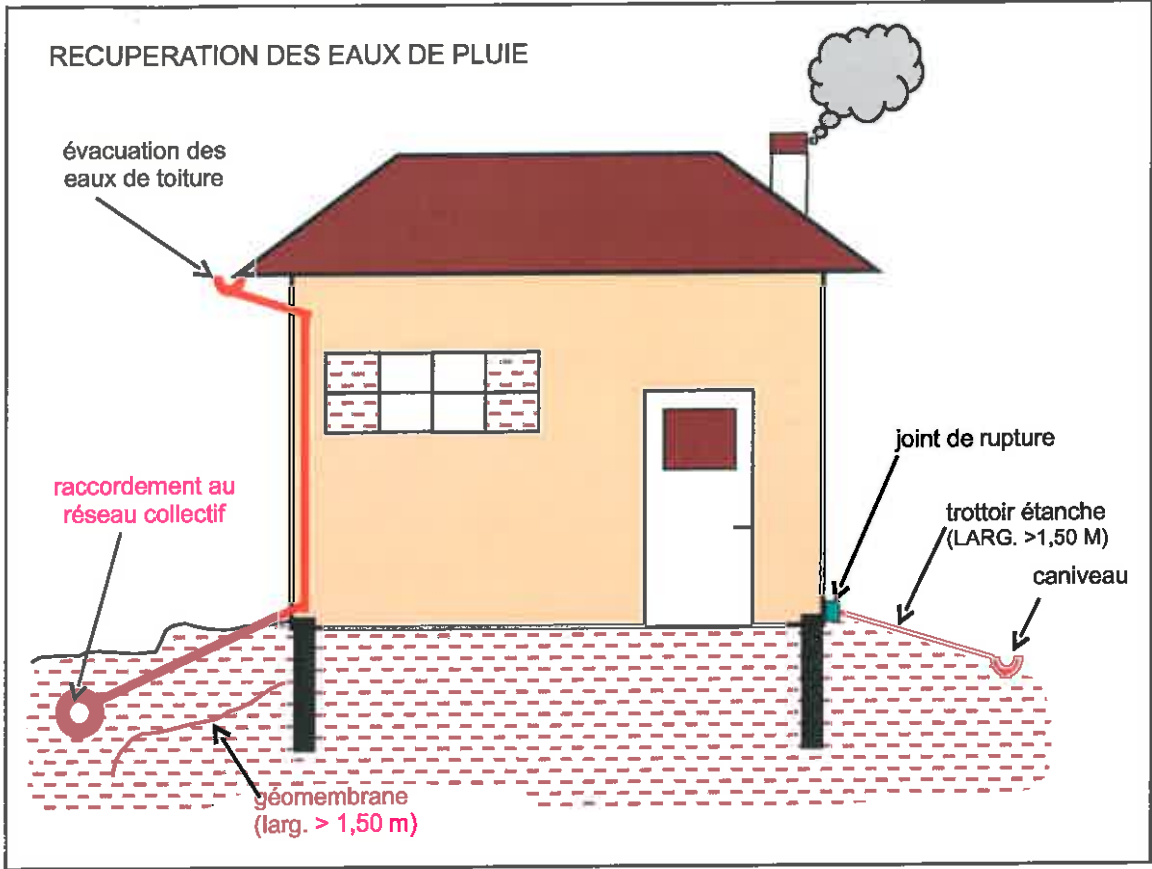


PRESCRIPTIONS POUR LES CONSTRUCTIONS NEUVES



PRESCRIPTIONS POUR LES TERRAINS EN PENTE





Commune de BARBENTANE



BARBENTANE (13570)

Falaise rue du Petit Castel et du
chemin Sous les Roches

Sécurisation de la falaise contre les
éboulements

Mission géotechnique de conception
G2 PRO

Suivi des modifications et mises à jour

FTQ.261-A

| Rév. | Date | Nb pages | Modifications | Rédacteur | Contrôleur |
|------|----------|----------|--------------------------|------------|--------------|
| | | | | Nom, Visa | Nom, Visa |
| | 23/11/16 | 54 | 1 ^{ère} édition | B. MAYOLLE | E. PETITJEAN |
| A | | | | | |
| B | | | | | |
| C | | | | | |

| PAGE | | REV | A | B | C | PAGE | | REV | A | B | C |
|------|--|-----|---|---|---|------|--|-----|---|---|---|
| 1 | | x | | | | 41 | | x | | | |
| 2 | | x | | | | 42 | | x | | | |
| 3 | | x | | | | 43 | | x | | | |
| 4 | | x | | | | 44 | | x | | | |
| 5 | | x | | | | 45 | | x | | | |
| 6 | | x | | | | 46 | | x | | | |
| 7 | | x | | | | 47 | | x | | | |
| 8 | | x | | | | 48 | | x | | | |
| 9 | | x | | | | 49 | | x | | | |
| 10 | | x | | | | 50 | | x | | | |
| 11 | | x | | | | 51 | | x | | | |
| 12 | | x | | | | 52 | | x | | | |
| 13 | | x | | | | 53 | | x | | | |
| 14 | | x | | | | 54 | | x | | | |
| 15 | | x | | | | 55 | | | | | |
| 16 | | x | | | | 56 | | | | | |
| 17 | | x | | | | 57 | | | | | |
| 18 | | x | | | | 58 | | | | | |
| 19 | | x | | | | 59 | | | | | |
| 20 | | x | | | | 60 | | | | | |
| 21 | | x | | | | 61 | | | | | |
| 22 | | x | | | | 62 | | | | | |
| 23 | | x | | | | 63 | | | | | |
| 24 | | x | | | | 64 | | | | | |
| 25 | | x | | | | 65 | | | | | |
| 26 | | x | | | | 66 | | | | | |
| 27 | | x | | | | 67 | | | | | |
| 28 | | x | | | | 68 | | | | | |
| 29 | | x | | | | 69 | | | | | |
| 30 | | x | | | | 70 | | | | | |
| 31 | | x | | | | 71 | | | | | |
| 32 | | x | | | | 72 | | | | | |
| 33 | | x | | | | 73 | | | | | |
| 34 | | x | | | | 74 | | | | | |
| 35 | | x | | | | 75 | | | | | |
| 36 | | x | | | | 76 | | | | | |
| 37 | | x | | | | 77 | | | | | |
| 38 | | x | | | | 78 | | | | | |
| 39 | | x | | | | 79 | | | | | |
| 40 | | x | | | | 80 | | | | | |

Sommaire

| | | |
|-----------|---|-----------|
| A. | PRESENTATION DE LA MISSION | 6 |
| | A.1 – Destinataire(s) du document..... | 6 |
| | A.2 – Problématique..... | 6 |
| | A.3 – Localisation et délimitation de la zone d'étude..... | 7 |
| | A.4 – Mission selon la norme NF P 94-500..... | 9 |
| | A.5 – Contenu des missions..... | 9 |
| | A.5.1 – Mission G2 : confortement rocheux..... | 9 |
| | A.5.2 – Mission G5 : hydrogéologie..... | 10 |
| | A.6 – Données d'entrées..... | 11 |
| | A.7 – Données topographiques..... | 11 |
| | A.8 – Mission drone..... | 12 |
| B. | ENQUETE DOCUMENTAIRE | 13 |
| | B.1 – Ressources documentaires utilisées..... | 13 |
| | B.1.1 – Documents fournis..... | 13 |
| | B.1.2 – Données géotechniques, géologiques..... | 13 |
| | B.1.3 – Documents et ressources en ligne..... | 13 |
| | B.2 – Risques naturels recensés..... | 14 |
| | B.3 – Plan de prévention des risques naturels..... | 14 |
| | B.4 – Contexte géomorphologique..... | 14 |
| | B.5 – Contexte géologique général..... | 14 |
| | B.6 – Contexte environnemental..... | 15 |
| C. | CONTEXTE GEOLOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DU SITE | 16 |
| | C.1 – Emprise des carrières..... | 16 |
| | C.2 – Contexte hydrologique et hydrogéologique..... | 17 |
| | C.3 – Caractéristiques géotechniques du massif rocheux..... | 17 |
| | C.4 – Morphologie du front rocheux..... | 18 |
| | C.5 – Caractéristiques géologiques du site..... | 19 |
| | C.6 – Témoins de déplacement de la masse n°1..... | 20 |
| D. | DIAGNOSTIC DE L'ALEA D'ÉBOULEMENT | 21 |
| | D.1 – Méthodologie..... | 21 |
| | D.1.1 – Description..... | 21 |
| | D.1.2 – Identification des fractures..... | 21 |
| | D.1.3 – Qualification des aléas..... | 21 |
| | D.2 – Caractéristiques des instabilités..... | 22 |
| | D.2.1 – Masse n°1 – AL1..... | 23 |
| | D.2.2 – AL2..... | 24 |
| | D.2.3 – AL3..... | 26 |
| | D.2.4 – AL4..... | 26 |
| | D.2.5 – AL5-AL6..... | 27 |
| | D.2.6 – AL7..... | 27 |
| | D.3 – Définition de la Z.I.G..... | 28 |
| E. | DIMENSIONNEMENT DES SOLUTIONS DE SECURISATION | 29 |
| | E.1 – Documents de référence..... | 29 |
| | E.1.1 – Normes et règlement de conception..... | 29 |
| | E.1.2 – Guides techniques et ouvrages..... | 30 |
| | E.2 – Exigences de calcul..... | 30 |

| | |
|--|-----------|
| E.2.1 – Catégorie de durée d'utilisation du projet..... | 30 |
| E.2.2 – Catégorie géotechnique des ouvrages | 30 |
| E.3 – Principes généraux de sécurisation | 30 |
| E.4 – Données géotechniques..... | 31 |
| E.4.1 – Hypothèses géotechniques..... | 31 |
| E.4.2 – Caractéristiques des clous | 32 |
| E.4.3 – Méthodes de calculs..... | 32 |
| E.4.4 – Facteurs partiels et sécurité | 33 |
| E.4.5 – Pressions d'eau..... | 34 |
| E.4.6 – Surcharge..... | 35 |
| E.4.7 – Séisme..... | 35 |
| E.5 – Dimensionnement des clouages | 36 |
| F. SYNTHÈSE DES SOLUTIONS DE SECURISATION..... | 38 |
| F.1 – Mesures préventives..... | 38 |
| F.2 – Solutions de sécurisation | 39 |
| F.2.1 – Synthèse des travaux à exécuter | 40 |
| F.3 – Caractéristiques techniques des parades | 43 |
| G. PRECONISATIONS POUR L'EXECUTION DES TRAVAUX | 45 |
| G.1 – Reconnaissances préalables complémentaires..... | 45 |
| G.2 – Etat initial avant travaux | 45 |
| G.3 – Phasage des travaux..... | 45 |
| G.3.1 – Solution n°1..... | 45 |
| G.3.2 – Solution n°2..... | 46 |
| G.4 – Contraintes d'exécution | 46 |
| G.5 – Sécurité du chantier | 47 |
| G.5.1 – Sécurité du personnel..... | 47 |
| G.5.2 – Protection des personnes et des avoisinants | 47 |
| H. ESTIMATION DES QUANTITES..... | 48 |
| CONDITIONS GENERALES..... | 51 |
| CONDITIONS GENERALES..... | 52 |
| ENCHAINEMENT DES MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P 94-500) | 53 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| FIGURE 1 – LOCALISATION DU SITE D’ETUDE, CHEMIN SOUS LES ROCHES (<i>GEOPORTAIL [9]</i>) | 8 |
| FIGURE 2 – LOCALISATION DE LA ZONE D’ETUDE (CHEMIN SOUS LES ROCHES) SUR LE CADASTRE, REPORTE SUR IMAGE AERIEENNE D’ETUDE (<i>GEOPORTAIL [9]</i>). 1 : PARCELLE BW 370 - 2 : PARCELLE BW 366 – 3 : FRONT DE L’ANCIENNE CARRIERE (PARCELLES CH 9 ET BW 122) – 4 : ANCIEN CARREAU DE CARRIERE EN SOMMET DE FALAISE – 5 : CHEMIN D’ACCES AU PLATEAU (CROIX CAPITAINE) – 6 : ETABLISSEMENT LE MANOIR ADOSSE AU FRONT DE TAILLE | 8 |
| FIGURE 3 – EXTRAIT DE LA CARTE GEOLOGIQUE A 1/50 000 CHATEAURENARD (<i>INFOTERRE [8]</i>) | 15 |
| FIGURE 4 – EXTRAIT D’UNE PHOTOGRAPHIE AERIEENNE DE 1964 [13]. 1 : EMPLACEMENT APPROXIMATIF DE LA PARCELLE BW 370 - 2 : MASSE INSTABLE N°1 – 3 : ETAT DES FRONTS IDENTIQUE A LA SITUATION ACTUELLE – 4 : ZONE D’EXCAVATION AU DROIT DES PARCELLES BW 368-369 (NORD EN HAUT DE L’IMAGE) | 16 |
| FIGURE 5 – MODELE DE PRESSION HYDROSTATIQUE. PRESSION MAXIMALE AU MILIEU DU PLAN DE GLISSEMENT SANS FENTE DE TRACTION | 35 |

Table des tableaux

| | |
|---|----|
| TABLEAU 1 – CARACTERISTIQUES DES GRES DE BARBENTANE [3] [4] | 17 |
| TABLEAU 2 – CARACTERISTIQUES DE LA PIERRE DE BARBENTANE [7] | 18 |
| TABLEAU 3 – CARACTERISTIQUES MECANQUES RETENUES POUR LES CALCAIRES GRESEUX DU SITE | 18 |
| TABLEAU 4 – TEMOINS (SPYD) | 20 |
| TABLEAU 5 – RECAPITULATIF DES COMPARTIMENTS INSTABLES..... | 22 |
| TABLEAU 6 – DIMENSIONS DES COMPARTIMENTS INSTABLES | 23 |
| TABLEAU 7 – CATEGORIE DE DUREE D’UTILISATION DU PROJET (D’APRES TABLEAU AN.1 NF EN 1997-1/NA). | 30 |
| TABLEAU 8 – CATEGORIE GEOTECHNIQUE (D’APRES TABLEAU AN.2 NF EN 1997-1/NA)..... | 30 |
| TABLEAU 9 – PRINCIPES DE SECURISATION | 31 |
| TABLEAU 10 - HYPOTHESES GEOTECHNIQUES | 32 |
| TABLEAU 11 – CARACTERISTIQUES DES CLOUS | 32 |
| TABLEAU 12 – FACTEURS PARTIELS POUR LES ACTIONS OU LES EFFETS DES ACTIONS..... | 33 |
| TABLEAU 13 – FACTEURS PARTIELS POUR LES PARAMETRES DU SOL..... | 33 |
| TABLEAU 14 – FACTEURS PARTIELS POUR LES PARAMETRES DU SOL..... | 34 |
| TABLEAU 15 – FACTEURS PARTIELS POUR LA RESISTANCE DES TERRES POUR LA STABILITE GENERALE | 34 |
| TABLEAU 16 – FACTEURS PARTIELS DE RESISTANCE POUR LES ANCRAGES SCELLES (A.2.3 - NF P 94-282) | 34 |
| TABLEAU 17 – FACTEURS PARTIELS POUR LES INTERACTIONS SOL-CLOU..... | 34 |
| TABLEAU 18 – COEFFICIENTS DE SECURITE SUPPLEMENTAIRES | 34 |
| TABLEAU 19 – SEISME | 35 |
| TABLEAU 20 – RESULTATS DES NOTES DE CALCUL DE CLOUAGE | 36 |
| TABLEAU 21 – CLOUAGE RETENU POUR L’EXECUTION | 36 |
| TABLEAU 22 – SOLUTIONS DE SECURISATION. TRAVAUX GENERAUX | 40 |
| TABLEAU 23 – SOLUTIONS DE SECURISATION. DETAIL DES TRAVAUX PAR ZONE D’INSTABILITE. SOLUTION N°1 | 41 |
| TABLEAU 24 – SOLUTIONS DE SECURISATION. DETAIL DES TRAVAUX PAR ZONE D’INSTABILITE. SOLUTION N°2 | 42 |
| TABLEAU 25 – CLOUAGE. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES | 43 |
| TABLEAU 26 – BUTEE BETON ARME. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES | 44 |
| TABLEAU 27 – GRILLAGE. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES | 44 |
| TABLEAU 28 - ESTIMATION DES QUANTITES. SOLUTION N° 1 | 49 |
| TABLEAU 29 - ESTIMATION DES QUANTITES. SOLUTION N°2 | 50 |

A. Présentation de la mission

AVERTISSEMENT :

Les tableaux, planches et figures référencés dans le texte sont fournis dans les annexes jointes au rapport :

- FONDASOL. Commune de BARBENTANE (13570). Falaise du Petit Castel et du chemin Sous les Roches. Sécurisation de la falaise contre les éboulements. Annexes, **pièce 002**, 10/11/2016, annexes A-G, pp. 50,
- FONDASOL. Commune de BARBENTANE (13570). Falaise du Petit Castel et du chemin Sous les Roches. Sécurisation de la falaise contre les éboulements. Parcelle BW367. Plan topographique, **pièce 100**, plan à 1/50, 10/11/2016.

Les références aux documents annexes (notes méthodologiques, planches, plans, profils, notes de calcul, mesures, etc.) sont mentionnées dans le texte comme suit :

P002-An.B-1 : pièce 002 / annexe B / document 1, référence éventuellement augmentée du renvoi vers une partie du document. Ex. : ph.B.1.2 = photo B.1.2.

A.1 – Destinataire(s) du document

Le présent document est adressé aux destinataires suivants :

Monsieur le Maire de Barbentane
Mairie de Barbentane
7, Le Cours
13570 BARBENTANE

Monsieur TEYSSÉDOU
Services Techniques de Barbentane
bruno.teyssedou@barbentane.fr

A.2 – Problématique

La ville de Barbentane est adossée au flanc nord du plateau de la Montagnette dont la bordure nord-est comporte une falaise abrupte de 20 à 25 m de hauteur, dans des calcaires et marnes sableuses friables. Elle domine les quartiers de la rue du Petit Castel et du chemin Sous les Roches dont l'habitat s'est développé dans les années 1980 à 2000.

Certaines habitations sont proches de la falaise et du front d'anciennes carrières et potentiellement exposées aux éboulements.

La commune souhaite engager une étude de diagnostic et de sécurisation vis-à-vis des éboulements rocheux, notamment pour deux masses situées en amont d'une zone d'habitation :

- un grand compartiment (masse 2 de la fiche HYDROKARST [1]) de plusieurs centaines de mètres-cube, séparé de la falaise principale par une fracture très ouverte sur toute la hauteur, et dominant les habitations de la rue du Petit Castel,
- un ancien front de taille (masse 1) pour partie taillé en surplomb, dominant les parcelles BW 366 et 370, sises chemin Sous les Roches, notamment une habitation pavillonnaire récente dont le jardin et un abri sont proches du front rocheux ; l'apparition et l'évolution récente d'une fissure dans une partie du front a alerté le propriétaire de l'habitation.

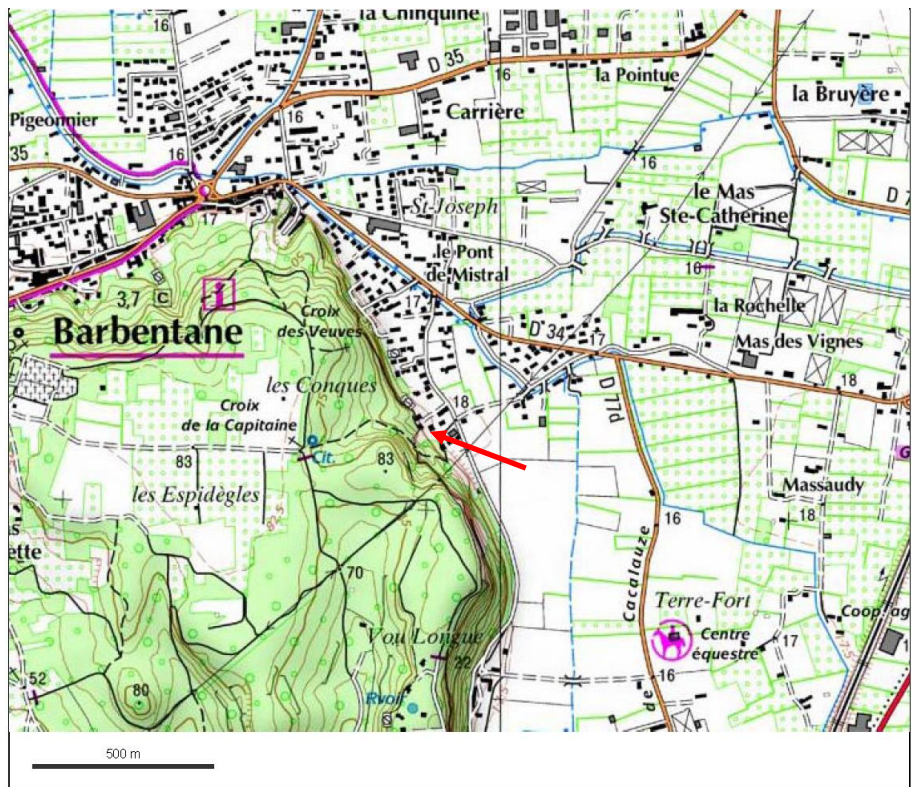
D'après les informations fournies, la parcelle BW 370 (masse 1) serait également affectée, lors de forts épisodes pluvieux, par la concentration des eaux de ruissellement provenant du plateau via un thalweg emprunté par un ancien chemin. Les eaux se détournent vers l'ancienne carrière et s'écoulent sur le front au droit de l'abri de jardin.

La présente pièce du rapport traite uniquement de la masse n°1 et des alés proches situés en amont de la parcelle BW 370, chemin Sous les Roches.

A.3 – Localisation et délimitation de la zone d'étude

La zone d'étude relative à la masse n°1 (chemin Sous les Roches) comprend [9] [10] :

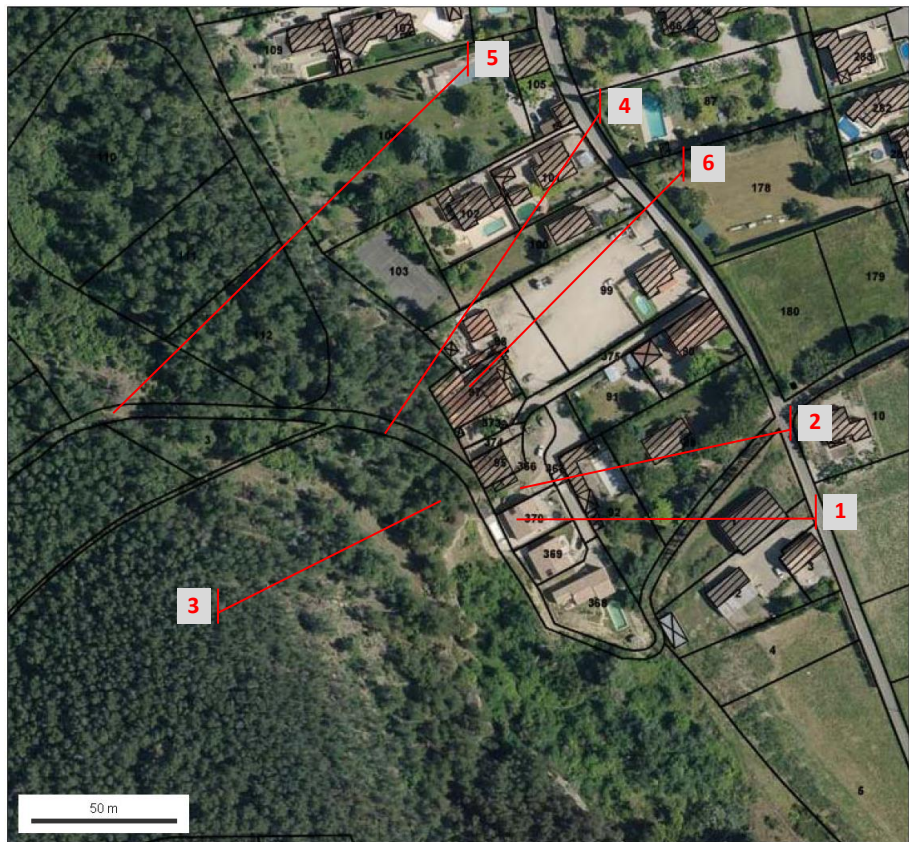
- le front de l'ancienne carrière dominant les parcelles BW 370, 369, 368, 370, actuellement occupée par 3 villas récentes et des jardins ; l'essentiel du front rocheux instable est localisé dans la parcelle cadastrée CH 9, et dans une moindre mesure la parcelle BW 122,
- une partie du versant nord, au lieu-dit les Conques et du plateau au lieu-dit Croix Capitaine, qui constitue le bassin versant des eaux de ruissellements se déversant dans la zone d'étude : cet impluvium fait l'objet actuellement d'une analyse hydrogéologique, par le service Hydrogéologie de FONDASOL, qui sera annexée ultérieurement à l'étude générale.



© IGN 2016 - www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales

Longitude : 4° 45' 55" E
Latitude : 43° 53' 51" N

Figure 1 – Localisation du site d'étude, chemin Sous les Roches (Géoportail [9])



© IGN 2016 - www.geoportail.gouv.fr/mentions-legales

Longitude : 4° 45' 50" E
Latitude : 43° 53' 47" N

Figure 2 – Localisation de la zone d'étude (chemin Sous les Roches) sur le cadastre, reporté sur image aérienne d'étude (Géoportail [9]). 1 : parcelle BW 370 - 2 : parcelle BW 366 - 3 : front de l'ancienne carrière (parcelles CH 9 et BW 122) - 4 : ancien carreau de carrière en sommet de falaise - 5 : chemin d'accès au plateau (Croix Capitaine) - 6 : établissement Le Manoir adossé au front de taille

A.4 – Mission selon la norme NF P 94-500

La mission, confiée au Département Géologie Géorisques de FONDASOL par la Commune de Barbentane, est de type **étude de conception géotechnique G2 phase PROjet pour le volet confortement** et de type **diagnostic géotechnique G5** pour le volet hydrogéologique, au sens de la norme NFP 94-500 (Novembre 2013).

Ces missions se conforment au devis n°DE.EGG.16.04.001 indice A du 09/05/2016 et à la lettre de commande en date du 02/06/2016.

A.5 – Contenu des missions

A.5.1 – Mission G2 : confortement rocheux

La mission G2 a pour objectif de définir et dimensionner les ouvrages de confortements pour la sécurisation de la falaise vis-à-vis des éboulements rocheux, et comprend, pour la partie consacrée au chemin Sous les Roches :

Une phase de reconnaissance par drone :

- modélisation 3D du grand compartiment chemin Sous les roches (masse I) : survol, prises de vue de l'intégralité de la masse nécessaires pour la construction du modèle 3D,
- modélisation 3D du terrain en amont de la masse I pour l'identification des lignes d'écoulement et l'étude d'une solution de gestion des eaux de ruissellement provenant du thalweg : surface entre la masse et le débouché du thalweg, dans la limite de la partie déboisée (surface < 1 ha).

Le calage des relevés par drone a été effectué au moyen d'un GPS LEICA GS10 avec correction en temps réel ORPHEON.

Une phase d'inspection sur corde :

- inspection détaillée sur corde de la masse I et des parois périphériques par un géologue habilité aux interventions en hauteur, pour identifier et caractériser les instabilités : identification d'indices d'instabilités (fractures ouvertes, extension, zones de faiblesse, etc.) au niveau des surplombs du front de carrière, inspection de la partie inférieure du front (sous-cavages, fracturation, compartiments potentiellement instables), inspection d'une masse instable au nord le long du sentier pour évaluation du volume instable et de l'aléa de propagation vers les habitations.

Un complément de lever topographique :

- réalisation d'un lever topographique complémentaire de la masse n°I pour préciser les mécanismes de rupture potentiels et les volumes concernés.

L'étude et le dimensionnement des solutions de sécurisation :

- masse I : construction du modèle 3D, évaluation des volumes à terrasser, localisation des zones de faiblesses, phasage de terrassement pour assurer la sécurité des travaux,
- dimensionnement des solutions de sécurisation de la base du front rocheux sous la masse I, établissement de notes de calcul si nécessaire.

Rapport de mission G2 PRO :

- l'établissement d'un rapport de mission G2 PRO comprenant :
- les résultats de l'enquête documentaire,

- le contexte géologique et géomorphologique,
- la modélisation 3D de la masse I,
- une carte topographique de la zone amont à la masse I,
- l'inventaire des aléas, leurs caractéristiques et leur report sur planches photographiques,
- les conditions de stabilité de la masse I et les préconisations de sécurisation,
- la définition et le dimensionnement des solutions de sécurisation,
- le report des ouvrages à exécuter sur photos et/ou plans,
- les caractéristiques techniques de terrassement et des dispositifs de protection à mettre en œuvre,
- les conditions d'exécution et de phasage des travaux en sécurité vis-à-vis des enjeux,
- l'estimation des quantités, coûts et délais de travaux.

Planning des interventions réalisées :

- mise en place de repères topographiques au GPS pour la reconnaissance par drone le 29/07/16 (B. MAYOLLE, géologue),
- inspection sur corde : 01/08/16 (B. MAYOLLE, SETT),
- reconnaissance par drone : 04/08/16 (LATITUDE DRONE, B. MAYOLLE),
- complément topographique : 20/10/16 (R. BLANC, B. MAYOLLE).

A.5.2 – Mission G5 : hydrogéologie

Dans le cadre du projet de sécurisation assuré par la mission G2 PRO, cette mission de diagnostic a pour objet, au travers de l'analyse du contexte hydraulique local, de proposer d'éventuelles solutions simples d'aménagement visant à :

- réduire le risque d'écoulement vers les constructions sous-jacentes en cas de forts événements pluvieux,
- limiter les infiltrations des eaux de ruissellement dans le substratum à proximité des zones instables.

La mission de diagnostic hydrogéologique G5 comprend :

- l'étude préliminaire du site : synthèse documentaire sur le contexte géologique, hydrogéologique et hydraulique du site,
- une visite de reconnaissance par un hydrogéologue du Département Hydrogéologie de FONDASOL pour l'identification de la problématique de gestion des eaux de surface : relevé des traces de ruissellement et d'érosion éventuels, analyse géomorphologique et géologique du bassin versant hydrologique ; la zone d'étude est limitée au bassin versant de la zone à sécuriser (chemin de la plaine au plateau),
- le rapport de mission présentant :
 - Etude préliminaire du site
 - synthèse documentaire sur le contexte géologique, hydrogéologique et hydraulique du site,
 - Résultat des levés in situ
 - les résultats et synthèse des observations de terrain avec illustrations photographiques,
 - Analyse et synthèse du contexte géologique et hydrogéologique du site
 - une description du système topographique, géologique et hydrogéologique local,
 - Adaptation du projet au site
 - estimation des débits des eaux de ruissellement générées au droit de la zone rocheuse instable à traiter sur la base du bassin versant hydraulique théorique déduit de la carte

IGN à 1/25 000 ou du plan topographique fourni, en fonction de la pluie de référence à définir,

- avis sur les aménagements hydrauliques simples qui pourraient être réalisés dans le cadre des travaux de sécurisation pour améliorer les écoulements, limiter les risques de débordements vers les constructions actuellement impactées en aval et réduire les risques d'infiltration au droit de la zone de falaise à traiter (description et schéma de principe),

- compléments éventuels à intégrer dans les missions ultérieures afin de réduire les incertitudes et les risques résiduels.

Remarque importante : au vu de l'analyse préliminaire du site, cette étude ne porte que sur des aménagements hydrauliques simples (fossés, noue, reprofilage, décanteur, etc.). Si des ouvrages spéciaux tels que dissipateur d'énergie ou autres, s'avèrent nécessaires, ils devront faire l'objet d'une étude spécifique par un hydraulicien.

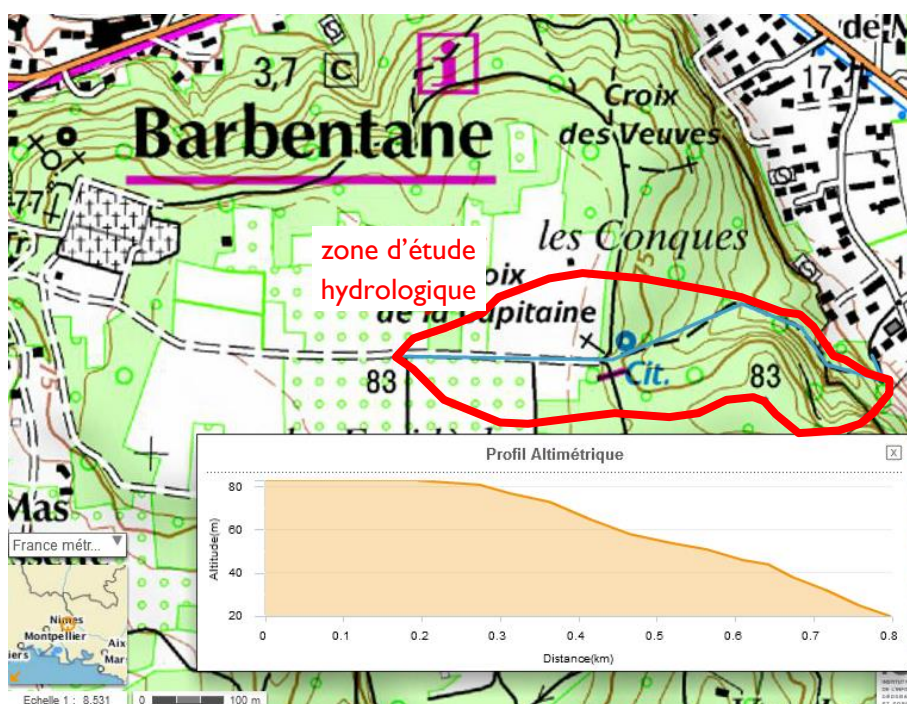


Figure 1 – Zone d'étude hydrologique (Géoportail [9])

Planning des interventions réalisées :

- investigations de terrain pour le volet hydrogéologique : 20/09/16 (E. GALES, hydrogéologue, Responsable Direction Hydrogéologie FONDASOL).

A.6 – Données d'entrées

- [1] HYDROKARST. Chantier de Barbentane. Confortement de 2 masses rocheuses. Fiche de visite préalable avant étude. Etablie le 25/03/2016, pp. 5.
- [2] SPYD. Rapport d'intervention de pose de témoins au chemin Sous les Roches. Etabli le 15/06 2015, pp. 2,

A.7 – Données topographiques

Les levés topographiques ont été réalisés par FONDASOL :

- mise en place de stations pour le lever drone et terrestre : GPS différentiel LEICA GS10 (corrections ORPHEON), coordonnées RGF93 CC44, altimétrie NGF/IGN69,
- lever du front de carrière et des compartiments instables, des profils : station totale LEICA TS06, calage sur les stations référencées dans le système précédent.

Pour l'étude de la sécurisation de la parcelle BW 370, 5 profils (P1 à P5) ont été levés. Ils sont localisés sur le plan de la **pièce 100** annexée au rapport.

A.8 – Mission drone

Les reconnaissances, modélisations par drone et prestations topographiques associées ont été sous-traitées à l'entreprise LATITUDE DRONE.

La mission a été réalisée à l'aide d'un aéronef télé-piloté pouvant évoluer dans des scénarios S1, S2 et S3.

Les interventions ont été réalisées sous la supervision de B. MAYOLLE, chargé d'affaire, présent sur site lors des relevés.

B. Enquête documentaire

B.1 – Ressources documentaires utilisées

B.1.1 – Documents fournis

Cf. Ch. Présentation de la mission - A.6 – Données d'entrées, page 11.

B.1.2 – Données géotechniques, géologiques

- [3] GONZALEZ G. (1992) *Conseil Régional PACA. Valorisation des ressources naturelles. Les pierres tendres (molasses provençales)*. Rapport définitif. BRGM/RR-36294-FR, décembre 1992, pp. 93, 44 annexes,
- [4] GONZALEZ G. (1997) *Ministère de l'Industrie de la Poste et des Télécommunications. DRIRE. Inventaire des roches ornementales en région Provence-Alpes-Côte d'Azur. 1^{ère} partie*. Rapport n° BRGM/RR-39831-FR, décembre 1997, pp. 40, 3 fig., 3 tableaux,
- [5] CATZIGRAS F., COLOMB E., DAMIANI L., DURAND J.P., DUROZOY G., FERAUD J., GERVAIS J., MASSE J.P., ROUIRE J., ROUSSET C., TRIAT J.M., TRUC G. (1977). Notice explicative. Carte géol. France (1/50 000), feuille Châteaurenard (966). Orléans : BRGM, 25 p.,
- [6] BESSON D. (2005) *Architecture du bassin rhodano-provençal miocène (Alpes, SE France). relations entre déformation, physiographie et sédimentation dans un bassin molassique d'avant-pays. Volume des Annexes*. Thèse de doctorat : Dynamique et Ressources des Bassins Sédimentaires, Mines Paris ParisTech, 32 annexes, 106 fig.
- [7] BERTHONNEAU J. (2013) *Le rôle des minéraux argileux dans la dégradation de la pierre : application à la conservation de la « Pierre du Midi » en termes de durabilité et compatibilité des matériaux en œuvre*. Thèse de doctorat : Sciences de l'Environnement, Aix-Marseille Université.

B.1.3 – Documents et ressources en ligne

- [8] Infoterre™-BRGM. Le visualisateur des données géoscientifiques [en ligne]. Disponible sur : <<http://infoterre.brgm.fr/>> (consulté le 27/10/2016),
- [9] Géoportail-IGN. Le portail des territoires et des citoyens [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.geoportail.gouv.fr/accueil/>> (consulté le 27/10/2016),
- [10] Cadastre.gouv.fr-Ministère de l'Economie et des Finances. Service de consultation du plan cadastral [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.cadastre.gouv.fr/scpc/accueil.do/>> (consulté le 28/10/2016).
- [11] Prim.net. Bouquet prévention risques majeurs [en ligne]. Disponible sur : <[http://www.prim.net /](http://www.prim.net/)> (consulté le 28/10/2016),
- [12] INPN-Inventaire National du Patrimoine Naturel – Muséum National d'Histoire Naturelle [en ligne]. Disponible sur : <<http://inpn.mnhn.fr/>> (consulté le 28/10/2016),
- [13] IGN. Remonter le temps. Consultation et impression de données anciennes et actuelles [en ligne]. Disponible sur : <http://remonterletemps.ign.fr/> (consulté le

28/10/16) : consultation des campagnes de photographies aériennes de 1947 et 1964, IGNF_PVA_1-0_1947-09-21_C3042-0011_1947_F3042-3044_0325.jp2, IGNF_PVA_1-0_1964-08-02_C3041-0301_1964_CDP5966_7543.jp2.

B.2 – Risques naturels recensés

Les éléments suivants sont issus de la consultation des sites officiels dédiés aux risques naturels [8] [11] :

- séisme : **zone sismique 3** selon le nouveau zonage sismique de la France défini par le **Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010** relatif à la prévention du risque sismique et le **Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010** portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français,
- retrait gonflement des argiles : aléa faible.
- mouvements de terrain, éboulements : pas d'aléa recensé dans la zone d'étude ou son environnement proche.
- cavités : pas de cavité recensée.

B.3 – Plan de prévention des risques naturels

La commune ne dispose pas d'un Plan de Prévention des Risques Naturels Mouvements de terrain [11].

B.4 – Contexte géomorphologique

La zone d'étude intéresse la pointe nord-est du massif de la Montagnette, relief émergeant de la plaine alluviale au sud de la confluence du Rhône et de la Durance. Elle forme un plateau cultivé, au lieu-dit les Espidègles, à une altitude de 80 NGF, bordée sur ce flanc par des falaises abruptes dominant la plaine du Comtat, et des pentes très raides, boisées.

Dans le secteur étudié, ces falaises s'étendent sur un linéaire de plus de 1 km selon une géométrie parfaitement rectiligne. Elles sont orientées vers le NE, avec une hauteur de 15 à 30 m, entre 25 NGF et 45 à 55 NGF.

Le modelé du paysage et la morphologie du terrain dans la zone investiguée résulte pour partie de l'exploitation de pierres de construction en carrières, désormais abandonnées, sous l'appellation « Pierre de Barbentane ».

B.5 – Contexte géologique général

D'après la carte géologique à 1/50 000 CHATEAURENARD [5] (Figure 3), le site s'inscrit dans le cadre général du horst anticlinal de la Montagnette, contemporain du relèvement des Alpilles à la fin du Miocène.

Il intéresse les faciès de molasses du Miocène moyen (m_2), reposant en discordance sur les calcaires marneux et marnes de l'Hauterivien (n_{35}) qui constituent l'essentiel du massif. Cette puissante série miocène est composée de calcaires et marnes sableuses gris verdâtre

plus ou moins consolidés, rattachés initialement au Vindobonien indifférencié d'après la notice de la carte géologique [5].

Selon les études récentes [6], la formation rencontrée sur le secteur étudié, correspond à un complexe de barres tidales (grands corps sédimentaires de dunes sous-marines), composées de calcaires bioclastiques gréseux et de marnes sableuses, rattaché au Serravallien. Ces faciès présentent des litages obliques abondants, témoignant des mécanismes hydrodynamiques de dépôts sous l'action des courants marins.

Le plateau comporte également une couverture de dépôts quaternaires d'alluvions fluviales anciennes à galets (Fv).

D'un point de vue structural, le massif est recoupé par des accidents de direction E-W, N-S, NW-SE, et surtout NE-SW (direction majeure de rupture 30 à 60°) affectant les formations crétacées. Les formations molassiques tertiaires tabulaires ne sont pas traversées par ces accidents, et ne sont que peu affectées par le basculement plus récent du massif.



Figure 3 – Extrait de la carte géologique à 1/50 000 CHATEAURENARD (Infoterre [8])

B.6 – Contexte environnemental

La zone d'étude est incluse dans les zones naturelles protégées (périmètres d'inventaire ou périmètres contractuels) suivantes [12] :

- ZNIEFF continentale de type 2 : LA MONTAGNETTE. Identifiant national : 930012399. Identifiant régional : I3106100.
Référence de la fiche : MICHAUD H., BELTRA S., PIRES M., RENET J., BENCE S. (2016).- 930012399, LA MONTAGNETTE. - INPN, SPN-MNHN Paris, 6P.
<http://inpn.mnhn.fr/zone/znieff/930012399.pdf>.

C. Contexte géologique et géotechnique du site

C.1 – Emprise des carrières

L'examen des photographies aériennes [13] révèle l'étendue et la géométrie des excavations dans l'environnement de la zone d'étude. Il permet de dégager les éléments suivants :

- les excavations sont anciennes et au moins antérieures à 1947,
- la configuration du front au niveau de la masse n°1 (Figure 4.1) à cette époque était similaire à celle actuelle au droit de la parcelle BW 370 (Figure 4.2),
- l'exploitation s'étend vers le SE avec une grande partie excavée (Figure 4.3),
- une excavation importante au droit des parcelles B 368, 369 recule le front et dégage une aire plane entre ce front et les habitations.



Figure 4 – Extrait d'une photographie aérienne de 1964 [13]. 1 : emplacement approximatif de la parcelle BW 370 - 2 : masse instable n°1 – 3 : état des fronts identique à la situation actuelle – 4 : zone d'excavation au droit des parcelles BW 368-369 (Nord en haut de l'image)

C.2 – Contexte hydrologique et hydrogéologique

Ce volet fait l'objet d'une analyse spécifique. Quelques éléments généraux sont fournis ci-après.

Bien que les calcaires et marnes sableuses (molasses ou safres) soient caractérisés par une forte porosité, la situation du secteur étudié en bordure de plateau entaillé par un front important exclut l'influence d'une nappe au voisinage de la falaise.

En revanche, le site est soumis aux ruissellements temporaires en période de fortes précipitations. Le bassin versant comprend une partie du plateau au niveau de Croix Capitaine et du thalweg NE en aval où les eaux de surface sont canalisées sur l'ancien chemin. L'évasement du thalweg diffuse une partie des écoulements vers le carreau de carrière.

L'aménagement d'un fossé sur ce carreau, canalise les eaux de ruissellement en crête de front, au pied de la masse n°1 (P002-An.B-1, B-2, B-5 ph.7). Ce dispositif sommaire apparaît déjà en place sur les photos aériennes de 1947. Sa fonction probable est la dérivation des eaux qui s'épandaient auparavant au niveau des bâtiments de la parcelle BW 97 (établissement le Manoir).

En cas de fortes pluies, le volume des apports peut être important. L'écoulement de surface se fait sur le front rocheux à l'aplomb de l'abri de jardin (parcelle BW 370).

Un fossé en amont des parcelles 370, 369 et 368 collecte les eaux et les dirige au sud vers un ancien fossé dont l'exutoire est situé à l'intersection du chemin Sous les Roches et de la traverse de Castel Mouisson.

C.3 – Caractéristiques géotechniques du massif rocheux

Aucun essai n'a été réalisé sur les roches du site. En revanche, les études existantes relatives aux pierres tendres, ou molasses provençales [3], et l'inventaire des roches ornementales de la région PACA [4] font référence aux carrières de la zone d'étude et rapportent les caractéristiques suivantes :

| | | |
|----------------------------------|--|--|
| Dénomination | Grès de Barbentane, Pierre de Barbentane | Incluse dans la dénomination générale de « Pierre du Midi » qualifiant les pierres tendres provençales |
| Faciès | Calcaire gréseux gris bleuté | |
| Densité apparente | 2.058 | Selon norme B.10.503 remplacée par NF EN 1936 |
| Résistance à l'écrasement | 183 à 238 kg/m ³ | Selon norme B.10.509 remplacée par NF EN 1926 (résistance à la compression uniaxiale) |
| Coefficient de taille | 5 – tendre à semi-ferme | Classification obsolète caractérisant la dureté en fonction de la difficulté de taille de la pierre |
| Usage | marches d'escalier | |

Tableau 1 – Caractéristiques des Grès de Barbentane [3] [4]

Une étude récente de dégradation des pierres de construction de monuments [7] présente également des résultats d'essais réalisés sur des échantillons provenant de Barbentane, dont la pierre a servi, entre autre, à l'édification de l'église Notre-Dame de Grâce (XII^e).

Elle donne des indications sur la fragilité et l'altérabilité de la Pierre de Barbentane.

| | | |
|--|--|---|
| Dénomination | Grès de Barbentane, Pierre de Barbentane | Incluse dans la dénomination générale de « Pierre du Midi » qualifiant les pierres tendres provençales |
| Faciès | Pierre à grain moyen à grossier, de teinte gris bleuté | |
| Faciès sédimentaire | Packstone à bioclastes / biomicrite | Ciment micritique |
| Composition minéralogique | Calcite majoritaire – CaCO ₃ = 89.5% Quartz Feldspath Chlorites (coloration grise) | Calcimétrie Bernard |
| Poids volumique apparent | 2018 ± 33 kg/m ³ | Rapport volume des vides / volume total |
| Poids volumique réel de la roche | 2710 kg/m ³ | Porosité non prise en compte |
| Porosité totale | 25.5 ± 1.2 % | Porosité accessible à l'eau |
| Porosité libre | 18.2 ± 0.6 % | |
| Vitesse de propagation ultrasonique | V _{moy} = 2498 ± 401 m.s ⁻¹ | Vitesse faible liée à la forte porosité, traduit une faible compétence mécanique |
| Résistance à la compression | Rsec = 16.8 ± 4.6 MPa Rsat = 11.5 ± 1.8 MPa | NF EN 1926. Rsec : échantillon sec. Rsat : échantillon saturé Roche tendres à moyennement résistantes Classification ISRM : tendre (5-25 MPa) |

Tableau 2 – Caractéristiques de la Pierre de Barbentane [7]

Des essais de durabilité, indiquant la susceptibilité à l'altération de la roche, y sont également menés. Ils mettent en évidence, au travers de 4 paramètres (DDE, PDE, IRD, IDC), une roche de durabilité intermédiaire, voire qualifiée comme la moins durable (donc la plus altérable) des « Pierres du Midi » étudiées.

L'ensemble de ces données confirment des caractéristiques mécaniques médiocres, avec une résistance à la compression qualifiant la roche de tendre, donc fragile, et sensible à l'altération lorsqu'elle est soumise aux agents atmosphériques.

Pour les besoins de l'étude, les caractéristiques suivantes seront retenues :

| | |
|--|----------------------|
| Poids volumique | 22 kN/m ³ |
| Résistance à la compression uniaxiale | 10 MPa |
| Angle de frottement | 30° |

Tableau 3 – Caractéristiques mécaniques retenues pour les calcaires gréseux du site

C.4 – Morphologie du front rocheux

Au droit de la parcelle BW370, la hauteur maximale du front de carrière est de 18 m entre 25 NGF et 43 NGF (**P002-An.B-I, B-2, P002-An.D-I**).

Ce front se décompose en :

Une partie supérieure :

Elle est découpée en fronts réguliers, orthogonaux, plans, dressés à la verticale, d'une hauteur de 4 à 5 m entre 38 NGF (altitude de l'ancien carreau de carrière du plateau) et 43 NGF.

Cette partie est creusée en « chambres » côté front (Est) dont le toit forme les surplombs 1 et 2 de la masse n°1 (AL1) (**P002-An.B-3, B-4**). Côté plateau (Ouest), les terrains ont également été excavés, isolant l'éperon rocheux de la masse n°1 (**P002-An.B-5 ph.8**).

Une ouverture en « œil de bœuf » met en communication le front arrière (Ouest) et le front principal (Est). L'épaisseur de calcaire gréseux résiduel est faible, de 0.3 à 1.2 m, au droit des 2 surplombs entre front Ouest et Est.

Une partie inférieure :

La géométrie du front est très irrégulière au droit de la parcelle BW 370, subverticale à localement surplombante, sur une hauteur maximale de 13 m entre 25 NGF et 38 NGF environ, orientée vers l'Est (**P002-An.B-3**).

Au droit des parcelles BW 95, 97, 374 et 373, le front contre lequel sont adossées les habitations (dont Le Manoir) est dressé à la verticale, voire déversant, selon une paroi très régulière, plane, orientée vers le NE (**P002-An.B-5 ph.9**).

Au droit du jardin, selon une direction SW (**P002-An.B-3, profil P1, P002-An.C-1**), le talus est formé d'un remblai sableux végétalisé, de pente comprise entre 20 et 35° surmonté d'un front de calcaire gréseux sur 6 m de hauteur (bordure de l'excavation importante reculant le front au droit des parcelles 368 et 369). La dénivelée totale est de 18.7 m. Le pied de talus a été retaillé pour la réalisation du fossé périphérique à la parcelle 370.

C.5 – Caractéristiques géologiques du site

Lithologie :

Le front supérieur est constitué d'un calcaire gréseux, de faciès sableux légèrement induré, à litages obliques, entrecroisés ou en auges, assez frustes dans la partie étudiée.

Le front inférieur est composé :

- à la base du front supérieur, par un banc de marnes sableuses grisâtres, très friables, de 1.5 à 2 m d'épaisseur,
- d'un calcaire gréseux coquillier assez grossier en bancs d'épaisseur d'ordre métrique. La roche est très friable, se désagrégant facilement à la main.

L'ensemble paraît sensible à l'altération et à l'érosion.

La différence de faciès entre front supérieur et inférieur n'est toutefois pas discernable à l'examen du front de taille régulier NE au-dessus des parcelles 97 et 95 (Le Manoir). Ce front met en évidence des litages obliques d'épaisseur d'ordre métrique à pendage apparent majoritairement vers l'Ouest dans toute la partie inférieure de la carrière (**P002-An.B-5 ph.9**).

Fracturation :

Le massif rocheux n'est pas fracturé à l'échelle du site. Les fractures observées correspondent à des fentes de traction et de décompression des calcaires gréseux en lien avec les excavations des carrières.

Les discontinuités d'origine sédimentaires (litages obliques) n'interviennent pas dans les mécanismes d'apparition des fractures ouvertes. Elles se limitent à générer des plans de faiblesse localisés favorisant le débit de la roche en cas de sous-cavage.

C.6 – Témoins de déplacement de la masse n° I

Des témoins de déplacement (3) ont été mise en place en juin 2015 sur les fractures externes, en face nord de la masse n° I par la société SPYD [2]. Il s'agit de tiges en acier rond lisse pliées à l'équerre, scellées sur chaque lèvre des fractures et scindées en 2 parties bout à bout.

Les témoins observés sont consignés dans le tableau ci-après. Aucun suivi de ces dispositifs n'a été réalisé depuis leur pose.

La localisation et des photos de ces témoins sont fournies en annexe (**P002-An.B-4, B-6 ph.10, plan pièce 100**).

La numérotation des témoins est arbitraire et définie pour les besoins de l'étude. La dénomination des fractures (fentes de fraction) correspond à celle utilisée pour les descriptions dans la suite de l'étude.

La comparaison de la photographie réalisée lors de la pose et de l'état actuel ne permet pas de se prononcer sur l'ampleur des déplacements. La photographie initiale est également trop oblique pour apprécier l'extension verticale des fractures.

Le désaxement du témoin n° I semble lié au déplacement d'une écaille superficielle côté droit.

| N° témoin | Localisation | Fracture | Etat actuel |
|-----------|---|----------|--|
| T1 | Masse n° I – Face externe NE | FT1 | Ecartement d'ordre millimétrique. Désaxement par rapport à la pose |
| T2 | Masse n° I – Face externe NE – Témoin supérieur | FT2 | Ecartement plurimillimétrique. Pas de désaxement |
| T3 | Masse n° I – Face externe NE – Témoin inférieur | FT2 | Ecartement plurimillimétrique. Pas de désaxement |

Tableau 4 – Témoins (SPYD)

D. Diagnostic de l'aléa d'éboulement

D.1 – Méthodologie

D.1.1 – Description

Les termes « gauche » et « droit » utilisés pour les descriptions correspondent à un observateur situé face à la falaise.

D.1.2 – Identification des fractures

Le pendage des discontinuités est noté en direction de l'horizontale du plan de discontinuité dans le cadran Est et inclinaison avec sens du plongement. Exemple précédent : N110°E-70°S = direction du plan 110°/Nord, soit direction E-W, plongement de 70° vers le S.

Les principales fractures relevées sont figurées sur le plan topographique du site (**PI00** et, planches des **annexes B et C**) et repérées par la dénomination **FT1**, **FT2**, etc.

D.1.3 – Qualification des aléas

Les instabilités sont notées **ALx**, avec x = numéro du compartiment (AL1, AL2, etc).

Les potentialités d'instabilités sont caractérisées par des paramètres qualifiant l'aléa :

- la géométrie et le volume total de l'aléa : pierres (ChP/0-10 dm³), blocs (ChB/10 dm³-10 m³), éboulement en petite masse (EbpM/10-100 m³), éboulement en masse (EbM>100 m³),
- les mécanismes de rupture,
- probabilité d'occurrence : probabilité que se produise la rupture, de très faible (TF) à très élevée (TE),
- délai d'occurrence : de long terme (LT) à imminent (I),
- probabilité d'atteinte des enjeux (propagation) : de très faible (TF) à très élevé (TE),
- volume fragmenté probable.

La terminologie utilisée et la méthodologie sont explicitées en **annexe A** de la **pièce 002**.

Remarque :

Concernant la présente étude, le nombre d'instabilités est limité et les enjeux correspondent à de l'habitat permanent et un contexte urbain. La classification et la hiérarchisation des aléas dans ce contexte suivant les standards usuels n'est pas pertinente. L'objectif de l'étude est une sécurisation vis-à-vis de tous les aléas identifiés, même si un aléa n'est pas jugé comme présentant un risque à moyen ou long terme.

L'appréciation des paramètres d'instabilité relève d'une approche naturaliste en grande partie qualitative « à dire d'expert », sur la base de critères tels que l'état de fracturation, la lithologie et son caractère évolutif, des facteurs aggravants éventuels, etc.

L'appréciation des contours des instabilités, des volumes et des mécanismes en jeu est basée sur les observations de terrain et sur les relevés géométriques effectués, notamment le contour des compartiments, le relevé topographique des principales fractures et les mesures de pendage. Les mécanismes en jeu sur lesquels reposent les solutions de confortement et leur dimensionnement, sont pour partie issues d'hypothèses émises sur la base de l'ensemble de ces éléments, avec une approche sécuritaire.

D.2 – Caractéristiques des instabilités

Le front comporte les compartiments instables récapitulés dans le tableau ci-après.

| Compartiment | Localisation | Volume instable (m ³) | Mécanisme de rupture | Fractures | Facteurs aggravants |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Masse n° 1 = AL1 (surplombs 1 et 2) | Front supérieur (profils P2, P6) | 75-80 | 1) Rupture du surplomb en traction par basculement 2) Affaissement du pilier droit par glissement de l'assise (compartiment AL2) | 1) FT1, FT2, FT3 2) FT6 | Effets indirects : - infiltration d'eau provenant du fossé dans FT6 - instabilité du compartiment AL2 |
| AL2 | Front inférieur (profils P4, P5) | 70-80 | Glissement plan suivant FT6 (fracture ouverte) inclinée à 60° | FT6 | - infiltration d'eau provenant du fossé - profil surplombant |
| AL3 | Front inférieur (profils P3, P5) | 30 | Glissement plan suivant FT7 (fracture ouverte) inclinée à 80° environ | FT7 | - infiltration d'eau provenant du fossé - profil surplombant |
| AL4 | Front inférieur | 11 | Rupture de surplomb suivant fracture arrière ouverte verticale | FT8 | - racines dans la fracture |
| AL5 | Front inférieur | 1 | Basculement | - | - ruissellements provenant du fossé |
| AL6 | Front inférieur | 0.5-1 | Rupture de surplomb / basculement | - | - |
| AL7 | Front en retrait au droit de BW 369 | 10-20 | Glissement plan suivant fracture arrière très ouverte | FT9 | - |

Tableau 5 – Récapitulatif des compartiments instables

| Compartiment | Hauteur (m) | Largeur (m) | Epaisseur (m) | Volume instable (m ³) |
|--------------|-------------|----------------------------|---------------|--|
| AL1 | - | - | - | 75-80 |
| AL2 | 4 à 5.5 | 9-13 (écaille gauche L=4m) | 1-1.8 | 6-10 m ³ /ml soit volume total 70-80 m ³ |
| AL3 | 4 à 4.5 | 9 | 1-1.5 | 3-4 m ³ /ml soit volume total 30 m ³ |
| AL4 | 3-3.3 | 7 | 0.6-1.3 | 1.5 m ³ /ml soit volume total 10-15 m ³ |
| AL5 | 1.8 | 1.2 | 0.5 | 1 |
| AL6 | - | - | - | 0.5 |
| AL7 | - | - | - | 10-20 |

Tableau 6 –Dimensions des compartiments instables

Leurs caractéristiques sont détaillées dans les paragraphes ci-après.

D.2.1 – Masse n°1 – AL1

Localisation et détail des aléas : plan (**P100**) et planches **P002-An.B-3 à B-7**.
 Profils P2, P3, P6 : **P002-An.C-2, C-3, C-6**.

Type d'instabilité :

La partie supérieure massive a été sous-cavée par le mode d'excavation. L'ensemble dessine 2 surplombs :

Surplomb 1 (droite) : épaisseur de 3.5 m, portée de 3 m sur une largeur de 2.7 m. Appui sur 2 piliers de part et d'autre, le pilier gauche étant en retrait.

La face NE comporte 2 fractures verticales de direction N50° environ (FT1 avec témoin T1, FT2 avec témoins T2 et T3) d'ouverture croissante vers le haut avec de figures typiques de déchirement indiquant une rupture dans la masse par traction (**P002-An.B-6**). Ces fractures ne correspondent pas à des discontinuités pré existantes.

A noter que, d'après le propriétaire, l'apparition de ces fractures est postérieure à la construction de la villa il y a 4 ans.

Côté intérieur, la paroi du pilier droit sous le surplomb comporte une fente de traction (FT3, **P002-An.B-6 ph.11**) d'aspect récent, se propageant en diagonale vers le pied. D'après les relevés, cette fracture paraît en concordance avec FT1 et dans l'alignement de FT2. Son ouverture est d'ordre millimétrique, croissante de bas en haut comme FT1 et FT2.

La fracture FT1 se prolonge largement sur la plate-forme sommitale au-dessus des surplombs (**P002-An.B-7 ph.15**) rejoignant probablement la fracture FT5 (**P002-An.B-7 ph.14**), elle-même probablement en communication avec FT4 (voir surplomb 2, **P002-An.B-6 ph.12**).

Surplomb 2 (gauche) : épaisseur de 1.8 m, forme triangulaire, portée de 2 m sur une largeur de 5.5 m. Appui à chaque extrémité limitant le mécanisme de basculement et les phénomènes de traction.

Les parois sous le surplomb présentent des fentes de traction en relais (FT4) qui semblent corrélées à une importante fente de traction (FT5), à l'angle du front rocheux opposé côté plateau (**P002-AnB-5 ph.7 et B-7 ph.14**).

Le relevé géométrique effectué révèle une faible épaisseur des parois et donc des appuis au regard de la portée et du volume constituant les surplombs, notamment le plus important à droite (observateur face au talus). Cette géométrie induit probablement des contraintes en traction importantes dans cette roche fragile.

L'assise de cette partie supérieure, affectée par ces fentes de traction, repose sur un épais niveau de sables fins et de sables grossiers peu indurés, très friables et sensibles à l'érosion. Le pilier droit, affecté par FT1/FT2 et FT3, s'appuie sur une grande écaille très décollée suivant une fracture ouverte N020°E montrant des indices de déplacement (**P002-An.B-7 ph.13**). Elle correspond à l'extrémité gauche du compartiment AL2, délimitée par la fracture ouverte FT6, qui émerge au pied du pilier gauche.

Mécanisme(s) d'instabilité :

Rupture de surplomb en traction par basculement, principalement pour le surplomb I.

Le lever topographique indique une position du centre de masse très proche du pivot fictif suivant l'axe déterminé par les appuis sur les piliers (**profil P6, P002-An.C-6**), induisant des efforts en traction importants sur la partie arrière, et en compression sur l'avant des piliers.

Ce mécanisme est potentiellement induit et/ou aggravé par l'instabilité du compartiment AL2 sur lequel repose la masse n°1. L'ouverture importante de FT6 au pied du pilier gauche témoigne d'un déplacement probable se répercutant sur le pilier droit (passage supposé de FT6 sous ce pilier, cf. plan **P100**).

La stabilité du surplomb I apparaît la plus critique et sa rupture est fortement susceptible d'entraîner celle du surplomb 2 suivant les fractures FT4/FT5.

Facteur(s) aggravant(s) :

- Mouvement du compartiment AL2.
- Effet indirect par infiltration des écoulements du fossé dans FT6.

Aléa :

Eboulement en petite masse. **Aléa très élevé à très court terme, voire Imminent.** Fragmentation très probable mais possibilité de blocs unitaires plusieurs mètres-cube.

Propagation :

- Parcelle BW 370 : **jardin, piscine et villa très exposés.**
- Parcelle BW 366 : **jardin et appentis exposés.** L'habitation de la parcelle BW95 apparaît protégée par le front orienté NE.

D.2.2 – AL2

Localisation et détail des aléas : plan (**P100**) et planches **P002-An.B-3, B-8 à B-10**.
Profils P3, P4 et P5 : **P002-An.C-3, C-4, C-5.**

Type d'instabilité :

Grand compartiment à profil surplombant à la base duquel émerge une importante fracture ouverte N020°E-50-75° (FT6), subparallèle à la paroi, visible sur toute la largeur du compartiment selon une diagonale descendant vers l'angle du front de carrière en limite des parcelles 370 et 366 (**P002-An.B-9 ph.17 à 20, B-10 ph.21 et 22**).

Le caractère surplombant est lié au débit e la roche suivant les litages obliques en bordure de fracture.

A noter que cette fracture (FT6) n'émerge pas sur la face ouest taillée au-dessus des parcelles BW366 et 95. Ce front ne présente pas d'instabilité (P002-An.B-5 ph.9).

Mécanisme d'instabilité :

Glissement plan suivant la fracture inclinée à 60°. L'inclinaison de la fracture a été mesurée entre 50 et 75°. Sur les profils P4 et P5 (**P002-An.C-4, C-5**), l'hypothèse retenue est celle d'un plan général incliné à 60°. Son émergence potentielle au niveau du plateau est figurée sur le plan de la **pièce 100** et sur orthophotographie (**P002-An.D-2**), à une distance comprise entre 2 et 3 m en retrait de la crête de talus.

Facteur(s) aggravant(s) :

- Pressions hydrostatiques probables du plan de fracture, à prendre en compte (facteur principal).
- Développement des racines dans les fractures.

Les apports d'eau météoriques en provenance du plateau, et rejetés au droit du compartiment, contribuent à accélérer le processus d'érosion et de fragilisation de la roche au niveau de la fracture FT6, voire génèrent des pressions d'eau dans le joint, très préjudiciables à la stabilité.

Un réseau de racines se développe dans FT6. Il constitue un autre facteur aggravant non négligeable, et témoigne de l'extension du joint.

Aléa :

Eboulement en petite masse. **Aléa élevé à très court terme / très élevé à court terme.** Fragmentation très probable mais possibilité de blocs unitaires plusieurs mètres-cube.

Contrairement à AL1, l'aléa de rupture reste d'estimation plus délicate pour AL2 ne présentant pas d'indice d'évolution récente. **Il faut cependant prendre en compte le déversement des eaux de ruissellements qui peuvent rapidement dégrader les conditions de stabilité de la masse au niveau du plan de faiblesse FT6** sans précurseurs perceptibles.

Propagation :

- Parcelle BW 370 : **jardin, piscine et villa très exposés (chute directe sur l'abri de jardin).**
- Parcelle BW 366 : **jardin et appentis exposés. Si en l'état actuel l'habitation de la parcelle BW95 n'apparaît pas directement exposée, il est très probable qu'elle soit impactée en cas de rupture générale du compartiment AL2.**

D.2.3 – AL3

Localisation et détail des aléas : plan (P100) et planches P002-An.B-3, B-8.
Profils P3 et P5 : P002-An.C-3, C-5.

Type d'instabilité :

Grand compartiment à l'aplomb de AL2, à profil surplombant à la base duquel émerge une fracture ouverte subverticale (FT7), d'inclinaison estimée à 80°. Fracture émergente sur le flanc gauche du compartiment.

Mécanisme d'instabilité :

Glissement plan suivant la fracture inclinée à 80°.

Facteur(s) aggravant(s) : similaires à AL2

- Pressions hydrostatiques probables du plan de fracture, à prendre en compte (facteur principal).
- Développement des racines dans les fractures.

Aléa :

Eboulement en petite masse. **Aléa modéré à très court terme / élevé à court terme.**
Fragmentation très probable mais possibilité de blocs unitaires plusieurs mètres-cube.
Estimation de l'aléa de rupture délicate. Pas d'indice d'évolution récente (idem AL2).

Propagation :

- Parcelle BW 370 : **jardin, piscine très exposés (chute directe sur l'abri de jardin).**
Aléa de propagation modéré jusqu'à la villa.
- Parcelle BW 366 : **parcelle exposée en limite avec BW 370** (épandage probable de la masse éboulée).

D.2.4 – AL4

Localisation et détail des aléas : plan (P100) et planches P002-An.B-3, B-11.

Type d'instabilité :

Grande écaille à base surplombante, délimitée par une fracture arrière verticale de décompression, de direction parallèle à celle du front (FT8). L'ensemble est constitué d'un faciès sableux très friable. La fracture ouverte émerge sur toute la périphérie du compartiment, à l'exception du côté droit.

Mécanisme d'instabilité :

Rupture de surplomb suivant la fracture verticale.

Facteur(s) aggravant(s) :

- Développement des racines dans les fractures.

Aléa :

Chute de bloc. **Aléa très élevé à très court terme**. Fragmentation très probable en blocs de volumes unitaires inférieurs au mètre-cube.

Propagation : propagation par rebond/roulement dans la pente de remblai en pied de front (profil P1).

- Parcelle BW 370 : **jardin, piscine très exposés**. Aléa de propagation modéré jusqu'à la villa.

- Parcelle BW 366 : **parcelle modérément exposée en limite avec BW 370** (épandage probable de la masse éboulée).

D.2.5 – AL5-AL6

Localisation et détail des aléas : planches **P002-An.B-3, B-8, B-10 ph.23 et 24**.

Type d'instabilité :

Blocs délimités par une fracture arrière ouverte, désolidarisées du massif rocheux.

Mécanisme d'instabilité :

Rupture de surplomb / basculement°.

Facteur(s) aggravant(s) :

- Ruissellements en provenance du fossé (AL5).

Aléa :

Chute de bloc. **Aléa très élevé à très court terme**. Fragmentation très probable en blocs de volumes unitaires $\ll 1\text{m}^3$.

Propagation :

- Parcelle BW 370 : **jardin, piscine très exposés (chute directe sur l'abri de jardin)**.

Aléa de propagation modéré jusqu'à la villa (fragmentation importante).

- Parcelle BW 366 : **parcelle modérément exposée en limite avec BW 370**.

D.2.6 – AL7

Localisation et détail des aléas : planche **P002-An.B-1, B-2, B-12**.

Type d'instabilité :

Grand compartiment en crête de front, le long du sentier d'accès au plateau. Délimité par une fracture arrière très ouverte par décompression (ouverture d'ordre décimétrique), verticale en partie supérieure, puis inclinée en partie basale (35-40°).

Mécanisme d'instabilité :

Glissement plan.

Facteur(s) aggravant(s) :

- Croissance des racines dans les joints de fracture.
- Infiltration des eaux météoriques dans la fracture arrière en cas de précipitations importantes.

Aléa :

Chute de bloc. **Aléa élevé à court terme.**

Propagation :

Le front est en retrait par rapport aux parcelles BW 370, 369 et 368. L'excavation a laissé un ancien carreau horizontal en pied, actuellement très végétalisé, fermé côté villa par une levée de terre. L'aléa de propagation paraît très faible voire nulle jusqu'en limite des parcelles.

D.3 – Définition de la Z.I.G.

Les enjeux situés dans la Zone d'Influence Géotechnique, donc exposés ou impactés en cas de chute de blocs ou d'éboulement rocheux sont les suivants :

Pour les fonds dominants, potentiellement dans la zone de rupture en cas d'éboulement :

- éperon rocheux de la masse AL1,
- bordure du plateau dans la zone de rupture potentielle de AL2 (3 à 4 m en retrait de la crête de talus).

Pour les fonds dominés, exposés en cas d'éboulement :

- parcelle BW 370 : jardin et villa (façade côté front),
- parcelle BW 366 : bande du jardin et appentis.

En l'absence d'analyse trajectographique, les zones de propagation restent difficiles à délimiter précisément.

E. Dimensionnement des solutions de sécurisation

E.1 – Documents de référence

E.1.1 – Normes et règlement de conception

Les calculs justificatifs sont menés d'après les instructions réglementaires et documents de référence suivants :

- [14] AFNOR. Norme NF P 94-500 (novembre 2013) : Missions d'ingénierie géotechnique - Classification et spécifications,
- [15] AFNOR. Norme NF EN 1992-1-1/A1 (2015.02.21). Eurocode 2 : calcul des structures en béton – Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments (en remplacement des règles BAEL 91 révisées en 99)
- [16] AFNOR. Norme NF EN 1997-1 (2005.06.01). Eurocode 7 : calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales
- [17] AFNOR. Norme NF EN 1997-1/NA (2006.09.01). Eurocode 7 : calcul géotechnique – Partie 1 : règles générales – Annexe Nationale à la NF EN 1997-1 : 2005
- [18] AFNOR. Norme NF P 94-270/A1 (2009.07.01). Calcul géotechnique. Ouvrages de soutènement. Remblais renforcés et massifs en sol cloué,
- [19] AFNOR. Norme NF P 94-282 (2009.03.01). Calcul géotechnique. Ouvrages de soutènement. Ecrans,
- [20] AFNOR. Norme NF EN 1998-5 (septembre 2005) : Eurocode 8 - Calcul des structures pour leur résistance aux séismes - Partie 5 : fondations, ouvrages de soutènement et aspects géotechniques, 42 p.,
- [21] AFNOR. Norme EN 206 (novembre 2014) : Béton – spécification, performances, production et conformité,
- [22] Recommandations CLOUTERRE 1991,
- [23] Additif 2002 aux recommandations CLOUTERRE 1991,
- [24] Arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal », [en ligne] JORF n°0248 du 24 octobre 2010 page 19097. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022941755>,
- [25] Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique, [en ligne] JORF n°0248 du 24 octobre 2010 page 19086. Disponible sur : <http://legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022941706>,
- [26] Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français, [en ligne] JORF n°0248 du 24 octobre 2010 page 19087. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000022941731>,
- [27] Arrêté du 19 juillet 2011 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal », [en ligne] JORF n°0173 du 28 juillet 2011 page 12858. Disponible sur : <http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000024403949>.

E.1.2 – Guides techniques et ouvrages

- Collectif (2004). *Protection contre les risques naturels – Ancrages passifs en montagne : conception, réalisation, contrôle*, Guide technique, MEDD, CEBTP et Cemagref. pp 146,
- Collectif LCPC (2010). *Etat de l'art sur le dimensionnement des dispositifs de protection contre les chutes de blocs*, Guide technique GT 84, Editions LCPC, Géotechnique et risques naturels, doc. n°C1502558, ISSN 1157-3910, pp 82,

E.2 – Exigences de calcul

E.2.1 – Catégorie de durée d'utilisation du projet

La catégorie de durée d'utilisation du projet a été retenue conformément à l'annexe A de la norme NF EN 1997-1/NA (tableau AN.1).

| Ouvrages | Catégorie de durée d'utilisation | Durée indicative d'utilisation de projet (années) |
|------------------------------------|----------------------------------|---|
| Clous passifs, butée en béton armé | 4 | 50 |

Tableau 7 – Catégorie de durée d'utilisation du projet (d'après tableau AN.1 NF EN 1997-1/NA).

Le choix final de la catégorie de durée d'utilisation appartient au Maître d'Ouvrage.

E.2.2 – Catégorie géotechnique des ouvrages

La catégorie géotechnique en fonction des classes de conséquences et des conditions de site a été retenue conformément à l'annexe A de la norme NF EN 1997-1/NA (tableau AN.2).

| Ouvrages | Catégorie géotechnique | Classes de conséquences | |
|--------------------------------------|------------------------|-------------------------|---|
| Clous passifs, console en béton armé | 2 | CC2 | Effets modérés sur les personnes, et/ou des effets importants sur l'ouvrage à construire ou les constructions avoisinantes, en termes sociaux, économiques ou d'environnement |

Tableau 8 – Catégorie géotechnique (d'après tableau AN.2 NF EN 1997-1/NA)

Le choix final de la catégorie géotechnique appartient au Maître d'Ouvrage.

E.3 – Principes généraux de sécurisation

Les solutions de sécurisation sont récapitulées dans le tableau ci-après pour chaque aléa.

| Aléa | Principes G2 | Commentaires |
|---------|---|---|
| AL1 | - Terrassement par fraisage depuis le plateau : arasement jusqu'à la cote 38 NGF environ | Volume total estimé pour la mise en sécurité : 350 m ³ = masse n°1 (95 m ³) + partie gauche soumise au risque de sous-cavage à moyen terme (165 m ³) + talus final 1H/2V sur 10 m de linéaire (90 m ³) |
| AL2-AL3 | <p>SOLUTION N°1 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Purges des instabilités superficielles - Clouage par clous passifs des compartiments AL2 et AL3 (reprise du glissement plan) - Confortement des surplombs par lierne et butée en béton armé ancrées - Grillage plaqué sur les parties rocheuses au droit de la parcelle BW 370 <p>SOLUTION N°2 :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Terrassement du front selon une pente à 1H/3V (63°) entre 25 et 38 NGF | <p>SOLUTION N°1 :</p> <p>Nécessite une reconnaissance de la profondeur du toit du rocher en pied de front pour déterminer le niveau de fondation de la butée de pied (fouille à la pelle mécanique ou sondage). Cote retenue en pré dimensionnement = 24.5 et 22 NGF</p> <p>SOLUTION N°2 :</p> <p>Volume estimé : 500 m³</p> <p>Fortes contraintes d'exécution (accès restreint, protection des habitations)</p> |
| AL4 | - Purge manuelle ou mécanique OU - Reprofilage du talus par fraisage depuis le plateau après arasement de AL1 si réalisable ou pelle araignée | Fraisage sous réserve de faisabilité (travail en sécurité à la pelle hydraulique depuis le plateau) |
| AL5-AL6 | - Purge manuelle | |
| AL7 | - Purge préventive | Purge par déroctage mécanique (marteau-piqueur) |
| Général | Aménagement après traitement des masses | |

Tableau 9 – Principes de sécurisation

E.4 – Données géotechniques

E.4.1 – Hypothèses géotechniques

Les hypothèses géotechniques retenues pour les calculs de renforcement sont fournies dans le tableau ci-après. Ces hypothèses seront à valider en phase exécution (essais de convenance).

| Calcarénites bioclastiques gréseuses | |
|---|--|
| Poids volumique | $\gamma = 22 \text{ kN/m}^3$ |
| Angle de frottement des surfaces de rupture | $\phi = 30^\circ$ |
| Cohésion (surface de rupture) | $c = 0 \text{ kPa}$ |
| Angle de dilatance | $\delta = 0^\circ$ |
| Frottement latéral | $q_s = 180 \text{ kPa}$ estimation d'après expérience et abaques CLOUTERRE [23], sables avec $p_r=3 \text{ MPa}$ (estimation pessimiste) |

Tableau 10 - Hypothèses géotechniques

E.4.2 – Caractéristiques des clous

Les caractéristiques des ancrages retenues pour les calculs de renforcement sont fournies dans le tableau ci-après.

Le détail du calcul la résistance à la traction des clous selon l'annexe F de la norme NF P 94-270 est fourni en annexe (**P002-An.F**).

| Clous | |
|----------------------------------|---|
| Diamètre nominal des barres | $\varnothing = 32 \text{ mm}$ |
| Limite d'élasticité | $f_y = 500 \text{ MPa}$ |
| Limite de rupture | $f_r = 550 \text{ MPa}$ |
| Résistance à la traction | Selon annexe F NFP 94-270 |
| Force corrosive | $A (\mu\text{m}) = 37.5$ (moyenne) |
| Durée de vie | 50 ans |
| Clou $\varnothing 32 \text{ mm}$ | $R_{td} = 259 \text{ kN}$ |
| Inclinaison sous l'horizontale | $i = 10^\circ$ |
| Diamètre de forage | $D = 90 \text{ mm}$ (barres $\varnothing 32 \text{ mm}$) |

Tableau 11 – Caractéristiques des clous

E.4.3 – Méthodes de calculs

Calcul des renforcements en glissement plan (clouage, butée en béton armé) :

Calcul aux Etats limites Ultimes selon l'approche 2 de l'Eurocode 7 (combinaison AI + M1 + R2).

Les efforts à reprendre par les clous passifs sont déterminés suivant le principe de calcul simplifié du LRPC (**P002-An.F**).

Longueur de scellement des clous

La longueur de scellement utile (longueur scellée au-delà de la surface de rupture) est déterminée selon la formule :

$$T_L = q_s / \gamma_{M,F}^{(1)} \times \pi \times B \times L_s \quad (\text{éq.1})$$

Avec : T_L traction limite du clou
 q_s frottement latéral sol/coulis
 B diamètre de forage
 L_s longueur de scellement au-delà de la surface de rupture

(1) Ou $q_s = \inf.\{q_{s,moy} / \gamma_R \times \xi_{a1} ; q_{s,min} / \gamma_R \times \xi_{a2}\}$ en fonction du nombre d'essai d'arrachement

La longueur de scellement utile **minimale** quel que soit l'effort appliqué au clou est déterminée à partir de la règle conforme à l'esprit du BAEL :

$$L_{s,min} = k \times \emptyset \quad (\text{éq.2})$$

Avec : $L_{s,min}$ longueur de scellement utile minimale
 k coefficient dépendant du liant
 \emptyset diamètre de la barre

Pour le cas d'étude, $k = 70$ (scellement au coulis de ciment).

La longueur de scellement utile retenue correspond à la longueur maximale issue des équations (éq.1) et (éq.2) :

$$L_s = \max.\{(\text{éq.1}) ; (\text{éq.2})\}$$

Les méthodologies de calcul des ancrages sont explicitées en **annexe F (P002-An.F)**.

E.4.4 – Facteurs partiels et sécurité

ACTIONS

| Action | | Symbole | Situation durable – AI | Situation sismique |
|------------|-------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| Permanente | Défavorable | γ_{Gsup} | 1.35 ⁽¹⁾ | 1.0 |
| | Favorable | γ_{Ginf} | 1.0 ⁽¹⁾ | 1.0 |
| Variable | Défavorable | γ_{Qsup} | 1.5 | 1.5 |
| | Favorable | γ_{Qinf} | 0 | 0 |

(1) En dérogeant au principe de cohérence, le facteur partiel de 1.35 n'est appliqué qu'à la composante défavorable du poids du bloc. Un facteur de 1.0 est appliqué à la composante favorable

Tableau I2 – Facteurs partiels pour les actions ou les effets des actions

MATERIAUX

| Paramètres du sol | Symbole | Situation durable – MI | Situation sismique |
|--|-----------------|------------------------|--------------------|
| Angle de frottement interne ⁽¹⁾ | γ_ϕ | 1.0 | 1.25 |
| Cohésion effective | γ_c | 1.0 | 1.0 |
| Poids volumique | γ_γ | 1.0 | 1.0 |

(1) Facteur appliqué à $\tan\phi'$

Tableau I3 – Facteurs partiels pour les paramètres du sol

| Propriétés | Symbole | Situation durable – M1 | Situation sismique |
|--|---------------|------------------------|--------------------|
| Limite d'élasticité f_y | γ_{M0} | 1.0 | 1.0 |
| Rupture en traction f_r | γ_{M2} | 1.25 ⁽¹⁾ | 1.25 |
| ⁽¹⁾ Facteur intégré au calcul de la résistance ultime de traction à considérer selon l'annexe F | | | |

Tableau 14 – Facteurs partiels pour les paramètres du sol

RESISTANCE

| Résistance | Symbole | Situation durable – R2 | Situation sismique |
|-----------------------|----------------|------------------------|--------------------|
| Résistance des terres | $\gamma_{R,e}$ | 1.1 | 1.1 |

Tableau 15 – Facteurs partiels pour la résistance des terres pour la stabilité générale

| Résistance | Symbole | Situation durable – R2 |
|------------|----------------|------------------------|
| Temporaire | $\gamma_{a,t}$ | 1.1 |
| Permanente | $\gamma_{a,p}$ | 1.1 |

Tableau 16 – Facteurs partiels de résistance pour les ancrages scellés (A.2.3 - NF P 94-282)

SCELLEMENT

| Facteurs de corrélation pour les ancrages scellés | Symbole | Facteur |
|---|----------------|--------------------|
| Valeurs moyennes de résistance | ξ_{s1} | 1.4 ⁽¹⁾ |
| Valeurs minimales de résistance | ξ_{s2} | 1.4 ⁽¹⁾ |
| Coefficient de sécurité sur le frottement latéral q_s en l'absence d'essai d'arrachement (recommandations CLOUTERRE) | $\gamma_{M,f}$ | 1.8 |
| ⁽¹⁾ Fonction du nombre d'essais d'arrachement : se référer au tableau A.2.4 de la norme NF P 94-282 (annexe A) | | |

Tableau 17 – Facteurs partiels pour les interactions sol-clou

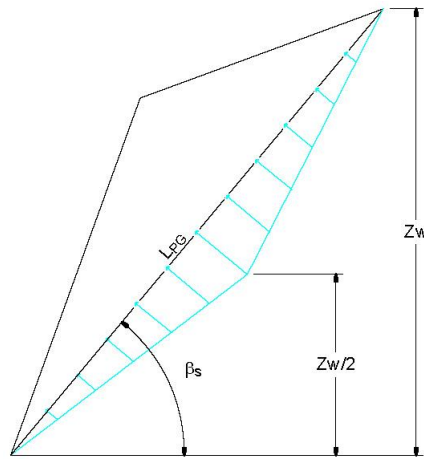
SECURITE SUR LA RESISTANCE AU CISAILLEMENT DES BARRES

| Sécurité sur acier en cisaillement | Situation durable | Situation sismique |
|---|-------------------|--------------------|
| Angle barre / plan de rupture $\leq 75^\circ$ | 0.67 | 0.67 |
| Angle barre / plan de rupture $> 75^\circ$ | 0.50 | 0.50 |

Tableau 18 – Coefficients de sécurité supplémentaires

E.4.5 – Pressions d'eau

Prise en compte des pressions hydrostatiques dans le glissement plan selon le modèle suivant : pression maximale au milieu du plan de glissement, pas de fente de traction.



$$U = \frac{Z_w^2 \cdot \gamma_w}{4 \sin \beta_s}$$

Figure 5 – Modèle de pression hydrostatique. Pression maximale au milieu du plan de glissement sans fente de traction

E.4.6 – Surcharge

Sans objet pour le projet.

E.4.7 – Séisme

La commune de Barbentane est classée en **zone sismique 3** selon le nouveau zonage sismique de la France défini par le **Décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010** [25] relatif à la prévention du risque sismique et le **Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010** [26] portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français,

Suivant l'arrêté du 22 octobre 2010 [24] [27], la prise en compte des effets du séisme selon les prescriptions de l'**EUROCODE 8** est nécessaire.

Paramètres à prendre en compte pour la vérification au séisme :

| CATEGORIE D'IMPORTANCE de bâtiment | COEFFICIENTS d'importance γ_I | Topographie du site | ST |
|--|--------------------------------------|---|--------------------------|
| III | 1.2 | (b) Buttes dont la largeur de la crête est notablement < à la largeur à la base | ≥ 1.4 |
| Accélération sismique de référence | | Proximité des crêtes d'angle d'inclinaison moyenne > 30° | |
| Zones de sismicité | a_{gr} | Couche de surface | Action sur ST |
| 3 (modérée) | 1.1 | Non | Pas d'augmentation de ST |
| Classe du sol | S | COEFFICIENTS D'ACCELERATION SISMIQUE RETENU | |
| A | 1 | Amplification ST | 1.4 |
| Accélération de calcul | m/s^2 | $C_{ah} = 0.5\alpha \times S \times ST$ | 0.094 |
| $a_g = \gamma_I \times a_{gr}$ | 1.32 | $C_{av} = \pm 0.5F_H \times ST$ | 0.047 |
| $a_g S = a_g \times S$ | 1.32 | g | 9.810 m/s^2 |
| COEFFICIENTS D'ACCELERATION SISMIQUE | | $\theta_a = \arctan(\sigma_w / (1 + \sigma V))$ | 0.090 rad |
| avg / av | 0.9 | $\theta_b = \arctan(\sigma_w / (1 - \sigma V))$ | 0.099 rad |
| $C_{ah} = 0.5\alpha \times S$ (avec $\alpha = a_g/g$) | 0.067 | | 5.14 ° |
| $C_{av} = \pm 0.5F_H$ | 0.034 | | 5.65 ° |
| | | $g'(a) = g(1 + \sigma V) / \cos \theta_a$ | 10.313 m/s^2 |
| | | $g'(b) = g(1 - \sigma V) / \cos \theta_b$ | 9.394 m/s^2 |

Tableau 19 – Séisme

Il appartient au Maître d'ouvrage de désigner la catégorie d'importance de l'ouvrage à protéger et de se prononcer sur la prise en compte des conditions sismiques dans le dimensionnement des ouvrages de protection. A titre sécuritaire, les calculs ont été menés pour une catégorie d'importance III.

Compte tenu de ces éléments, une vérification des renforcements sous séisme a été menée avec les conditions suivantes :

- analyse pseudo-statique,
- calcul du renforcement hors séisme : calcul du nombre d'ancrage avec coefficient de sécurité de 1,0 (EC7 approche 2) et travail de l'acier à 2/3 (0.67) ou 1/2 (0.5) de la limite élastique de la barre suivant l'angle entre le plan de rupture et la barre,
- calcul du renforcement sous séisme : prise en compte du coefficient d'accélération sismiques horizontal (C_{ah}) et vertical (C_{av}) pour le calcul de l'intensité fictive et de la rotation du champ de pesanteur, calcul du nombre d'ancrages avec coefficient de sécurité de 1,0 avec facteurs de sécurité partiels en situation sismique (cf. E.4.4 – Facteurs partiels et sécurité page 33),
- comparaison du cas le plus pénalisant.

E.5 – Dimensionnement des clouages

Ce dimensionnement concerne la **solution n°1** de confortement pour les compartiments **AL2** et **AL3**.

Les résultats sont récapitulés dans le tableau ci-après.

| INSTABILITE | N° de Note de Calcul | HYPOTHESES GEOTECHNIQUES | | | | | | | | RENFORCEMENT | | | | | | |
|-------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|--|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|
| | | Inclinaison du plan de glissement (°) | Poids total du bloc rocheux (kN) | Poids total des surcharges (kN) | Force hydrostatique sur le plan de glissement (kN) | Cohésion sur la surface de rupture (kPa) | Angle de frottement (°) | Frottement latéral de calcul (kPa) | Facteur de sécurité recherché | Calcul au séisme dimensionnant | Effort à exercer (kN) | Diamètre des clous (mm) | Résistance à la traction du clou | Contribution de la barre Cb (kN) | Nombre minimum de clous nécessaires | Longueur scellée mini. au-delà du plan de rupture (m) |
| AL2 | G-1 | 60 | 1548 | 0 | 814 | 0 | 30 | 100 | 1.0 | NON | 203.4 | 32 | 259 | 173 | 10.6 | 6.11 |
| AL3 | G-2 | 80 | 671 | 0 | 862 | 0 | 30 | 100 | 1.0 | NON | 142.6 | 32 | 259 | 129 | 9.9 | 4.58 |

Tableau 20 – Résultats des notes de calcul de clouage

| INSTABILITE | OUVRAGES A EXECUTER | | | | | |
|-------------|---------------------|--------------|-----------------|-------------------------------|----------|----------------------------|
| | ∅ forage (mm) | ∅ barre (mm) | Inclinaison (°) | Longueur scellée min./max (m) | Quantité | Facteur de sécurité obtenu |
| AL2 | 90 | 32 | 10 | 7.0/9.0 | 11 | 1.04 |
| AL3 | 90 | 32 | 10 | 6.0/6.0 | 11 | 1.16 |

Tableau 21 – Clouage retenu pour l'exécution

Pour la pérennité de la sécurisation, le clouage doit être complété par :

- **une lierne ancrée en béton armé** bloquant le surplomb du compartiment AL1 : ancrage de l'ouvrage par 1 ligne de clous passifs HA32/L=6.0 m, espacement 2 m, 5 unités,
- **une butée ancrée en béton armé** restituant un appui en pied sous le surplomb AL2 : ancrage de l'ouvrage par 2 lignes de clous passifs HA32/L=7.0 m, espacement 2 m, 8 unités,

Le clouage est dimensionné pour reprendre la totalité des efforts générés par les compartiments selon les hypothèses de glissement plan.

En phase chantier (provisoire), il permet d'assurer la sécurité du personnel pendant l'exécution des ouvrages en béton armé.

Les ouvrages en béton armé sont destinés à reprendre les efforts en compression pour limiter les efforts en cisaillement dans les clous en phase définitive.

Ils ne sont pas dimensionnés à ce stade de l'étude. Ils feront l'objet d'un dimensionnement si cette solution de confortement est retenue par le Maître d'ouvrage.

La longueur des ancrages est liée à une hypothèse de frottement latéral considérée en l'absence d'essai d'arrachement. La réalisation d'essais préalables selon la norme XP P 94-444 permettra, selon les résultats, d'optimiser la longueur de scellement utile et donc la longueur totale des clous.

F. Synthèse des solutions de sécurisation

F.1 – Mesures préventives

Dans l'attente des travaux de sécurisation, et compte tenu des aléas en présence et des risques estimés avérés, nous recommandons fortement le maintien du périmètre de sécurité établi.

Compte tenu des éléments listés ci-après :

- des indices d'instabilité relevés,
- de l'évolution du phénomène depuis sa constatation,
- de l'absence de mesures de surveillance depuis son apparition,
- des phénomènes climatiques susceptibles d'accélérer ou de déclencher la rupture en période automnale et hivernale,

Nous recommandons l'application des mesures préventives suivantes :

- 1) **Soit la mise en œuvre, dans les plus brefs délais, d'une surveillance par instrumentation automatisée avec système d'alerte** ; ce dispositif permettra le suivi en temps réel de l'évolution de l'instabilité et d'organiser l'évacuation des zones exposées dès que nécessaire,
- 2) **Soit la mise en application d'un périmètre de sécurité** : ce périmètre implique l'évacuation de la maison d'habitation sur la parcelle BW 370 et l'interdiction d'accès au jardin et à l'appentis situé sur la parcelle BW 366,
- 3) Pour la sécurité du public, interdire l'accès en crête de front dans la zone des instabilités : éperon comprenant la masse n° 1

En l'état actuel, compte tenu de l'absence d'instrumentation et du risque avéré pour les personnes, nous préconisons à titre préventif l'évacuation de l'habitation de la parcelle BW370.

La mise en place d'une instrumentation permettra de définir les conditions de réintégration du logement.

Le périmètre de sécurité sera également mis en place pour la sécurité des personnes sur la parcelle BW366 ainsi qu'en crête de talus.

Ce périmètre de sécurité est délimité sur la planche P002-An.E-I.

F.2 – Solutions de sécurisation

Les solutions sont récapitulées pour chaque instabilité ou zone d'instabilité dans les tableaux récapitulatifs ci-après.

Les solutions sont reportées en annexes :

SOLUTION N°1

AL1 :

- **P002-An.E-3, E-4** : report sur photo,
- **P002-An.E-5, E6** : report sur profils P2 et P3.

AL2-AL3 :

- **P002-An.E-4** : report sur photo,
- **P002-An.E6, E-7** : report sur profils P3 et P5.

AL4 :

- **P002-An.E-4** : report sur photo.

AL5-AL6 :

- **P002-An.E-4** : report sur photo.

AL7 :

- **P002-An.E-12** : report sur photo.

SOLUTION N°2

AL1 :

- **P002-An.E-8, E9** : report sur profils P2 et P3.

AL2-AL3 :

- **P002-An.E9, E-10, E-11** : report sur profils P3, P4 et P5.

AL7 :

- **idem solution n°1.**

F.2.1 – Synthèse des travaux à exécuter

| TRAVAUX GENERAUX | |
|---|--|
| Accès | |
| - aménagement d'un accès par la parcelle BW 366 : rampe OU grutage mini-pelle | - linéaire 23 m |
| Protections provisoires | |
| Protection parcelle BW 370 - démontage de l'abri - protection de la villa et de la parcelle par granulats 80/180 conditionnés en big-bags | - linéaire 21 m - épaisseur 2 m – hauteur 2 m / 4 m ³ /ml - volume total estimé : 85 m³ |
| - protection de la piscine : matelas de matériaux amortisseur 0/80 sur le fond (conditionnés en big-bags) | - surface : 30 m ² - épaisseur 0.5 m - volume estimé : 15 m³ |
| SOLUTION 2 : - protection provisoire des bâtiments de la parcelle BW 95 pendant le terrassement du front rocheux | à définir : casquette en bardage bois et bottes de paille, etc. |
| Gestion des eaux | |
| - aménagements hydrauliques de dérivation des eaux de ruissellement : éclatement des débits, collecte et canalisation en pied de talus | - détail des aménagements en cours de définition (analyse hydrologique et hydrogéologique) |
| Piège à blocs | |
| En fin de chantier : - reprofilage à 3H/2V du talus de remblai (profil P1) avec aménagement d'un piège à blocs + mur en béton armé | - volume déblai : 80 m³ - largeur du piège : 2.0 m - linéaire : 20 m - hauteur du mur : 1.5 m (hors fondation) - épaisseur : 20 cm |

Tableau 22 – Solutions de sécurisation. Travaux généraux

SOLUTION N°1 :

| | |
|---|---|
| MASSE N°1 – AL1 | |
| Terrassement | |
| Terrassement par fraisage de l'éperon et aménagement des talus définitif (1H/2V) | 350 m³ |
| AL2 | |
| Purges manuelles | |
| Purge des instabilités superficielles Purge de la partie gauche : écaille sous AL1 (purge manuelle ou à la pelle hydraulique depuis le plateau) | 1 j (1 équipe de 2 cordistes) 10 m³ |
| Clouage | |
| Rocher | |
| Lit n°1 supérieur | 4 × HA32 / L = 9.0 m - 36 ml |
| Lit n°2 médian | 3 × HA32 / L = 8.0 m - 24 ml |
| Lit n°3 inférieur | 4 × HA32 / L = 7.0 m - 28 ml |
| Lierne ancrée | |
| Lit unique | 5 × HA32 / L = 6.0 m - 30 ml |
| Espacement horizontal S _n (m) | 2 m |
| Lierne ancrée béton armé | |
| Volume estimé / ml | 1.6 m ³ /ml |
| Largeur | 9 m |
| Volume total estimé | 15 m³ |
| Drain | 4 u × 6 m – 24 ml |
| AL3 | |
| Clouage | |
| Rocher | |
| Lit n°1 supérieur | 4 × HA32 / L = 6.0 m - 24 ml |
| Lit n°2 médian | 3 × HA32 / L = 6.0 m - 18 ml |
| Lit n°3 inférieur | 4 × HA32 / L = 6.0 m - 24 ml |
| Butée ancrée | |
| Lit n°1 supérieur | 4 × HA32 / L = 7.0 m - 28 ml |
| Lit n°2 inférieur | 4 × HA32 / L = 7.0 m - 28 ml |
| Espacement vertical S _v (m) | 2.0 m |
| Espacement horizontal S _n (m) | 2.5 m |
| Butée ancrée béton armé | |
| Volume estimé / ml | 6.5 m ³ /ml (fondation cote 24.5 NGF) (10 m ³ /ml pour une fondation à 22 NGF) |
| Largeur | 7 m |
| Volume total estimé | 45 m³ (70 m ³ pour une fondation à 22 NGF) |
| Drain | 6 u × 7 m – 42 ml |
| AL2-AL3 | |
| Grillage plaqué | |
| Grillage plaqué double torsion 60×80 mm | 150 m² |
| AL4 | |
| Purge | |
| Purge manuelle ou mécanique OU Purge à la pelle araignée depuis le talus ou fraisage à la pelle hydraulique depuis le plateau | 15 m³ |
| AL5-6 | |
| Purge | |
| Purge manuelle | 2 m³ |
| AL7 | |
| Purge | |
| Purge manuelle ou mécanique (marteau-piqueur) | 20 m³ |

Tableau 23 – Solutions de sécurisation. Détail des travaux par zone d'instabilité. SOLUTION N°1

Cette solution suppose la mise en place d'une butée en béton armé en pied de front rocheux, à l'arrière de l'actuel abri de jardin (profils P3 à P5).

Sa réalisation et le volume de l'ouvrage sont soumis à la profondeur du toit du rocher sur lequel la butée sera fondée.

Cette contrainte nécessitera une reconnaissance préalable par sondage à la pelle ou sondage destructif avec enregistrement de paramètres. Le volume de béton à mettre en œuvre sera dépendant de cette profondeur.

En cas de profondeur importante, une fondation sur micropieu pourra s'avérer nécessaire et nécessiter un complément d'étude pour son dimensionnement.

SOLUTION N°2 :

| | |
|---|--------------------------|
| MASSE N°1 – AL1 | |
| Terrassement | |
| Terrassement par fraisage de l'éperon et aménagement des talus définitif (1H/2V) | 350 m³ |
| AL2-AL3-AL4-AL5-AL6 | |
| Terrassement | |
| Reprofilage du front de carrière à 1H/2V (63°) Méthodologie à définir en fonction des contraintes d'accès et d'exécution | 500 m³ |
| AL7 | |
| Purge | |
| Purge manuelle ou mécanique (marteau-piqueur) | 20 m³ |

Tableau 24 – Solutions de sécurisation. Détail des travaux par zone d'instabilité. SOLUTION N°2

En raison de l'emprise des terrassements, cette solution implique :

- **la mise en place de protections provisoires pour les bâtiments de la parcelle BW 95,**
- **l'évacuation temporaire des habitants de cette parcelle pendant la durée des travaux.**

Quelle que soit la solution, il est préconisé de compléter la sécurisation par une protection du jardin à l'aide d'un piège à blocs pour se prémunir des éléments provenant du front en retrait et susceptibles de se propager dans la pente de remblai (selon profil P1) :

- caractéristiques : cf. Tableau 22 – Solutions de sécurisation. Travaux généraux, profil P1 (**P002-An.E-13**),
- implantation : **P002-An.E-2**.

SOLUTION ALTERNATIVE DE TERRASSEMENT :

En raison des contraintes d'accès au pied du front, une alternative de terrassement exclusivement par le plateau pourra être étudiée. A titre d'exemple, le déblai pourrait être conduit selon le schéma suivant :

- aménagement en 2 risbermes de 5 m de largeur,
- talus de déblai à 1H/2V (63°) : talus inférieur de 5 m de hauteur, talus intermédiaire 5 m, hauteur du talus supérieur entre 3 et 5m maximum

- attaque du déblai depuis le plateau avec aménagement d'une rampe pour chaque niveau de risberme.

Une coupe de principe est présentée sur la base du profil P5 (**P002-AnE.14**).

Ce plan de terrassement implique :

- un important volume de déblai, de l'ordre de 1500 à 2500 m³,
- un recul du front d'une distance de 15 m, à l'aplomb des parcelles BW95, 373 et 374
- la vérification de la capacité portante du terrain pour l'évolution des engins de terrassement sur les risbermes,
- l'évacuation des volumes déblayés.

Cette alternative nécessite une étude géotechnique spécifique. Le volume du mouvement des terres et l'impact économique de la solution apparaissent toutefois très contraignants.

F.3 – Caractéristiques techniques des parades

PURGES :

Purges réalisées à la pince à purge ou par moyens mécaniques (marteau-piqueur, etc.) permettant une fragmentation de la roche pour limiter les volumes unitaires. Procédé permettant d'éliminer définitivement les aléas visés. Elles ont pour objectif :

- la sécurité du personnel avant réalisation des ouvrages,
- la purge des instabilités identifiées par l'étude et celles éventuellement découvertes en cours de chantier.

| CLOUAGES POUR CONFORTEMENT | |
|-----------------------------------|---|
| Acier | B500B |
| Barres | HA32 |
| Forage | Ø90 mm |
| Inclinaison | 10° |
| Equipement des barres | centreurs tous les 2m, 2 u mini canule d'injection fixée par fil de fer à la barre chaussette textile si fracture ouverte |
| Injection | fond de trou par canule sous faible pression |
| Scellement | coulis de ciment CEM I 52,5 PM ES CP2, C/E>2 |
| Plaques d'appui | 200×200×20 (Ø32mm) |
| Protection corrosion | 2 couches de peinture anticorrosion, peinture préalable de l'extrémité avant mise en place des barres |

Tableau 25 – Clouage. Caractéristiques techniques

| LIERNE/BUTEE BETON ARME ANCREE | |
|---------------------------------------|--|
| Clous | |
| Acier | B500B |
| Barres | HA32 |
| Forage | Ø90 mm |
| Inclinaison | 10° |
| Equipement des barres | centreurs tous les 2 m canule d'injection fixée par fil de fer à la barre chaussette textile si fracture ouverte |
| Injection | fond de trou par canule sous faible pression |
| Scellement | coulis de ciment CEM I 52,5 PM ES CP2, C/E>2 1200 kg/m ³ |
| Plaques d'appui | 200×200×20 mm acier S235 ou S355 |
| Béton | |
| Classe de résistance | C30/37 |
| Dosage ciment | 400 kg/m ³ |
| Classes d'exposition | à définir |
| Mode de mise en œuvre | - lierne : béton projeté par voie sèche - butée : béton coffré |
| Armatures | |
| Armatures | TSHA, HA, cadres, épingles : sections d'acier à définir |
| Poids d'acier | 60 kg/m ³ mini. en 1 ^{ère} approche |
| Drainage | |
| Drains | PVC à crépines et cuvelage Ø63 mm |
| Inclinaison | 10° au-dessus de l'horizontale |

Tableau 26 – Butée béton armé. Caractéristiques techniques

| GRILLAGE PLAQUE | |
|--------------------------------|--|
| Type | double torsion maille hexagonale |
| Maille | 60×80 mm |
| Fil | Ø2.7 mm norme NF Acier – Fil de bordure 3 mm |
| Protection contre la corrosion | revêtement GALFAN ou galvanisation classe A |
| Câbles de rives | supérieure : Ø16 mm AM galvanisé classe A inférieure : Ø12 mm AM galvanisé classe A |
| Ancrages de rives | supérieure : HA25 L=3.0 m espacement 2.0 m inférieure : HA25 L=2.0 m espacement 3.0 m |
| Placage du grillage | assuré par le maillage d'ancrage de confortement HA32 des masses AL2 et AL3 |

Tableau 27 – Grillage. Caractéristiques techniques

G. Préconisations pour l'exécution des travaux

G.1 – Reconnaissances préalables complémentaires

En préalable au démarrage des travaux de confortement, les reconnaissances suivantes seront à réaliser afin d'optimiser ou d'adapter les solutions de sécurisation :

- sondage destructif ou sondage à la pelle mécanique au droit de l'abri de jardin pour déterminer la profondeur de fondation de la butée en béton armé (SOLUTION N° I).
- essais de convenance sur ancrages par paliers suivant la norme XP P 94-444 pour la détermination du frottement latéral (validation des longueurs des clous).

G.2 – Etat initial avant travaux

Avant le démarrage des travaux, un constat d'état initial de l'existant sera réalisé :

- constat d'huissier sur les biens dans la zone d'influence des travaux sur l'ensemble des parcelles concernées.

G.3 – Phasage des travaux

G.3.1 – Solution n° I

- installation de chantier,
- aménagement des accès,
- mise en place des clôtures et protections provisoires,
- essais préalables (essais de traction sur ancrage pour détermination du frottement latéral),
- terrassement de la masse AL1 et aménagement du talus définitif à 1H/2V sur le plateau :
 - **démarrage par le fraisage des surplombs** (1 puis 2), opérée en « rétro » depuis le plateau,
 - arasement du toit de la paroi sommitale de l'éperon et des piliers,
 - extension du terrassement à la partie gauche sans surplomb,
 - talutage définitif à 1H/2V.
- purges : AL5, AL6, AL4, AL7,
- clouages AL2-AL3,
- clouages lierne + butée,
- réalisation de la lierne en béton projeté,
- réalisation de la butée coffrée, y compris terrassement pour fondation,

- mise en place du grillage plaqué (possibilité de mise en œuvre à l'avancement pour la protection du personnel),
- réalisation du piège à blocs,
- évacuation des matériaux,
- aménagements hydrauliques,
- dépose des protections provisoires,
- remise en état du site.

G.3.2 – Solution n°2

- installation de chantier,
- aménagement des accès,
- mise en place des clôtures et protections provisoires,
- terrassement de la masse ALI et aménagement du talus définitif à 1H/2V sur le plateau :
 - **démarrage par le fraisage des surplombs** (1 puis 2), opérée en « rétro » depuis le plateau,
 - arasement du toit de la partie sommitale de l'éperon et des piliers,
 - extension du terrassement à la partie gauche sans surplomb,
 - talutage définitif à 1H/2V.
- terrassement à 1H/2V du front inférieur,
- évacuation des matériaux,
- aménagements hydrauliques,
- dépose des protections provisoires,
- remise en état du site.

G.4 – Contraintes d'exécution

Contraintes d'exécution propres au site :

- pas d'accès en pied de falaise pour des engins de chantier sans aménagement préalable et remise en état du site en fin de chantier,
- contrainte d'accès pour la mise en place des protections provisoires : grutage difficilement envisageable, hélicoptage probable,
- aménagement de la piste d'accès au plateau,
- travaux susceptible de nécessiter l'intervention d'une entreprise spécialisée dans les travaux en hauteur (hélicoptage probable suivant les machines de forage et fournitures utilisées).

G.5 – Sécurité du chantier

G.5.1 – Sécurité du personnel

Les travaux seront réalisés par une (des) entreprise(s) spécialisée(s) dans les travaux de terrassement complexe et dans les travaux en hauteur, dans le respect de la réglementation en vigueur relative à ce type d'intervention, notamment si la solution n°1 est retenue.

Le personnel sera formé, habilité et disposera des équipements nécessaires pour travailler en sécurité : EPI conformes et adaptés aux tâches à réaliser, habilitations délivrées par l'entrepreneur, attestations de formation, CACES, etc.

Les accès aux postes de travail et les postes eux-mêmes seront sécurisés vis-à-vis du risque de chutes de hauteur.

Les opérations de purge et de confortements seront réalisées du haut vers le bas.

Les superpositions de poste sont strictement interdites. Le phasage et la répartition des opérations devront permettre impérativement de respecter cette condition d'exécution.

G.5.2 – Protection des personnes et des avoisinants

La sécurité des personnes pendant la phase chantier impose une interdiction d'accès en pied de falaise dans la zone des travaux par la fermeture hermétique des zones accessibles.

La villa de la parcelle BW 370 sera évacuée pendant toute la durée du chantier.

Les protections provisoires devront permettre d'éviter toute propagation de blocs au-delà du pied de falaise et de protéger en particulier :

- la villa de la parcelle BW 370,
- le jardin et l'appentis de la parcelle BW 366,
- les bâtiments de la parcelle BW 95 (solution n°2).

La prévention de tout dommage aux biens en aval nécessitera la mise en place de protections provisoires. A titre indicatif, elles pourront être de type (**P002-An.E-2**) :

- merlon provisoire par granulats 80/180 conditionnés en big-bags : épaisseur 2 m/hauteur 2 m entre la maison et la piscine + fermeture de la limite parcelle BW370/366,
- facultatif : matelas amortisseur en fond de piscine, tout-venant 0/80 conditionné en big-bags, épaisseur 0.5 m.

Les procédures devront également permettre d'opérer les travaux en garantissant la protection des biens, notamment pour ce qui concerne le terrassement de la masse ALI, **l'objectif étant d'éviter toute déstabilisation du compartiment pendant son déblaiement.**

Cas particulier de la maison de la parcelle BW95 :

En cas de terrassement au BRH pour la solution n°2 et pendant la phase de terrassement de ALI dans la solution n°1, il conviendra de mettre en œuvre un suivi avec capteurs de vibration sur la construction et les installations les plus sensibles. Il permettra de contrôler qu'en fonction du contenu fréquentiel des vibrations ainsi générées, les seuils des vitesses définis dans la circulaire du 23 juillet 1986 (JO du 22 octobre 1986) ne sont pas dépassés.

H. Estimation des quantités

Ne sont pas compris dans les estimations :

- les reconnaissances et études géotechniques complémentaires éventuelles,
- les mesures de vibrations et leur exploitation,
- les aménagements hydrauliques pour la gestion des eaux de ruissellement provenant du plateau.

L'estimatif est basé sur une hypothèse de toit du substratum rocheux à 24.5 NGF pour la détermination des volumes de béton armé de la butée de pied.

Le linéaire d'ancrage pourra le cas échéant être minimisé en cas de valeur de frottement latéral plus favorable déduite des essais préalables d'arrachement.

Pour la solution n°2 :

La solution privilégie une mise en sécurité par terrassement qui devient le poste prépondérant.

Ce rapport conclut la mission G2 de conception géotechnique qui nous a été confiée pour cette affaire.

Selon l'enchaînement des missions au sens de la norme NFP 94-500, les études géotechniques d'exécution doivent être établies dans le cadre d'une mission G3 et une mission G4 de suivi géotechnique d'exécution des travaux doit être réalisée.

Les études devront notamment préciser les points suivants :

- hypothèses géotechniques pour le dimensionnement des ouvrages : angle de frottement, frottement latéral, etc.,
- implantation précise des ouvrages et leurs caractéristiques techniques,
- justification des ouvrages en béton armé, des clouages,
- métrés,
- plan d'exécution et notes de calcul.

| N° PRIX | DESIGNATION | UNITE | QUANTITE | % ALEA | QUANTITE RETENUE |
|-----------|---|----------------|----------|--------|------------------|
| 1 | Installation de chantier | | | | |
| 1.1 | Constat d'huissier, installations, fournitures, aménagements et sécurisation des accès et des abords du chantier, piquetage et implantations, repliement et remise en état, frais d'assurance | Ft | 1 | | 1 |
| 2 | Études et documents d'exécution, gestion du PAQ, dossiers des ouvrages exécutés | | | | |
| 2.1 | Études d'exécution, notes de calcul, dimensionnement, plans, dossier d'exécution et de récolement | Ft | 1 | | 1 |
| 3 | Aménagement des accès | | | | |
| 3.1 | Aménagement d'un accès à la parcelle, y compris remise en état | Ft | 1 | | 1 |
| 4 | Protections provisoires | | | | |
| 4.1 | Merlon en granulats 80/180 conditionnés en big-bags, H=2m, ép.=2m, linéaire 21m, fourniture, pose et dépose | m ³ | 85 | 5% | 90 |
| 4.2 | Matelas amortisseur en fond de piscine : tout-venant conditionné en big-bags, épaisseur 0.5m, fourniture, pose et dépose | m ³ | 15 | | 15 |
| 4.3 | Protections provisoires des bâtiments de la parcelle BW95 | Ft | 0 | | 0 |
| 5 | Terrassement | | | | |
| 5.1 | Terrassement par fraisage à la pelle hydraulique | m ³ | 350 | 10% | 385 |
| 6 | Purges | | | | |
| 6.1 | Purge manuelle, y compris moyens nécessaires. Journée d'équipe | J | 3 | | 3 |
| 6.2 | Purge/déroctage par moyens mécaniques par une équipe de cordistes | m ³ | 47.0 | 20% | 57.0 |
| 7 | Ancrages à scellement réparti | | | | |
| 7.1 | Ancrages passifs de confortement HAØ32, forage Ø90mm, longueur scellée L=6m à 9m | ml | 240 | 15% | 276 |
| 8 | Lierne béton armé ancrée | | | | |
| 8.1 | Lierne en béton armé réalisée en béton projeté par voie sèche, teinte au rocher, y compris toutes armatures (cadres, épingles, aciers HA, TSHA), hors ancrages | m ³ | 15 | 10% | 17 |
| 9 | Butée béton armé ancrée | | | | |
| 9.1 | Butée en béton armé, y compris toutes armatures (cadres, épingles, aciers HA, TSHA) et coffrage, hors ancrages | m ³ | 45 | 10% | 50 |
| 10 | Grillage | | | | |
| 10.1 | Grillage double torsion 60x80mm GALFAN, y compris ancrages et accessoires de fixation | m ² | 150 | 10% | 165 |
| 11 | Drains | | | | |
| 11.1 | Drains PVC Ø63mm, crépines 2/3 ou 3/4 à cuvelage, y compris forage et mise en place, longueur = 6m et 7m | ml | 66 | | 66 |
| 12 | Piège à bloc | | | | |
| 12.1 | Reprofilage du talus | m ³ | 80 | | 80 |
| 12.2 | Mur en béton armé banché H=1.5m y compris fondation, épaisseur 20cm | m ² | 30 | | 30.0 |
| 13 | Evacuation des matériaux | | | | |
| 13.1 | Evacuation des déblais, y compris chargement, transport, mise en dépôt | m ³ | 477 | 30% | 621 |
| 14 | Essais sur ancrages | | | | |
| 14.1 | Essai de convenance sur ancrage à scellement réparti au rocher suivant la norme XP P 94-444, y compris réalisation de l'ancrage | U | 3 | | 3 |
| 14.2 | Essai de contrôle sur ancrage à scellement réparti au rocher suivant la norme XP P 94-444 | U | 8 | | 8 |
| 15 | Essais sur matériaux | | | | |
| 15.1 | Essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours sur 2 x 3 éprouvettes de coulis de scellement, y compris confection de éprouvettes, transport et procès verbaux d'essais | U | 4 | | 4 |
| 15.2 | Essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours sur 2 x 3 éprouvettes de béton projeté, y compris projection en caisse d'échantillonnage, carottage des éprouvettes, transport et procès verbaux d'essais | U | 2 | | 2 |

Tableau 28 - Estimation des quantités. Solution n° 1

| N° PRIX | DESIGNATION | UNITE | QUANTITE | % ALEA | QUANTITE RETENUE |
|-----------|---|----------------|----------|--------|------------------|
| 1 | Installation de chantier | | | | |
| 1.1 | Constat d'huissier, installations, fournitures, aménagements et sécurisation des accès et des abords du chantier, piquetage et implantations, repliement et remise en état, frais d'assurance | Ft | 1 | | 1 |
| 2 | Études et documents d'exécution, gestion du PAQ, dossiers des ouvrages exécutés | | | | |
| 2.1 | Études d'exécution, notes de calcul, dimensionnement, plans, dossier d'exécution et de récolement | Ft | 1 | | 1 |
| 3 | Aménagement des accès | | | | |
| 3.1 | Aménagement d'un accès à la parcelle, y compris remise en état | Ft | 1 | | 1 |
| 4 | Protections provisoires | | | | |
| 4.1 | Merlon en granulats 80/180 conditionnés en big-bags, H=2m, ép.=2m, linéaire 21m, fourniture, pose et dépose | m ³ | 85 | 5% | 90 |
| 4.2 | Matelas amortisseur en fond de piscine : tout-venant conditionné en big-bags, épaisseur 0.5m, fourniture, pose et dépose | m ³ | 15 | | 15 |
| 4.3 | Protections provisoires des bâtiments de la parcelle BW95 | Ft | 1 | | 1 |
| 5 | Terrassement | | | | |
| 5.1 | Terrassement par fraisage à la pelle hydraulique | m ³ | 850 | 10% | 935 |
| 6 | Purges | | | | |
| 6.1 | Purge manuelle, y compris moyens nécessaires. Journée d'équipe | J | 0 | | 0 |
| 6.2 | Purge/déroctage par moyens mécaniques par une équipe de cordistes | m ³ | 0.0 | 20% | 0.0 |
| 7 | Ancrages à scellement réparti | | | | |
| 7.1 | Ancrages passifs de confortement HAØ32, forage Ø90mm, longueur scellée L=6m à 9m | ml | 0 | 15% | 0 |
| 8 | Lierne béton armé ancrée | | | | |
| 8.1 | Lierne en béton armé réalisée en béton projeté par voie sèche, teinte au rocher, y compris toutes armatures (cadres, épingles, aciers HA, TSHA), hors ancrages | m ³ | 0 | 10% | 0 |
| 9 | Butée béton armé ancrée | | | | |
| 9.1 | Butée en béton armé, y compris toutes armatures (cadres, épingles, aciers HA, TSHA) et coffrage, hors ancrages | m ³ | 0 | 10% | 0 |
| 10 | Grillage | | | | |
| 10.1 | Grillage double torsion 60x80mm GALFAN, y compris ancrages et accessoires de fixation | m ² | 0 | 10% | 0 |
| 11 | Drains | | | | |
| 11.1 | Drains PVC Ø63mm, crépines 2/3 ou 3/4 à cuvelage, y compris forage et mise en place, longueur = 6m et 7m | ml | 0 | | 0 |
| 12 | Piège à bloc | | | | |
| 12.1 | Reprofilage du talus | m ³ | 80 | | 80 |
| 12.2 | Mur en béton armé banché H=1.5m hors fondation, épaisseur 20cm | m ² | 30 | | 30.0 |
| 13 | Evacuation des matériaux | | | | |
| 13.1 | Evacuation des déblais, y compris chargement, transport, mise en dépôt | m ³ | 930 | 30% | 1209 |
| 14 | Essais sur ancrages | | | | |
| 14.1 | Essai de convenance sur ancrage à scellement réparti au rocher suivant la norme XP P 94-444, y compris réalisation de l'ancrage | U | 0 | | 0 |
| 14.2 | Essai de contrôle sur ancrage à scellement réparti au rocher suivant la norme XP P 94-444 | U | 0 | | 0 |
| 15 | Essais sur matériaux | | | | |
| 15.1 | Essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours sur 2 x 3 éprouvettes de coulis de scellement, y compris confection de éprouvettes, transport et procès verbaux d'essais | U | 0 | | 0 |
| 15.2 | Essais de résistance à la compression à 7 et 28 jours sur 2 x 3 éprouvettes de béton projeté, y compris projection en caisse d'échantillonnage, carottage des éprouvettes, transport et procès verbaux d'essais | U | 0 | | 0 |

Tableau 29 - Estimation des quantités. Solution n°2

1. Avertissement, préambule

Toute commande et ses avenants éventuels impliquent de la part du co-contractant, ci-après dénommé « le Client », signataire du contrat et des avenants, acceptation sans réserve des présentes conditions générales.

Les présentes conditions générales prévalent sur toutes autres, sauf conditions particulières contenues dans le devis ou dérogation formelle et explicite. Toute modification de la commande ne peut être considérée comme acceptée qu'après accord écrit du Prestataire.

2. Déclarations obligatoires à la charge du Client, (DT, DICT, ouvrages exécutés)

Dans tous les cas, la responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en cas de dommages à des ouvrages publics ou privés (en particulier, ouvrages enterrés et canalisations) dont la présence et l'emplacement précis ne lui auraient pas été signalés par écrit préalablement à sa mission.

Conformément au décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution, le Client doit fournir, à sa charge et sous sa responsabilité, l'implantation des réseaux privés, la liste et l'adresse des exploitants des réseaux publics à proximité des travaux, les plans, informations et résultats des investigations complémentaires consécutifs à sa Déclaration de projet de Travaux (DT). Ces informations sont indispensables pour permettre les éventuelles DICT (le délai de réponse est de 15 jours) et pour connaître l'environnement du projet. En cas d'incertitude ou de complexité pour la localisation des réseaux sur domaine public, il pourra être nécessaire de faire réaliser, à la charge du Client, des fouilles manuelles pour les repérer. Les conséquences et la responsabilité de toute détérioration de ces réseaux par suite d'une mauvaise communication sont à la charge exclusive du Client.

Conformément à l'art L 411-1 du code minier, le Client s'engage à déclarer à la DREAL tout forage réalisé de plus de 10 m de profondeur. De même, conformément à l'article R 214-1 du code de l'environnement, le Client s'engage à déclarer auprès de la DDT du lieu des travaux les sondages et forages destinés à la recherche, à la surveillance ou au prélèvement d'eaux souterraines (piézomètres notamment).

3. Cadre de la mission, objet et nature des prestations, prestations exclues, limites de la mission

Le terme « prestation » désigne exclusivement les prestations énumérées dans le devis du Prestataire. Toute prestation différente de celles prévues fera l'objet d'un prix nouveau à négocier. Il est entendu que le Prestataire s'engage à procéder selon les moyens actuels de son art, à des recherches consciencieuses et à fournir les indications qu'on peut en attendre. Son obligation est une obligation de moyen et non de résultat au sens de la jurisprudence actuelle des tribunaux. Le Prestataire réalise la mission dans les strictes limites de sa définition donnée dans son offre (validité limitée à trois mois à compter de la date de son établissement), confirmée par le bon de commande ou un contrat signé du Client.

La mission et les investigations éventuelles sont strictement géotechniques et n'abordent pas le contexte environnemental. Seule une étude environnementale spécifique comprenant des investigations adaptées permettra de détecter une éventuelle contamination des sols et/ou des eaux souterraines.

Le Prestataire n'est solidaire d'aucun autre intervenant sauf si la solidarité est explicitement convenue dans le devis ; dans ce cas, la solidarité ne s'exerce que sur la durée de la mission.

Par référence à la norme NF P 94-500, il appartient au maître d'ouvrage, au maître d'œuvre ou à toute entreprise de faire réaliser impérativement par des ingénieries compétentes chacune des missions géotechniques (successivement G1, G2, G3 et G4 et les investigations associées) pour suivre toutes les étapes d'élaboration et d'exécution du projet. Si la mission d'investigations est commandée seule, elle est limitée à l'exécution matérielle de sondages et à l'établissement d'un compte rendu factuel sans interprétation et elle exclut toute activité d'étude ou de conseil. La mission de diagnostic géotechnique G5 engage le géotechnicien uniquement dans le cadre strict des objectifs ponctuels fixés et acceptés.

Si le Prestataire déclare être titulaire de la certification ISO 9001, le Client agit de telle sorte que le Prestataire puisse respecter les dispositions de son système qualité dans la réalisation de sa mission.

4. Plans et documents contractuels

Le Prestataire réalise la mission conformément à la réglementation en vigueur lors de son offre, sur la base des données communiquées par le Client. Le Client est seul responsable de l'exactitude de ces données. En cas d'absence de transmission ou d'erreur sur ces données, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité.

5. Limites d'engagement sur les délais

Sauf indication contraire précise, les estimations de délais d'intervention et d'exécution données aux termes du devis ne sauraient engager le Prestataire. Sauf stipulation contraire, il ne sera pas appliqué de pénalités de retard et si tel devait être le cas elles seraient plafonnées à 5% de la commande. En toute hypothèse, la responsabilité du Prestataire est dérogée de plein droit en cas d'insuffisance des informations fournies par le Client ou si le Client n'a pas respecté ses obligations, en cas de force majeure ou d'événements imprévisibles (notamment la rencontre de sols inattendus, la survenance de circonstances naturelles exceptionnelles) et de manière générale en cas d'événement extérieur au Prestataire modifiant les conditions d'exécution des prestations objet de la commande ou les rendant impossibles.

Le Prestataire n'est pas responsable des délais de fabrication ou d'approvisionnement de fournitures lorsqu'elles font l'objet d'un contrat de négoce passé par le Client ou le Prestataire avec un autre Prestataire.

6. Formalités, autorisations et obligations d'information, accès, dégâts aux ouvrages et cultures

Toutes les démarches et formalités administratives ou autres, en particulier l'obtention de l'autorisation de pénétrer sur les lieux pour effectuer des prestations de la mission sont à la charge du Client. Le Client se charge d'une part d'obtenir et communiquer les autorisations requises pour l'accès du personnel et des matériels nécessaires au

Prestataire en toute sécurité dans l'enceinte des propriétés privées ou sur le domaine public, d'autre part de fournir tous les documents relatifs aux dangers et aux risques cachés, notamment ceux liés aux réseaux, aux obstacles enterrés et à la pollution des sols et des nappes. Le Client s'engage à communiquer les règles pratiques que les intervenants doivent respecter en matière de santé, sécurité et respect de l'environnement : il assure en tant que de besoin la formation du personnel, notamment celui du Prestataire, entrant dans ces domaines, préalablement à l'exécution de la mission. Le Client sera tenu responsable de tout dommage corporel, matériel ou immatériel dû à une spécificité du site connue de lui et non clairement indiquée au Prestataire avant toutes interventions.

Sauf spécifications particulières, les travaux permettant l'accessibilité aux points de sondages ou d'essais et l'aménagement des plates-formes ou grutage nécessaires aux matériels utilisés sont à la charge du Client.

Les investigations peuvent entraîner d'inévitables dommages sur le site, en particulier sur la végétation, les cultures et les ouvrages existants, sans qu'il y ait négligence ou faute de la part de son exécutant. Les remises en état, réparations ou indemnités correspondantes sont à la charge du Client.

7. Implantation, nivellement des sondages

Au cas où l'implantation des sondages est imposée par le Client ou son conseil, le Prestataire est exonéré de toute responsabilité dans les événements consécutifs à ladite implantation. La mission ne comprend pas les implantations topographiques permettant de définir l'emprise des ouvrages et zones à étudier ni la mesure des coordonnées précises des points de sondages ou d'essais. Les éventuelles altitudes indiquées pour chaque sondage (qu'il s'agisse de cotes de références rattachées à un repère arbitraire ou de cotes NGF) ne sont données qu'à titre indicatif. Seules font foi les profondeurs mesurées depuis le sommet des sondages et comptées à partir du niveau du sol au moment de la réalisation des essais. Pour que ces altitudes soient garanties, il convient qu'elles soient relevées par un Géomètre Expert avant remodelage du terrain. Il en va de même pour l'implantation des sondages sur le terrain.

8. Hydrogéologie

Les niveaux d'eau indiqués dans le rapport correspondent uniquement aux niveaux relevés au droit des sondages exécutés et à un moment précis. En dépit de la qualité de l'étude les aléas suivants subsistent, notamment la variation des niveaux d'eau en relation avec la météo ou une modification de l'environnement des études. Seule une étude hydrogéologique spécifique permet de déterminer les amplitudes de variation de ces niveaux, les cotes de crue et les PHEC (Plus Hautes Eaux Connues).

9. Recommandations, aléas, écart entre prévision de l'étude et réalité en cours de travaux

Si, en l'absence de plans précis des ouvrages projetés, le Prestataire a été amené à faire une ou des hypothèses sur le projet, il appartient au Client de lui communiquer par écrit ses observations éventuelles sans quoi, il ne pourrait en aucun cas et pour quelque raison que ce soit, lui être reproché d'avoir établi son étude dans ces conditions.

L'étude géotechnique s'appuie sur les renseignements reçus concernant le projet, sur un nombre limité de sondages et d'essais, et sur des profondeurs d'investigations limitées qui ne permettent pas de lever toutes les incertitudes inévitables à cette science naturelle. En dépit de la qualité de l'étude, des incertitudes subsistent du fait notamment du caractère ponctuel des investigations, de la variation d'épaisseur des remblais et/ou des différentes couches, de la présence de vestiges enterrés. Les conclusions géotechniques ne peuvent donc conduire à traiter à forfait le prix des fondations compte tenu d'une hétérogénéité, naturelle ou du fait de l'homme, toujours possible et des aléas d'exécution pouvant survenir lors de la découverte des terrains. Si un caractère évolutif particulier a été mis en lumière (notamment glissement, érosion, dissolution, remblais évolutifs, tourbe), l'application des recommandations du rapport nécessite une actualisation à chaque étape du projet notamment s'il s'écoule un laps de temps important avant l'étape suivante.

L'estimation des quantités des ouvrages géotechniques nécessite, une mission d'étude géotechnique de conception G2 (phase projet). Les éléments géotechniques non décelés par l'étude et mis en évidence lors de l'exécution (pouvant avoir une incidence sur les conclusions du rapport) et les incidents importants survenus au cours des travaux (notamment glissement, dommages aux avoisinants ou aux existants) doivent obligatoirement être portés à la connaissance du Prestataire ou signalés aux géotechniciens chargés des missions de suivi géotechnique d'exécution G3 et de supervision géotechnique d'exécution G4, afin que les conséquences sur la conception géotechnique et les conditions d'exécution soient analysées par un homme de l'art.

10. Rapport de mission, réception des travaux, fin de mission, délais de validation des documents par le client

A défaut de clauses spécifiques contractuelles, la remise du dernier document à fournir dans le cadre de la mission fixe le terme de la mission. La date de la fin de mission est celle de l'approbation par le Client du dernier document à fournir dans le cadre de la mission. L'approbation doit intervenir au plus tard deux semaines après sa remise au Client, et est considérée implicite en cas de silence. La fin de la mission donne lieu au paiement du solde de la mission.

11. Réserve de propriété, confidentialité, propriété des études, diagrammes

Les coupes de sondages, plans et documents établis par les soins du Prestataire dans le cadre de sa mission ne peuvent être utilisés, publiés ou reproduits par des tiers sans son autorisation. Le Client ne devient propriétaire des prestations réalisées par le Prestataire qu'après règlement intégral des sommes dues. Le Client ne peut pas les utiliser pour d'autres ouvrages sans accord écrit préalable du Prestataire. Le Client s'engage à maintenir confidentielle et à ne pas utiliser pour son propre compte ou celui de tiers toute information se rapportant au savoir-faire du Prestataire, qu'il soit breveté ou non, portée à sa connaissance au cours de la mission et qui n'est pas dans le domaine public, sauf accord préalable écrit du Prestataire. Si dans le cadre de sa mission, le Prestataire mettait au point une nouvelle technique, celle-ci serait sa propriété. Le Prestataire serait libre de déposer tout brevet s'y rapportant, le Client bénéficiant, dans ce cas, d'une licence non exclusive et non cessible, à titre gratuit et pour le seul ouvrage étudié.

12. Modifications du contenu de la mission en cours de réalisation

La nature des prestations et des moyens à mettre en œuvre, les prévisions des avancements et délais, ainsi que les prix sont déterminés en fonction des éléments communiqués par le client et ceux recueillis lors de l'établissement de l'offre. Des conditions imprévisibles par le Prestataire au moment de l'établissement de son offre touchant à la géologie, aux hypothèses de travail, au projet et à son environnement, à la législation et aux règlements, à des événements imprévus, survenant en cours de mission autorisent le Prestataire à proposer au Client un avenant avec notamment modification des prix et des délais. A défaut d'un accord écrit du Client dans un délai de deux semaines à compter de la réception de la lettre d'adaptation de la mission. Le Prestataire est en droit de suspendre immédiatement l'exécution de sa mission, les prestations réalisées à cette date étant rémunérées intégralement, et sans que le Client ne puisse faire état d'un préjudice. Dans l'hypothèse où le Prestataire est dans l'impossibilité de réaliser les prestations prévues pour une cause qui ne lui est pas imputable, le temps d'immobilisation de ses équipes est rémunéré par le client.

13. Modifications du projet après fin de mission, délai de validité du rapport

Le rapport constitue une synthèse de la mission définie par la commande. Le rapport et ses annexes forment un ensemble indissociable. Toute interprétation, reproduction partielle ou utilisation par un autre maître de l'ouvrage, un autre constructeur ou maître d'œuvre, ou pour un projet différent de celui objet de la mission, ne saurait engager la responsabilité du Prestataire et pourra entraîner des poursuites judiciaires. La responsabilité du Prestataire ne saurait être engagée en dehors du cadre de la mission objet du rapport. Toute modification apportée au projet et à son environnement ou tout élément nouveau mis à jour au cours des travaux et non détecté lors de la mission d'origine, nécessite une adaptation du rapport initial dans le cadre d'une nouvelle mission.

Le client doit faire actualiser le dernier rapport de mission en cas d'ouverture du chantier plus de 1 an après sa livraison. Il en est de même notamment en cas de travaux de terrassements, de démolition ou de réhabilitation du site (à la suite d'une contamination des terrains et/ou de la nappe) modifiant entre autres les qualités mécaniques, les dispositions constructives et/ou la répartition de tout ou partie des sols sur les emprises concernées par l'étude géotechnique.

14. conditions d'établissement des prix, variation dans les prix, conditions de paiement, acompte et provision, retenue de garantie

Les prix unitaires s'entendent hors taxes. Ils sont majorés de la T.V.A. au taux en vigueur le jour de la facturation. Ils sont établis aux conditions économiques en vigueur à la date d'établissement de l'offre. Ils sont fermes et définitifs pour une durée de trois mois. Au-delà, ils sont actualisés par application de l'indice « Sondages et Forages TP 04 » pour les investigations in situ et en laboratoire, et par application de l'indice « SYNTEC » pour les prestations d'études, l'Indice de base étant celui du mois de l'établissement du devis.

Aucune retenue de garantie n'est appliquée sur le coût de la mission.

Dans le cas où le marché nécessite une intervention d'une durée supérieure à un mois, des factures mensuelles intermédiaires sont établies. Lors de la passation de la commande ou de la signature du contrat, le Prestataire peut exiger un acompte dont le montant est défini dans les conditions particulières et correspond à un pourcentage du total estimé des honoraires et frais correspondants à l'exécution du contrat. Le montant de cet acompte est déduit de la facture ou du décompte final. En cas de sous-traitance dans le cadre d'un ouvrage public, les factures du Prestataire sont réglées directement et intégralement par le maître d'ouvrage, conformément à la loi n°75-1334 du 31/12/1975.

Les paiements interviennent à réception de la facture et sans escompte. En l'absence de paiement au plus tard le jour suivant la date de règlement figurant sur la facture, il sera appliqué à compter dudit jour et de plein droit, un intérêt de retard égal au taux d'intérêt appliqué par la Banque Centrale Européenne à son opération de refinancement la plus récente majorée de 10 points de pourcentage. Cette pénalité de retard sera exigible sans qu'un rappel soit nécessaire à compter du jour suivant la date de règlement figurant sur la facture.

En sus de ces pénalités de retard, le Client sera redevable de plein droit des frais de recouvrement exposés ou d'une indemnité forfaitaire de 40 €.

Si la carence du Client rend nécessaire un recouvrement contentieux, le Client s'engage à payer, en sus du principal, des frais, dépens et émoluments ordinairement et légalement à sa charge, une indemnité fixée à 15% du montant en principal TTC de la créance avec un minimum de 150 euros et ce, à titre de dommages et intérêts conventionnels et forfaitaires. Cette indemnité est due de plein droit, sans mise en demeure préalable, du seul fait du non-respect de la date.

Un désaccord quelconque ne saurait constituer un motif de non paiement des prestations de la mission réalisées antérieurement. La compensation est formellement exclue : le Client s'interdit de déduire le montant des préjudices qu'il allègue des honoraires dus.

15. Résiliation anticipée

Toute procédure de résiliation est obligatoirement précédée d'une tentative de conciliation. En cas de force majeure, cas fortuit ou de circonstances indépendantes du Prestataire, celui-ci a la faculté de résilier son contrat sous réserve d'en informer son Client par lettre recommandée avec accusé de réception. En toute hypothèse, en cas d'inexécution par l'une ou l'autre des parties de ses obligations, et 8 jours après la mise en demeure visant la présente clause résolutoire demeurée sans effet, le contrat peut être résilié de plein droit. La résiliation du contrat implique le paiement de l'ensemble des prestations régulièrement exécutées par le Prestataire au jour de la résiliation et en sus, d'une indemnité égale à 20 % des honoraires qui resteraient à percevoir si la mission avait été menée jusqu'à son terme..

16. Répartition des risques, responsabilités et assurances

Le Prestataire n'est pas tenu d'avertir son Client sur les risques encourus déjà connus ou ne pouvant être ignorés du Client compte tenu de sa compétence. Ainsi par exemple, l'attention du Client est attirée sur le fait que le béton armé est inévitablement fissuré, les revêtements appliqués sur ce matériau devant avoir une souplesse suffisante pour s'adapter sans dommage aux variations d'ouverture des fissures. Le devoir de conseil du Prestataire vis-à-vis du Client ne s'exerce que dans les domaines de compétence requis pour l'exécution de la mission spécifiquement confiée. Tout élément nouveau connu du Client après la fin de la mission doit être communiqué au Prestataire qui pourra, le cas échéant, proposer la réalisation d'une mission complémentaire. A défaut de communication des éléments nouveaux ou d'acceptation de la mission complémentaire, le Client en assumera toutes les conséquences. En aucun cas, le Prestataire ne sera tenu pour responsable des conséquences d'un non-respect de ses préconisations ou d'une modification de celles-ci par le Client pour quelque raison que ce soit. L'attention du Client est attirée sur le fait que toute estimation de quantités faite à partir de données obtenues par prélèvements ou essais ponctuels sur le site objet des prestations est entachée d'une incertitude fonction de la représentativité de ces données ponctuelles extrapolées à l'ensemble du site. Toutes les pénalités et indemnités qui sont prévues au contrat ou dans l'offre remise par le Prestataire ont la nature de dommages et intérêts forfaitaires, libératoires et exclusifs de toute autre sanction ou indemnisation.

Assurance décennale obligatoire

Le Prestataire bénéficie d'un contrat d'assurance au titre de la responsabilité décennale afférente aux ouvrages soumis à obligation d'assurance, conformément à l'article L.241-1 du Code des assurances. Ce contrat impose une obligation de déclaration préalable et d'adaptation de la garantie pour les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède au jour de la déclaration d'ouverture de chantier un montant de 15 M€. Il est expressément convenu que le client a l'obligation d'informer le Prestataire d'un éventuel dépassement de ce seuil, et accepte, de fournir tous éléments d'information nécessaires à l'adaptation de la garantie. Le client prend également l'engagement, de souscrire à ses frais un Contrat Collectif de Responsabilité Décennale (CCRD), contrat dans lequel le Prestataire sera expressément mentionné parmi les bénéficiaires. Le client prendra en charge toute éventuelle surcotisation qui serait demandée au Prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Par ailleurs, les ouvrages de caractère exceptionnel, voire inusuels sont exclus du présent contrat et doivent faire l'objet d'une cotation particulière. A défaut de respecter ces engagements, le client en supportera les conséquences financières.

Le maître d'ouvrage est tenu d'informer le Prestataire de la DOC (déclaration d'ouverture de chantier).

Ouvrages non soumis à l'obligation d'assurance

Les ouvrages dont la valeur HT (travaux et honoraires compris) excède un montant de 15 M€ HT doivent faire l'objet d'une déclaration auprès du Prestataire qui en référera à son assureur pour détermination des conditions d'assurance. Les limitations relatives au montant des chantiers auxquels le Prestataire participe ne sont pas applicables aux missions portant sur des ouvrages d'infrastructure linéaire, c'est-à-dire routes, voies ferrées, tramway, etc. En revanche, elles demeurent applicables lorsque sur le tracé linéaire, la/les mission(s) de l'assuré porte(nt) sur des ouvrages précis tels que ponts, viaducs, échangeurs, tunnels, tranchées couvertes... En tout état de cause, il appartiendra au client de prendre en charge toute éventuelle sur cotisation qui serait demandée au prestataire par rapport aux conditions de base de son contrat d'assurance. Toutes les conséquences financières d'une déclaration insuffisante quant au coût de l'ouvrage seront supportées par le client et le maître d'ouvrage.

Le Prestataire assume les responsabilités qu'il engage par l'exécution de sa mission telle que décrite au présent contrat. A ce titre, il est responsable de ses prestations dont la déféctuosité lui est imputable. Le Prestataire sera garanti en totalité par le Client contre les conséquences de toute recherche en responsabilité dont il serait l'objet du fait de ses prestations, de la part de tiers au présent contrat, le client ne garantissant cependant le Prestataire qu'au delà du montant de responsabilité visé ci-dessous pour le cas des prestations défectueuses. La responsabilité globale et cumulée du Prestataire au titre ou à l'occasion de l'exécution du contrat sera limitée à trois fois le montant de ses honoraires sans pour autant excéder les garanties délivrées par son assureur, et ce pour les dommages de quelque nature que ce soit et quel qu'en soit le fondement juridique. Il est expressément convenu que le Prestataire ne sera pas responsable des dommages immatériels consécutifs ou non à un dommage matériel tels que, notamment, la perte d'exploitation, la perte de production, le manque à gagner, la perte de profit, la perte de contrat, la perte d'image, l'immobilisation de personnel ou d'équipements.

17. Cessibilité de contrat

Le Client reste redevable du paiement de la facture sans pouvoir opposer à quelque titre que ce soit la cession du contrat, la réalisation pour le compte d'autrui, l'existence d'une promesse de porte-fort ou encore l'existence d'une stipulation pour autrui.

18. Litiges

En cas de litige pouvant survenir dans l'application du contrat, seul le droit français est applicable. Seules les juridictions du ressort du siège social du Prestataire sont compétentes, même en cas de demande incidente ou d'appel en garantie ou de pluralité de défendeurs.

Enchaînement des missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

| Enchaînement des missions G1 à G4 | Phases de la maîtrise d'œuvre | Mission d'ingénierie géotechnique et Phase de la mission | | Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques | Niveau de management des risques géotechniques attendu | Prestations d'investigations géotechniques à réaliser |
|---|-----------------------------------|---|--|--|--|--|
| Étape 1 : Etude géotechnique préalable (G1) | | Etude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES) | | Spécificités géotechniques du site | Première identification des risques présentés par le site | Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique |
| | Etude préliminaire, Esquisse, APS | Etudes géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC) | | Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site | Première identification des risques pour les futurs ouvrages | Fonctions des données existantes et de la complexité géotechnique |
| Étape 2 : Etude géotechnique de conception (G2) | APD/AVP | Etude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP) | | Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet | Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance | Fonction du site et de la complexité du projet (<i>choix constructifs</i>) |
| | PRO | Etudes géotechniques de conception (G2) Phase Projet (PRO) | | Conception et justifications du projet | | Fonction du site et de la complexité du projet (<i>choix constructifs</i>) |
| | DCE/ACT | Etude géotechnique de conception (G2) Phase DCE/ACT | | Consultation sur le projet de base/choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux | | |
| Étape 3 : Etudes géotechniques de réalisation (G3/G4) | | A la charge de l'entreprise | A la charge du maître d'ouvrage | | | |
| | EXE/VISA | Etude de suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Etude (en interaction avec la phase suivi) | Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase supervision du suivi) | Etude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût | Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (<i>réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience</i>) | Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent |
| | DET/AOR | Etude et suivi géotechniques d'exécutions (G3) Phase Suivi (en interaction avec la Phase Etude) | Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude) | Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage | | Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux |
| A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant | Diagnostic | Diagnostic géotechnique (G5) | | Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant | Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés | Fonction de l'élément géotechnique étudié |

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

Classification des missions d'ingénierie géotechnique (Norme NF P 94-500)

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PRELABLE (G1)

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

Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

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

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

ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

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

Phase Avant-projet (AVP)

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

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

Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

Phase DCE / ACT

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

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

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

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

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

Phase Étude

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

Phase Suivi

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

SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

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

Phase Supervision de l'étude d'exécution

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

Phase Supervision du suivi d'exécution

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

A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

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

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

Février 2014



fondasol

TERRITOIRE(S) D'EXIGENCE

www.fondasol.fr



Cartographie de l'aléa de chutes de blocs Rapport d'étude



| | | | | |
|---|-----------|-------------------------|---------|-------------------|
|  | Référence | <i>Devis : D1902025</i> | Version | <i>2.0 rév. 1</i> |
| | Date | <i>Octobre 2019</i> | Édition | |

ALP'GÉORISQUES – Z.I. – 52, rue du Moirond – Bâtiment Magbel – 38420 DOMENE - FRANCE
Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90
sarl au capital de 18 300 € – Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216
Email : contact@alpgeorisques.com – Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>

Identification du document

| | | | |
|-----------------------|---|--|--|
| Projet | Cartographie de l'aléa de chutes de blocs | | |
| Sous-titre | | | |
| Document | D1902025_rapport_v1-1.odt | | |
| Référence | 1910xxxx | | |
| Proposition n° | D1902025 | Référence commande | |
| Maître d'ouvrage | Commune de Barbentane | Le Cours Jean Baptiste Rey 13570 BARBENTANE | |
| Maître d'œuvre ou AMO | - | - | |

Modifications

| Version | Date | Description | Auteur | Vérifié par |
|---------|------------|------------------------------------|--------|-------------|
| 1.0 | 17/10/2019 | Document provisoire pour relecture | JPR | DMB |
| | | | | |

Diffusion

| | | | | |
|-----------------|----------------------|----------------|---------------------------------------|--|
| Chargé d'études | Jean-Pierre ROSSETTI | 04 76 77 92 00 | jeanpierre.rossetti@alpgeorisques.com | |
| Diffusion | Papier | | 0 exemplaire(s) | |
| | Numérique | ✓ | Commune de Barbentane | |

Archivage

| | |
|----------------------------|---|
| N° d'archivage (référence) | |
| Titre | Cartographie de l'aléa de chutes de blocs |
| Département | Bouches-du-Rhône |
| Commune(s) concernée(s) | Barbentane |
| Cours d'eau concerné(s) | - |
| Région naturelle | - |
| Thème | Aléa |
| Mots-clefs | Aléa, chutes de blocs |

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|-----------|
| I. PRÉAMBULE..... | 7 |
| II. ANALYSE DES PHÉNOMÈNES..... | 8 |
| II.1. Contexte géologique..... | 8 |
| II.1.1. Les formations superficielles..... | 8 |
| II.1.2. Le substratum..... | 9 |
| III. LES PHÉNOMÈNES NATURELS..... | 11 |
| III.1. Les chutes de roches..... | 12 |
| III.1.1. Les chutes de pierres et de blocs provenant des falaises..... | 12 |
| III.1.1.1. Les zones de départ..... | 13 |
| III.1.1.2. Sites particuliers..... | 14 |
| III.1.1.3. Zones de propagations..... | 15 |
| III.1.2. Les chutes de pierres provenant des escarpements..... | 15 |
| III.1.2.1. Escarpements anthropisés..... | 15 |
| III.1.2.2. Escarpements artificiels..... | 17 |
| III.2. Les éboulements en grandes masses..... | 17 |
| III.2.1. Le pilier du Petit Castel..... | 17 |
| IV. QUALIFICATION DE L'ALÉA DE CHUTES DE ROCHES..... | 18 |
| IV.1. Méthodologie..... | 18 |
| IV.1.1. Qualification de l'aléa de chutes de pierres et de blocs..... | 19 |
| IV.1.1.1. Définition de l'activité des zones de départ..... | 19 |
| IV.1.1.2. Probabilité d'atteinte..... | 19 |
| IV.1.1.3. Probabilité d'occurrence..... | 20 |
| IV.1.1.4. Intensité..... | 21 |
| IV.1.2. Qualification de l'aléa de chutes de pierres..... | 22 |
| IV.1.2.1. Définition de l'activité des zones de départ..... | 23 |
| IV.1.2.2. Probabilité d'atteinte..... | 23 |
| IV.1.2.3. Probabilité d'occurrence..... | 23 |
| IV.1.2.4. Intensité..... | 23 |
| IV.1.2.5. Qualification de l'aléa pour les escarpements..... | 24 |
| IV.2. Analyse par sites..... | 24 |
| V. DISPOSITIFS DE PROTECTION..... | 31 |
| V.1. Auscultation..... | 32 |
| V.2. Protection contre les chutes de pierres..... | 32 |
| V.3. Protection contre les chutes de blocs..... | 32 |
| VI. CONCLUSION..... | 32 |
| VII. BIBLIOGRAPHIE..... | 33 |
| VIII. ANNEXES..... | 34 |
| Annexe I – Photographies..... | 35 |
| Annexe II –Modélisation 3D..... | 37 |
| Paramètres utilisés..... | 37 |
| Annexe III – Profils caractéristiques..... | 39 |

I. Préambule

La commune de Barbentane souhaite disposer d'une cartographie des aléas de mouvements de terrain sur une partie de son territoire. Elle a confié cette cartographie à la société Alp'Géorisques.

Cette mission s'inscrit dans le contexte de la prise en compte des risques naturels dans l'élaboration du PLU de la commune de Barbentane. L'analyse porte sur les glissements de terrain et les chutes de pierres et de blocs. Les mouvements de terrain liés au retrait – gonflement des argiles et aux effondrements de cavités souterraines ne sont pas étudiés dans le cadre de cette mission.

Le périmètre concerné par cette cartographie a été défini par la commune et comportait initialement une zone principale et une extension. Ces deux périmètres d'études ont été associés pour définir le périmètre finalement étudié (fig. 1).

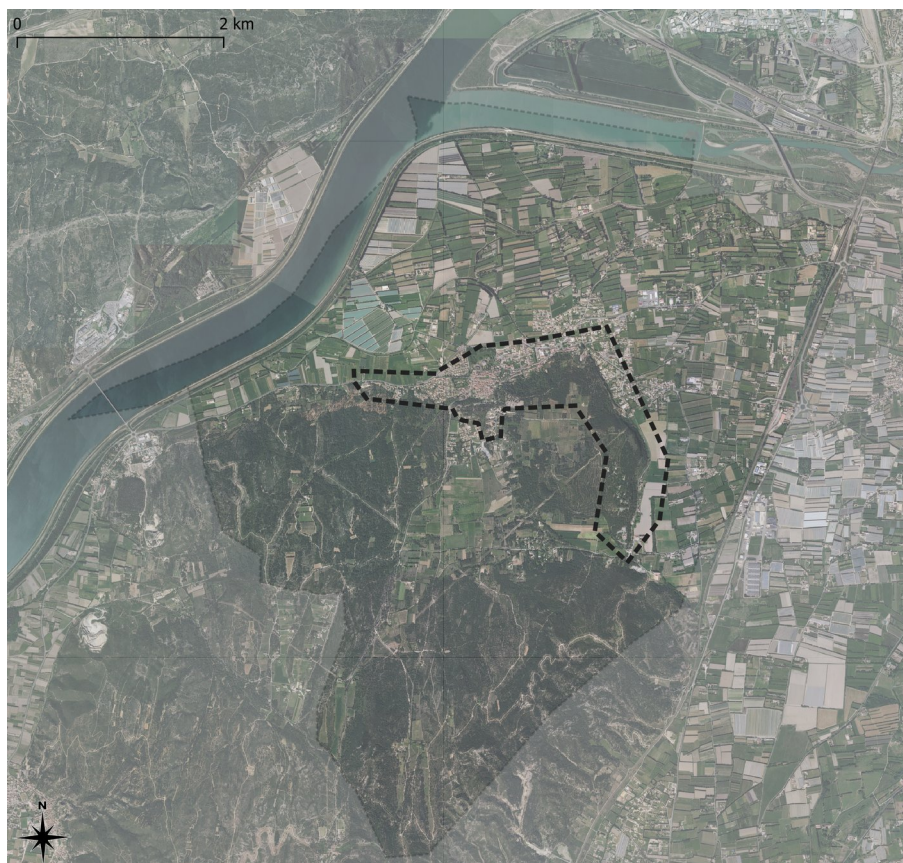


Figure 1: Carte de localisation de la zone d'étude.

II. Analyse des phénomènes

Les phénomènes naturels en général et les mouvements de terrain en particulier sont largement conditionnés par le contexte géographique et géologique.

II.1. Contexte géologique

La commune de Barbentane s'étend sur une zone caractérisée par la juxtaposition de deux domaines géologiques aux caractéristiques contrastées.

– Les plaines alluviales.

Les remplissages alluviaux modernes des vallées de la Durance et du Rhône et les alluvions fluviales plus anciennes de Graveson et de Mailane forment de vastes plaines au nord et à l'est de la commune.

– Les reliefs de la Montagnette.

Les formations molassiques et calcaires crétacées et néogènes forment ces reliefs de la Montagnette, qui dominent le village de Barbentane.

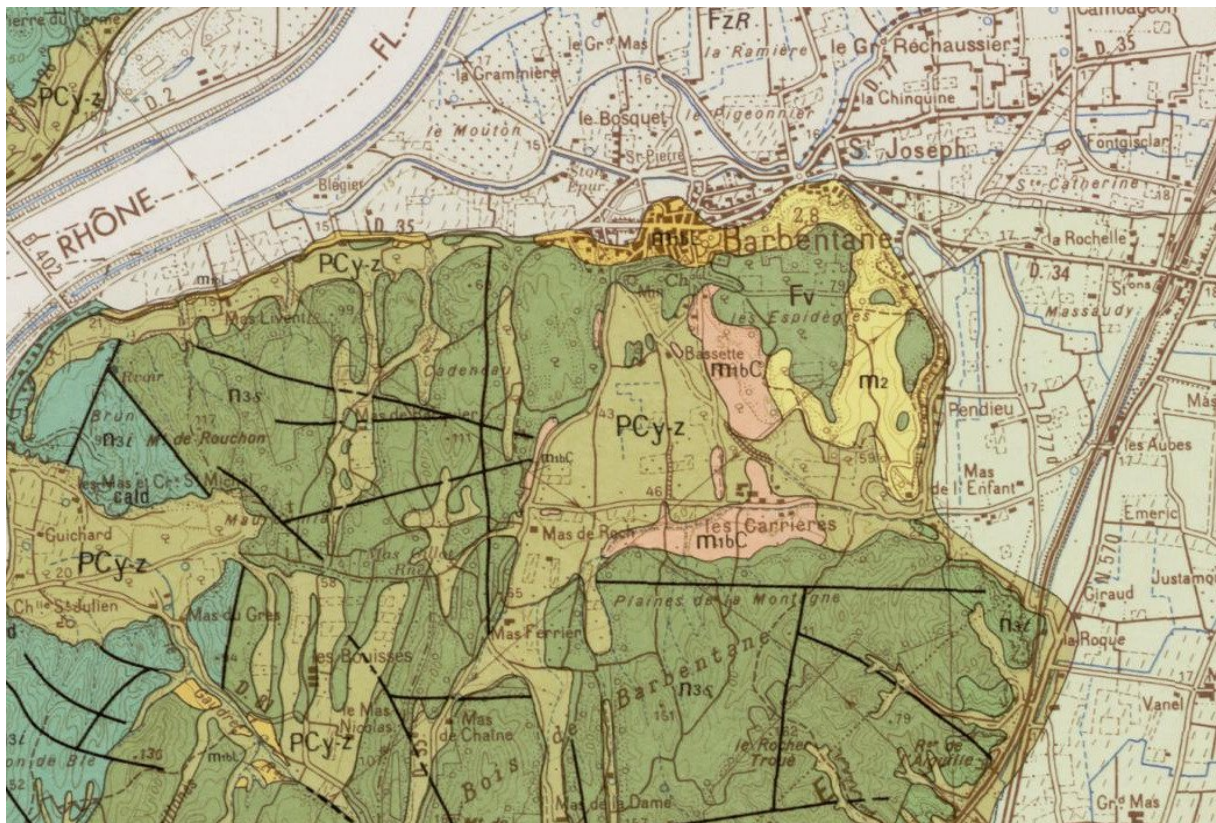


Figure 2: Figure 1 : Extrait de la carte géologique à 1 :50000 n°966 (feuille XXX-42 – Châteaurenard).

II.1.1. Les formations superficielles

Des formations superficielles, plus ou moins développées, peuvent être observées localement : il s'agit d'éboulis, de colluvions et d'épandage de pente ou d'alluvions anciennes.

Les colluvions sont majoritairement würmiennes et post-würmiennes. Les alluvions anciennes sont ici essentiellement constituées par les alluvions fluviales villafranchiennes¹ (-3,6 à -0,8 m.a.) qui correspondent à des dépôts périglaciaires.

Des éboulis et des colluvions modernes couvrent les pieds de versant et notamment la base des falaises principales.

II.1.2. Le substratum

L'essentiel des falaises et escarpements rocheux situés dans le périmètre étudié sont constitués par des formations détritiques miocènes (-25 à -8 m.a.).

Ces formations sont constituées de calcaires bioclastiques² gréseux et de marnes sableuses plus ou moins massives et compactes. Elles montrent des litages entrecroisés (fig. 3) qui témoignent de leurs conditions de dépôt (dunes sous-marines).

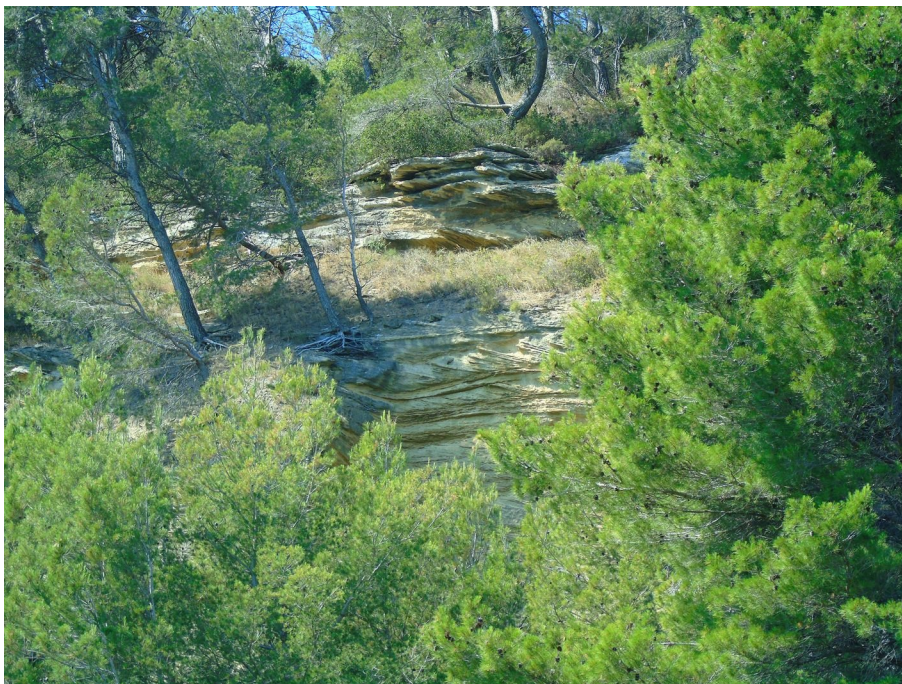


Figure 3: Affleurement de calcaire gréseux montrant des litages entrecroisés (Pendieu).

Ces formations ont été exploitées en carrières et de nombreux fronts de tailles sont encore visibles. Ils sont encore bien identifiables dans la topographie et forment des parois généralement verticales et lisses.

- 1 Étage stratigraphique correspondant aux étages Plaisancien, Gélasien et Calabrien de l'échelle stratigraphique internationale.
- 2 Roches calcaires détritiques formée essentiellement d'éléments fossiles plus ou moins fragmentés.

Les falaises naturelles, en revanche, montrent des morphologies complexes, du fait de l'érosion différentielle des niveaux plus ou moins indurés (fig. 4). Les niveaux les plus résistants forment des surplombs parfois importants.



Figure 4: Une falaise montrant les effets de l'érosion différentielle sur les bancs de dureté différente.

Dans la partie est de la zone étudiée (secteurs de La Cote et Cadeneau), les reliefs sont formés par des calcaires hauteriviens (-120 m.a.).



Figure 5: Un affleurement des calcaires hauteriviens (Hauterivien supérieur).

Ces calcaires, qui peuvent être associés à des marnes, ont une épaisseur d'environ 150 m. Dans la zone d'étude, on observe des calcaires clairs, souvent très fracturés.

Ils ne forment pas de relief important dans la zone d'étude ; on ne trouve que quelques escarpements hauts de quelques mètres.

III. Les phénomènes naturels

Le périmètre étudié est considéré comme exposé à divers mouvements de terrain. Ces phénomènes ont été mis en évidence notamment par une étude réalisée par le BRGM [2] et reprise par la direction départementale des territoires et de la mer des Bouches-du-Rhône (DDTM 13) en 2017 (fig. 6).

Cette étude propose une cartographie des zones potentiellement exposées à plusieurs phénomènes (glissements de terrain, chutes de blocs, coulées boueuses et charriages torrentiels, effondrement de cavités souterraines).

L'échelle de cette carte (1/100 000, soit 1 cm pour 1 000 m) ne permet toutefois pas de définir les zones exposées avec une précision suffisante pour les besoins de l'urbanisme.

La présente étude ne porte que sur les chutes de roches et les glissements de terrain.

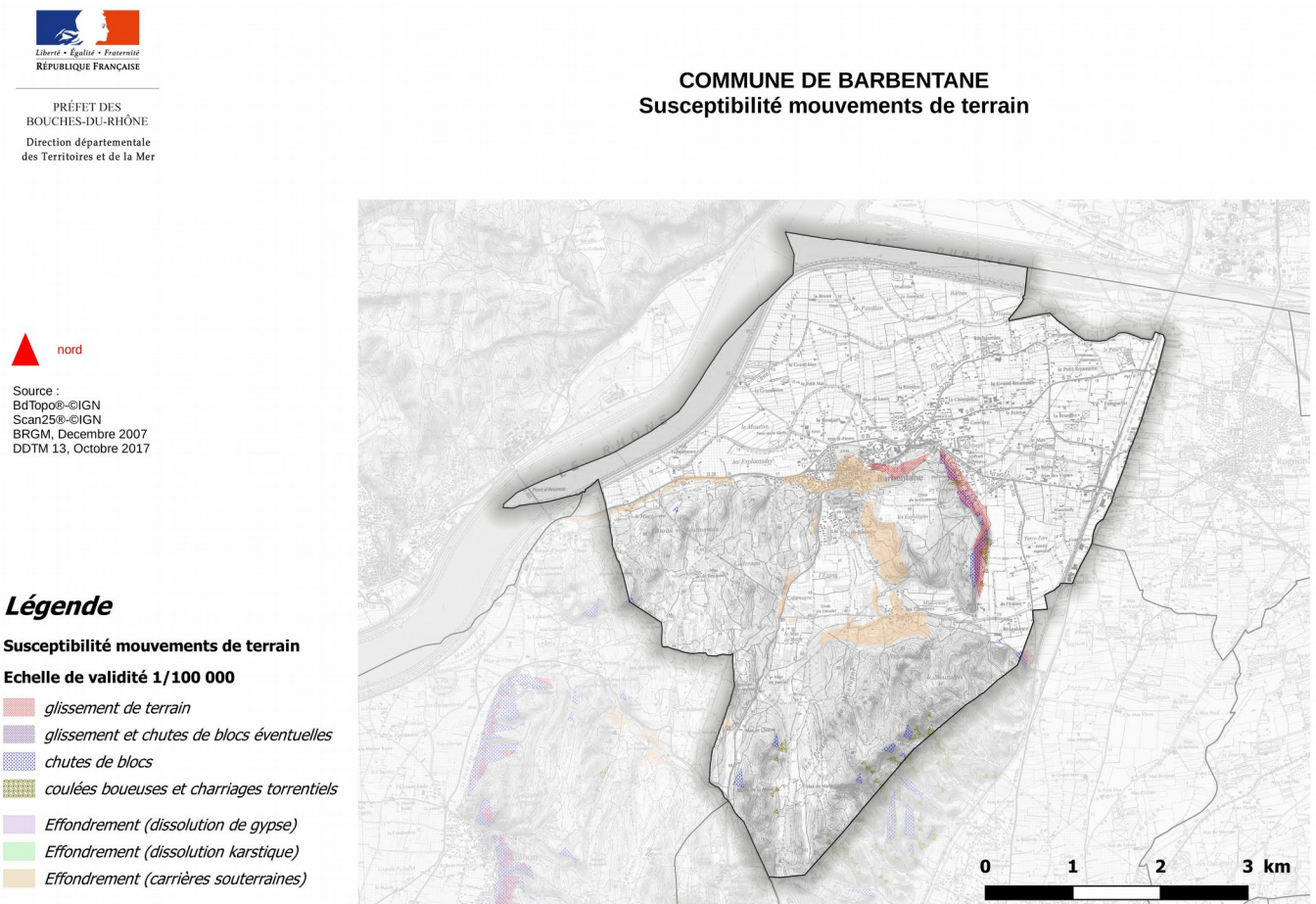


Figure 6: Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain établie par le BRGM.

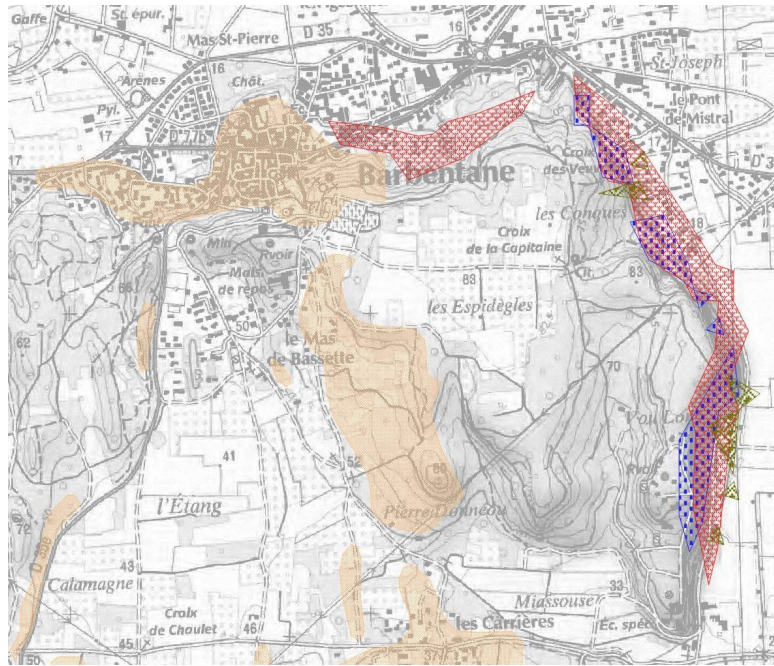


Figure 7: Agrandissement de la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain de la commune de Barbentane.

III.1. Les chutes de roches

Tous les phénomènes décrits ici relèvent de la catégorie « mouvement de terrain – éboulement, chutes de pierres et de blocs » de la nomenclature GASPARD et de la catégorie « chutes de pierres et de blocs » communément utilisée pour la cartographie des aléas et l'élaboration des PPRN.

Ces phénomènes sont définis comme le décrochement et la propagation de masses rocheuses sous l'action de la gravité. On distingue communément :

- les chutes de pierres, qui mobilisent des éléments dont le volume unitaire est de quelques décimètres cubes et un volume total maximal de quelques dizaines de mètres cubes ;
- les chutes de blocs, qui mobilisent des éléments dont le volume unitaire est de quelques décimètres cubes à quelques mètres cubes et un volume total maximal de quelques milliers de mètres cubes.
- Les éboulements en masse, qui mobilisent des volumes de plusieurs milliers à plusieurs millions de mètres cubes.

Pour distinguer les phénomènes spécifiques à la zone d'étude et faciliter la description et la qualification des aléas, nous proposons d'utiliser une terminologie plus détaillée que celle habituellement utilisée dans le cadre des cartographies d'aléas intégrées aux PPRN.

Nous utiliserons ici le terme générique de *chutes de roches* pour désigner l'ensemble des phénomènes présents dans la zone étudiée. Il recouvre des phénomènes traduisant des mécanismes divers et ayant des activités et des intensités très variables.

Nous distinguerons donc :

- des *chutes de pierres et de blocs* provenant des *falaises* et des barres rocheuses (phénomène correspondant au cas général des chutes de pierres et de blocs au sens habituel) ;
- des *chutes de pierres* provenant des *escarpements* et des talus rocheux ;
- des *chutes de pierres* pouvant être associées à la chute d'*éléments de maçonnerie* anciens ;
- des *éboulements en masse* correspondant à la déstabilisation de compartiments massifs de molasse (plusieurs dizaines à plusieurs centaines de mètres cubes).

On considère la propagation de blocs isolés et non la propagation de masse d'éléments qui interagissent entre eux.

III.1.1. Les chutes de pierres et de blocs provenant des falaises

Les falaises présentes dans la zone étudiée sont hautes de 10 à 25 m et peuvent, selon les secteurs, dominer directement des zones planes ou surmonter des pentes recouvertes d'éboulis ou de colluvion.



Figure 8: un aspect des falaises de Barbentane. La hauteur des barres rocheuses est ici de 15 m à 20 m.

Des pierres et des blocs sont souvent observables en pied de falaise et sur les pentes, mais il n'existe toutefois pas d'historique documenté de chutes de blocs.

III.1.1.1. Les zones de départ

La plupart des masses instables observables correspondent à des écaillés (fig. 9) ou à des surplombs plus ou moins importants, généralement formés par des bancs calcaires ou gréseux plus compacts.

Les volumes des masses mobilisables vont de quelques décimètres cubes pour les petites écaillés à plusieurs mètres cubes (voire quelques dizaines de mètres cubes) pour les gros blocs. Nous retiendrons un volume minimal de 1 m³ comme référence pour l'analyse de l'aléa.

Les masses mobilisables peuvent être aplaties (écailles) ou parallélépipédiques (fragment de banc rocheux). Les blocs ayant des formes aplaties peuvent avoir des propagations atypiques si elles sont discoïdes (circulaires) et roulent sur le versant. Dans la zone d'étude, les écailles observées sont plutôt allongées, mais on ne peut évidemment exclure d'autres géométries. Nous retiendrons néanmoins une forme parallélépipédique comme référence pour l'analyse de l'aléa du fait de la fréquence relative de ces éléments.

Dans de nombreux cas, des masses instables comportant des parties rocheuses plus ou moins altérées et des terrains meubles pouvant être associées à de la végétation, sont présentes au sommet des falaises ou des escarpements rocheux. Ces masses induisent un aléa assimilé à l'aléa de chutes de pierres et de blocs bien que l'emprise concernée par ce type de phénomène soit a priori plus restreinte que celle des chutes de pierres et de blocs au sens strict.



Figure 9: Exemple d'écailles partiellement décollée et de cicatrice fraîche de rupture.

III.1.1.2. Sites particuliers

Plusieurs habitations troglodytes existent dans la zone d'étude. Selon la hauteur des falaises dans lesquelles elles sont creusées, nous assimilerons ces sites à des falaises ou à des escarpements rocheux. Pour les plus hautes (fig. 10) l'approche est similaire à celle mise en œuvre pour les falaises non aménagées.



Figure 10: Exemple d'habitat troglodyte à Barbentane. La hauteur est d'une quinzaine de mètres.

L'aléa d'effondrement de cavité souterraine qui est associé à ces habitations troglodytes n'entre pas dans le cadre de notre mission. Les principaux sites sont néanmoins localisés.

III.1.1.3. Zones de propagations

La morphologie des zones de propagation est très variable. Toutefois, dans les zones à enjeux, elles sont le plus souvent planes et non boisées. Cette configuration tend à limiter la propagation des blocs.

III.1.2. Les chutes de pierres provenant des escarpements

Nous désignons par escarpements les barres rocheuses dans la hauteur est comprise entre 2 m – 3 m et 6 m – 8 m. Les reliefs dont la hauteur est inférieure à 2 m – 3 m ne sont pas pris en compte dans cette étude en tant que zone de départ potentiel pour des chutes de roches.

Pour tenter de mieux décrire les sites présents sur la zone d'étude, nous distinguerons plusieurs types d'escarpements qui sont décrits ci-dessous.

III.1.2.1. Escarpements anthropisés

Dans de nombreux secteurs, le bâti et plus généralement les aménagements sont étroitement imbriqués avec les escarpements rocheux et plusieurs configurations sont observables dans la zone étudiée :

- Escarpements surmontant des murs (fig. 11) qui peuvent constituer des buttons ou être simplement des ouvrages accolés à la roche ou des murs fermant des sous-cavages pour constituer des espaces de stockage ou d'habitation. Dans cette configuration, les sommets d'escarpement sont naturels.

- Escarpements surmontés par des murs (fig. 12) qui peuvent être des ouvrages de clôture, de soutènement ou appartenir à des constructions.



Figure 11: Exemple d'escarpement rocheux surmontant un soubassement en maçonnerie.

Les désordres pouvant être induits par les murs surmontant un escarpement rocheux ne relèvent pas des phénomènes de chutes de pierres et de blocs au sens strict. Toutefois, les chutes d'éléments provenant de murs anciens, qui peuvent être très imbriqués dans la roche peuvent être difficilement dissociables des chutes de roches au sens strict. Les conséquences de la rupture d'un mur de soutènement ou de la dégradation du mur d'une construction ne relève pas des phénomènes naturels sauf s'ils ont été provoqués par un éboulement affectant le massif rocheux sous-jacent.

Nous proposons d'identifier ces sites en les distinguant des escarpements rocheux naturels et de définir un aléa spécifique.



Figure 12: Exemple d'escarpement surmonté par un mur de soutènement.

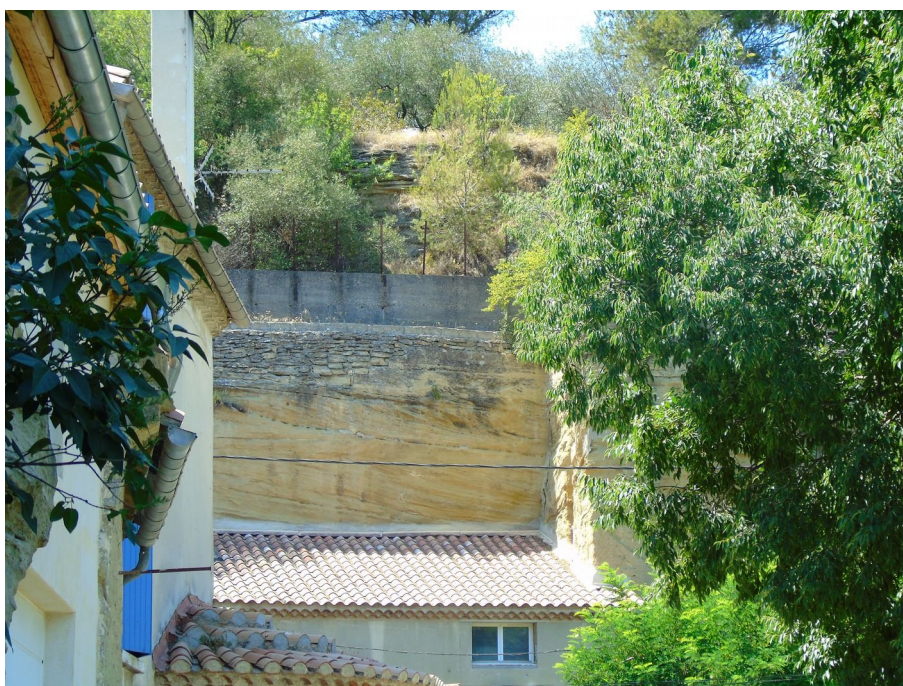


Figure 13: Exemple d'imbrication des bâtiments, des murs et des escarpements rocheux.

III.1.2.2. Escarpements artificiels

Ces escarpements correspondent majoritairement à des fronts de tailles anciens. Ils présentent des faces lisses, métriques à décamétriques, pouvant comporter des surplombs et des dièdres rentrants ou sortants.

Comme pour les escarpements anthropisés, nous proposons d'identifier ces sites en les distinguant des escarpements rocheux naturels et de définir un aléa spécifique.

III.2. Les éboulements en grandes masses

Ces phénomènes ne concernent que des sites particuliers et ne constituent pas le phénomène de référence pour la qualification de l'aléa.

III.2.1. Le pilier du Petit Castel

Il s'agit d'une masse partiellement désolidarisée de la falaise par une fissure ouverte (ouverture décimétrique à métrique dans les zones accessibles). La base de ce pilier est pour partie sous-cavée mais ne présente pas de signe d'instabilité.



Figure 14: Le pilier du Petit Castel vu du Sud vers le Nord. La fissure à l'arrière du pilier est bien visible.

Ce pilier a fait l'objet d'une surveillance à l'aide d'un fissuromètre rustique, mais nous ne disposons pas des données collectées. Cette surveillance a été interrompue.



Figure 15: Un fissuromètre installé sur le pilier du Petit Castel.

La déstabilisation de ce pilier constitue un phénomène exceptionnel au sens de la qualification de l'aléa. Ce phénomène n'est pas pris en compte pour cette qualification.

IV. Qualification de l'aléa de chutes de roches

IV.1. Méthodologie

La méthode de qualification de l'aléa de chutes de pierres et de blocs préconisée par le CCTP repose sur :

1. La définition d'un **aléa de référence**, correspondant « à l'évènement historique connu le plus important dans le site étudié, sauf si l'analyse conduit à considérer comme vraisemblable, à échéance centennale, un évènement potentiel pertinent d'une ampleur encore plus grande. »
2. La définition et la qualification d'un **aléa de départ**, qui doit être défini par croisement entre une intensité et une probabilité d'occurrence (prise ici au sens de probabilité de rupture).

L'intensité est déterminée par le volume des blocs et la hauteur du versant.

La probabilité d'occurrence, assimilée à une prédisposition à la rupture, est déterminée par l'état de fracturation, le degré d'altération de la roche, etc.

3. Une analyse de la zone de propagation. Cette analyse porte notamment sur la géométrie du versant et des caractéristiques de la zone en pied de versant (nature, pente, longueur, etc.). Cette analyse permettra de définir une **probabilité d'atteinte** associée à la zone de propagation.
4. La **qualification de l'aléa**, qui est obtenue en « combinant l'aléa de départ et la propagation : par exemple, en croisant l'aléa de départ avec la probabilité d'atteinte. »

Toutefois pour respecter à la fois les termes du CCTP et les principes méthodologiques de la note méthodologique pour l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRn (dite note MEZAP), nous avons adopté une terminologie et une méthodologie adaptée.

IV.1.1. Qualification de l'aléa de chutes de pierres et de blocs

Cette méthodologie est mise en œuvre pour les sites concernés par les chutes de pierres et de blocs provenant des falaises (voir paragraphe III.1.1).

1. Identification de secteurs homogènes. Ces secteurs correspondent à des zones de départ, et de propagation qui présentent des caractéristiques homogènes en ce qui concerne :
 - les caractéristiques de la zone de départ (nature, dimensions) ;
 - l'**activité de la zone de départ** (estimée en termes de nombre de départ du bloc de référence par an, décennie ou siècle). Cette notion recoupe la notion de probabilité d'occurrence utilisée dans le CCTP ;
 - la morphologie de la zone de propagation.
2. Définition du phénomène de référence. Cette définition découle en partie de l'analyse de la zone de départ, notamment en ce qui concerne le volume des blocs.
3. Analyse de la **probabilité d'atteinte**, qui correspond à la probabilité pour un bloc de référence de se propager jusqu'au point considéré).
4. Définition de la **probabilité d'occurrence**, par croisement de l'activité de la zone de départ et de la probabilité d'atteinte. Ce croisement est effectué selon une grille d'analyse proposée par le document de référence.
5. Définition de l'**intensité** par secteur homogène, en utilisant *a priori* le volume des blocs comme critère, selon une grille proposée par le document de référence.
6. Définition de l'**aléa** par croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité selon une grille proposée par le document de référence.

IV.1.1.1. Définition de l'activité des zones de départ

La notion d'activité de la zone de départ correspond à la fréquence des chutes de roches dans la zone considérée. Cette fréquence dépend du type de phénomène considéré : sur un même site, on constate fréquemment une forte activité pour les départs de petits éléments (pierres) et une faible activité pour les départs de gros éléments (blocs). On fera donc toujours référence à l'activité de la zone de départ pour le phénomène de référence retenu.

L'activité est définie de manière qualitative (tab. 1) en fonction d'une estimation du nombre de départ sur une période de 100 ans. On dispose toutefois rarement d'information objective permettant d'apprécier ce nombre.

Tableau 1: Définition de l'indice d'activité des zones de départ.

| Indice d'activité | Nombre indicatif de départ sur 100 ans | Définition |
|--------------------------|---|---|
| <i>Faible</i> | <i>1</i> | <i>De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 100 ans</i> |
| <i>Moyen</i> | <i>10</i> | <i>De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les 10 ans</i> |
| <i>Fort</i> | <i>100</i> | <i>De l'ordre d'un bloc du scénario de référence tous les ans</i> |

IV.1.1.2. Probabilité d'atteinte

La probabilité d'atteinte en un point correspond à la probabilité pour qu'un élément qui s'est détaché de la zone de départ se propage jusqu'au point considéré. Cette notion est indépendante de l'activité de la zone de départ.

Elle dépend des caractéristiques de l'élément (notamment de sa forme et de sa taille), de la hauteur de la zone de départ (qui détermine l'énergie potentielle du bloc) et de la zone de propagation (morphologie, nature du terrain, végétation, etc.). Cette notion dépend donc du phénomène de référence retenu.

La probabilité d'atteinte peut être déterminée en s'appuyant sur la méthode de la ligne d'énergie et/ou sur des modélisations trajectographiques.

a. Méthode de la ligne d'énergie

La mise en œuvre de la méthode de la ligne d'énergie implique, pour chaque secteur homogène, la détermination d'un ou plusieurs angles de ligne d'énergie, correspondant à diverses probabilités d'atteinte.

Dans le cas spécifique de la commune de Barbentane, nous avons retenu deux angles correspondant respectivement à une probabilité d'atteinte très forte à forte et faible (tab 2). Les valeurs de ces angles sont définies pour chaque secteur homogène identifié.

Tableau 2: Probabilité d'atteinte et angle de ligne d'énergie.

| Angles de ligne d'énergie | Probabilité d'atteinte |
|--------------------------------------|-------------------------------|
| angle β_1 (angle de référence) | <i>Très forte à forte</i> |
| angle β_2 | <i>Faible</i> |

La détermination de l'angle de référence est faite à partir de trois éléments complémentaires :

1. L'existence d'un phénomène historique définissant le scénario de référence. L'angle de référence est alors choisi de manière à être inférieur ou égal à l'angle de ligne d'énergie minimal des points atteints.
2. Les caractéristiques morphologiques du versant. Les valeurs des angles de ligne d'énergie sont fortement corrélées avec la topographie et des plages de valeurs d'angle sont définies par type de versant. Cette analyse repose pour partie sur des similitudes avec des sites pour lesquels des informations plus complètes sont disponibles.
3. La mise en œuvre de modèles trajectographiques fournissant une analyse statistique de la répartition des points d'arrêt de blocs conformes au scénario de référence.

b. Modélisations trajectographiques

Deux types de modélisations ont été mises en œuvre :

- une modélisation tridimensionnelle (3D) destinée à identifier les trajectoires les plus vraisemblables et une emprise indicative des zones exposées ;
- une modélisation bidimensionnelle (2D), destinée à évaluer la répartition statistique des points d'arrêt sur des profils caractéristiques des secteurs homogènes.

La modélisation 3D, réalisée avec le logiciel Rockyfor3D version 5.2 est présentée en annexe Erreur : source de la référence non trouvée.

La modélisation 2D a été réalisée avec le logiciel Rocfall (Rocscience). Les profils de calcul obtenus par modélisation 2D sont présentés en annexe

IV.1.1.3. Probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence correspond à la combinaison de l'activité de la zone de départ pour le phénomène de référence et de la probabilité d'atteinte pour la zone considérée. Cette probabilité n'est évaluée que de manière qualitative, conformément aux préconisations de la note MEZAP [3].

Cette notion permet donc d'apprécier le niveau d'exposition d'une zone donnée pour le phénomène de référence.

Tableau 3: Détermination de la probabilité d'occurrence pour les chutes de pierres et de blocs.

| | | Probabilité d'atteinte | | | |
|--------------------------|---------------|-------------------------------|----------------|---------------|--------------------|
| | | <i>Faible</i> | <i>Moyenne</i> | <i>Forte</i> | <i>Très Forte</i> |
| Indice d'activité | <i>Faible</i> | <i>Faible</i> | <i>Modéré</i> | <i>Élevée</i> | <i>Très Élevée</i> |
| | <i>Moyen</i> | <i>Modéré</i> | <i>Modéré</i> | <i>Élevée</i> | <i>Très Élevée</i> |
| | <i>Fort</i> | <i>Modéré</i> | <i>Élevée</i> | <i>Élevée</i> | <i>Très Élevée</i> |

d'après la note MEZAP [3]

Dans le cas de Barbentane, on a distingué que une ou deux classe de probabilités d'atteinte du fait de la configuration des zones de propagation est d'arrêt.

IV.1.1.4. Intensité

Pour les chutes de pierres et de blocs, l'intensité du phénomène est proportionnelle à l'énergie cinétique des pierres ou des blocs dans la zone considérée. Cette énergie cinétique ne pouvant être estimée quantitativement sans faire appel à des techniques de modélisation, l'intensité est estimée qualitativement à partir du volume des éléments rocheux. Cette simplification est possible dans la mesure où l'énergie cinétique des blocs est proportionnelle à leur masse et que la masse volumique des roches varient très peu pour une zone de départ donnée.

Le tableau 4 définit l'indice d'intensité du phénomène en fonction des volumes de pierres ou des blocs pris en compte dans le scénario de référence. Cet indice peut être interprété en termes de dommage probable sur une construction standard est proposée.

Cette approche de l'intensité sous-entend que l'intensité est constante dans toute la zone exposée : il n'y a pas de « décroissance » de l'intensité au cours de la propagation.

Tableau 4: Définition de l'indice d'intensité en fonction du volume des pierres ou des blocs.

| Indice d'intensité | Description | Potentiels de dommages |
|---------------------------|--|---|
| <i>Faible</i> | <i>Le volume unitaire pouvant se propager est inférieur à 0,25 m³.</i> | <i>Pas de dommage au gros œuvre. Peu ou pas de dommages aux éléments de façade.</i> |
| <i>Modéré</i> | <i>Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 0,25 m³ mais inférieur à 1 m³.</i> | <i>Dommages au gros-œuvre sans ruine. Intégrité structurelle sollicitée.</i> |
| <i>Élevée</i> | <i>Le volume unitaire pouvant se propager est supérieur ou égal à 1 m³ mais inférieur à 10 m³.</i> | <i>Dommage important au gros-œuvre. Ruine probable. Intégrité structurelle remise en cause.</i> |
| <i>Très Élevée</i> | <i>Le volume unitaire pouvant se propager dépasse 10 m³.</i> | <i>Destruction du gros-œuvre. Ruine certaine. Perte de toute intégrité structurelle.</i> |

d'après la note MEZAP [3]

IV.1.1.5. Qualification de l'aléa

Le niveau d'aléa de chutes de pierres et de blocs est déterminé en fonction de la probabilité d'occurrence et de l'indice d'intensité selon les règles définies par le tableau 5.

Tableau 5: Définition du degré d'aléa de chutes de pierres et de blocs en fonction de la probabilité d'occurrence et de l'indice d'intensité.

| Aléa | | Intensité | | | | Phénomène de grande ampleur |
|--------------------------|-------------|---------------------------|---|---|-------------------------|-----------------------------|
| | | Faible | Modérée | Élevée | Très élevée | |
| | | Bloc < 0.25m ³ | 0.25m ³ < Bloc < 1m ³ | 1m ³ < Bloc < 10m ³ | Bloc > 10m ³ | |
| Probabilité d'occurrence | Faible | Faible | Modéré | Élevé | Élevé | Hors scénario de référence |
| | Modérée | Faible | Modéré | Élevé | Élevé | |
| | Élevée | Modéré | Élevé | Élevé | Très élevé | |
| | Très élevée | Élevé | Élevé | Très élevé | Très élevé | |

d'après la note MEZAP [3]

Les phénomènes de grande ampleur correspondent à des phénomènes exclus des scénarios de référence (écroulement en grande masse). Les emprises concernées sont identifiées à titre indicatif.

La chute de blocs ou de masses rocheuses peut se traduire par le recul de la tête de falaise. Une zone d'aléa spécifique (zone de recul) a donc été identifiée. Sa largeur est fixée à 10 m ou à 5 m pour les zones où la falaise est saine.

IV.1.2. Qualification de l'aléa de chutes de pierres

Cette méthodologie est mise en œuvre pour les sites concernés par les chutes de pierres provenant d'escarpements (voir paragraphe III.1.2).

En ce qui concerne l'aléa de chute de pierres depuis des escarpements, une approche simplifiée est proposée :

1. Identification des secteurs concernés. Ces secteurs correspondent à des zones de départ potentielles qui présentent des caractéristiques homogènes en ce qui concerne :
 - le type d'escarpement (anthropisée, artificielle, naturelle)
 - les caractéristiques de la zone de départ (dimensions) ;
 - l'**activité de la zone de départ** (estimée en termes de nombre de départ du bloc de référence par an, décennie ou siècle). Cette notion recoupe la notion de probabilité d'occurrence utilisée dans le CCTP.
2. Définition du phénomène de référence. Cette définition découle en partie de l'analyse de la zone de départ, notamment en ce qui concerne le volume des blocs et les interactions avec les ouvrages existants (murs, etc.).
3. Définition de la **probabilité d'occurrence**, en ne considérant que l'activité de la zone de départ, car la propagation se fait sur une zone restreinte située immédiatement au pied de l'escarpement. L'extension de la zone affectée est définie de manière systématique à partir des caractéristiques de l'escarpement et du phénomène de référence.
4. Définition de l'**intensité** par secteur homogène, en fonction du phénomène de référence :
 - Intensité **faible** pour les chutes de pierres ;

- Intensité forte si on considère le basculement d'un mur situé en tête d'escarpement ou la ruine d'un soutènement.
5. Définition de l'aléa par croisement de la probabilité d'occurrence et de l'intensité selon une grille proposée par le document de référence.

IV.1.2.1. Définition de l'activité des zones de départ

Pour les escarpements, l'indice d'activité est défini selon les mêmes critères que pour les chutes de pierres et de blocs (tab 1).

D'une manière générale, on retiendra les indices suivants :

- faible pour les escarpements artificiels (front de taille), et pour les sites anthropisés avec des ouvrages récents et/ou en bon état ;
- fort pour les escarpements naturels ou les sites anthropisés avec des ouvrages anciens et/ou dégradés.

IV.1.2.2. Probabilité d'atteinte

Pour les escarpements, la probabilité d'atteinte est définie de manière simplifiée dans la mesure :

- la zone située immédiatement au pied de l'escarpement est nécessairement atteinte ;
- la propagation est courte du fait de la nature des sites (zone d'arrêt horizontale ou à très faible pente) et on considère que la probabilité d'atteinte est soit forte soit négligeable (on fait l'hypothèse que la probabilité d'atteinte décroît très rapidement).

L'emprise la zone exposée est déterminée par la méthode de la ligne d'énergie avec un angle de référence unique et une zone exposée d'une largeur minimale de 5 m.

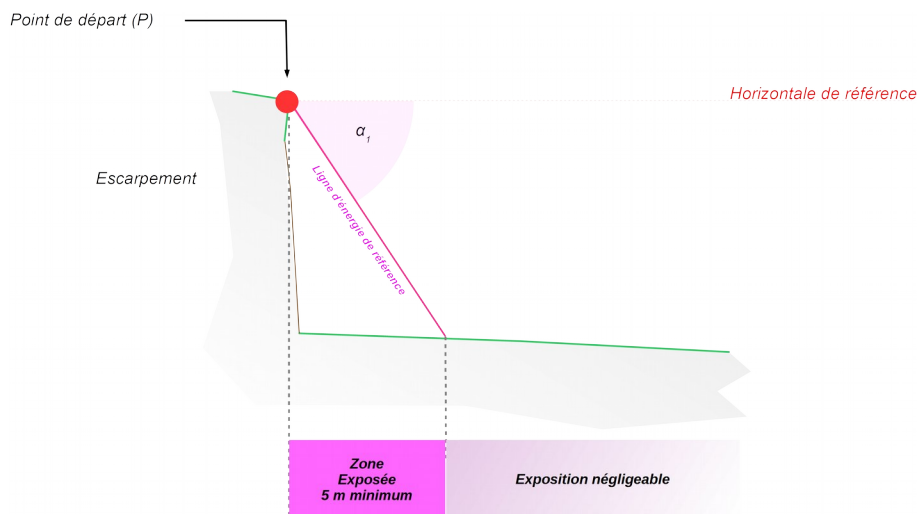


Figure 16: Détermination de la zone exposée pour les escarpements.

IV.1.2.3. Probabilité d'occurrence

La probabilité d'occurrence correspond à la combinaison de l'activité de la zone de départ pour le phénomène de référence et de la probabilité d'atteinte pour la zone considérée.

Comme pour les chutes de pierres et de blocs, cette probabilité n'est évaluée que de manière qualitative, conformément aux préconisations de la note MEZAP [3]. Toutefois la simplification de l'approche pour les escarpements limite le nombre de cas envisageables.

Les anciens fronts de taille sont souvent lisses et dépourvus de masses instables identifiables. L'activité est donc faible pour de telles configurations. En revanche, certains escarpements comportant des vestiges de maçonnerie en mauvais état sont susceptibles d'avoir une activité relativement fréquente.

Tableau 6: Détermination de la probabilité d'occurrence pour les escarpements.

| Probabilité d'occurrence | | Probabilité d'atteinte | |
|---------------------------------|---------------|-------------------------------|--|
| | | <i>Forte</i> | |
| Indice d'activité | <i>Faible</i> | <i>Faible</i> | |
| | <i>Moyen</i> | <i>Modéré</i> | |
| | <i>Fort</i> | <i>Élevée</i> | |

IV.1.2.4. Intensité

Pour les escarpements, l'intensité du phénomène dépend de la nature du phénomène de référence. Si on considère des chutes de pierres, l'intensité est faible du fait du faible volume des éléments. En revanche, si le phénomène de référence correspond à une chute d'une masse importante (de l'ordre d'un mètre cube) pouvant inclure des éléments de maçonnerie, l'intensité est élevée.

IV.1.2.5. Qualification de l'aléa pour les escarpements

Le niveau d'aléa de chutes de pierres provenant des escarpements est déterminée en fonction de la probabilité d'occurrence et de l'indice d'intensité selon les règles définies par le tableau 7.

Tableau 7: Définition du degré d'aléa de chutes de pierres pour les escarpements.

| Aléa | | Intensité | |
|---------------------------------|----------------|------------------|---------------|
| | | <i>Faible</i> | <i>Élevée</i> |
| Probabilité d'occurrence | <i>Faible</i> | <i>Faible</i> | <i>Élevé</i> |
| | <i>Modérée</i> | <i>Faible</i> | <i>Élevé</i> |
| | <i>Élevée</i> | <i>Modéré</i> | <i>Élevé</i> |

Remarque. L'aléa lié aux escarpements n'a pas la même signification que l'aléa lié aux chutes de pierres et de blocs, c'est pourquoi nous proposons d'utiliser des couleurs différentes pour permettre une identification aisée des zones concernées.

IV.2. Analyse par secteurs

L'identification des secteurs homogène a été réalisé à partir des données topographiques disponibles et des observations de terrain. La géologie, relativement homogène dans la zone d'étude, ne justifie par une prise en compte spécifique, sauf pour quelques cas particuliers.

Au total 25 secteurs homogènes ont été identifiés (fig. 17). Ces secteurs sont localisés sur les cartes annexées à ce rapport. La toponymie utilisée fait référence aux lieu-dits cadastraux et/ou à des dénominations d'usage.

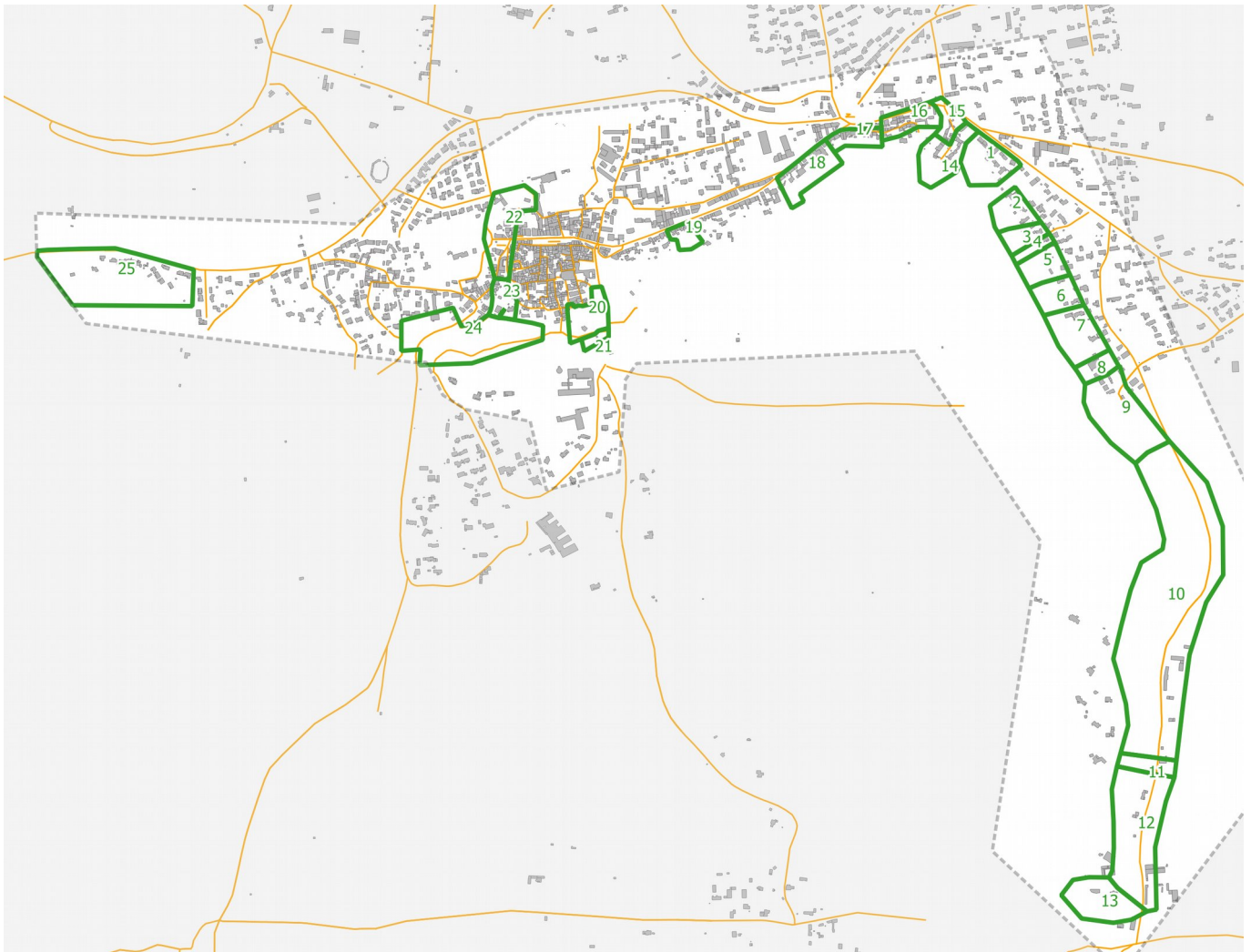


Figure 17: Localisation des secteurs homogènes.

Les secteurs 1 à 13 correspondent aux principales falaises de la partie est de la zone d'étude. Les secteurs 14 (et 15 pour partie) couvrent la zone de La Rebutte, qui se caractérise par l'implantation des constructions au pied de petites falaises partiellement artificielles (front de taille).

Les secteurs 15 à 18 correspondent aux zones caractérisées par l'imbrication du bâti dans les falaises avec notamment des habitations et des locaux troglodytes.

Le secteur 19 ne correspond à une zone dans laquelle des escarpements rocheux jouxtent des murs de soutènements dont la stabilité reste incertaine (mais indépendamment de l'évolution des escarpements). L'aléa lié aux escarpements est faible mais les désordres affectant les murs pourraient causer des dommages du fait de la proximité des bâtiments.

Les secteurs 20 et 21 correspondent aux abords de la Tour de Barbentane et se caractérise par l'imbrication de murs anciens et d'escarpements rocheux. Il est souvent impossible de distinguer les chutes de pierres provenant de la maçonnerie ancienne et dégradée et celles provenant des escarpements naturels.

Les secteurs 22 et 23 recouvrent des affleurements de molasse imbriqués dans la zone urbanisée. Ils sont globalement massifs mais peuvent être surmontés de masses plus ou moins stables en tête d'escarpements et être associés à des murs (secteur 23).

Le secteur 24 correspond à des affleurements calcaires localement très déstructurés mais de faible hauteur.

Le secteur 25 correspond à des affleurements calcaires localement déstructurés, dont certains sont, pour partie, artificiels (talus rocheux créés par des terrassements).

V. Dispositifs de protection

La définition détaillée de dispositifs de protection n'entre pas dans le cadre de notre mission. En revanche, il est nécessaire de définir les types de dispositifs pouvant être mis en œuvre sur les sites exposés afin de fournir les éléments nécessaires à la programmation d'études de détail et de travaux et à la définition de prescriptions pouvant être intégrées aux règlements d'urbanisme.

V.1. Auscultation

L'auscultation du pilier du Petit Castel est vivement recommandé pour évaluer de manière précise l'évolution de la masse rocheuse.

La technique la plus adaptée pour assurer un suivi est la topographie. Cette technique implique la mise en place de cibles sur la masse à suivre et des levés topographiques réguliers permettant d'évaluer le déplacement des cibles dans le temps.

Il convient de pratiquer des mesures très rapprochées dans le temps puis d'espacer les mesures si aucun mouvement n'est détecté.

D'autres techniques d'auscultation permettant un suivant continue et automatisé de l'évolution de la masse rocheuse sont possibles (extensomètres par exemple) mais leur mise en œuvre, plus complexe, pourra être envisagée si le suivi topographique met en évidence des mouvements.

Une auscultation est également souhaitable sur deux sites dans le secteur de La Rebute :

- le surplomb potentiellement instable au-dessus des maisons dans la partie est (parcelles 304 et 305) ;
- le gros surplomb qui domine les locaux troglodytes au début de l'impasse de La Rebute (n°6) et qui présente une fissure.

V.2. Protection contre les chutes de pierres

Les escarpements produisant des chutes de pierres peuvent être équipés de dispositifs actifs :

- grillages ou filets plaqués ou suspendus ;
- purges ;
- murs, parois cloutées ou non ;
- etc.

Des dispositifs passifs sont également envisageables (barrières, murets, etc.) mais la configuration des zones de propagation et d'arrêt se prêtent généralement peu à ce type d'ouvrages.

En revanche, les escarpements étant souvent imbriqués dans le tissu urbain, des constructions adaptées accolées au rocher peuvent supprimer l'aléa de manière sûre et durable. Ce type d'aménagement implique une adaptation du projet et notamment une hauteur suffisante pour qu'il n'existe aucune zone de départ potentielle au-dessus de la construction. Une étude spécifique est indispensable.

V.3. Protection contre les chutes de blocs

Les sites exposés aux chutes de blocs peuvent être protégés par des dispositifs passifs classiques (écrans souples dynamiques, merlons). Dans les sites où les falaises dominent directement le bâti, seuls des dispositifs actifs sont envisageables.

Selon la configuration du site, l'ancrage des masses instables ou leur soutènement par des massifs de maçonnerie est préférable compte tenu de l'imbrication des falaises dans la zone urbanisée.

VI. Bibliographie

- [1] CATZIGRAS F., COLOMB E., DAMIANI L., DURAND J.P., DUROZOY G., FERAUD J., GERVAIS J., MASSE J.P., ROUIRE J., ROUSSET C., TRIAT J.M., TRUC G. (1977). Notice explicative. Carte géol. France (1/50 000), feuille Châteaurenard (966). Orléans : BRGM, 25 p.
- [2] RIVET F., MATHON C., BREVOT P.-A. Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 Année 1 : Étude de la Provence calcaire et rhodanienne Rapport final. [s.l.] : BRGM, 2007, 97 p.
- [3] MEZAP. *Méthodologie de l'élaboration du volet « aléa rocheux » d'un PPRn*. [s.l.] : [s.n.], 2014, 49 p.

VII. Annexes

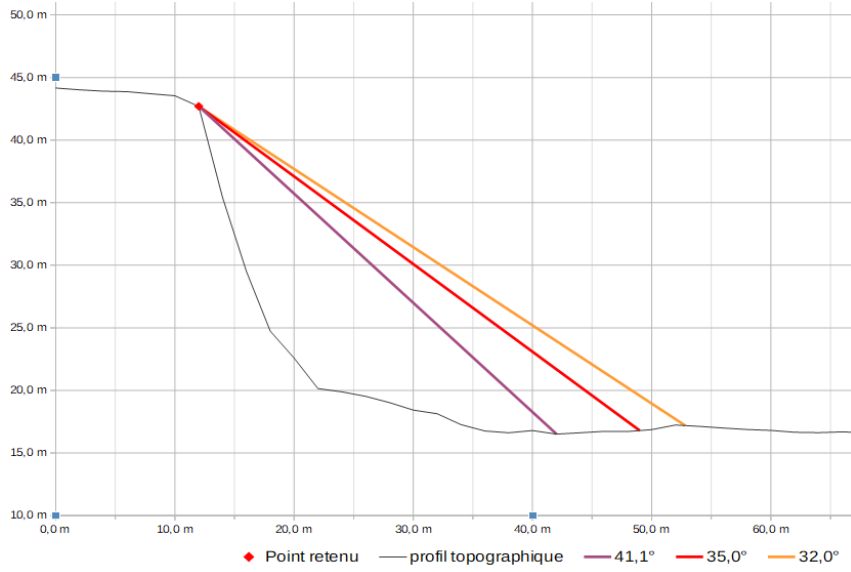
Annexe I – Angles de lignes d'énergie caractéristiques

Tableau 8: Synthèse des angles de lignes d'énergie retenus par profil et par secteur homogène.

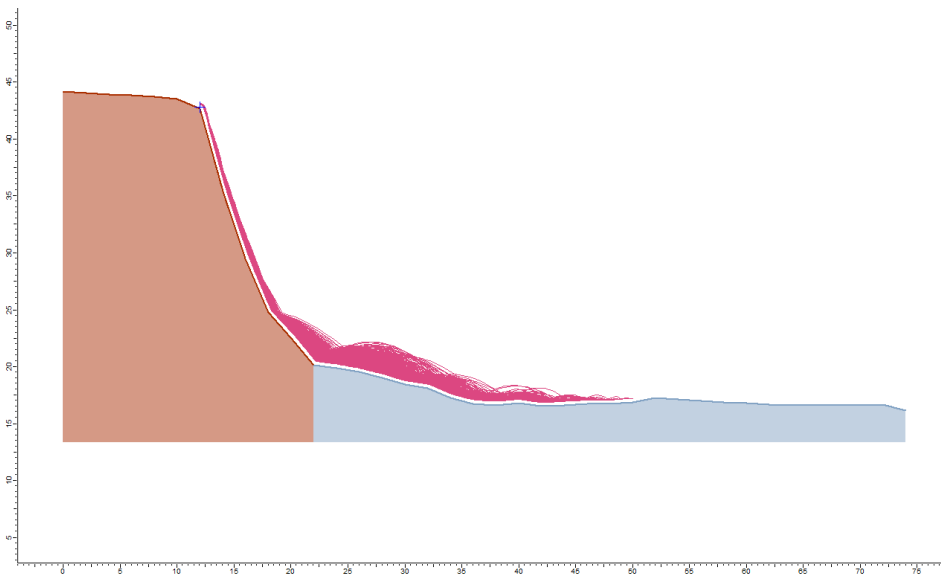
| Profils v2 | distance mesurée(m) | Angle (°) correspondant | Angle (°) retenu | distance correspondante (m) | Angle (°) retenu | distance correspondante (m) |
|------------|---------------------|-------------------------|------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
| P1-1 | 42 | 41,1 | 35 | 49 | 32 | 52,8 |
| P1-2 | 46 | 38,6 | | 51 | | 55,8 |
| P1-3 | 42 | 35,4 | | 42,5 | | 46,5 |
| P2-1 | 47 | 37,7 | 35 | 51,4 | 32 | 56,1 |
| P2-2 | 57 | 35,1 | | 57,3 | | 63,9 |
| P3-1 | 45 | 46,4 | 46 | 45,5 | 43 | 40,6 |
| P3-2 | 32 | 55,3 | | 40,4 | | 44,5 |
| P4-1 | 64 | 41,3 | 41 | 64,5 | 38 | 69,4 |
| P5-1 | 60 | 39,8 | 39 | 61,5 | 36 | 71,4 |
| P6-1 | 45 | 51,8 | 51 | 45,9 | 48 | 48,8 |
| P7-1 | 43 | 42,2 | 42 | 43,2 | 39 | 46,9 |
| P8-1 | 56 | 28,5 | 28 | 56,9 | 25 | 61,8 |
| P9-1 | 46 | 42,3 | 42 | 40,3 | 39 | 50,2 |
| P10-1 | 86 | 44,8 | 37 | 107,9 | 34 | 118,6 |
| P10-2 | 90 | 37,3 | | 91,5 | | 102,3 |
| P10-3 | 75 | 37 | | 76 | | 89,4 |
| P10-4 | 65 | 40,5 | | 72,6 | | 85,5 |
| P10-5 | 72 | 43,2 | | 94,5 | | 104 |
| P10-6 | 36 | 67,4 | | 91,4 | | 101,4 |
| P11-1 | 70 | 32,7 | 32 | 75 | 29 | 96,1 |
| P12-1 | 50 | 34,3 | 34 | 50,4 | 31 | 60,7 |
| P12-2 | 54 | 35,1 | | 56,3 | | 62,1 |
| P13-1 | 30 | 28,1 | 28 | 30 | 25 | 31,4 |
| P14-1 | 26 | 44,1 | 38 | 30,7 | 30 | 40 |
| P14-2 | 32 | 42,7 | | 34,1 | | 39,5 |
| P14-3 | 33 | 38,4 | | 33,3 | | 41,4 |
| P15-1 | 26 | 42 | 35 | 31,6 | 28 | 41 |
| P15-2 | 38 | 35,4 | | 38,4 | | 47,7 |
| P16-1 | 16 | 35,4 | 35 | 16,1 | 28 | 32,4 |
| P16-2 | 27 | 42,3 | | 34,2 | | 43,8 |

Annexe II – Profils caractéristiques

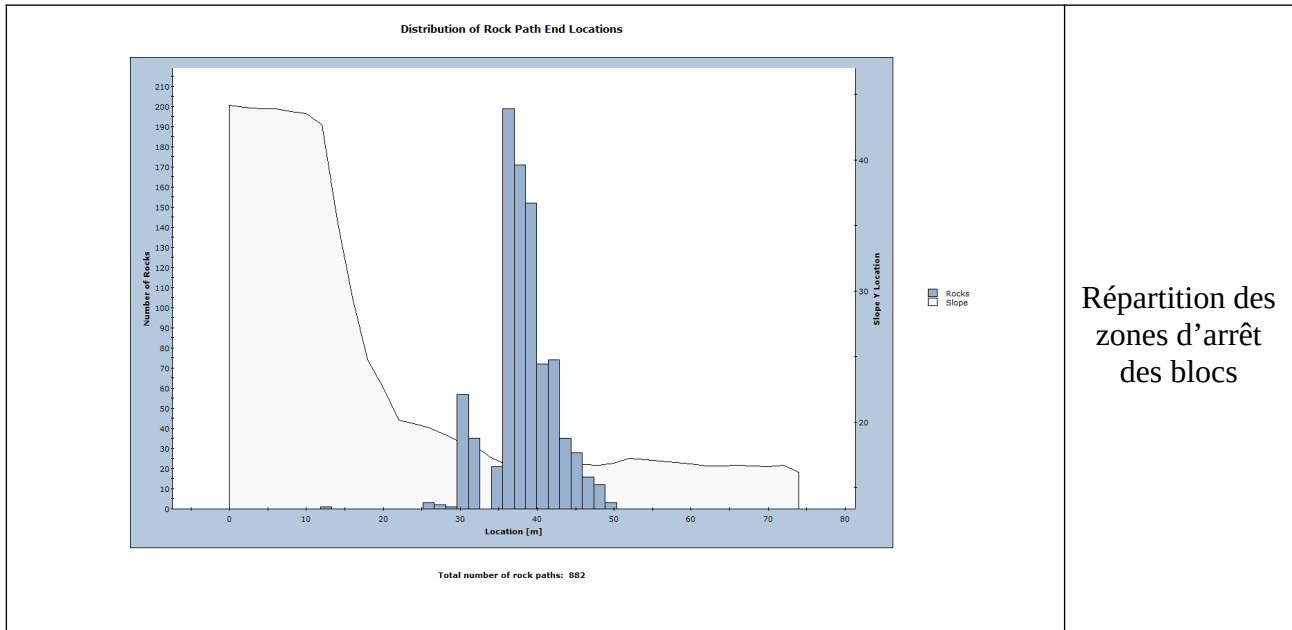
Profil 1-1



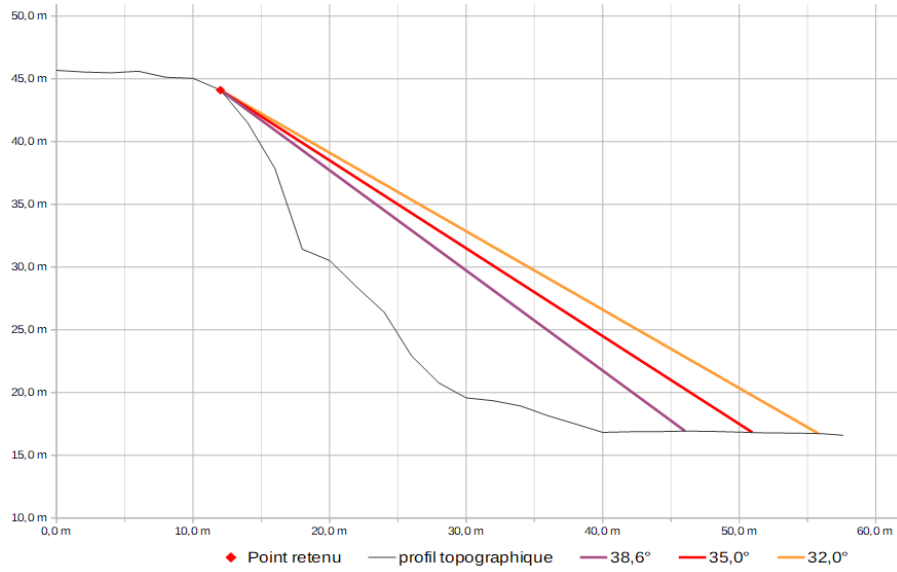
Angles de ligne d'énergie



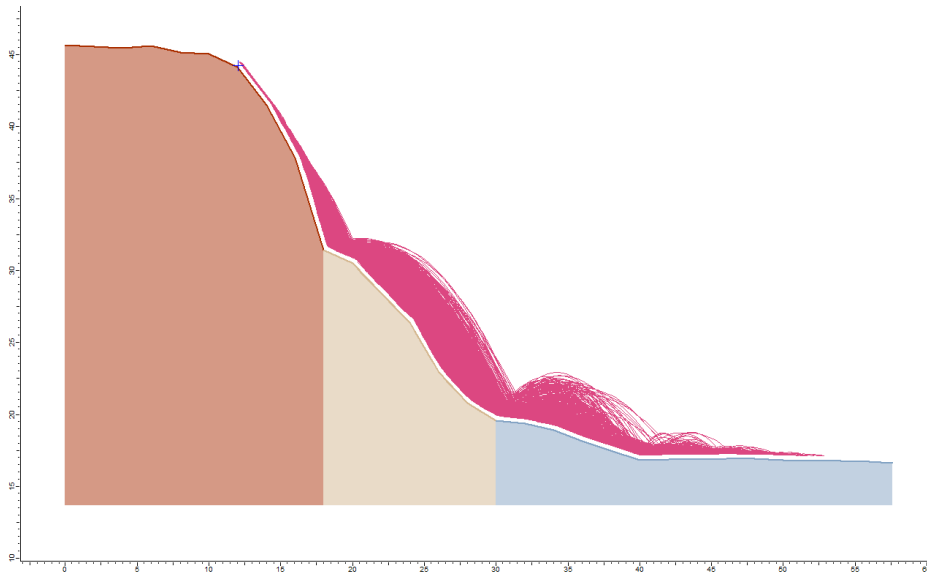
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



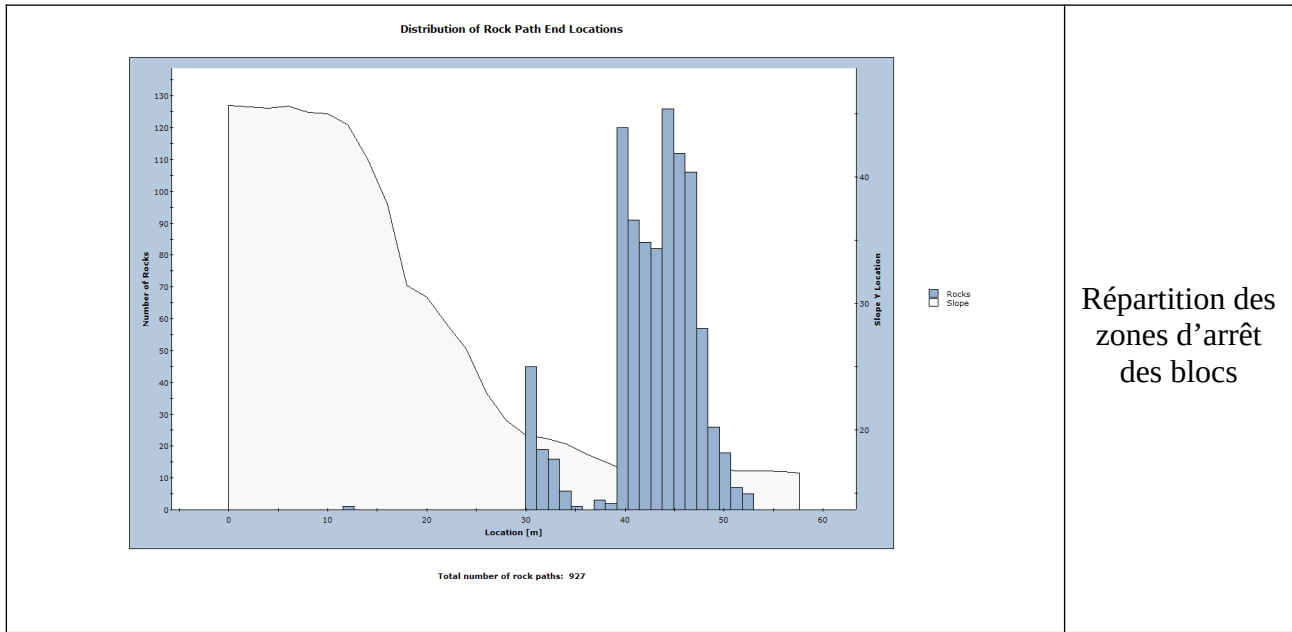
Profil 1-2



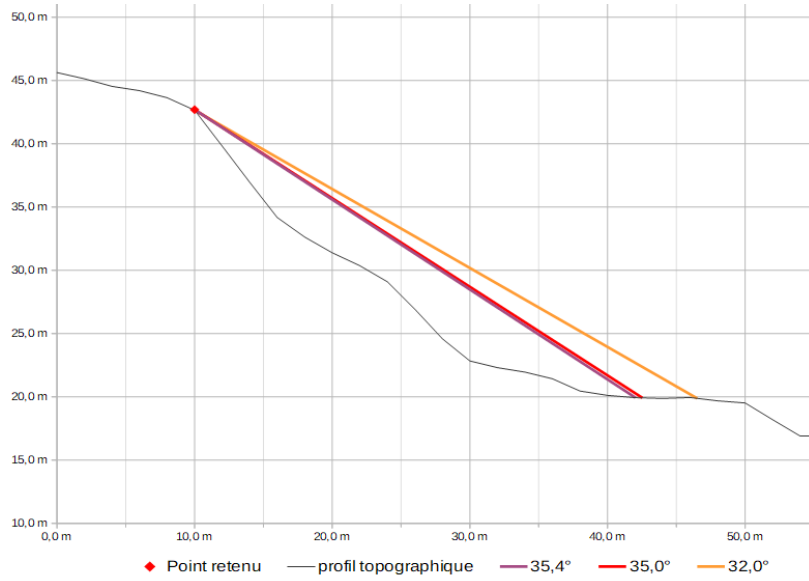
Angles de ligne d'énergie



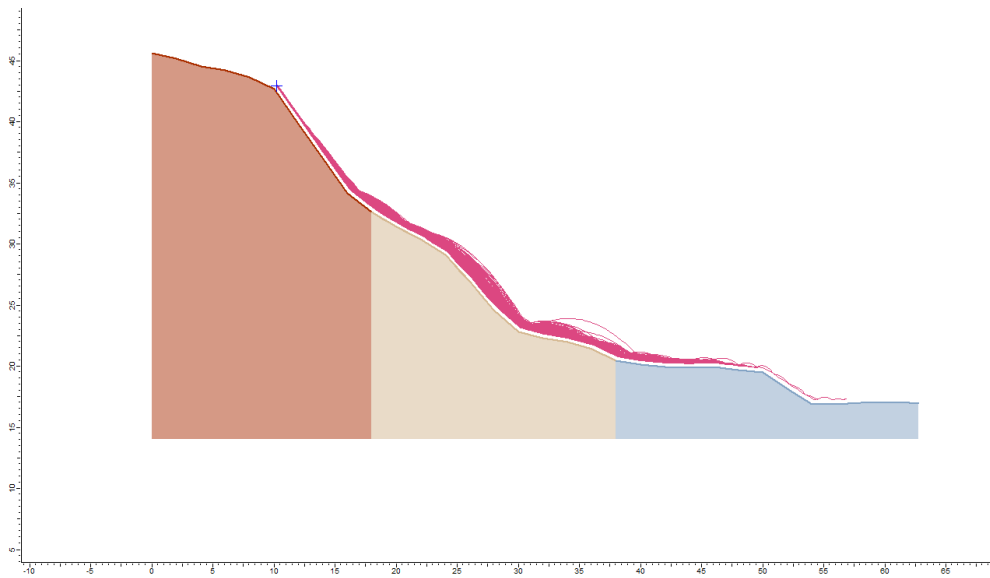
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



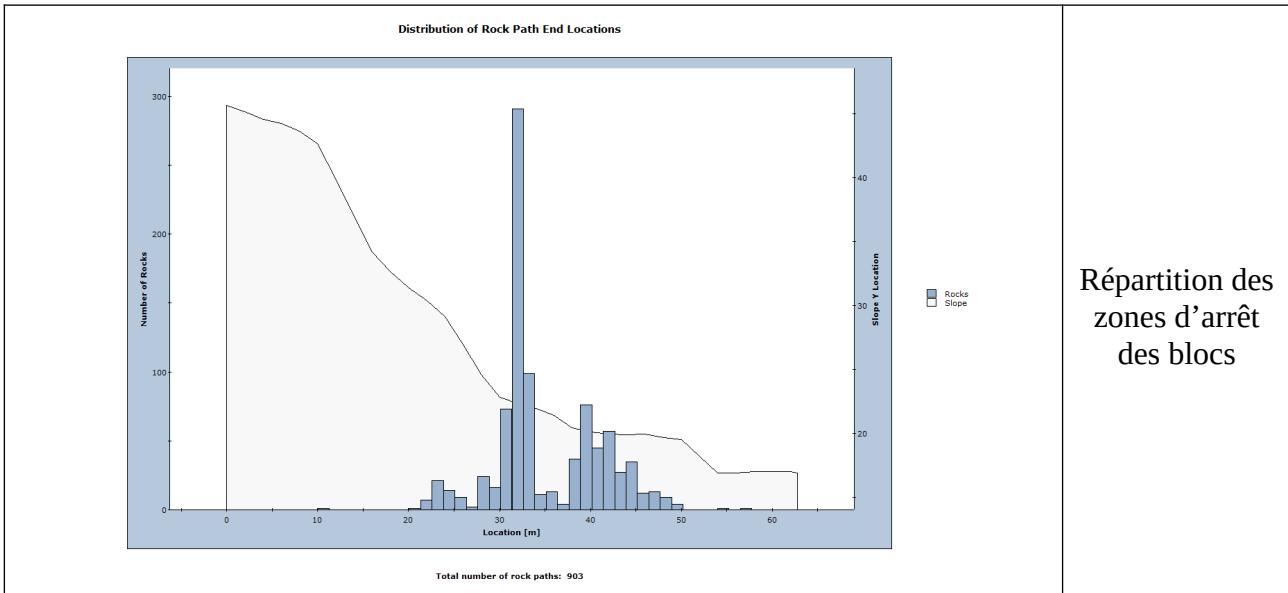
Profil 1-3



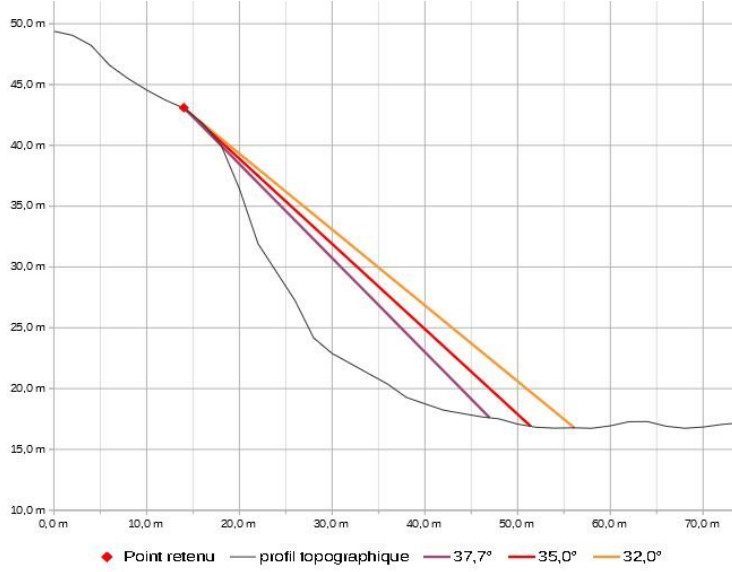
Angles de ligne d'énergie



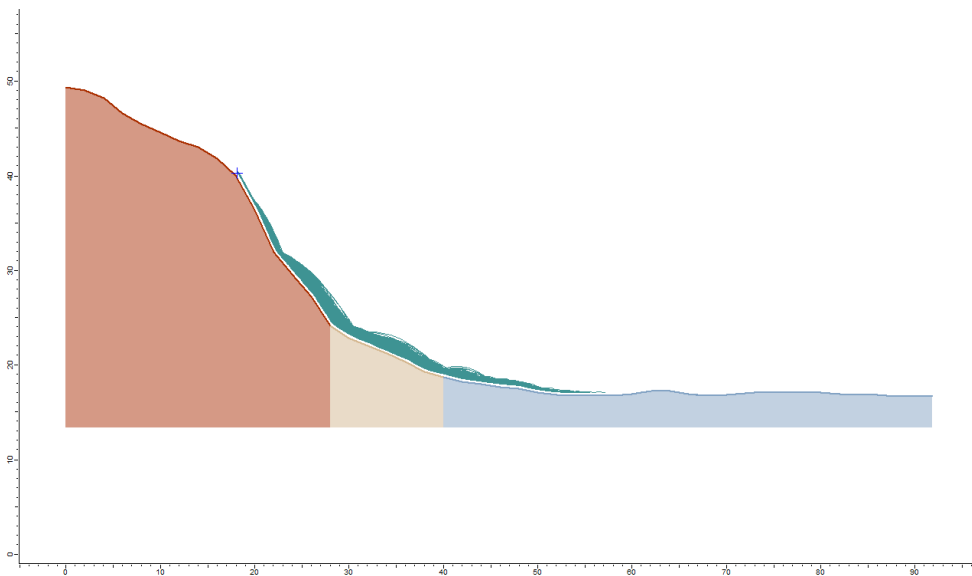
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



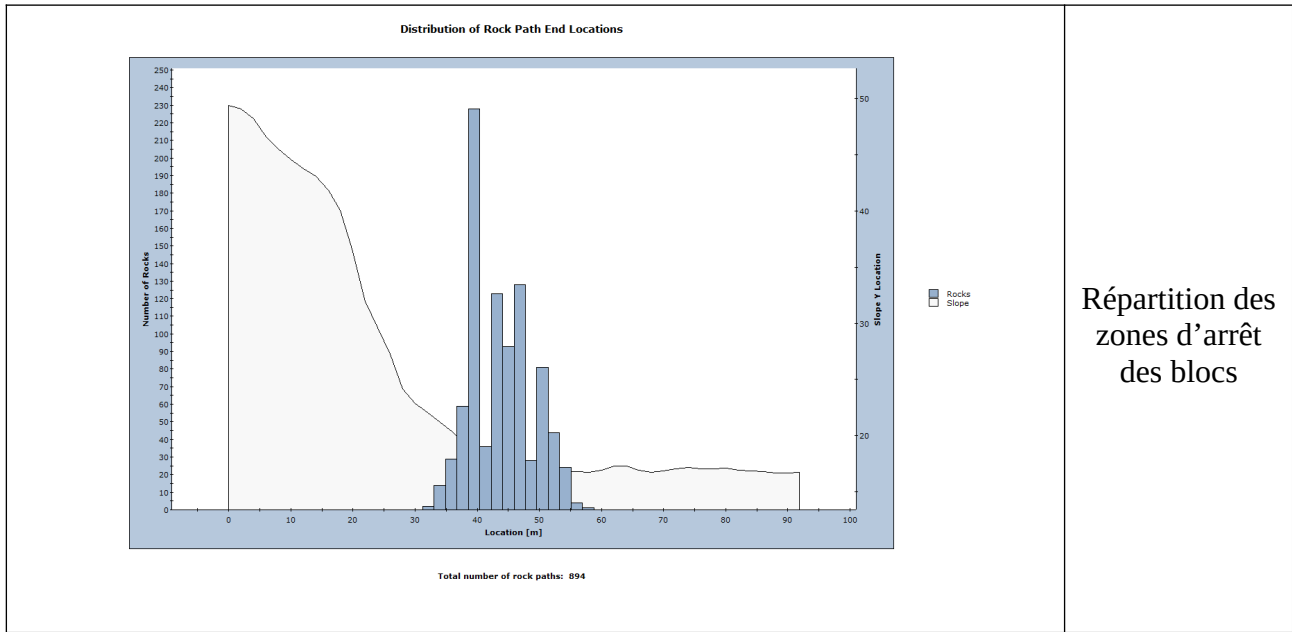
Profil 2-1



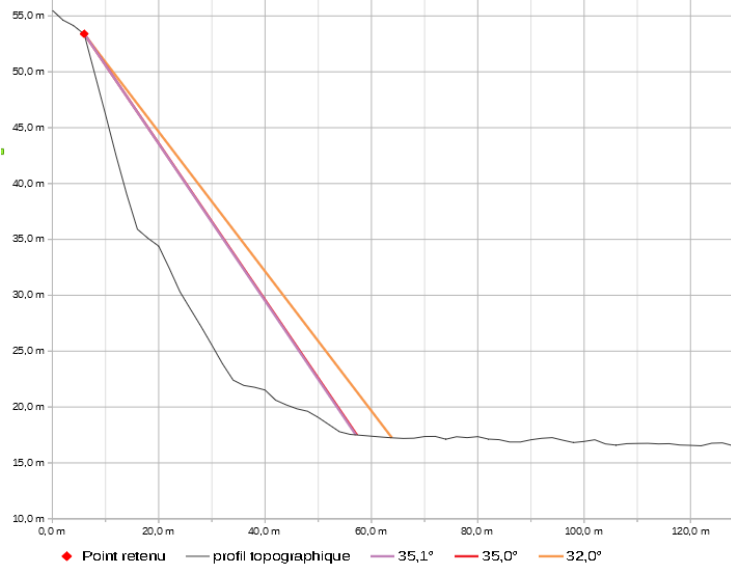
Angles de ligne d'énergie



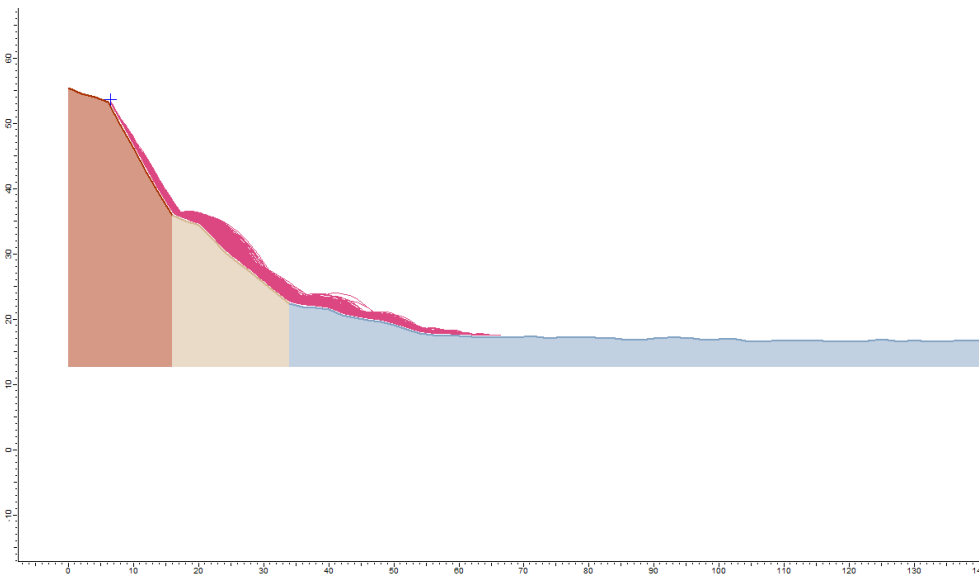
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



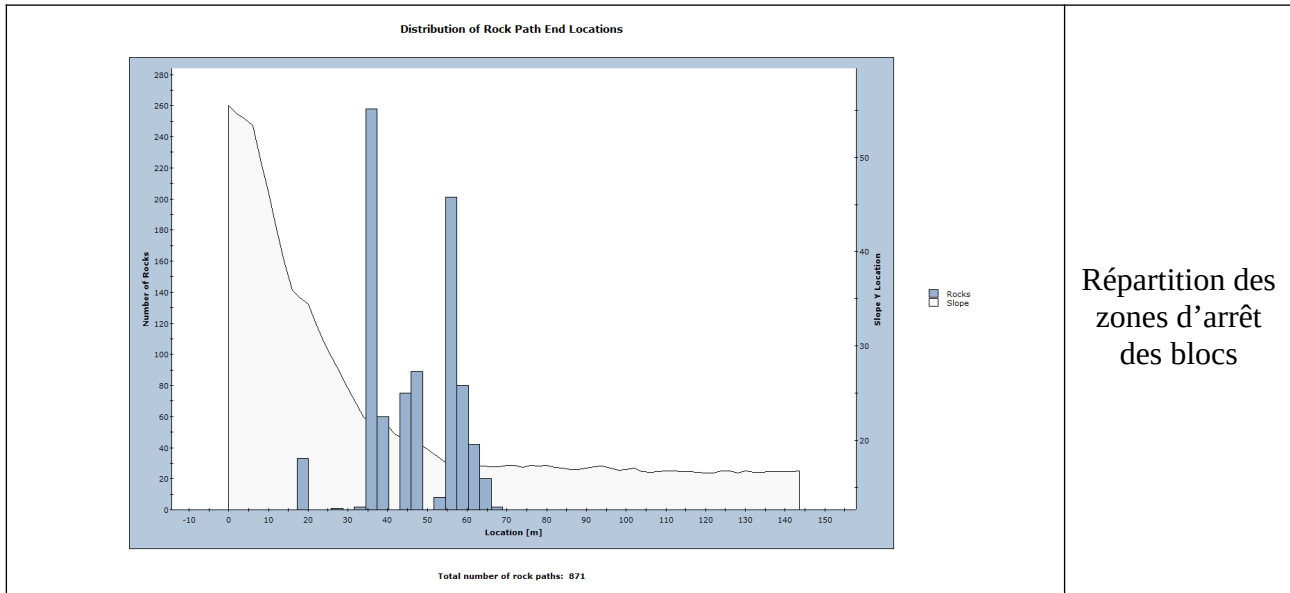
Profil 2-2



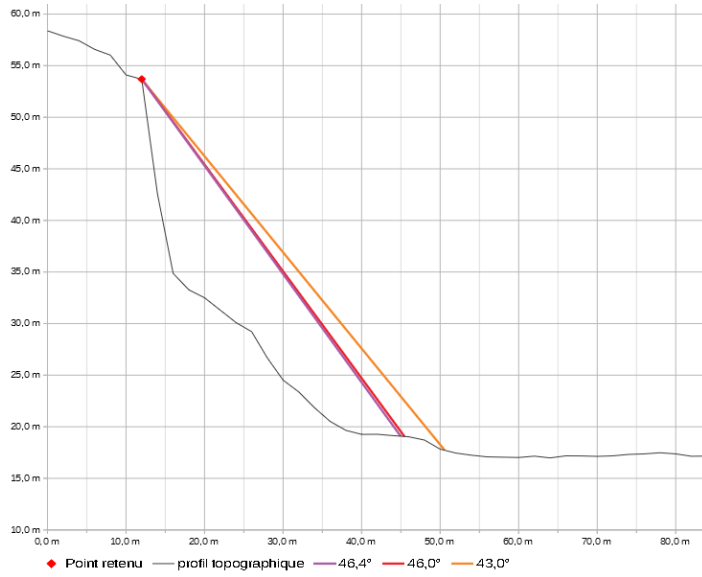
Angles de ligne d'énergie



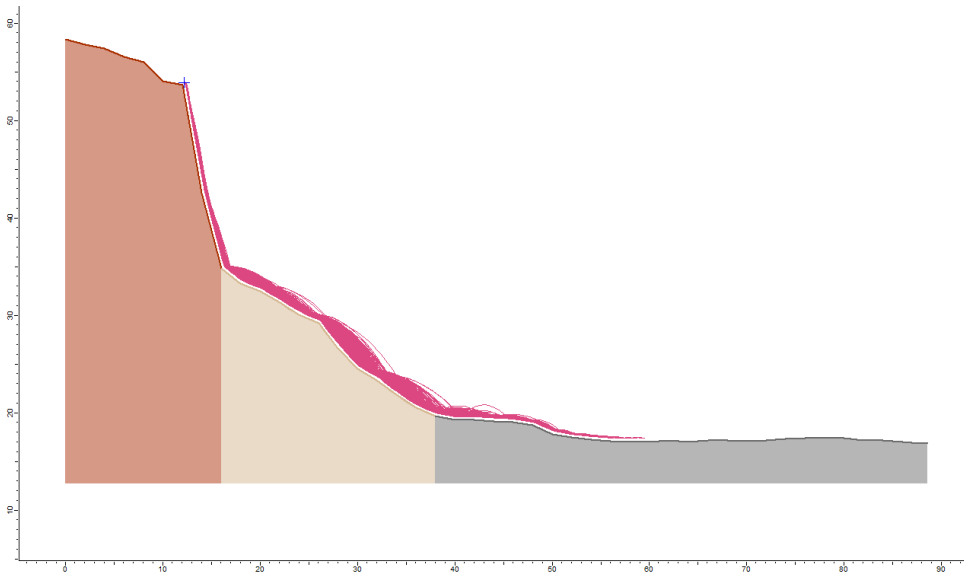
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



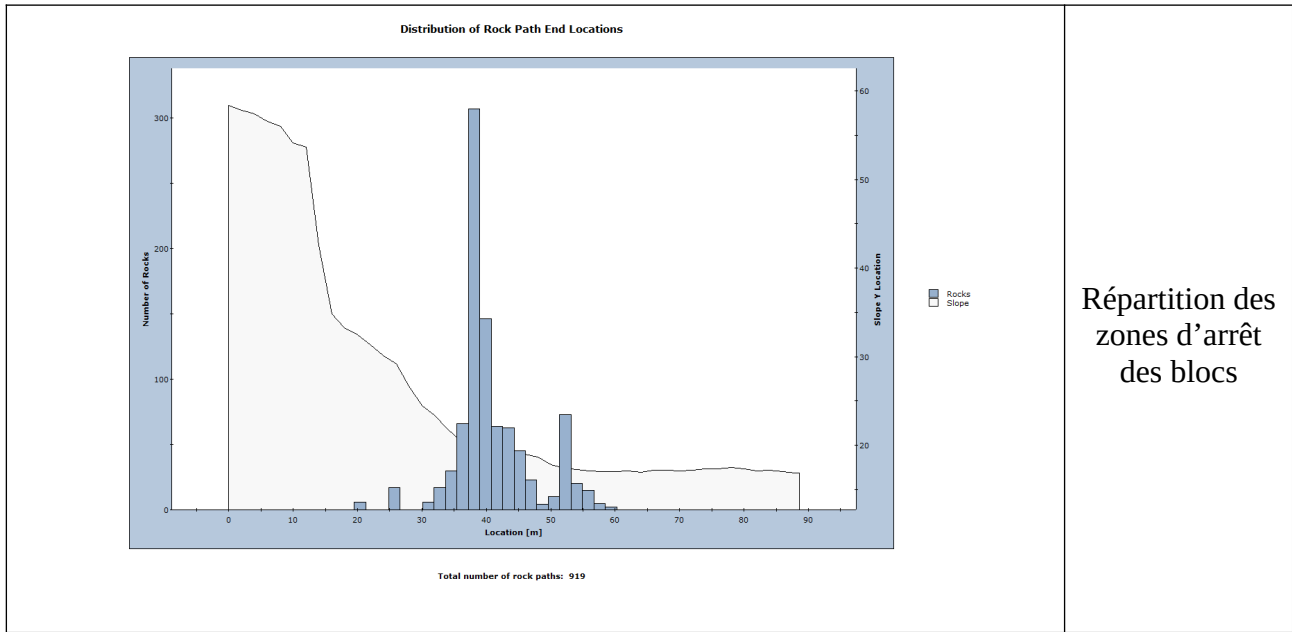
Profil 3-1



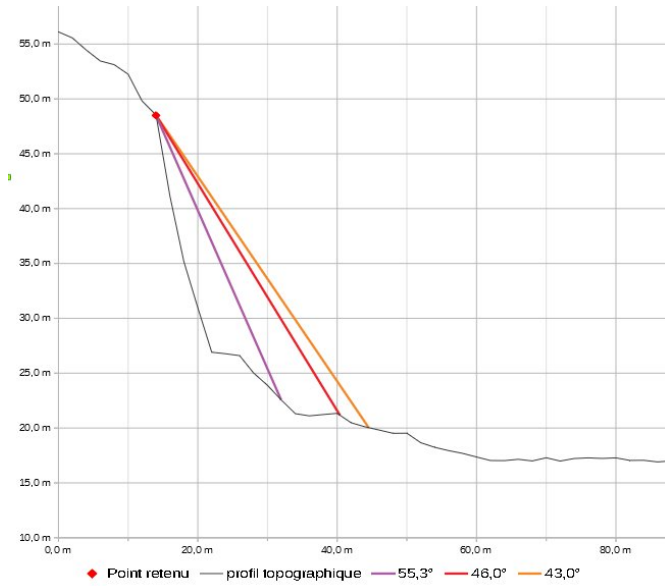
Angles de ligne d'énergie



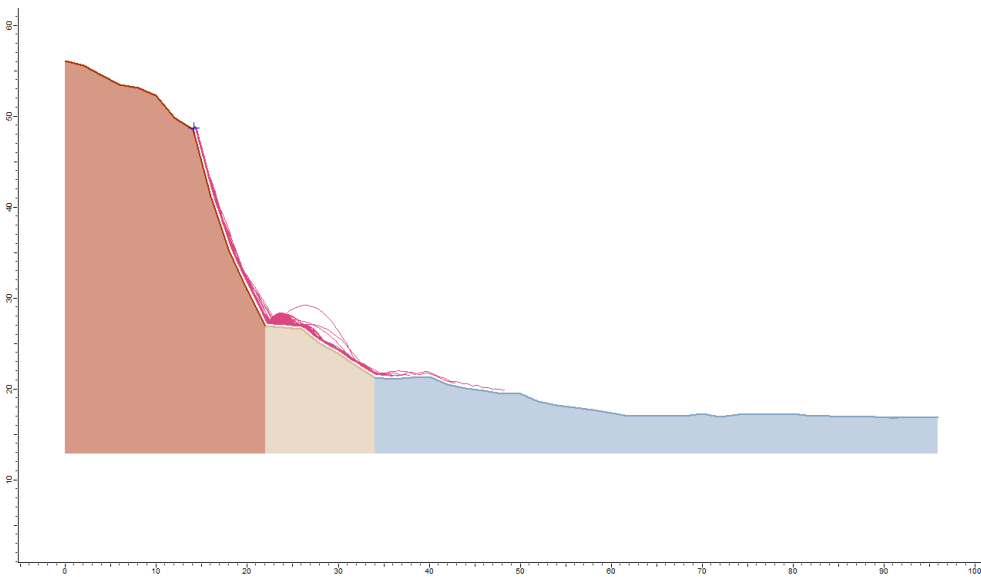
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



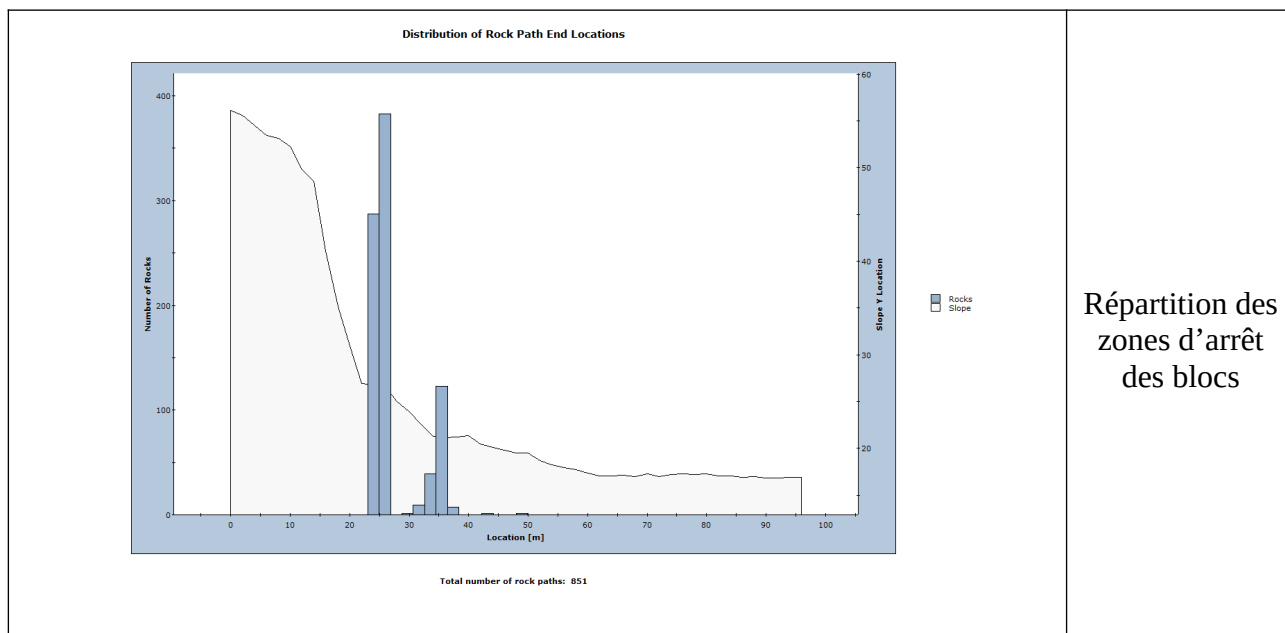
Profil 3-2



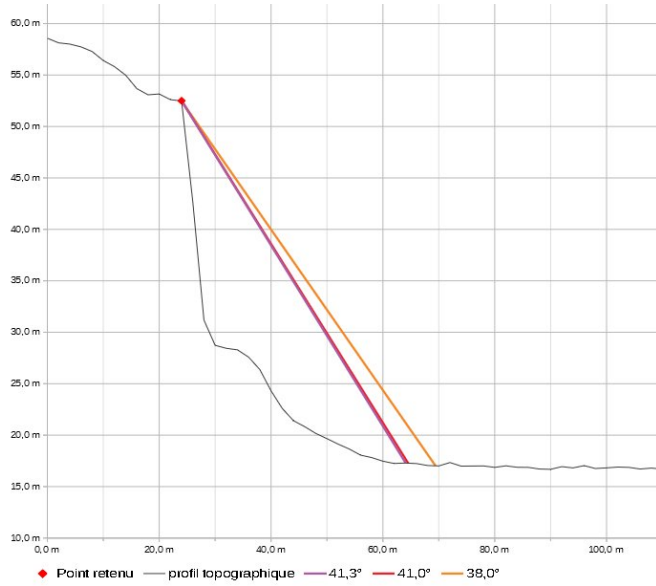
Angles de ligne d'énergie



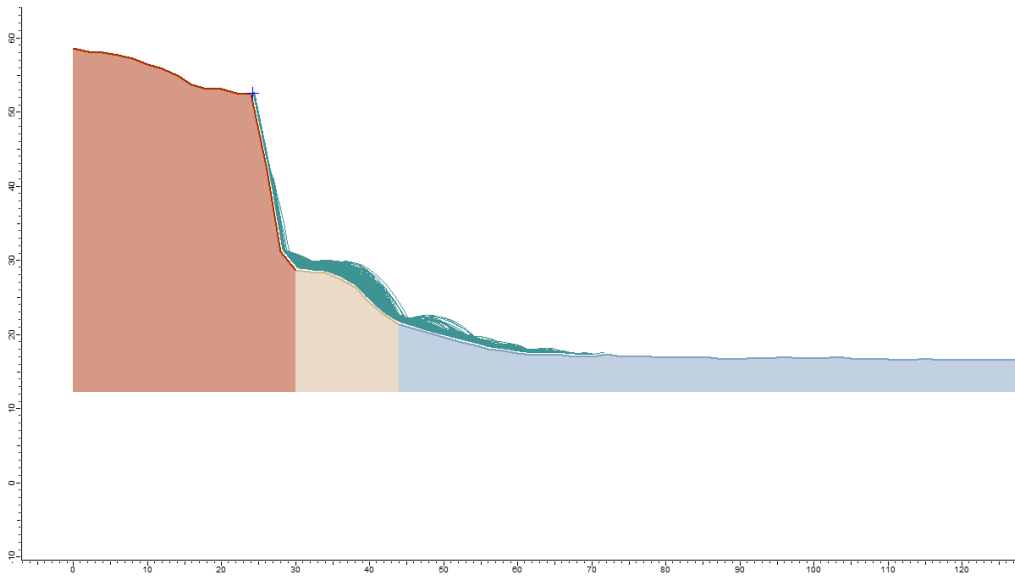
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



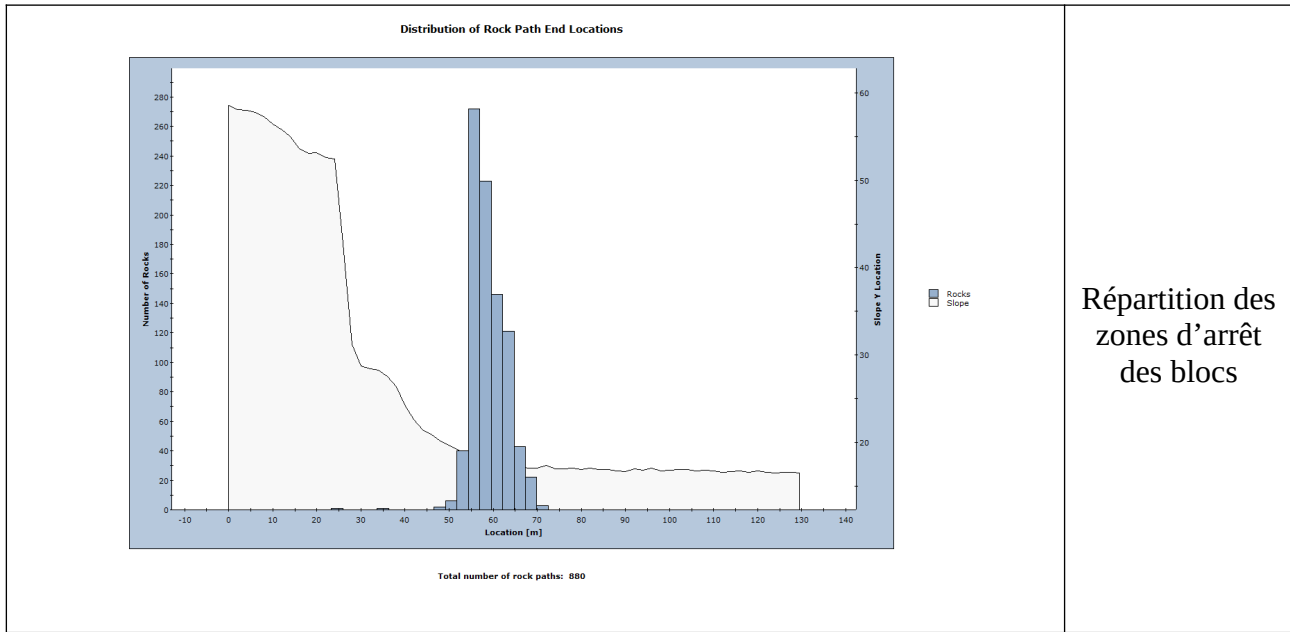
Profil 4-1



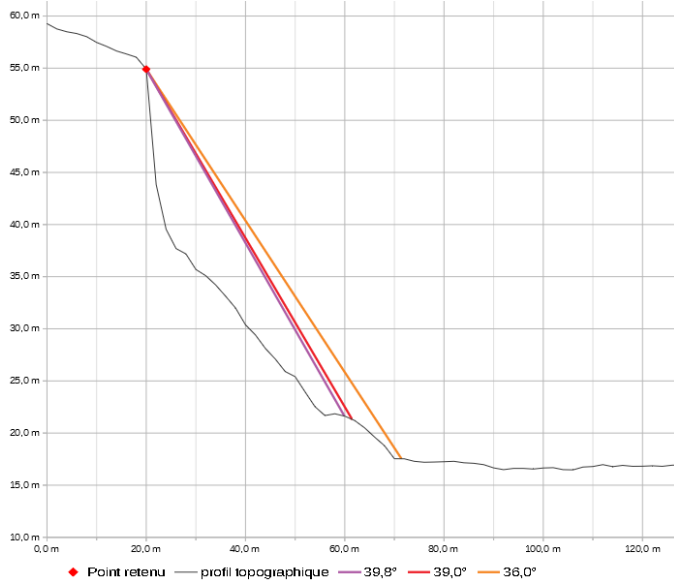
Angles de ligne d'énergie



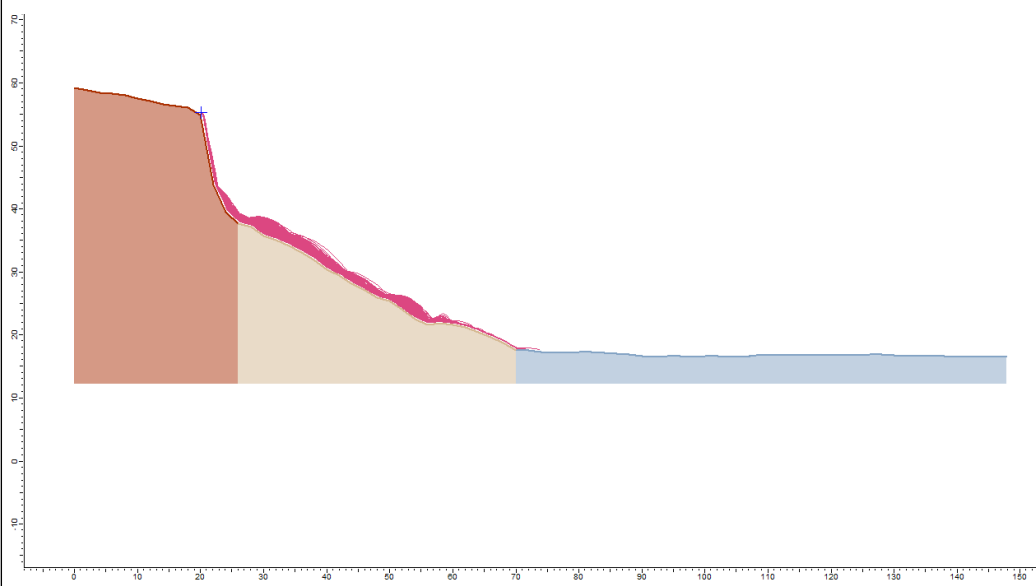
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



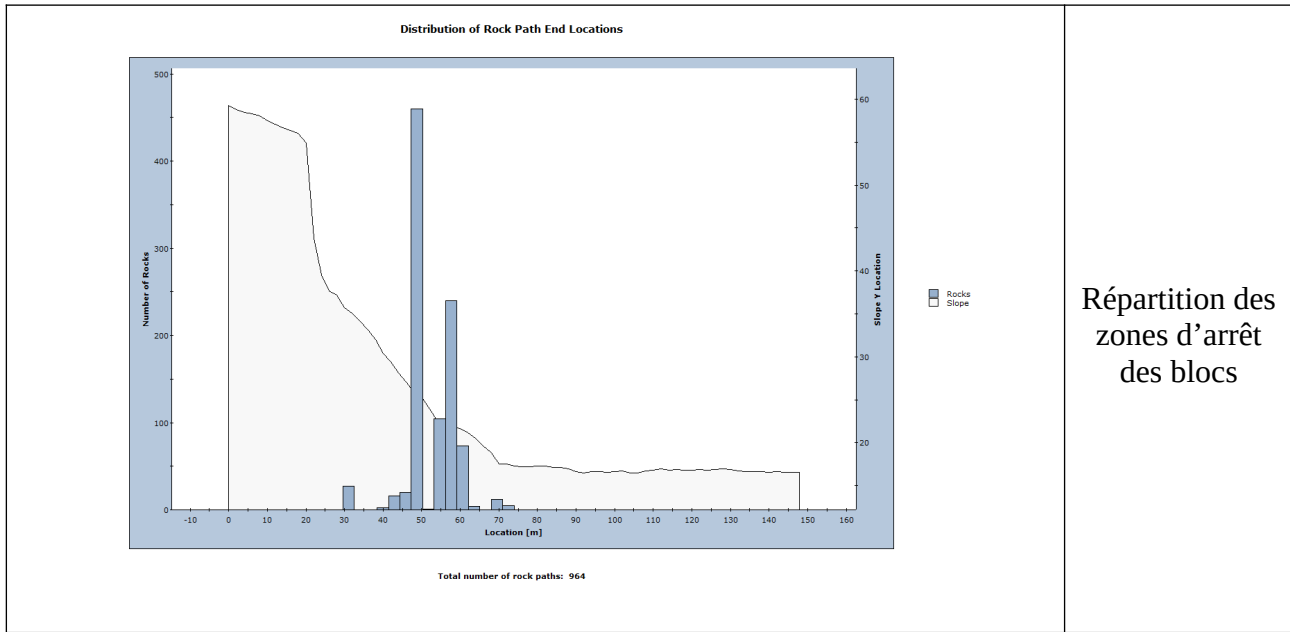
Profil 5-1



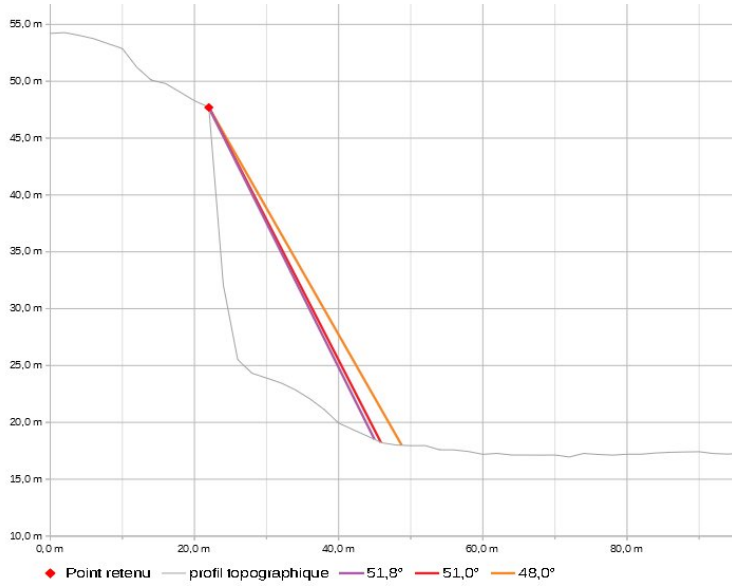
Angles de ligne d'énergie



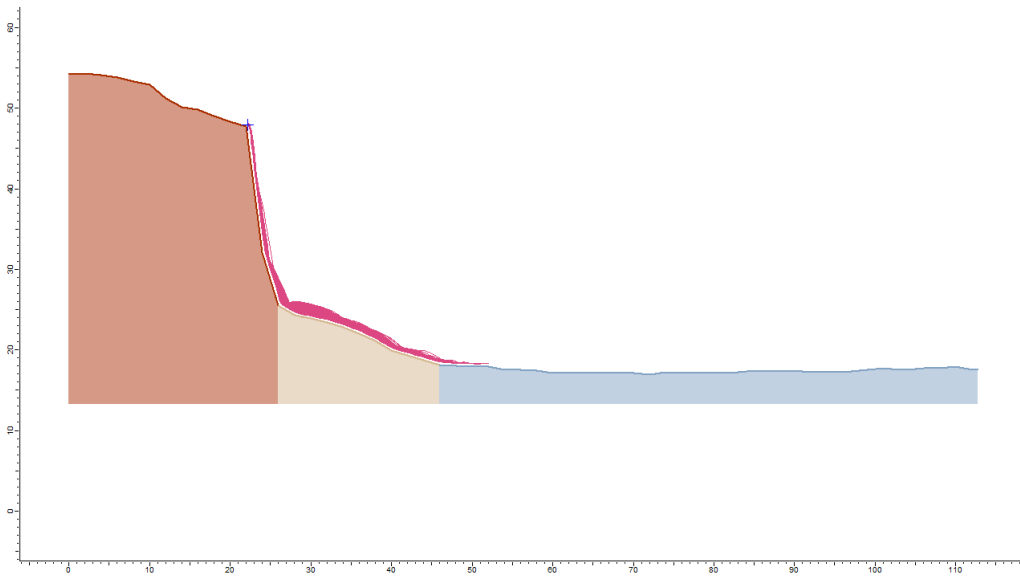
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



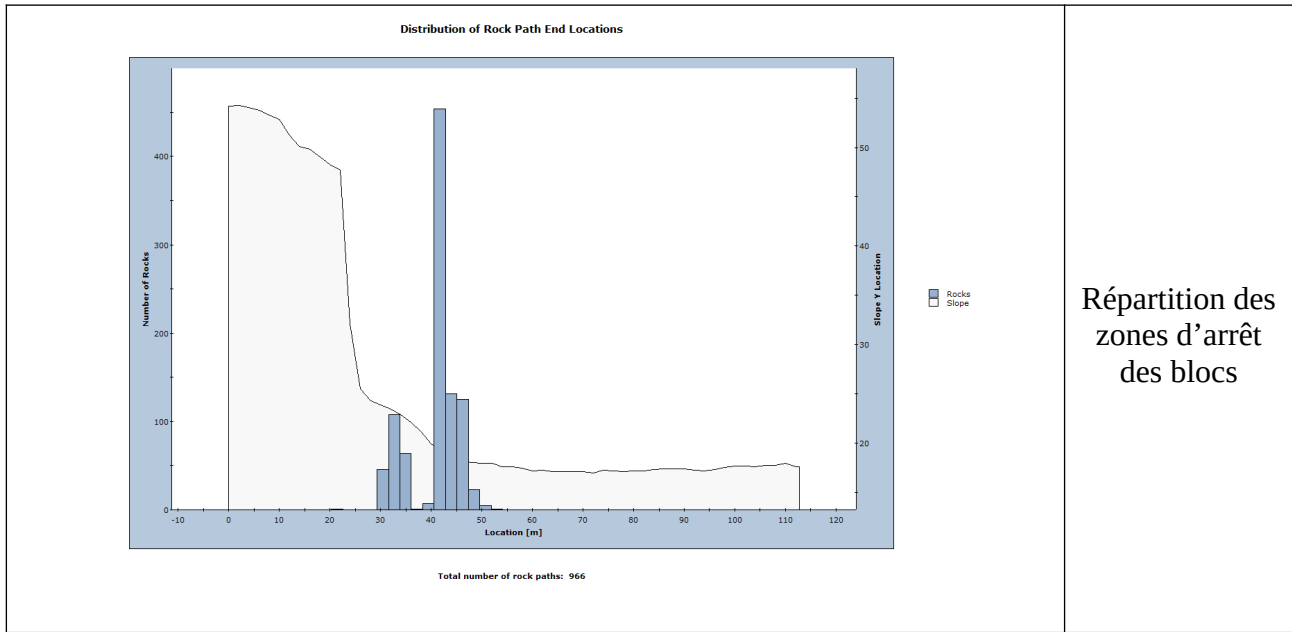
Profil 6-1



Angles de ligne d'énergie



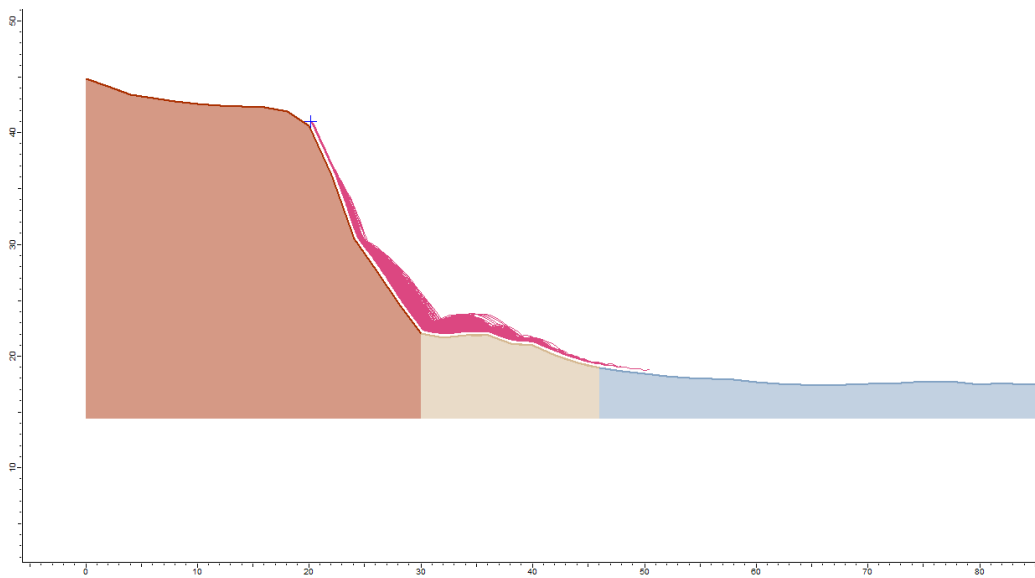
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



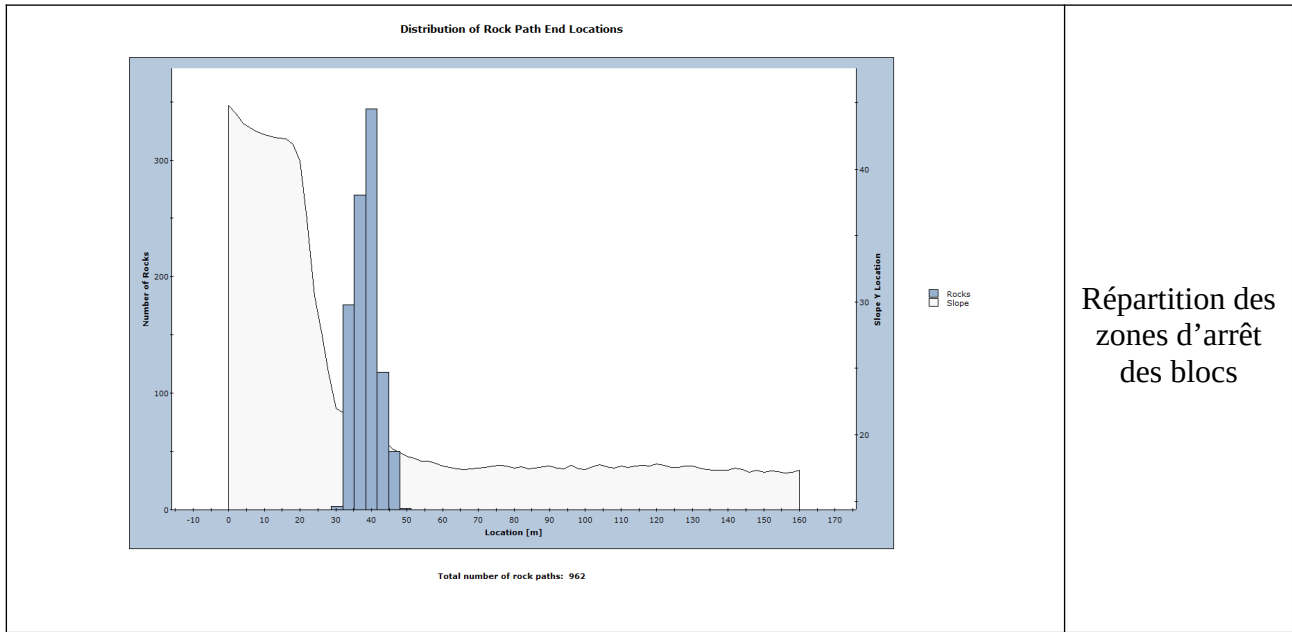
Profil 7-1



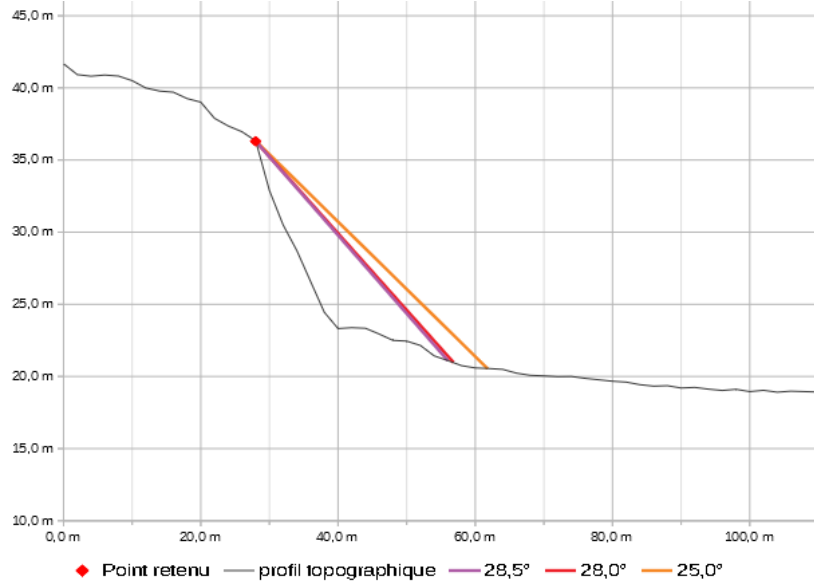
Angles de ligne d'énergie



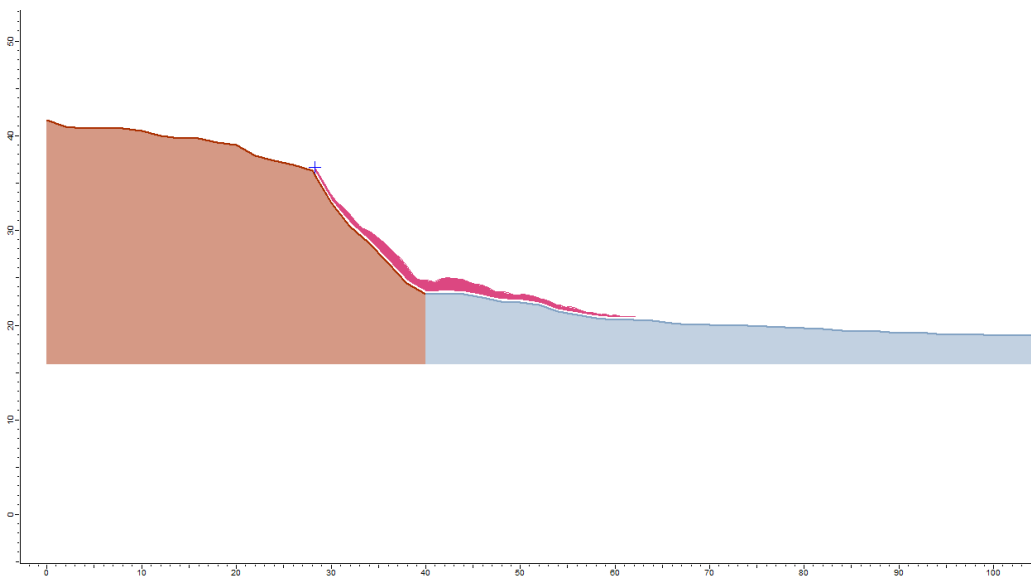
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



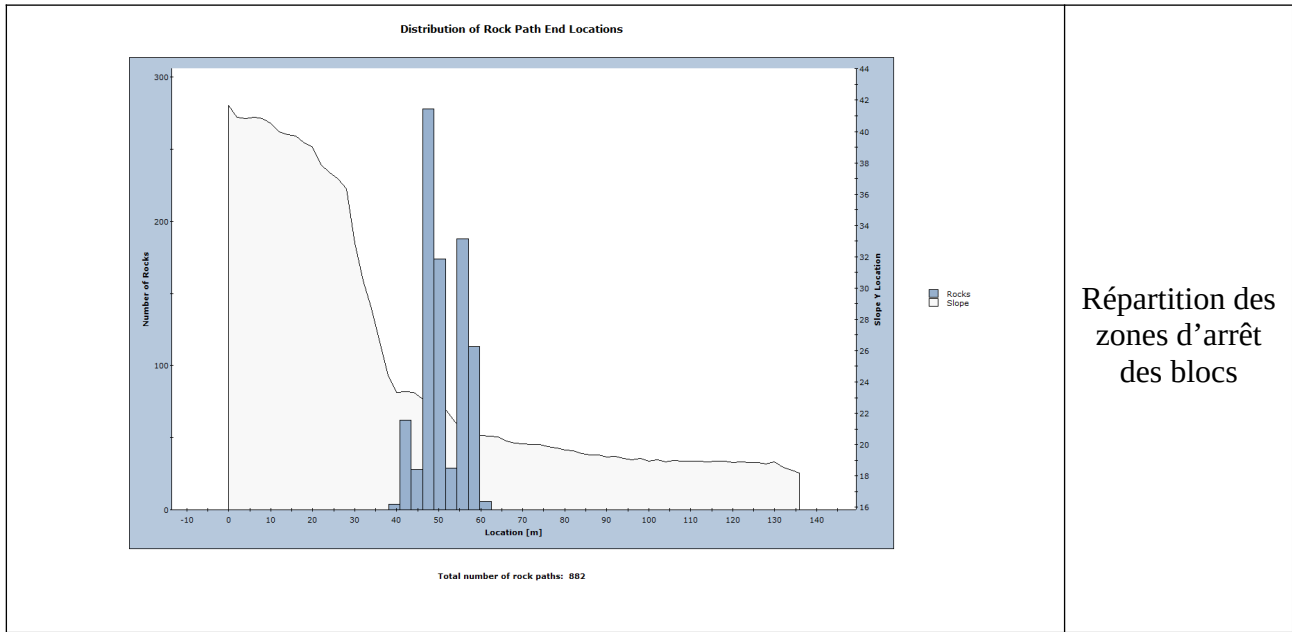
Profil 8-1



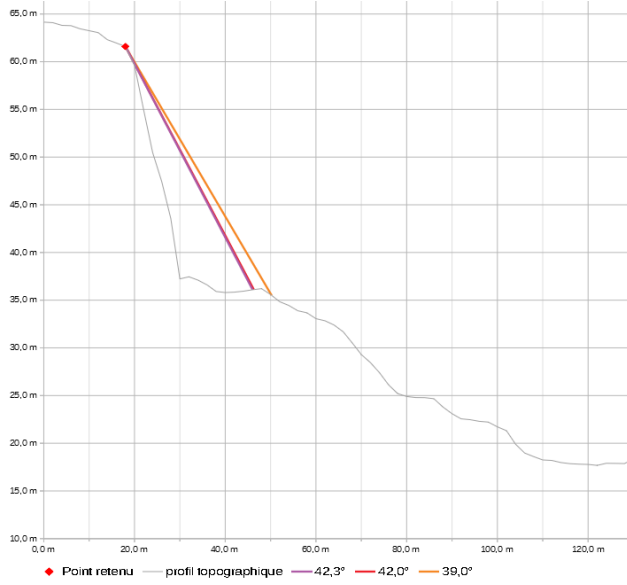
Angles de ligne d'énergie



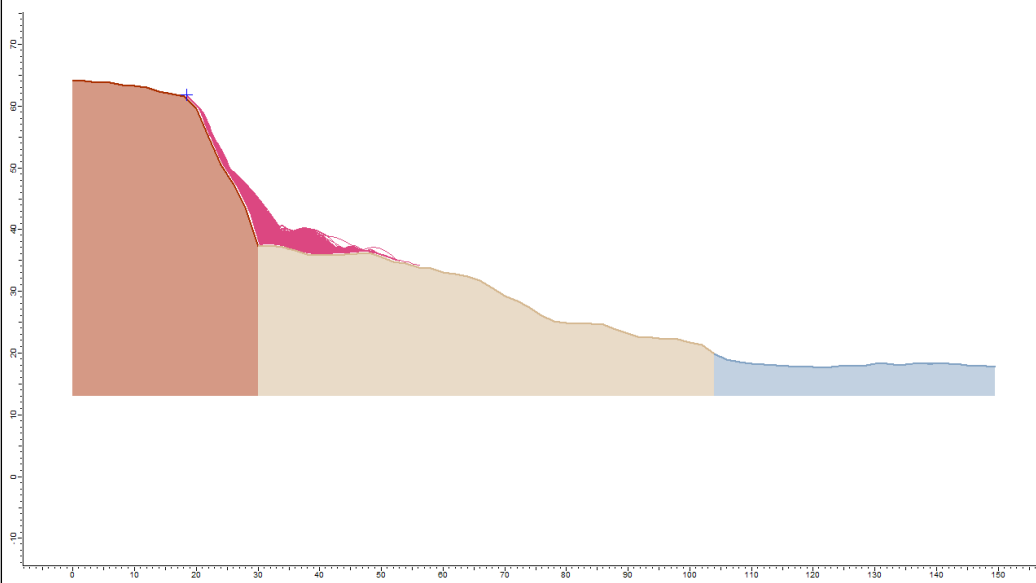
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



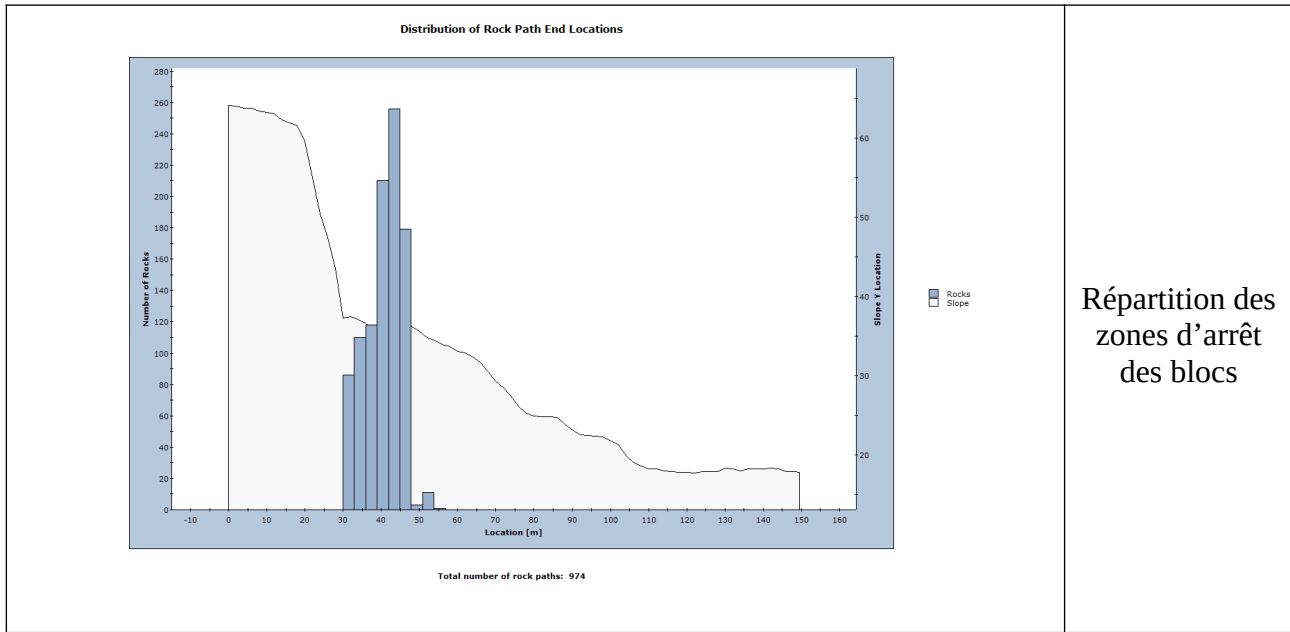
Profil 9-1



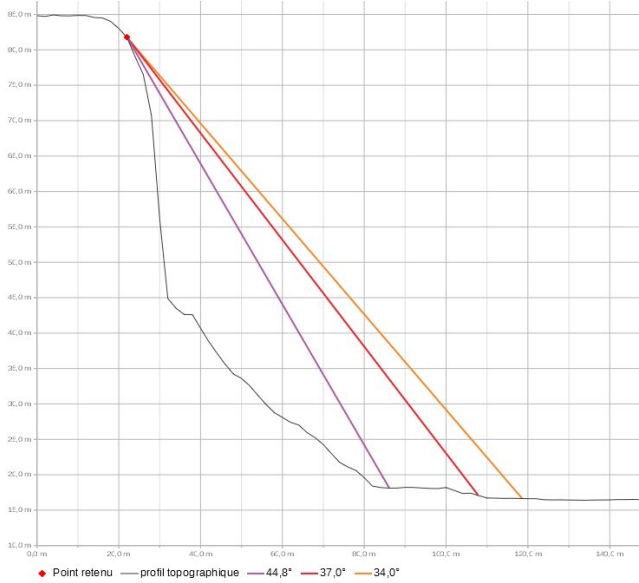
Angles de ligne d'énergie



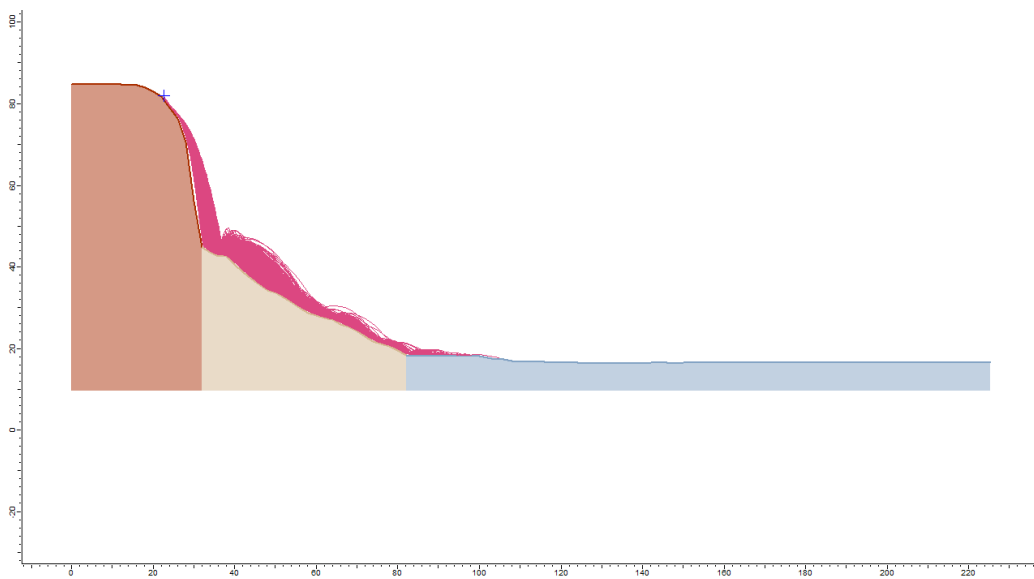
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



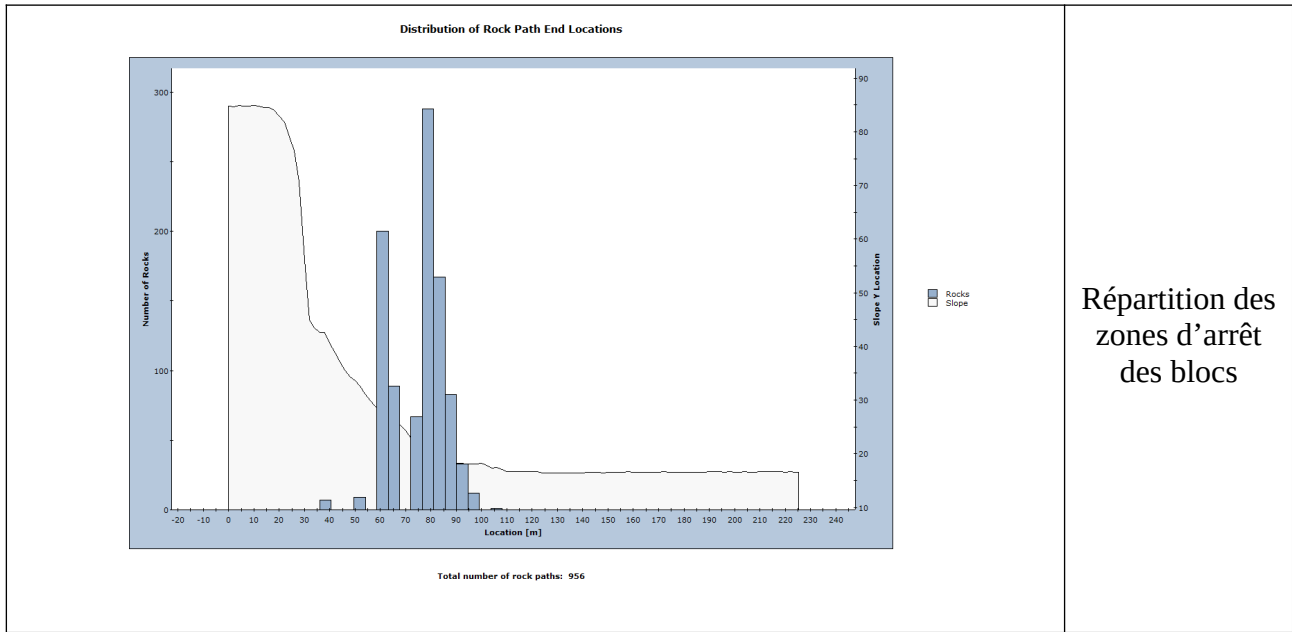
Profil 10-1



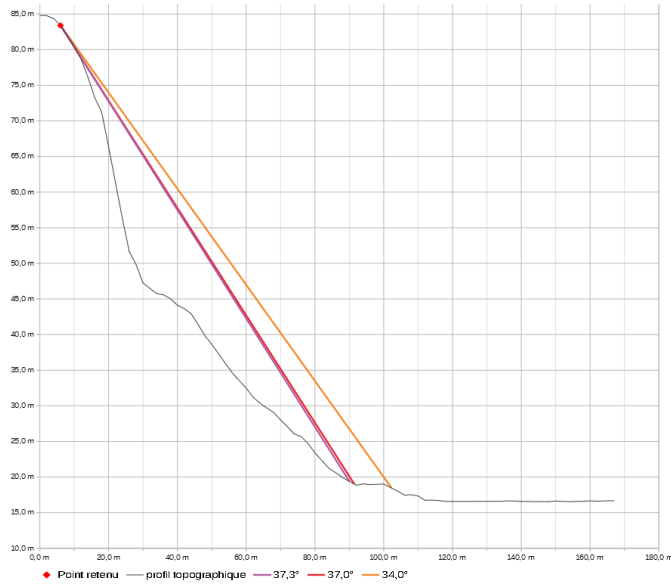
Angles de ligne d'énergie



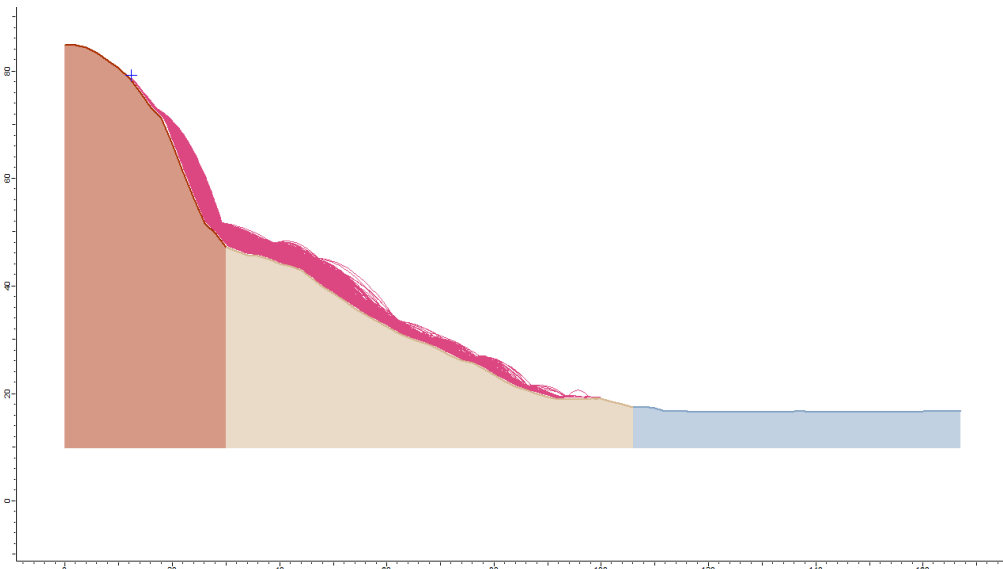
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



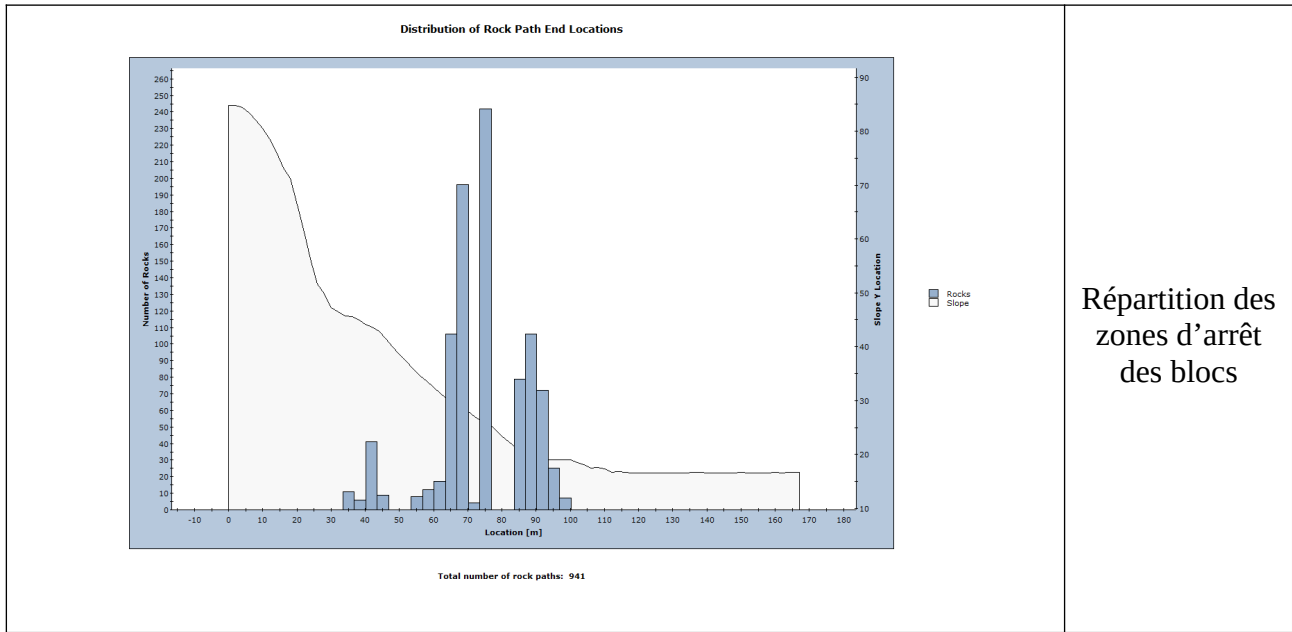
Profil 10-2



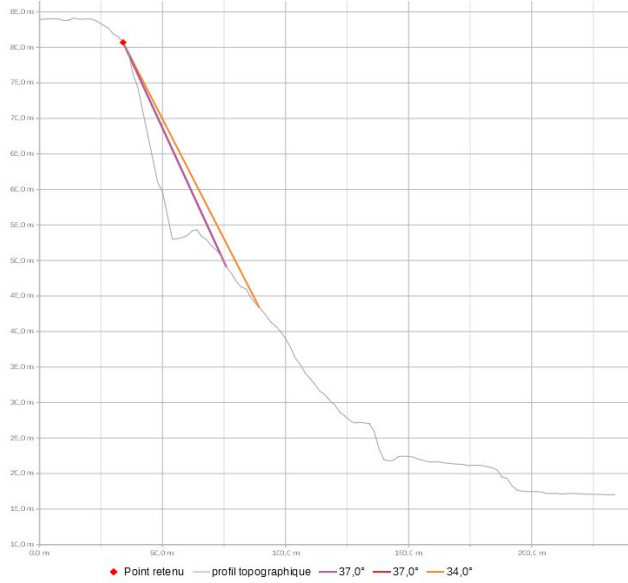
Angles de ligne d'énergie



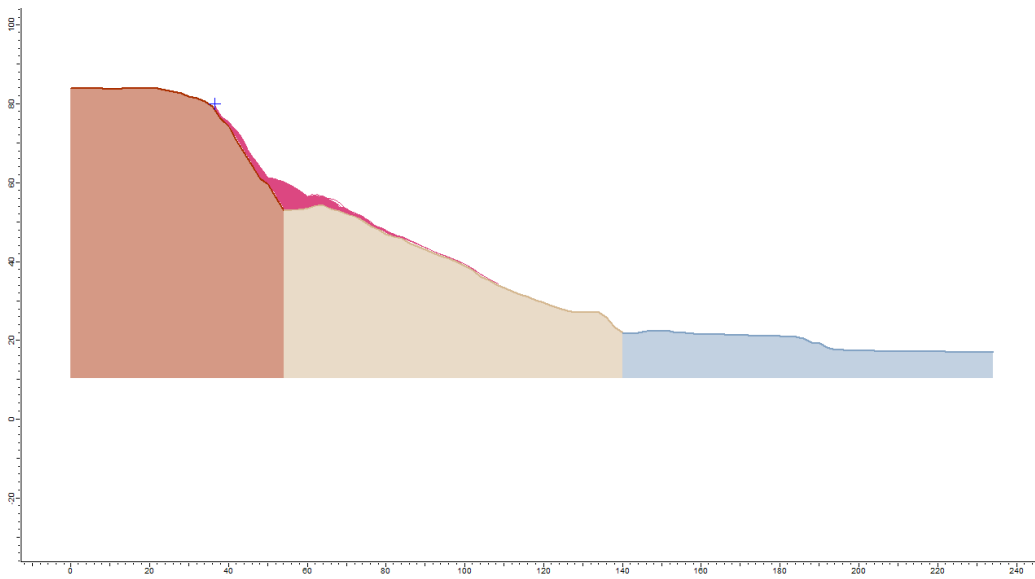
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



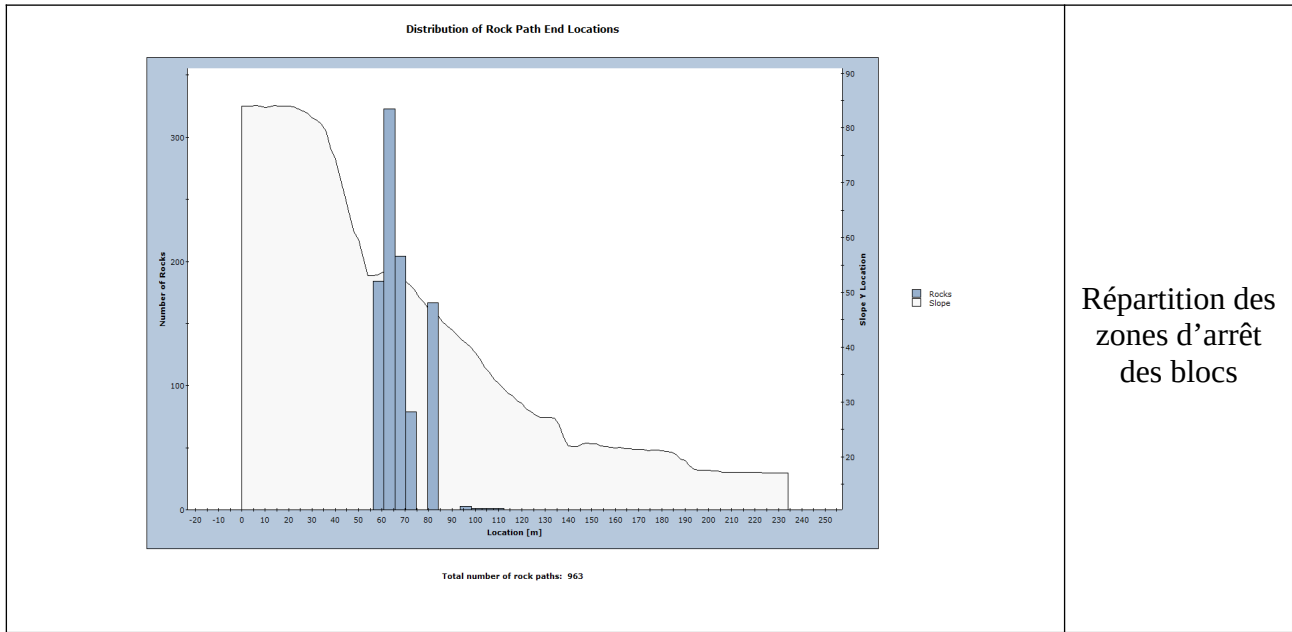
Profil 10-3



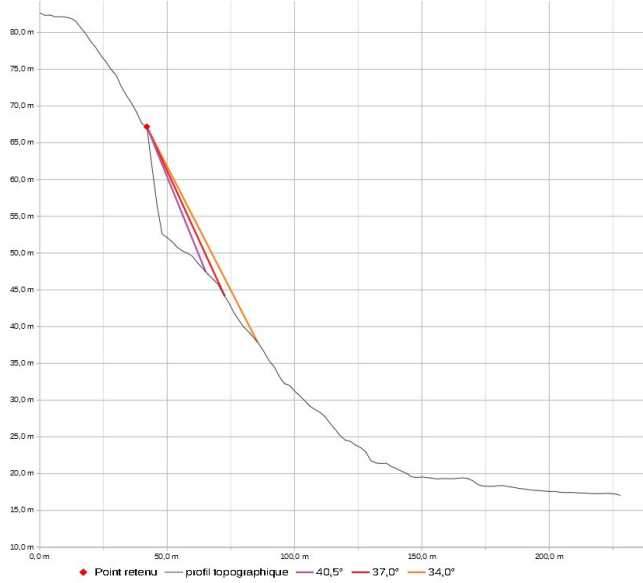
Angles de ligne d'énergie



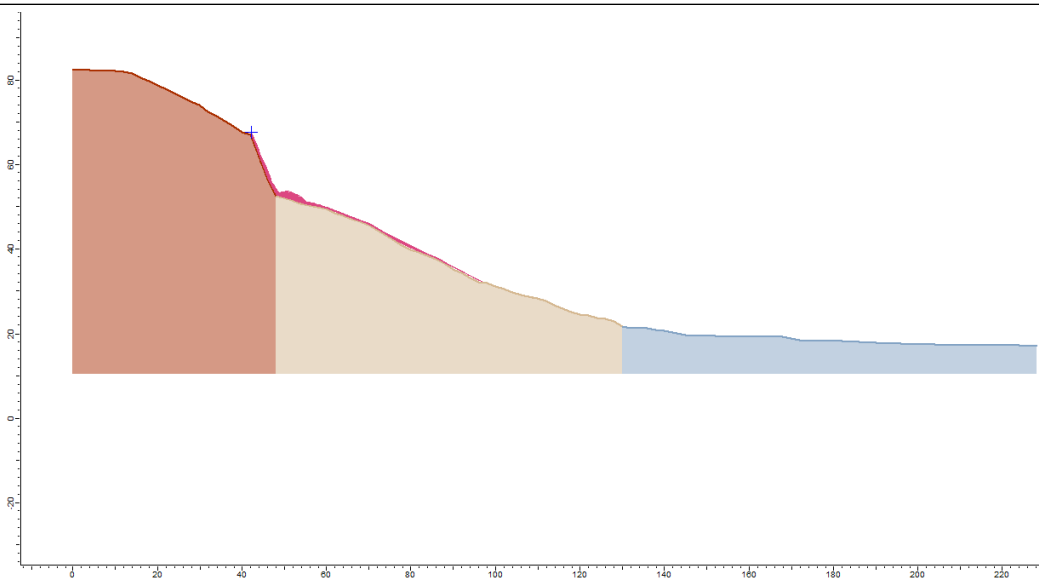
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



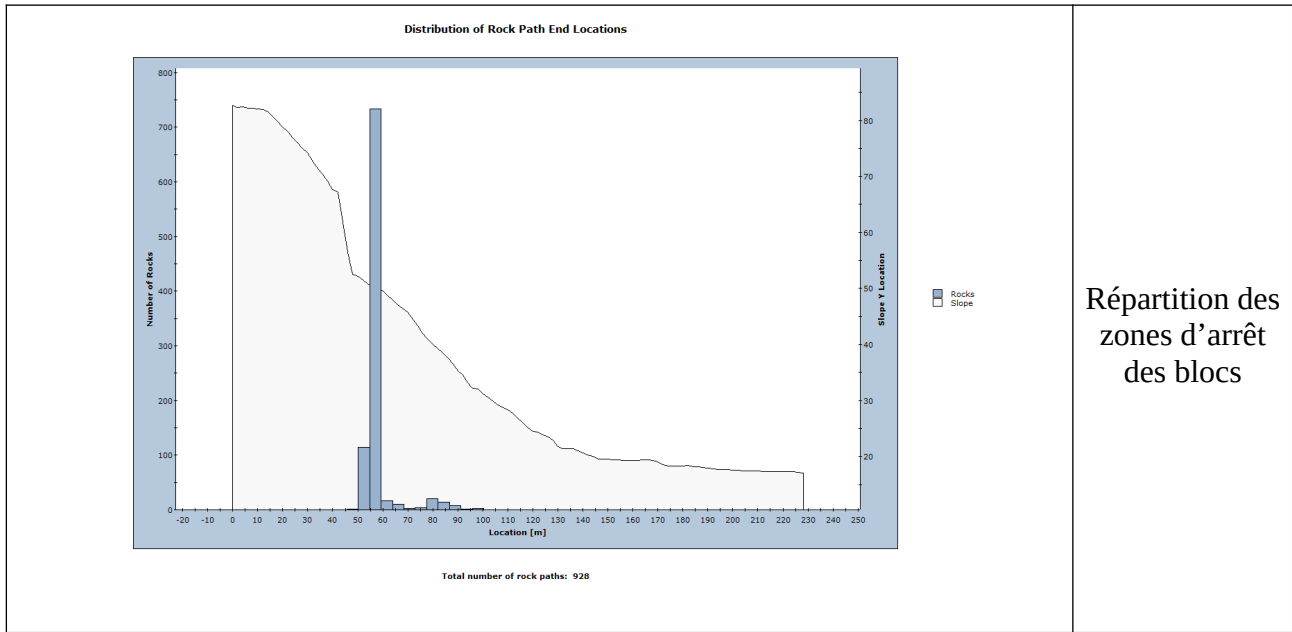
Profil 10-4



Angles de ligne d'énergie

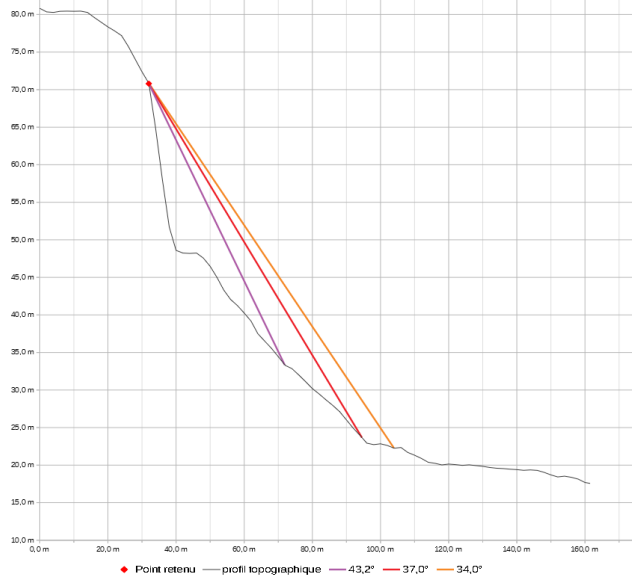


Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)

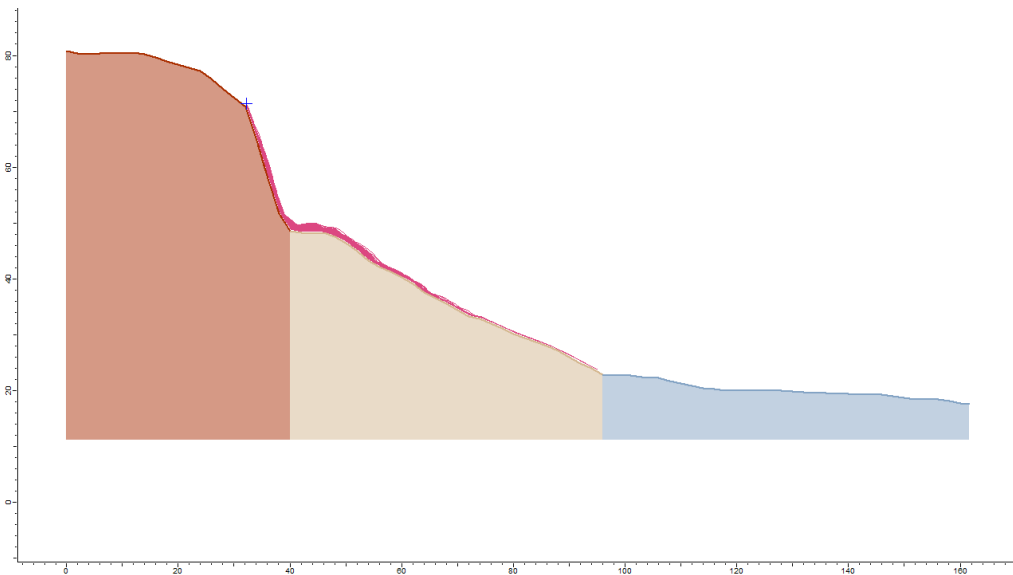


Répartition des zones d'arrêt des blocs

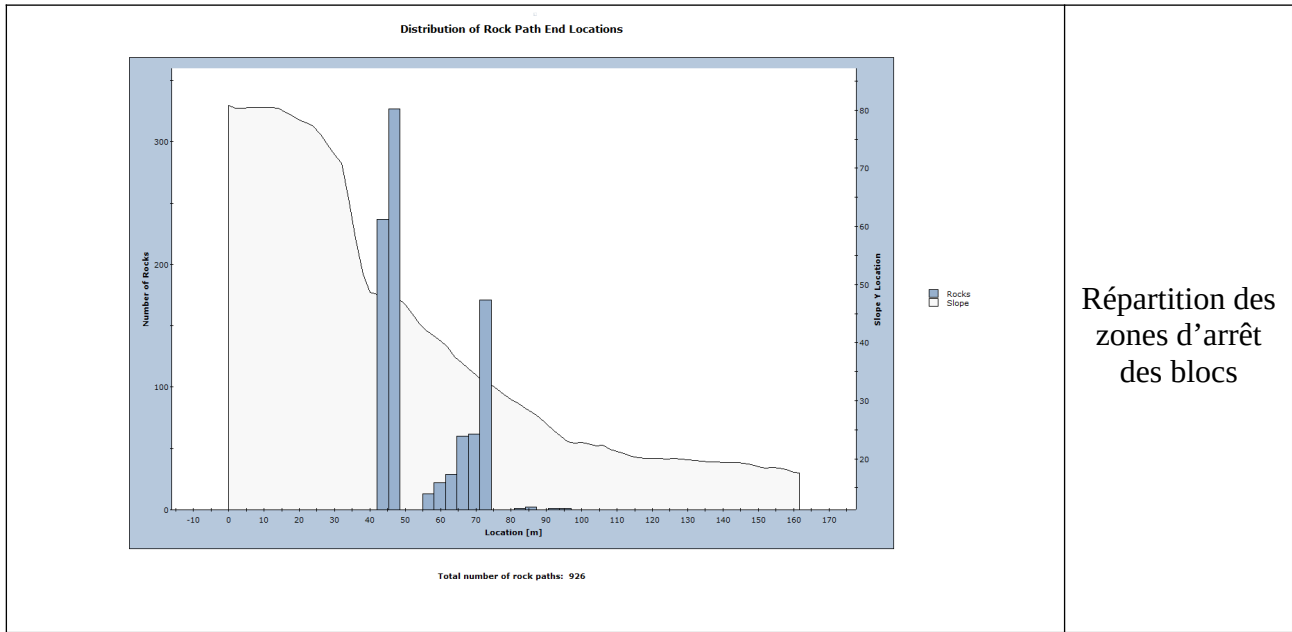
Profil 10-5



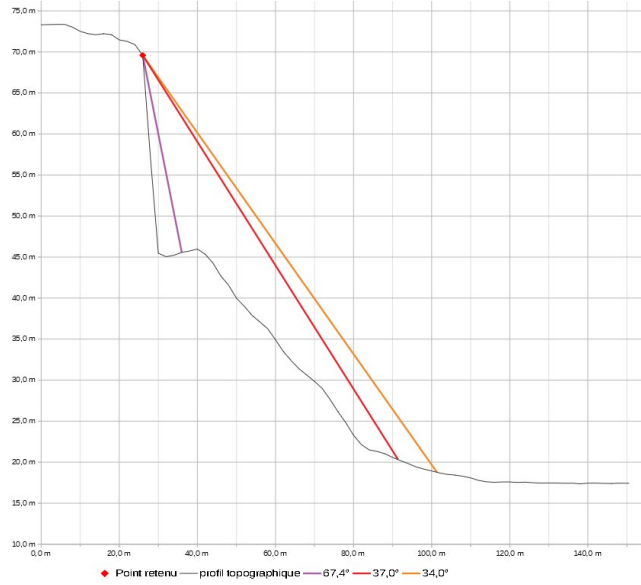
Angles de ligne d'énergie



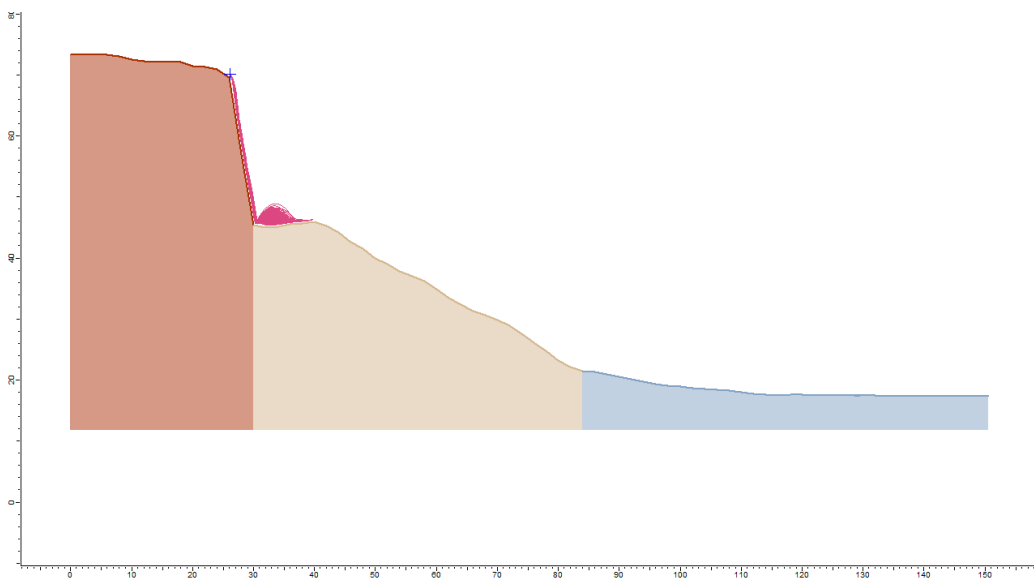
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



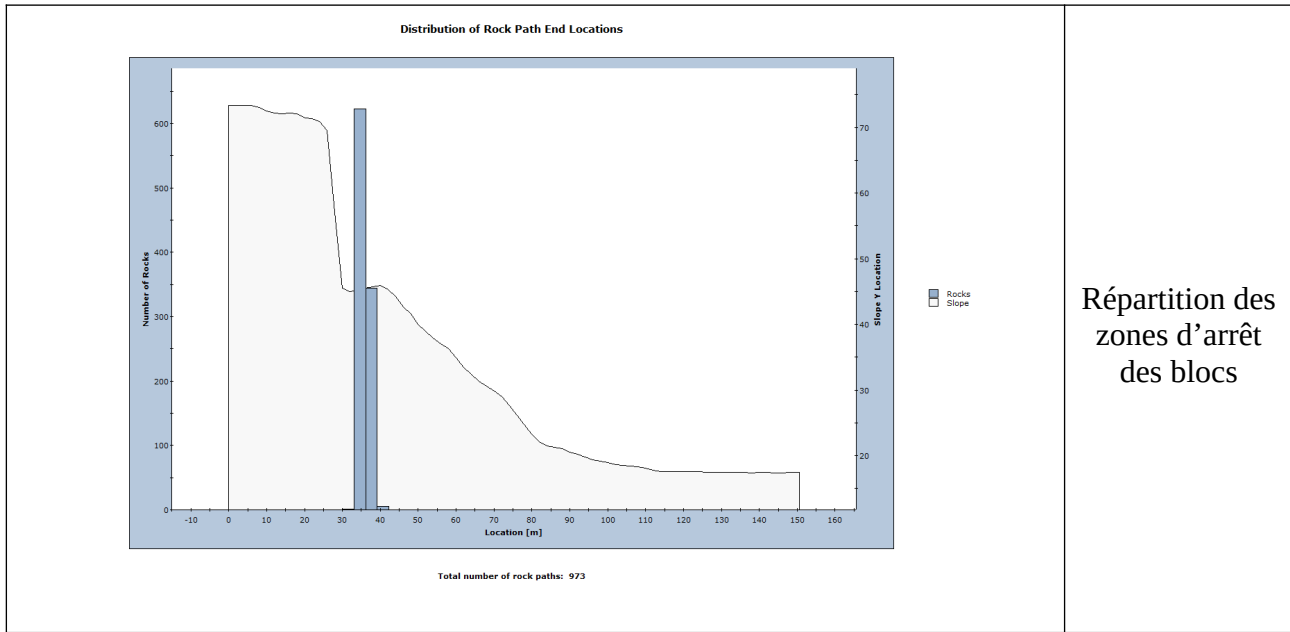
Profil 10-6



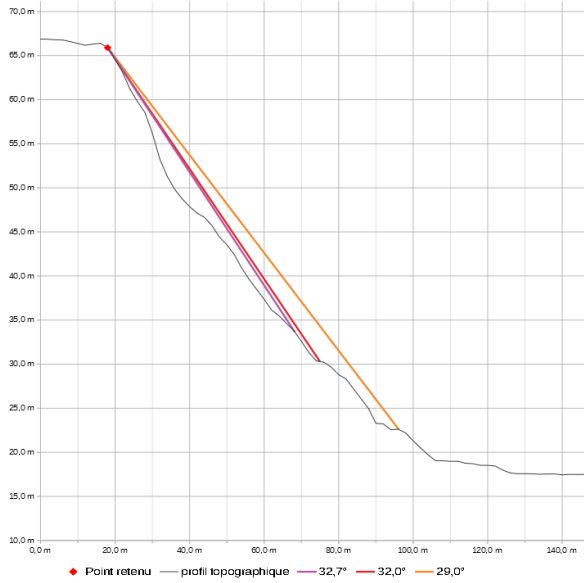
Angles de ligne d'énergie



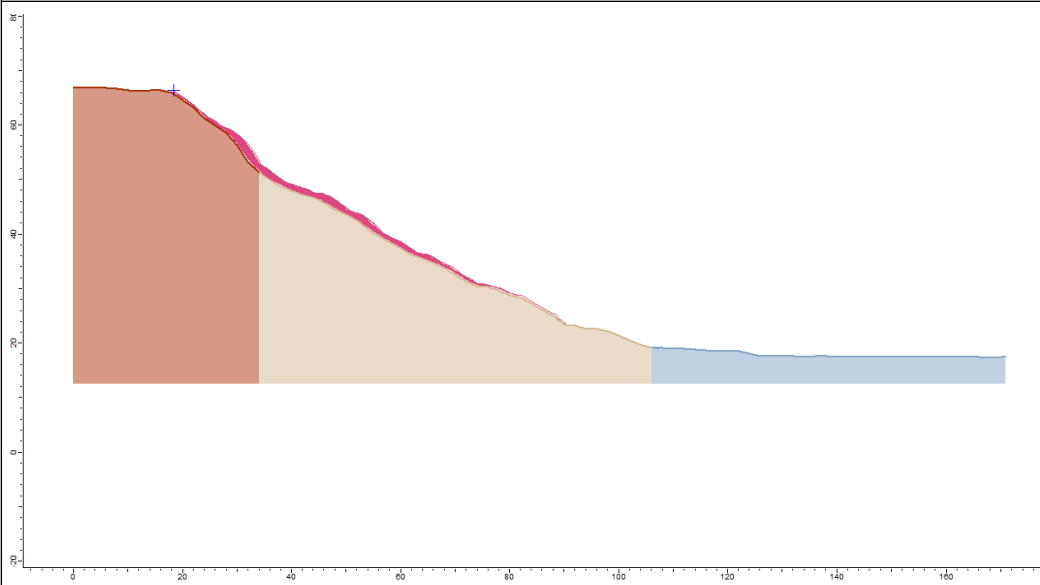
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



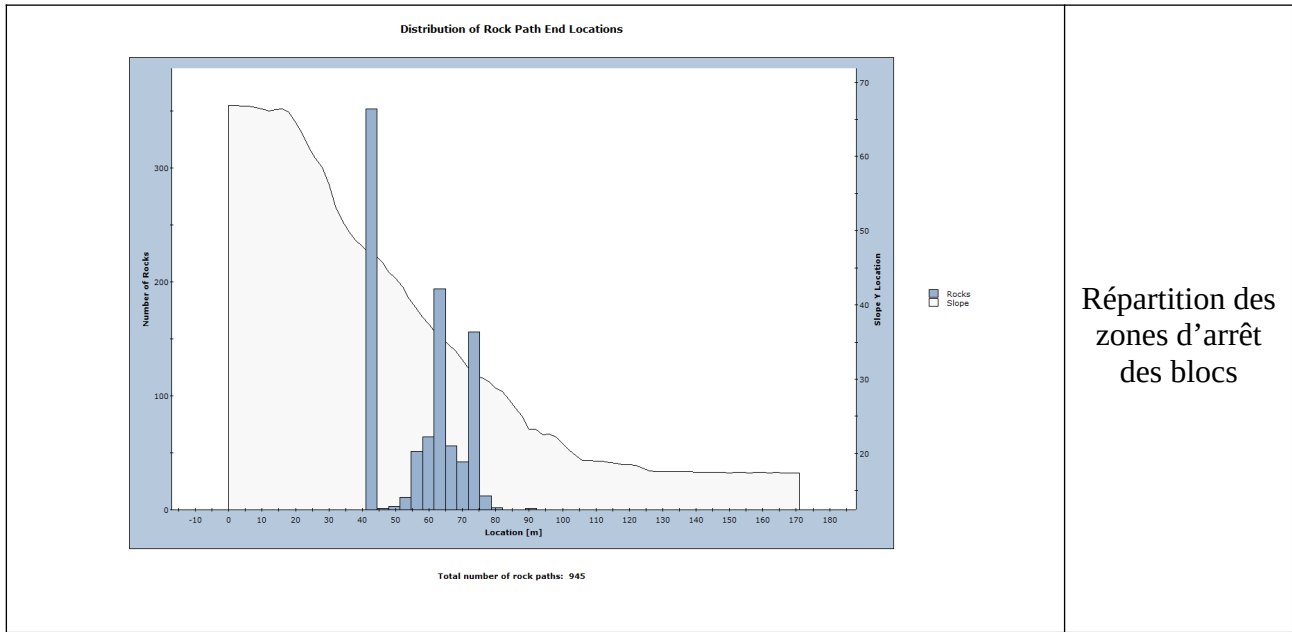
Profil 11-1



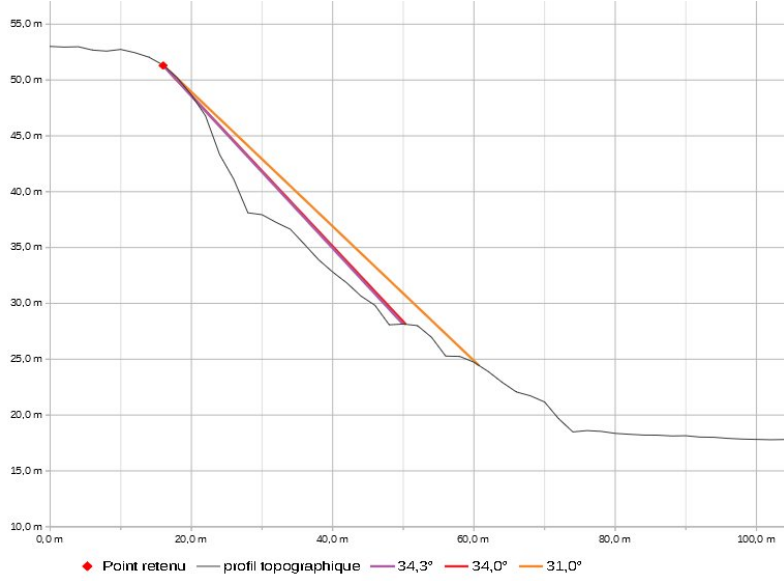
Angles de ligne d'énergie



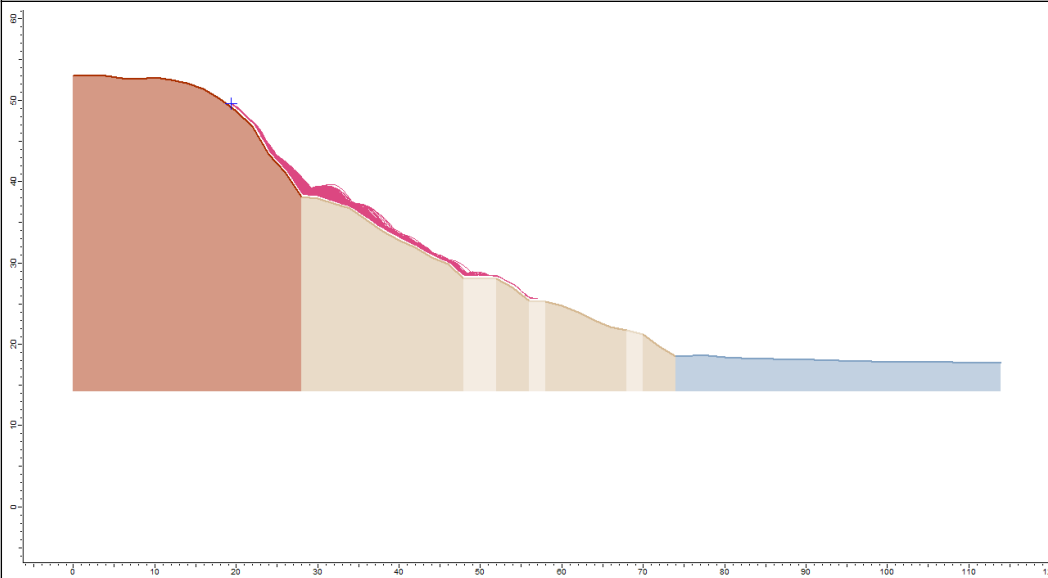
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



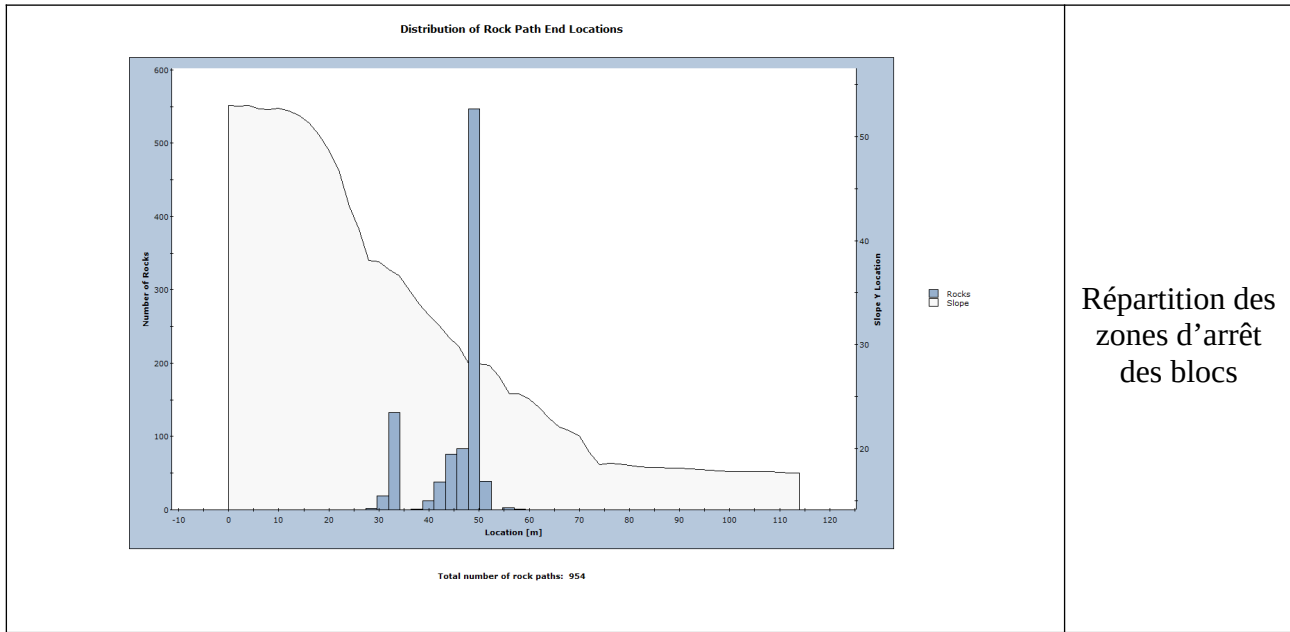
Profil 12-1



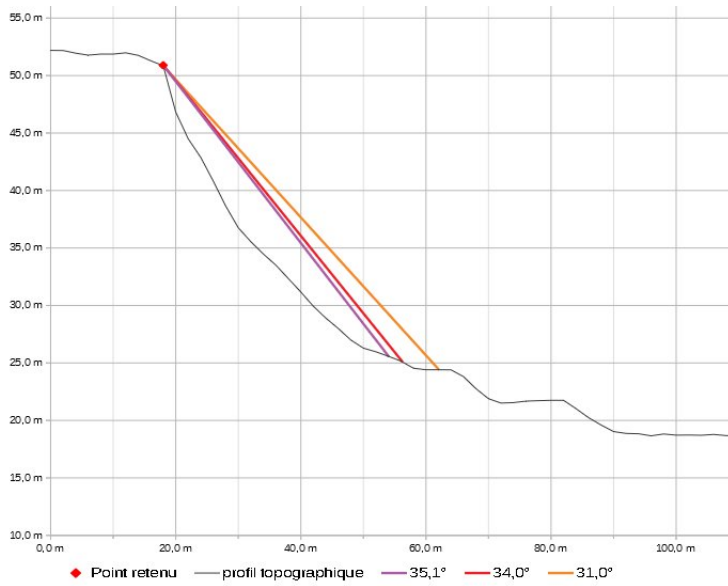
Angles de ligne d'énergie



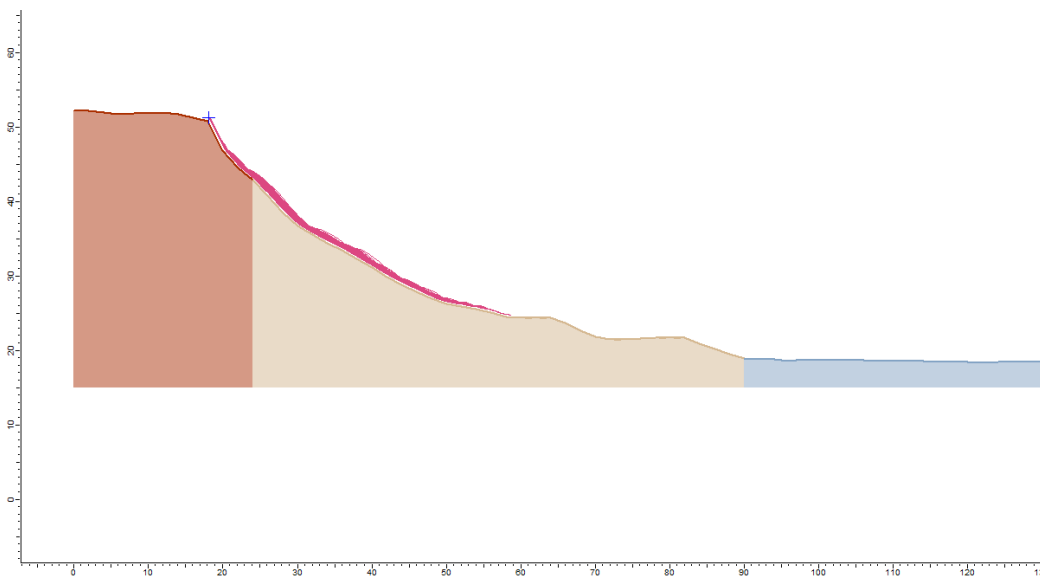
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



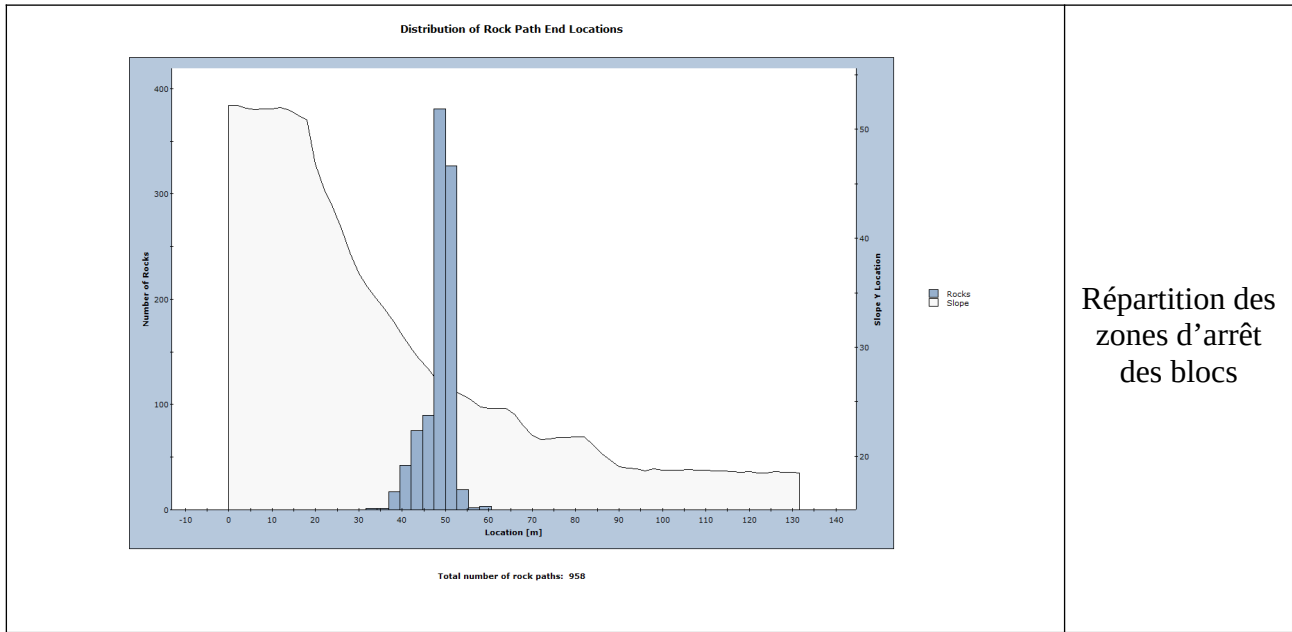
Profil 12-2



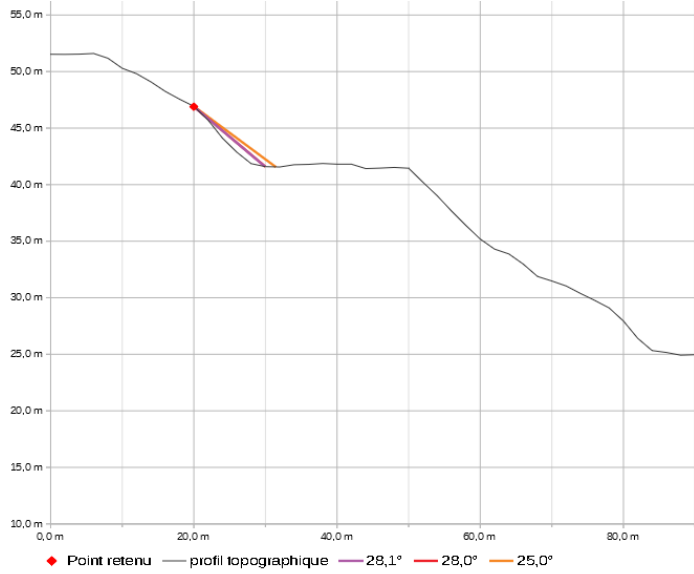
Angles de ligne d'énergie



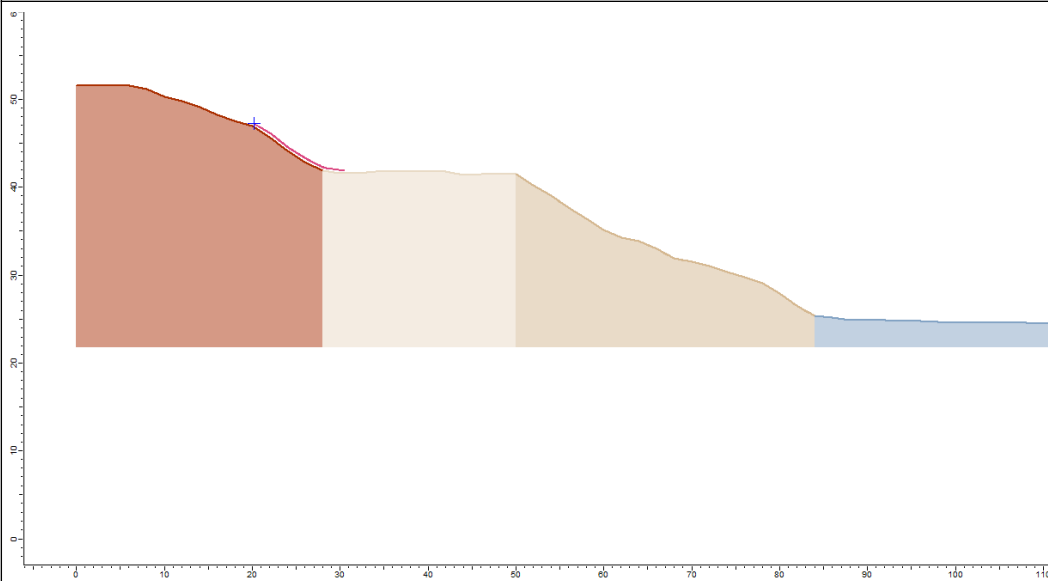
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



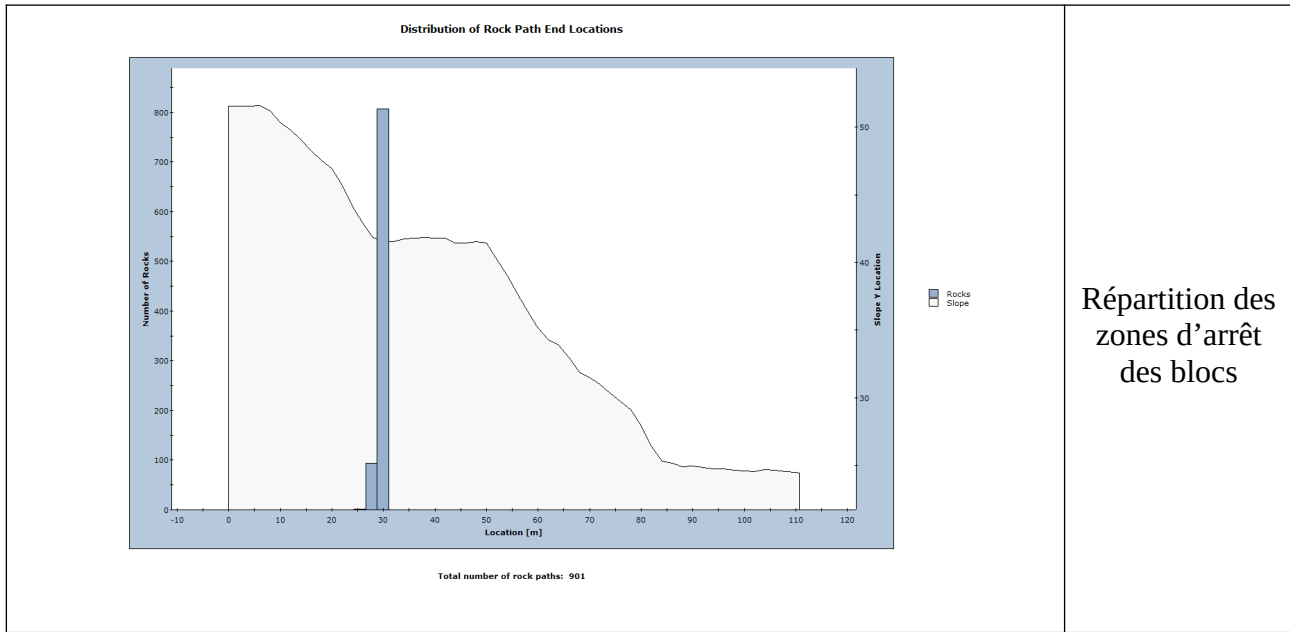
Profil 13-1



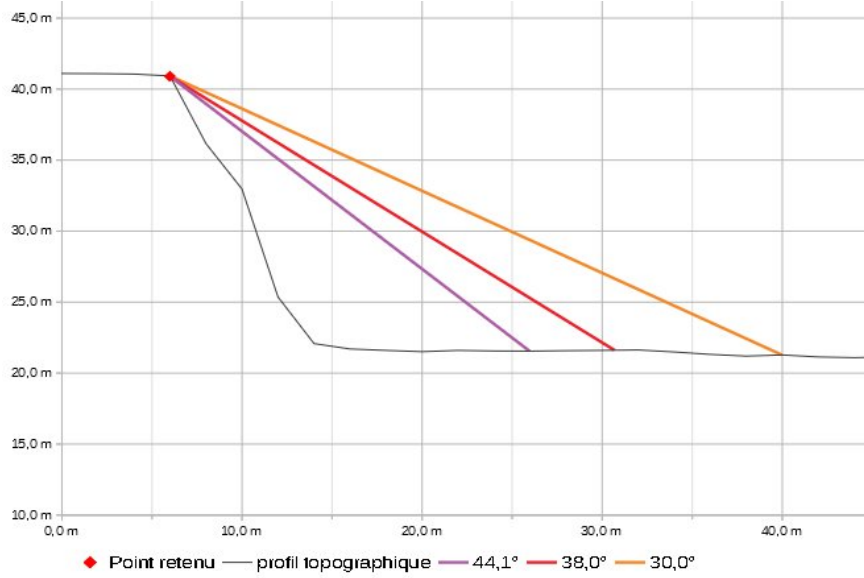
Angles de ligne d'énergie



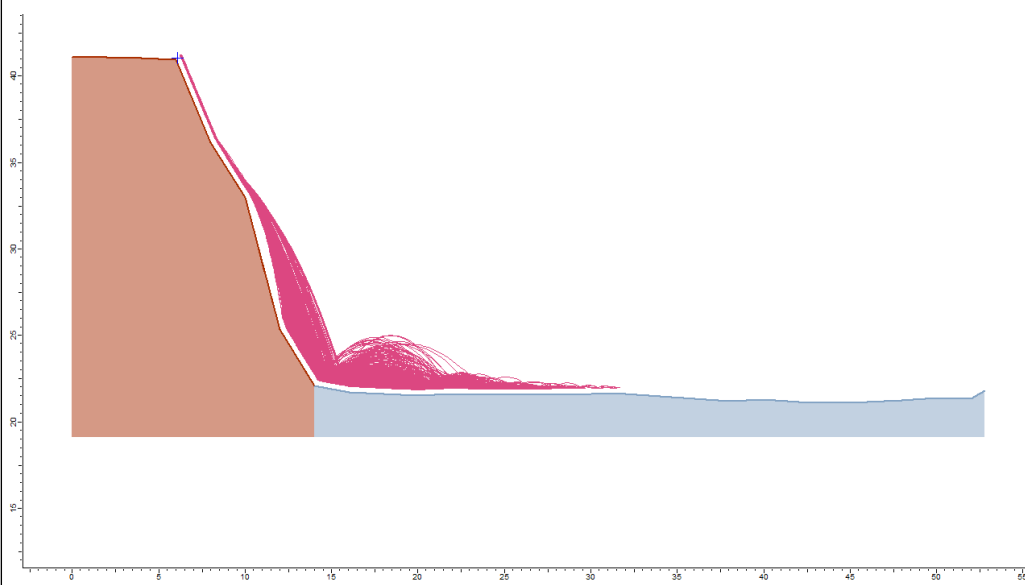
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



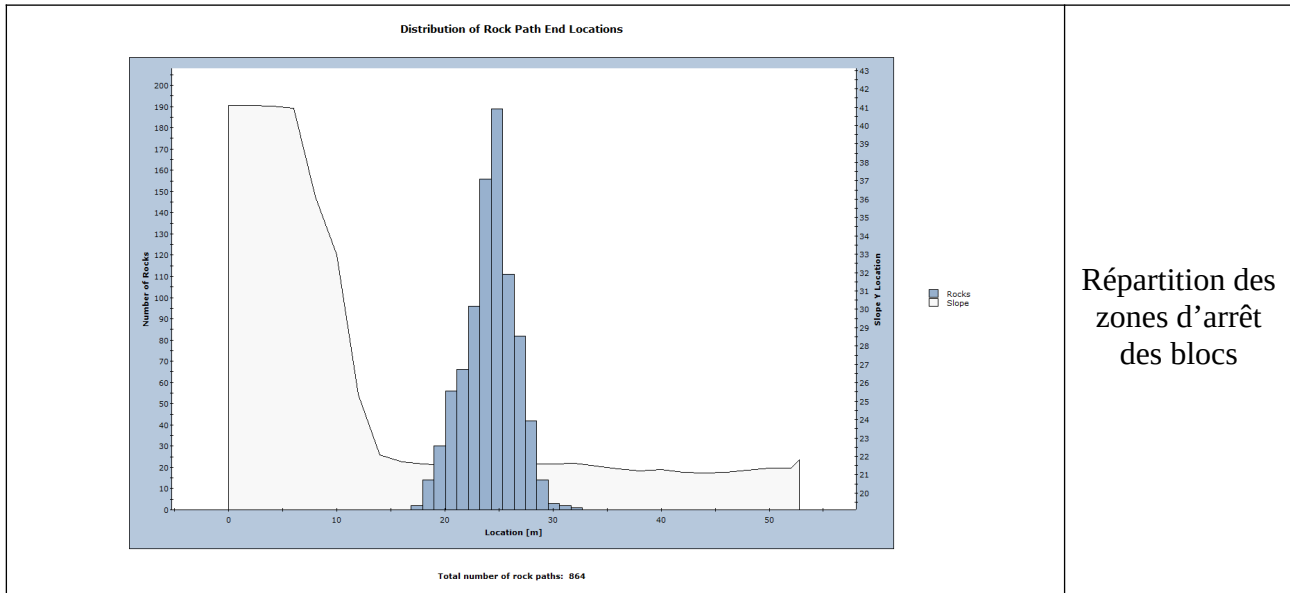
Profil 14-1



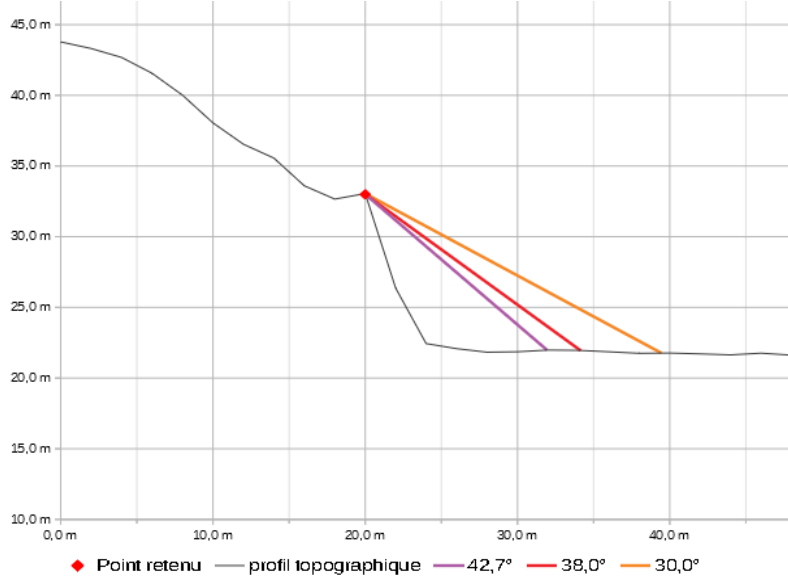
Angles de ligne d'énergie



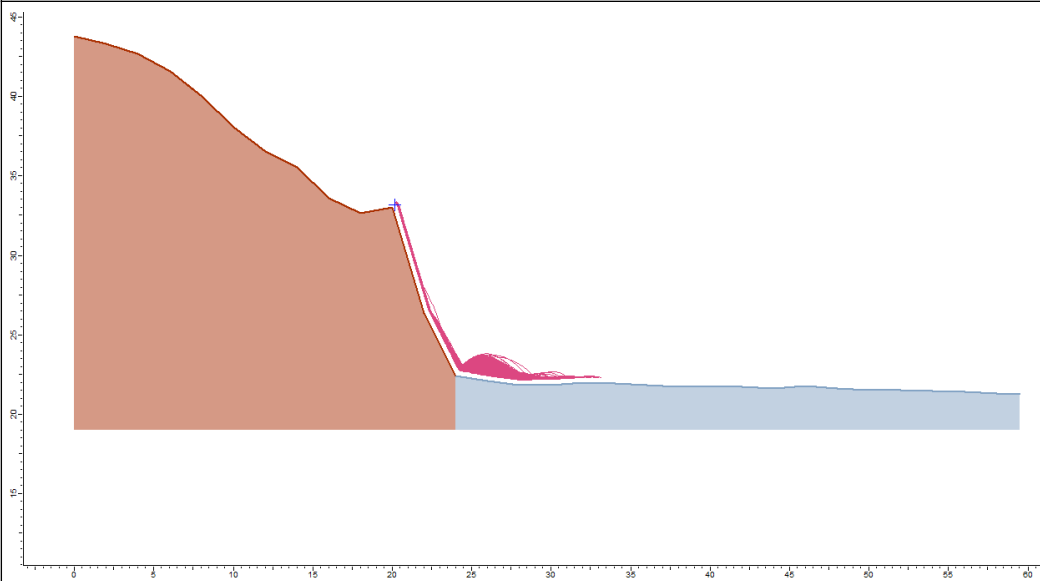
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



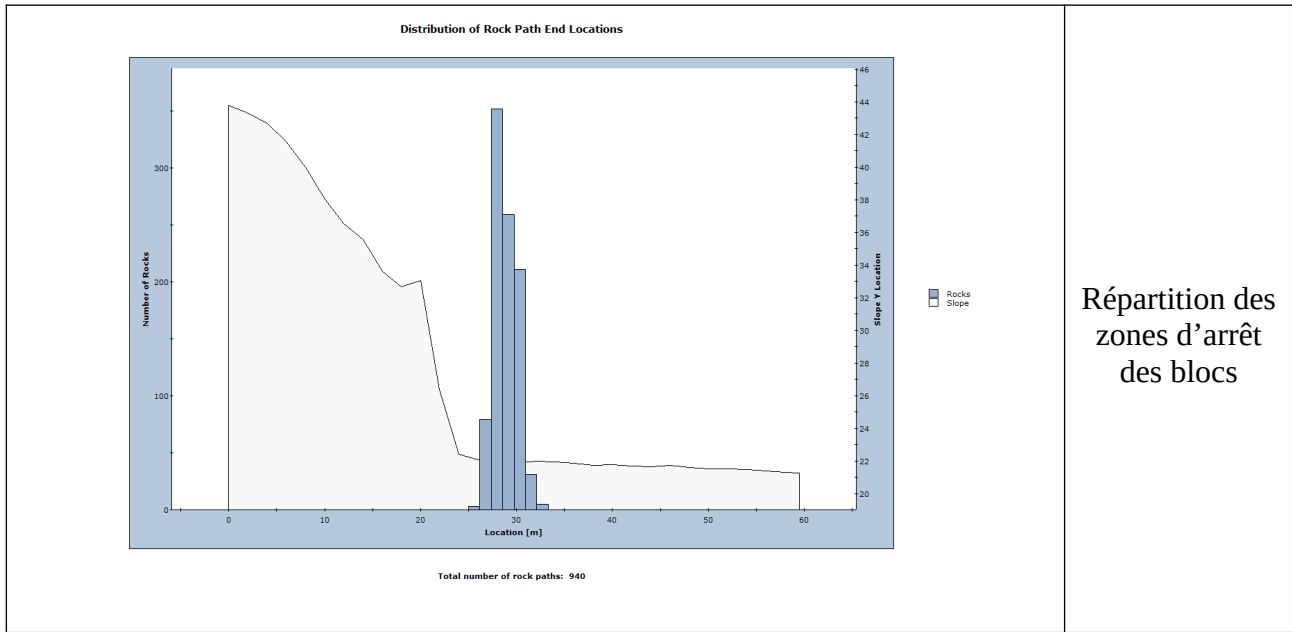
Profil 14-2



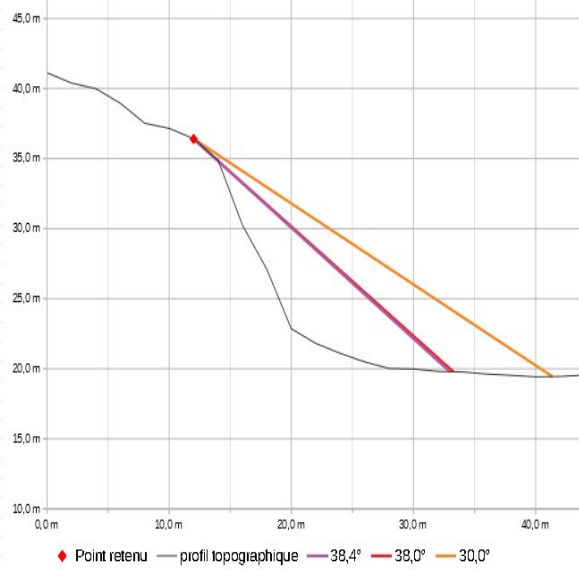
Angles de ligne d'énergie



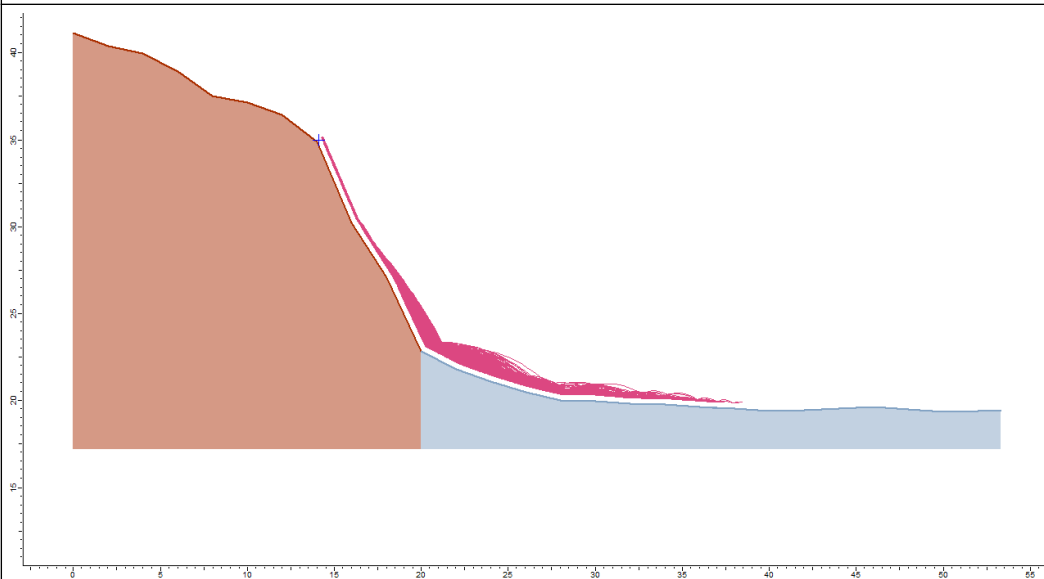
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



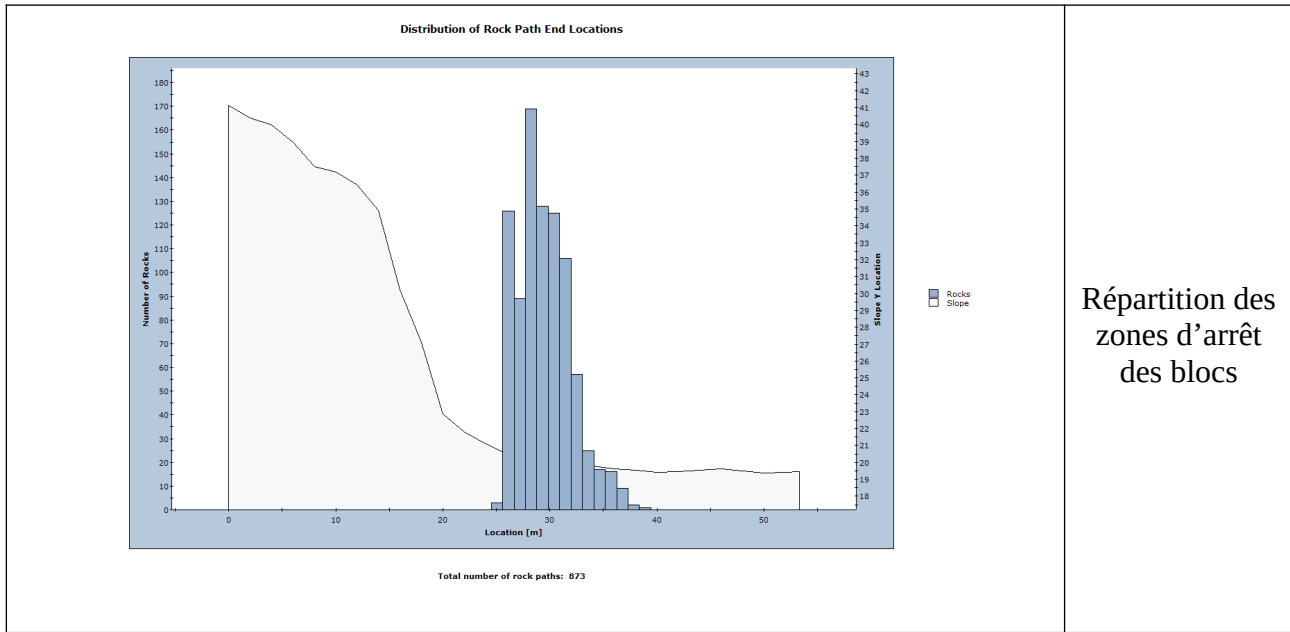
Profil 14-3



Angles de ligne d'énergie

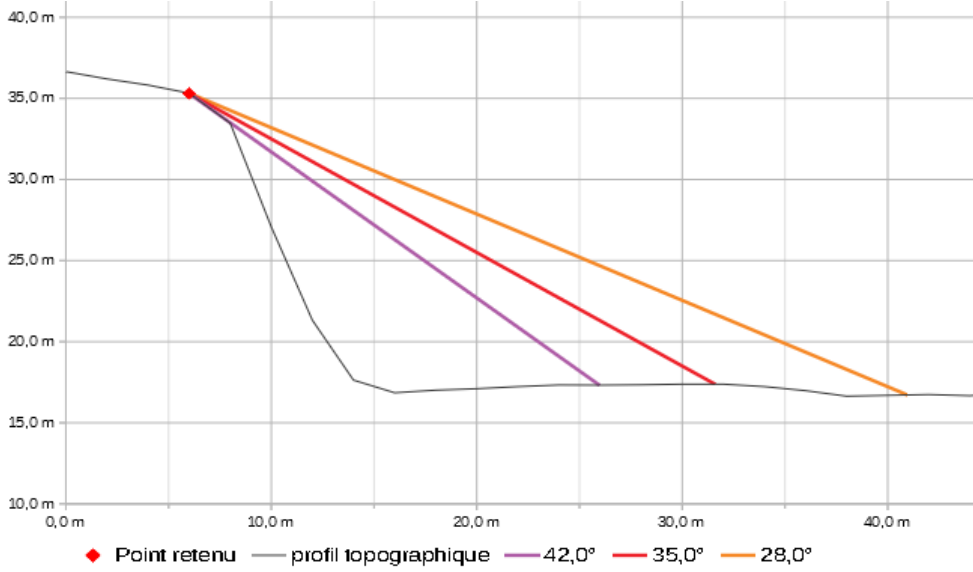


Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)

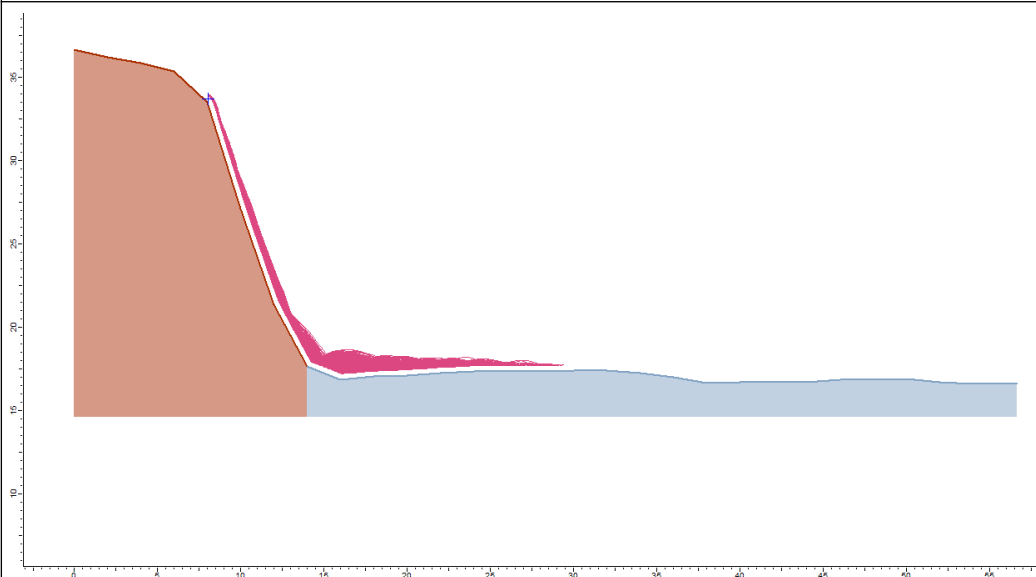


Répartition des zones d'arrêt des blocs

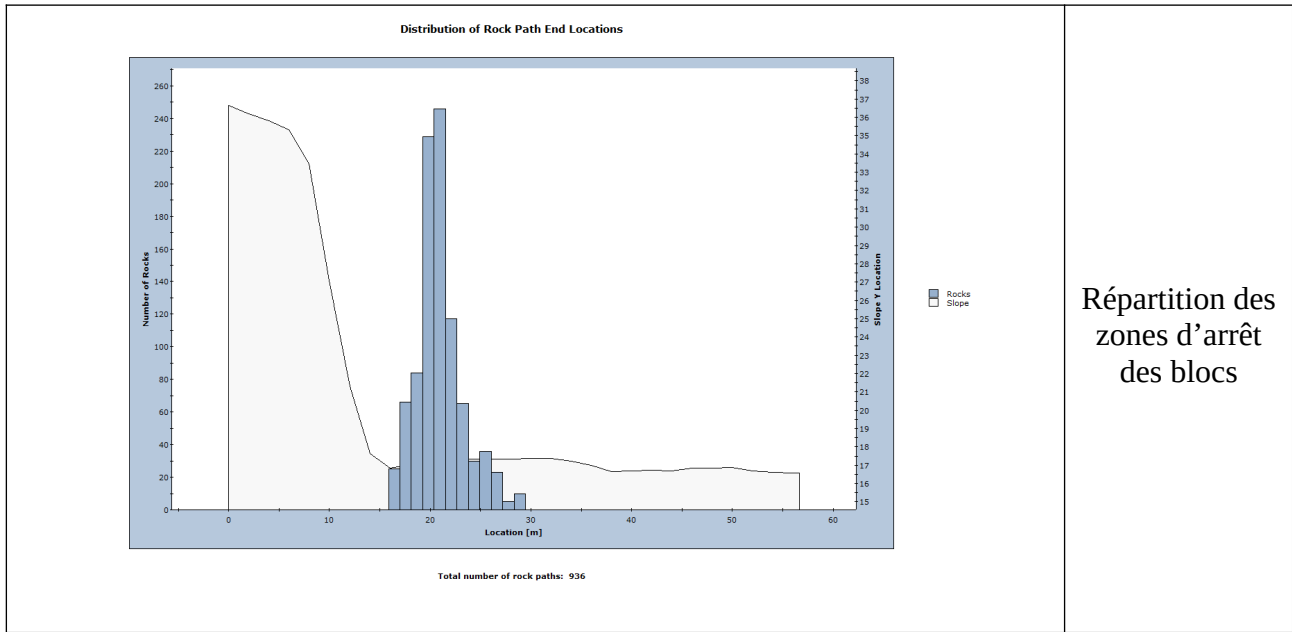
Profil 15-1



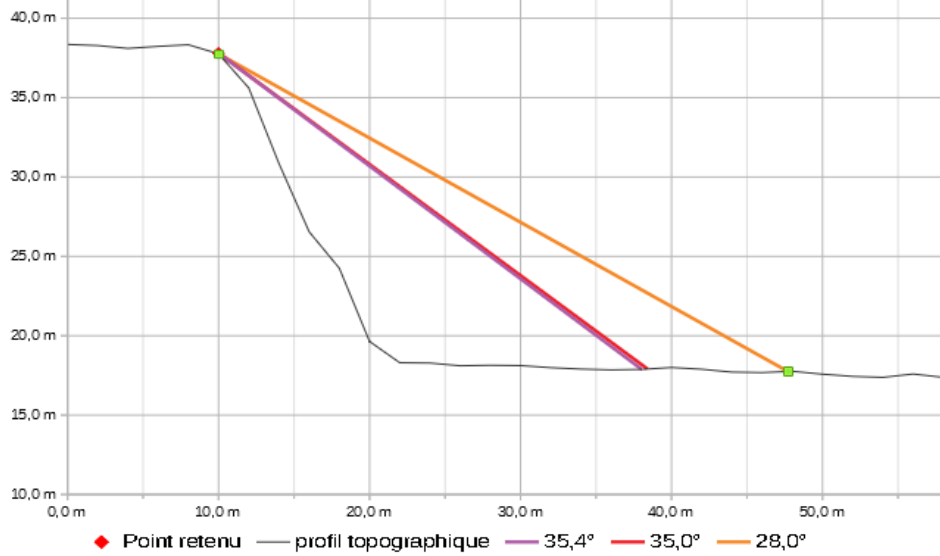
Angles de ligne d'énergie



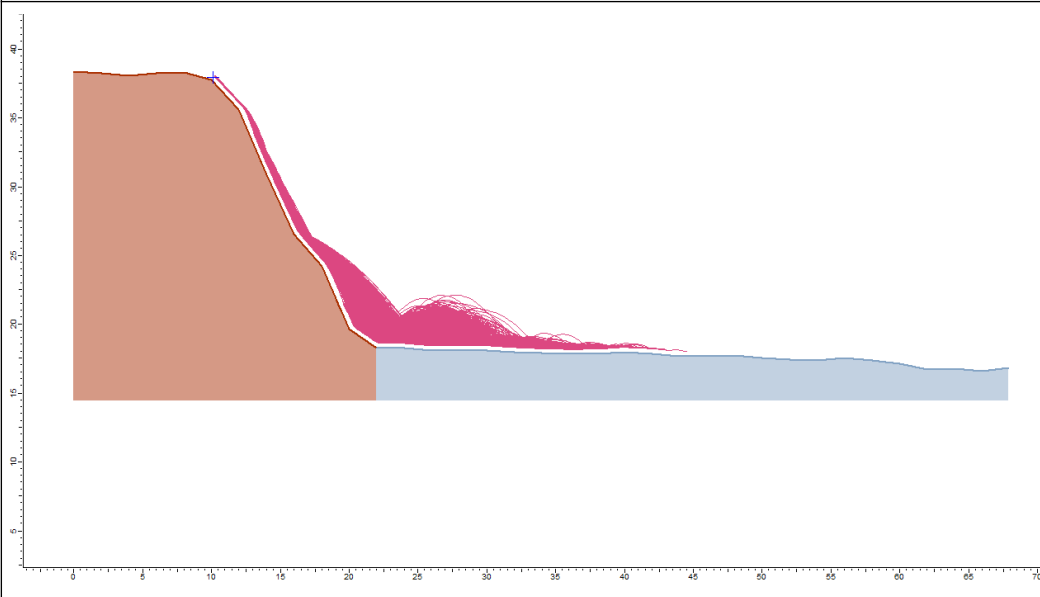
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



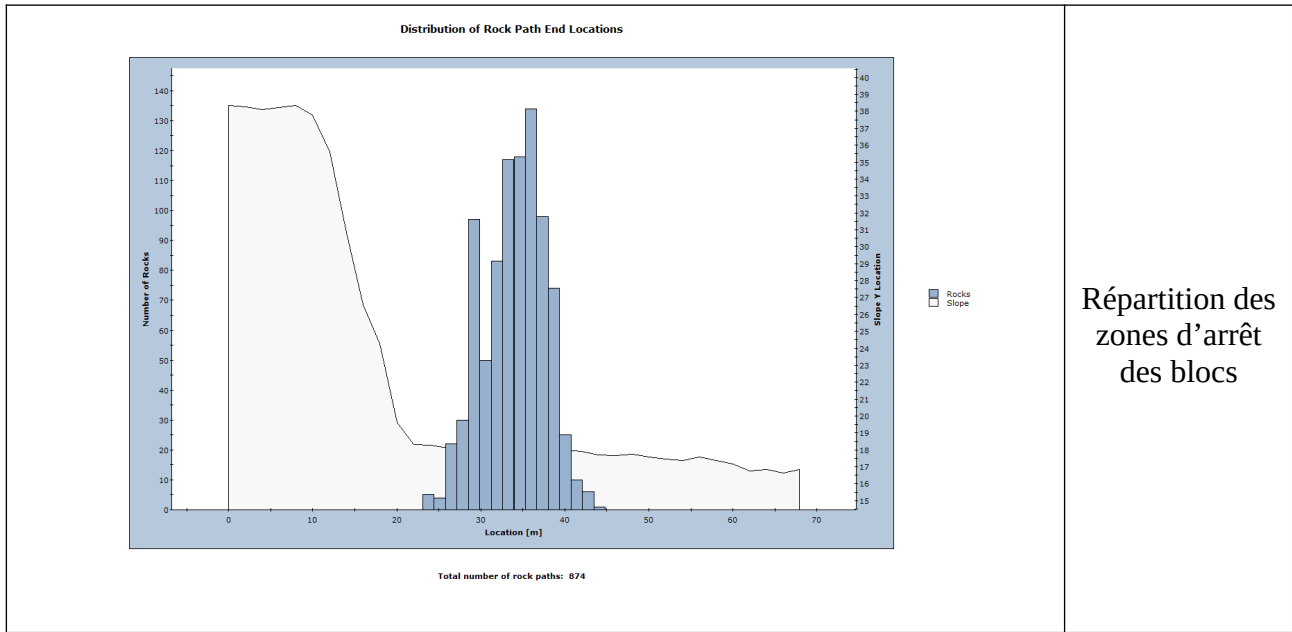
Profil 15-2



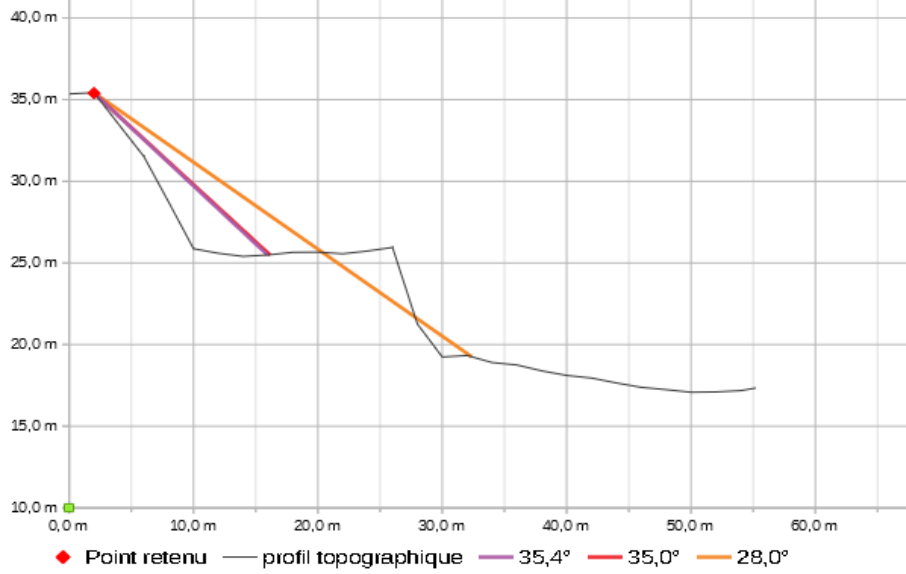
Angles de ligne d'énergie



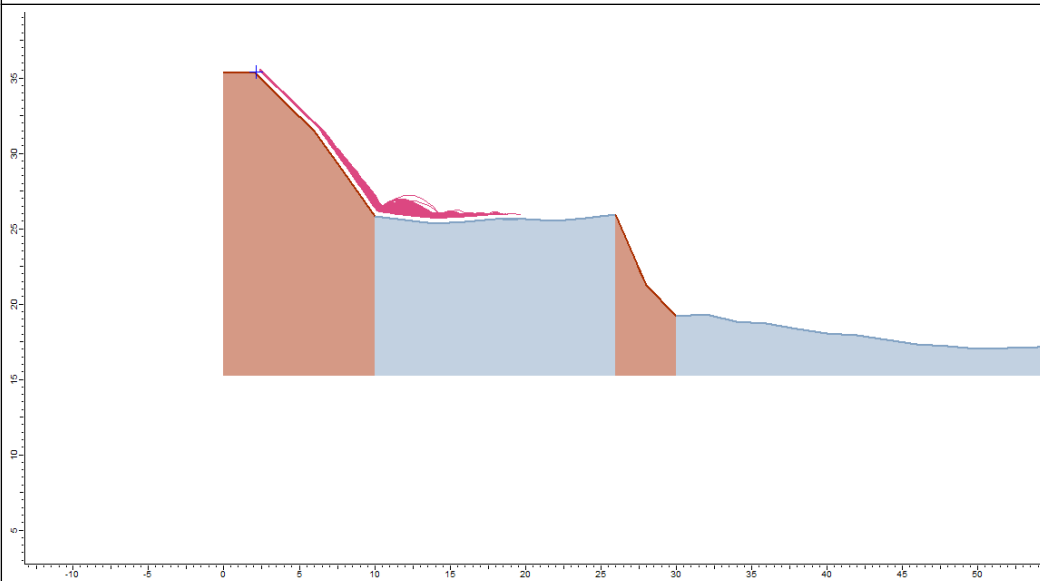
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



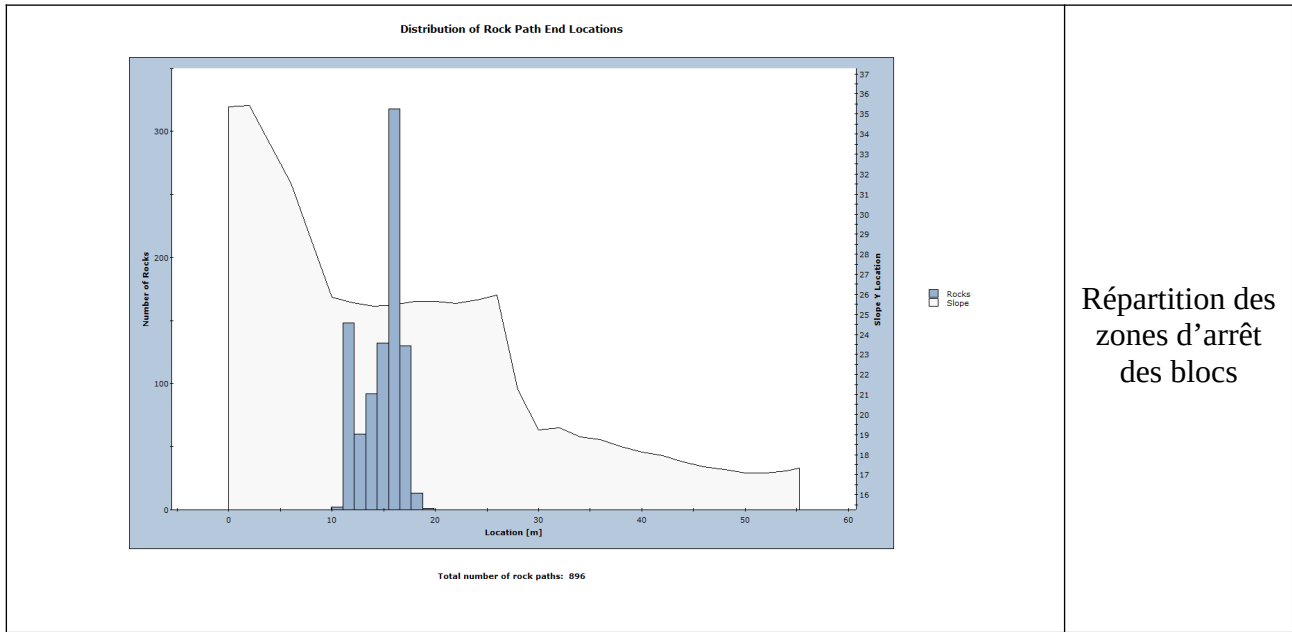
Profil 16-1



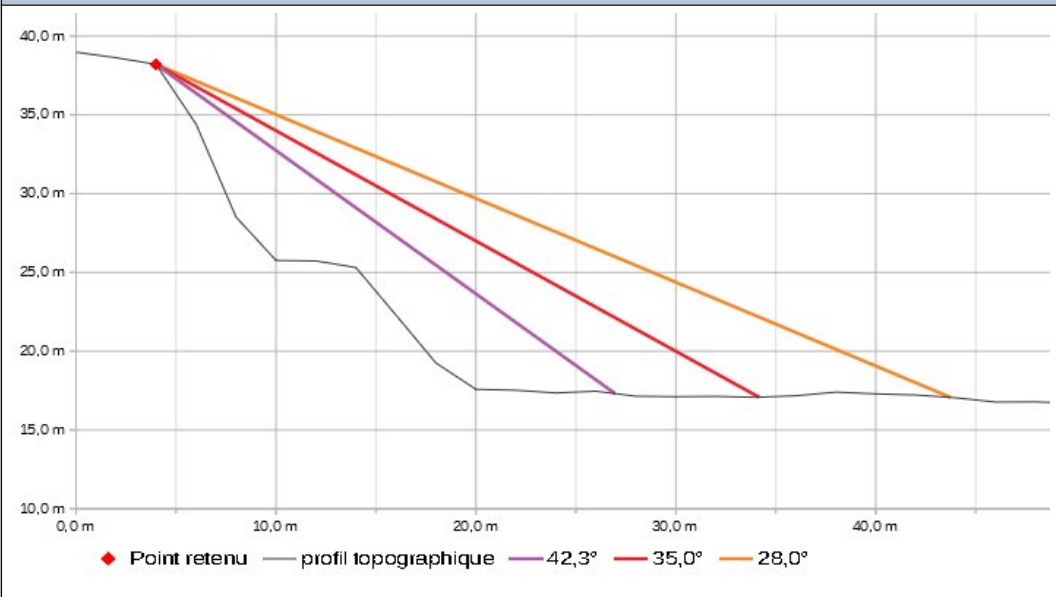
Angles de ligne d'énergie



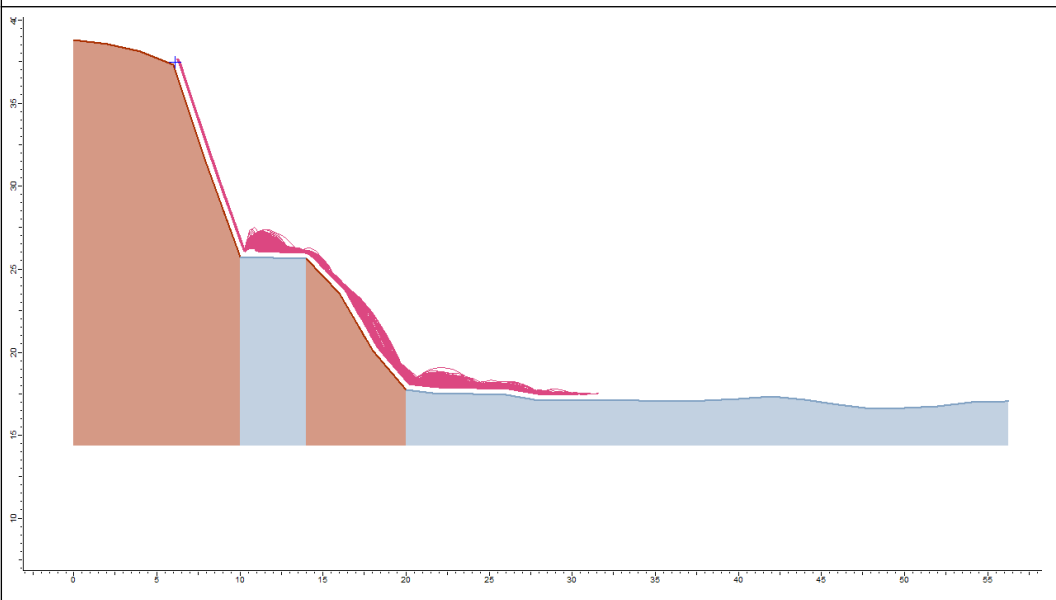
Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)



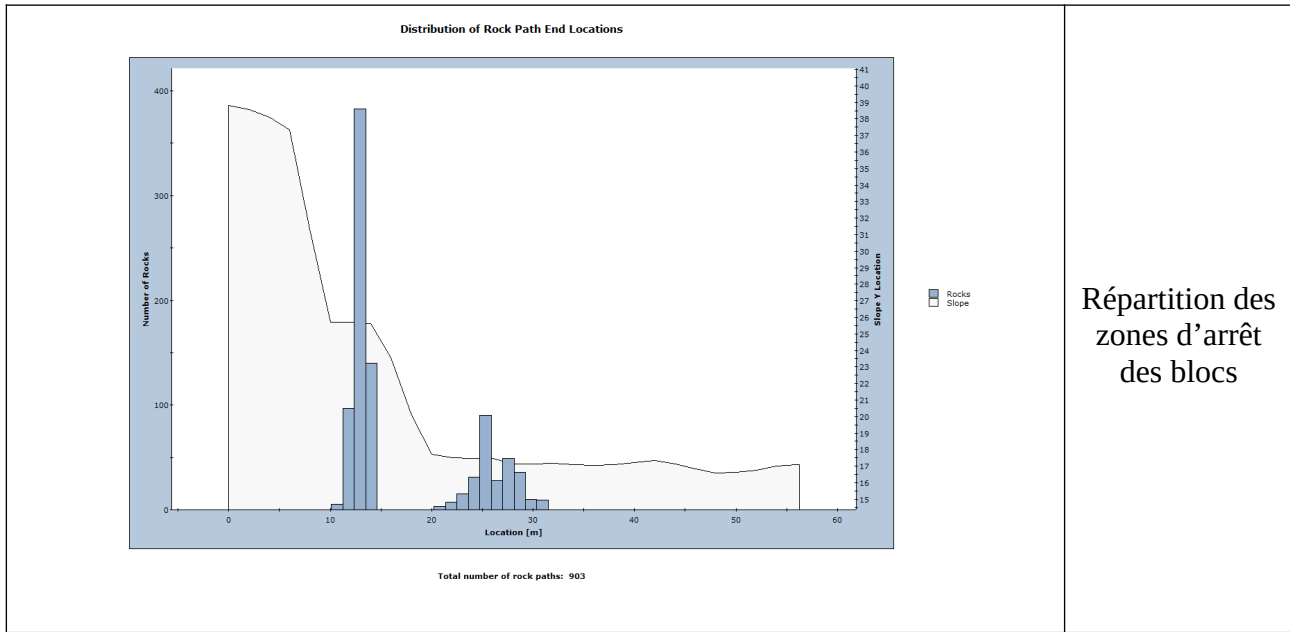
Profil 16-2



Angles de ligne d'énergie

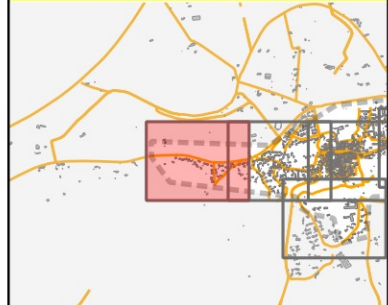
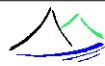


Résultats de la trajectographie 2D (Rocfall)





ALP'GEORISQUES - Z.I. - 52, rue du Moirond - Bâtiment Magbel - 38420 DOMENE - FRANCE
Tél. : 04-76-77-92-00 Fax : 04-76-77-55-90
sarl au capital de 18 300 €
Siret : 380 934 216 00025 - Code A.P.E. 7112B
N° TVA Intracommunautaire : FR 70 380 934 216
Email : contact@alpgeorisques.com
Site Internet : <http://www.alpgeorisques.com/>



0 500 1000 1500 2000 m

Légende

Périimètre étudié

Secteurs homogènes

Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres
et de blocs

Fort

Moyen

Faible

Exceptionnel

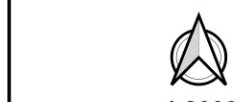
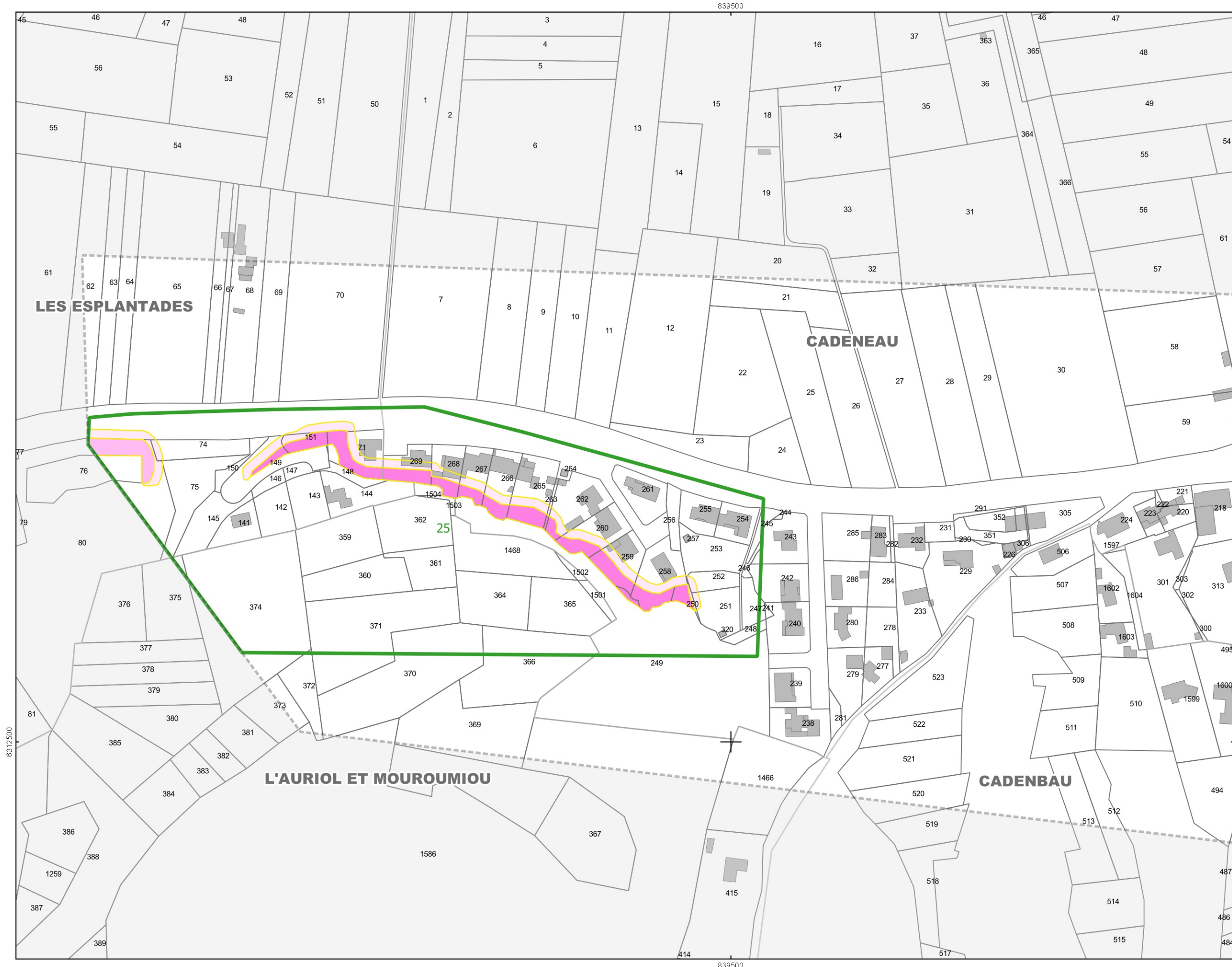
Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

Fort

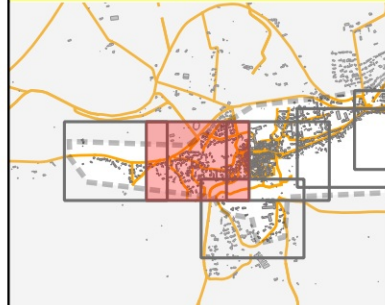
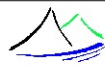
Moyen

Faible



1:2000

0 10 20 30 40 50 m



Légende

- Périimètre étudié
- Secteurs homogènes

Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres et de blocs

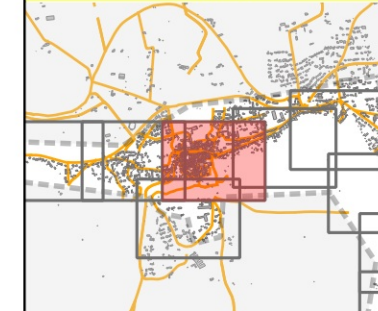
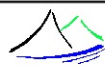
- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

- Fort
- Moyen
- Faible



1:2000



0 500 1000 1500 2000 m

Légende

- Périimètre étudié
- Secteurs homogènes

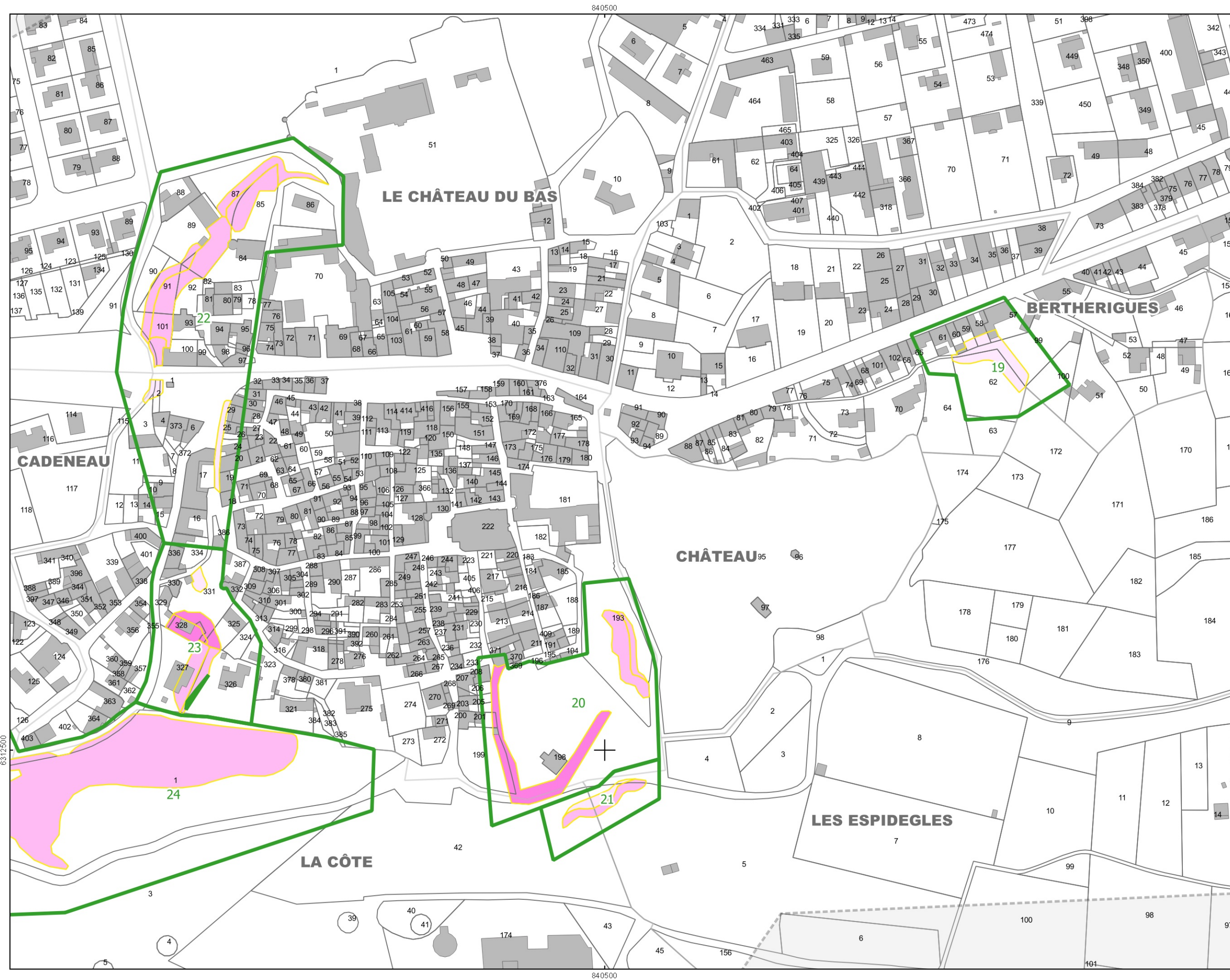
Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres et de blocs

- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

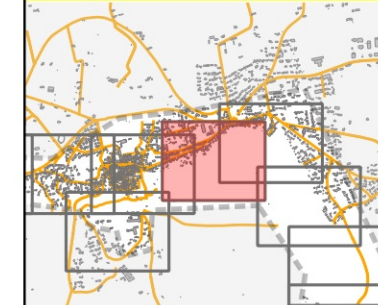
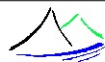
Aléa chutes de pierres

- Fort
- Moyen
- Faible



1:2000

0 10 20 30 40 50 m



0 500 1000 1500 2000 m

Légende

- Périimètre étudié
- Secteurs homogènes

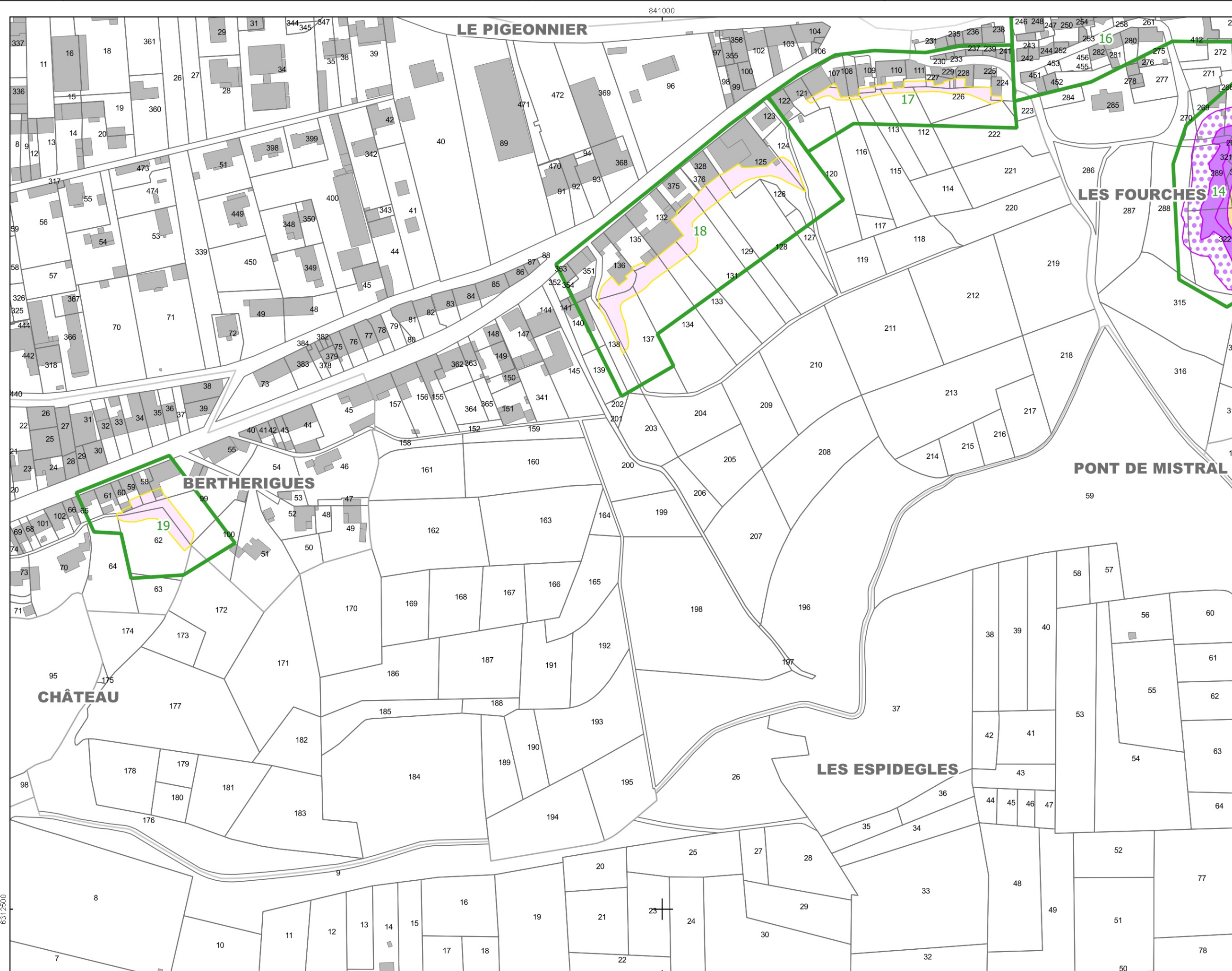
Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres et de blocs

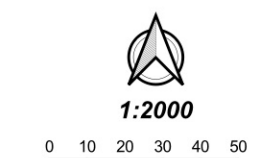
- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

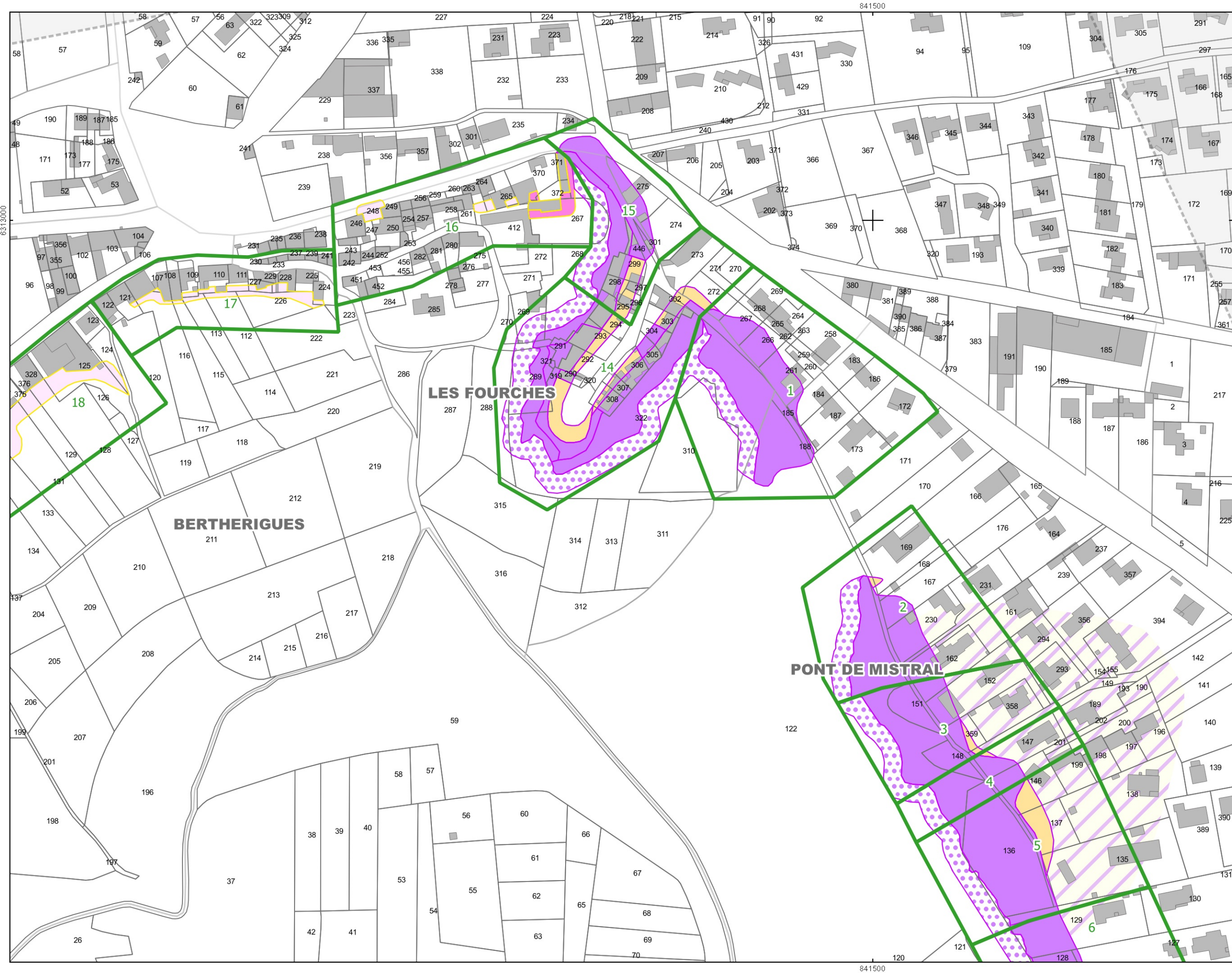
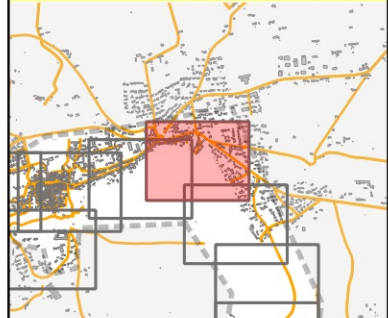
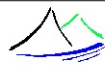
Aléa chutes de pierres

- Fort
- Moyen
- Faible



6312500





Légende

Périimètre étudié

Secteurs homogènes

Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres
et de blocs

Fort

Moyen

Faible

Exceptionnel

Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

Fort

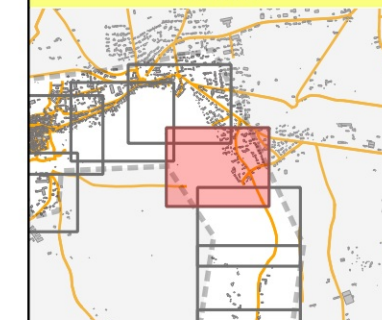
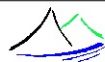
Moyen

Faible



1:2000

0 10 20 30 40 50 m



0 500 1000 1500 2000 m

Légende

- Périimètre étudié
- Secteurs homogènes

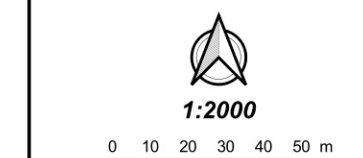
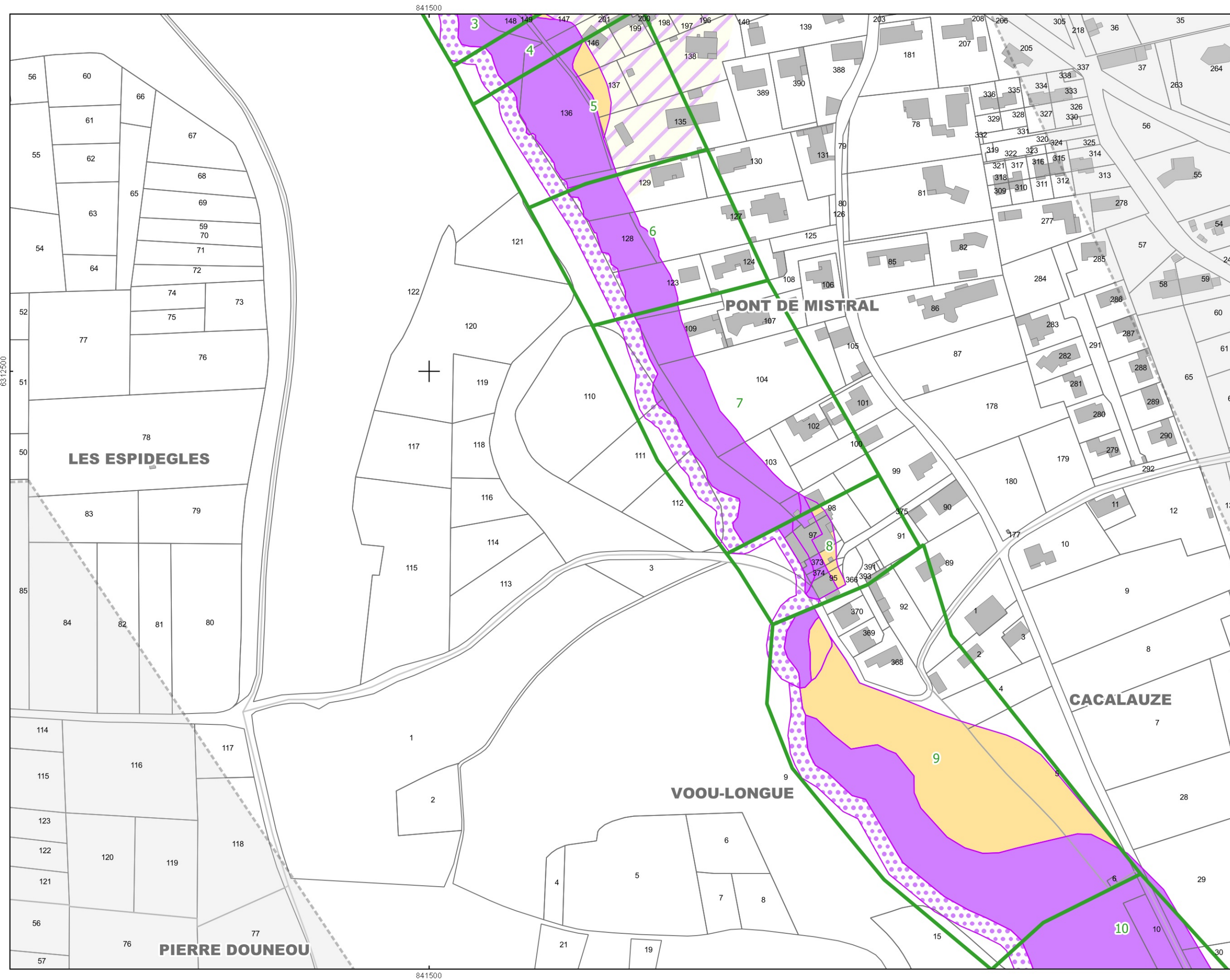
Aléa de chutes de roches

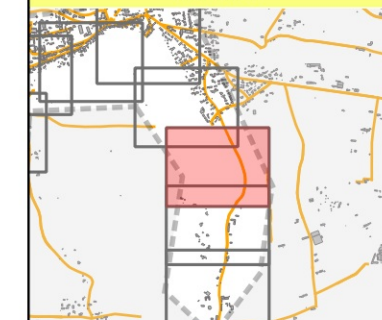
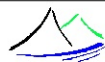
Aléa chutes de pierres et de blocs

- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

- Fort
- Moyen
- Faible





0 500 1000 1500 2000 m

Légende

- Périimètre étudié
- Secteurs homogènes

Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres
et de blocs

- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

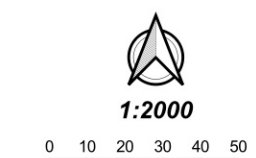
- Fort
- Moyen
- Faible

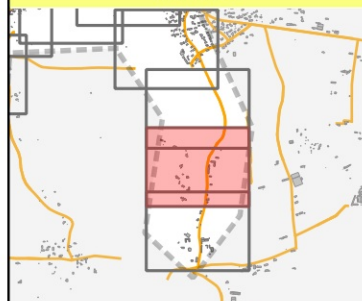
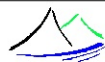
6312000

6312000

841500

842000





Légende

PÉRIMÈTRE ÉTUDIÉ

Secteurs homogènes

Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres
et de blocs

Fort

Moyen

Faible

Exceptionnel

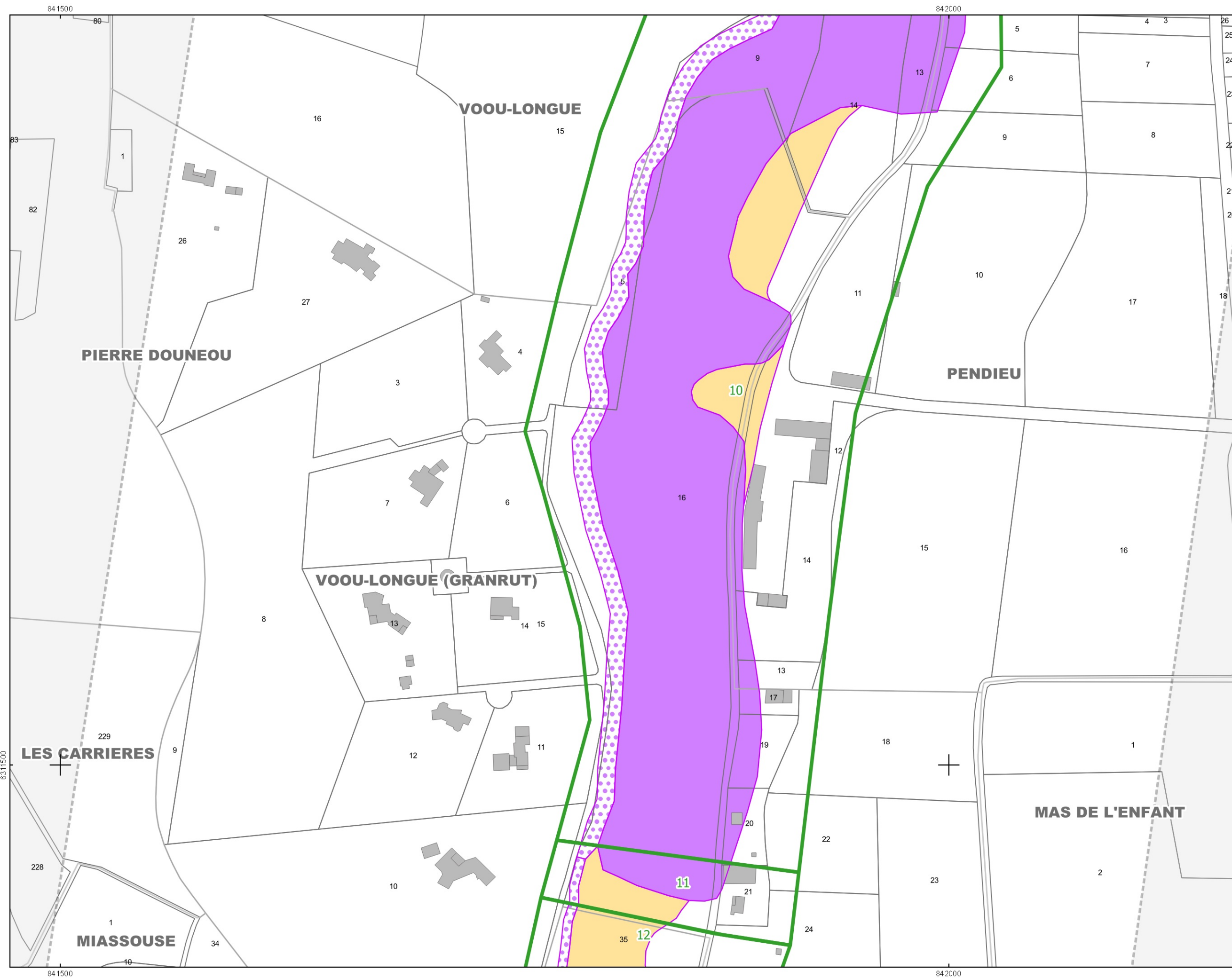
Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

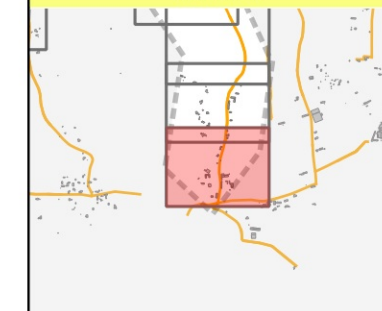
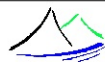
Fort

Moyen

Faible



1:2000



0 500 1000 1500 2000 m

Légende

- Périimètre étudié
- Secteurs homogènes

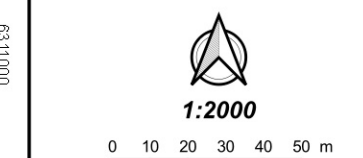
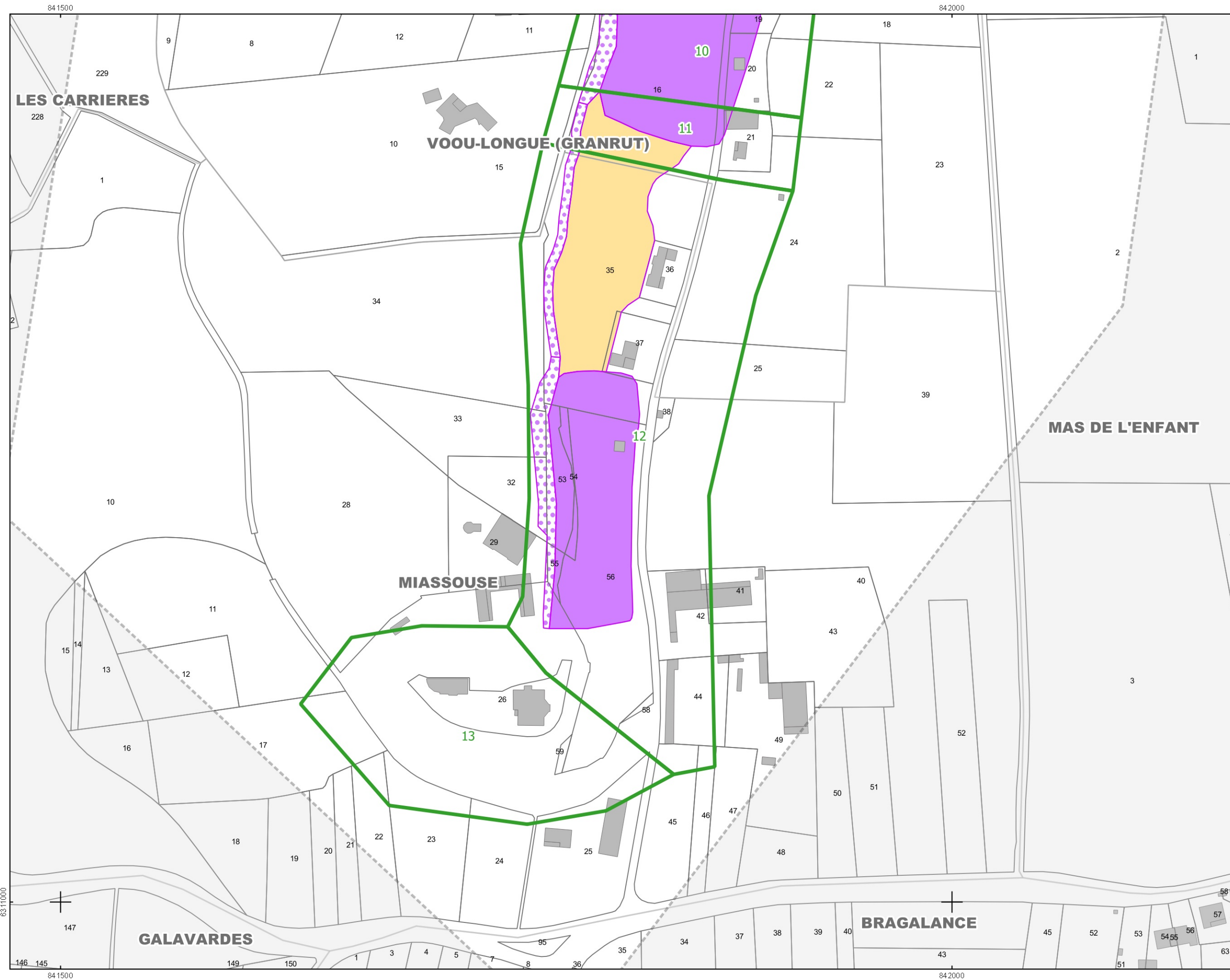
Aléa de chutes de roches

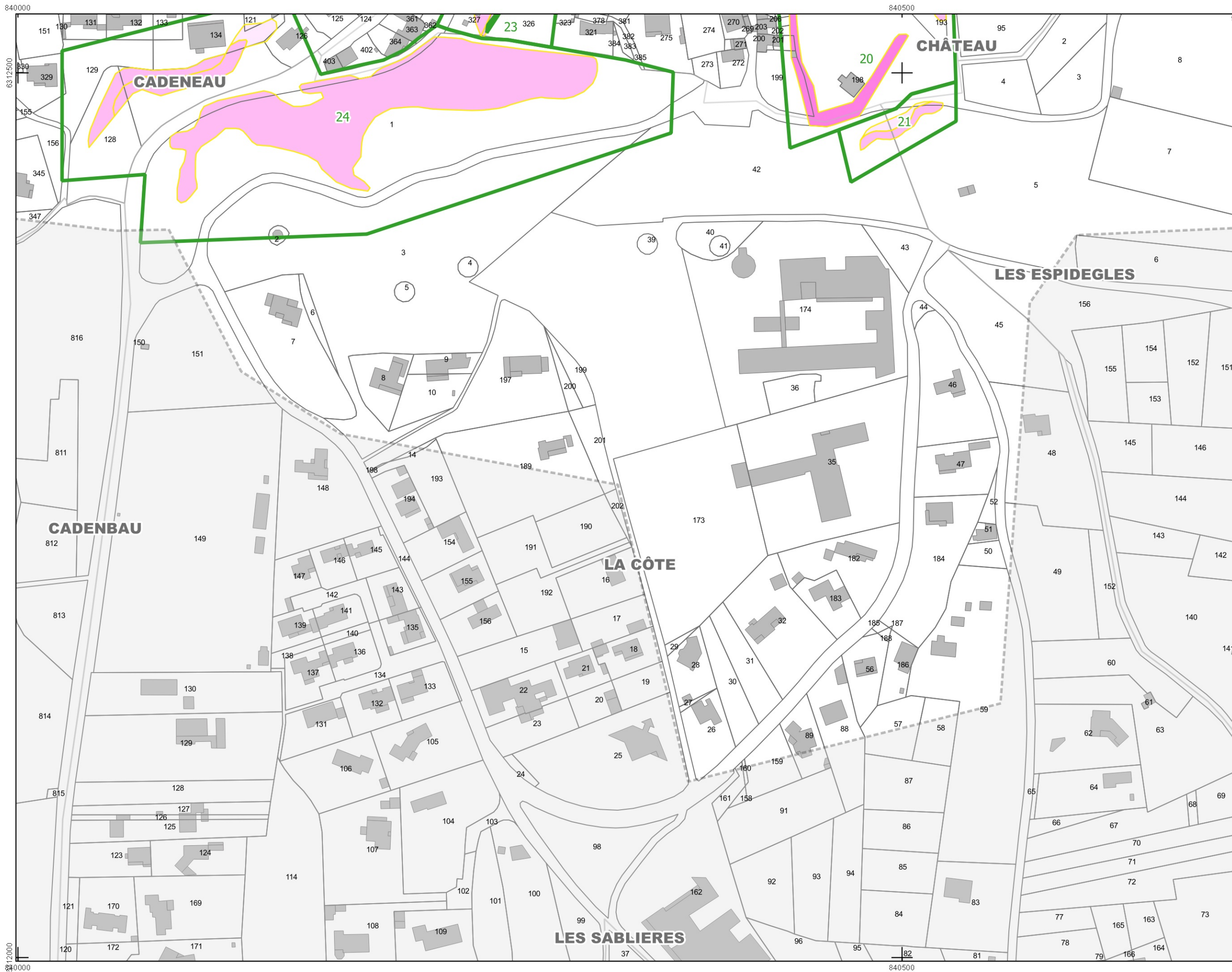
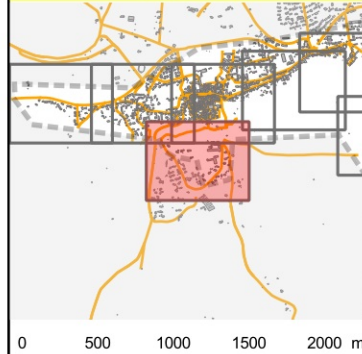
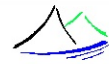
Aléa chutes de pierres et de blocs

- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

Aléa chutes de pierres

- Fort
- Moyen
- Faible





Légende

- Périmètre étudié
- Secteurs homogènes

Aléa de chutes de roches

Aléa chutes de pierres et de blocs

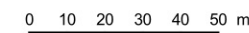
- Fort
- Moyen
- Faible
- Exceptionnel
- Zone de recul potentiel

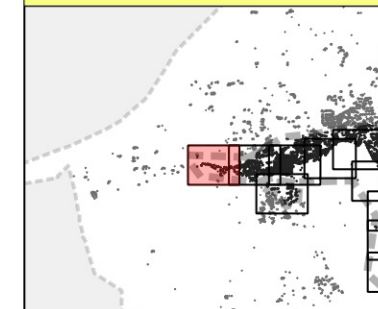
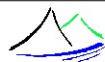
Aléa chutes de pierres

- Fort
- Moyen
- Faible





1:2000






0 1000 2000 3000 4000 m






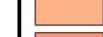

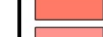
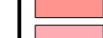
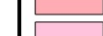





Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages

-  1
-  1
-  6.134
-  18.97
-  39.51
-  83.14
-  98.55
-  98.55
-  121.6
-  167.9
-  221.8
-  293.6
-  370.6
-  499
-  1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

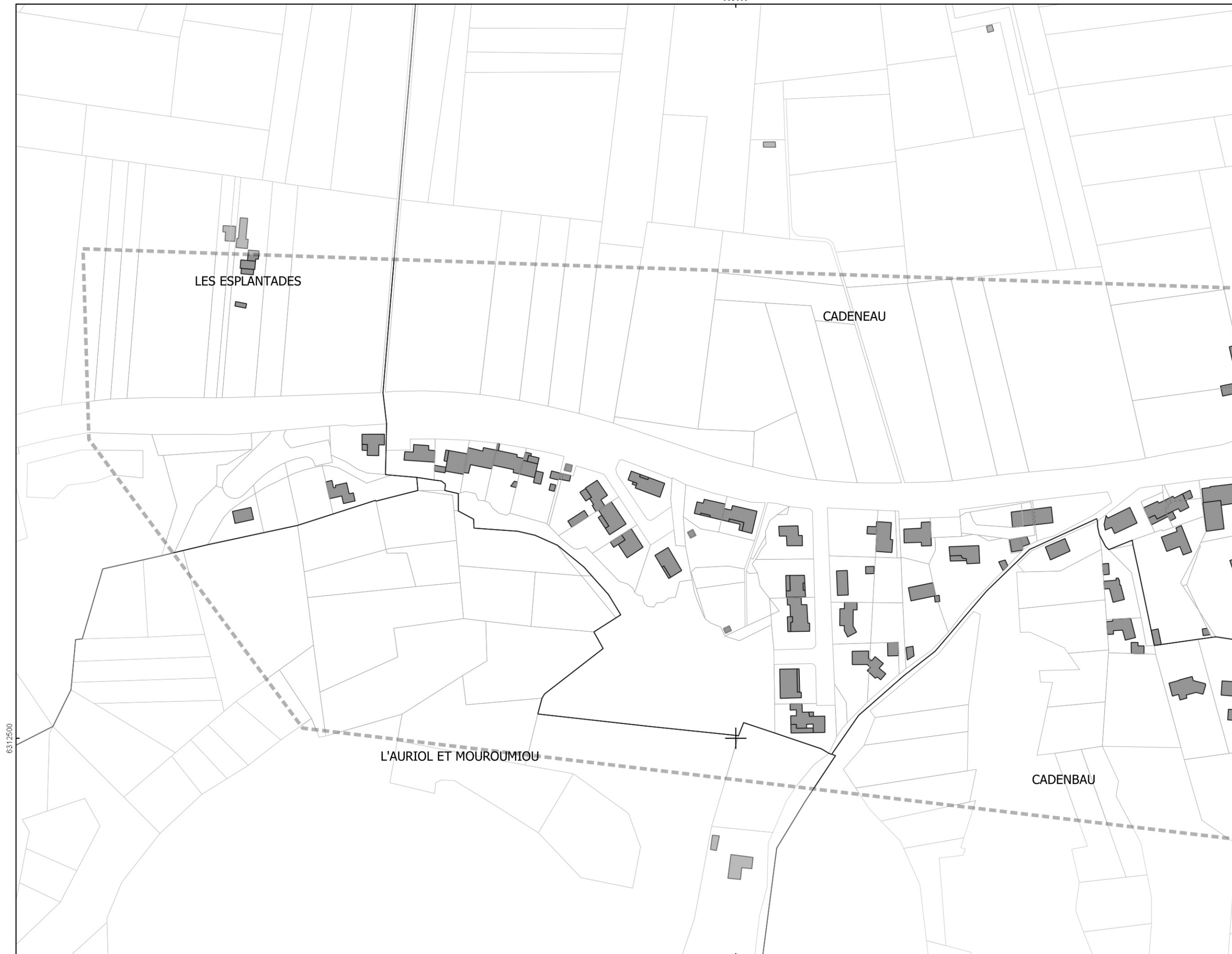
Topographie RGEALTI®



1:2000

0 10 20 30 40 50 m

Version 0.1 - Août 2019

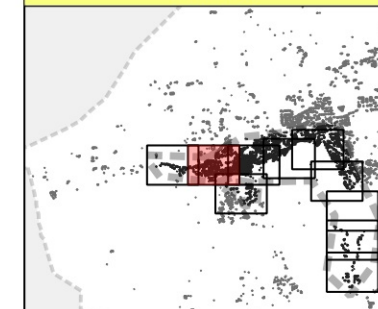
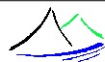


6312500

6312500



839500

839500



0 1000 2000 3000 4000 m
















Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages

-  1
-  1
-  6.134
-  18.97
-  39.51
-  83.14
-  98.55
-  98.55
-  121.6
-  167.9
-  221.8
-  293.6
-  370.6
-  499
-  1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

Topographie RGEALTI®

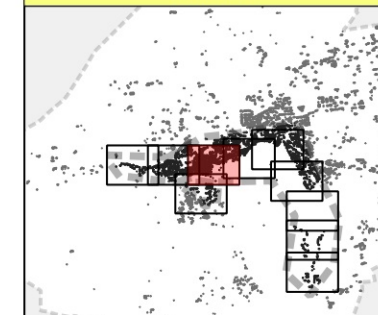
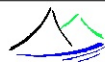


1:2000

0 10 20 30 40 50 m



Version 0.1 - Août 2019






0 1000 2000 3000 4000 m






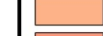

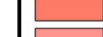
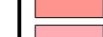
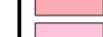





Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages

-  1
-  1
-  6.134
-  18.97
-  39.51
-  83.14
-  98.55
-  98.55
-  121.6
-  167.9
-  221.8
-  293.6
-  370.6
-  499
-  1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

Topographie RGEALTI®

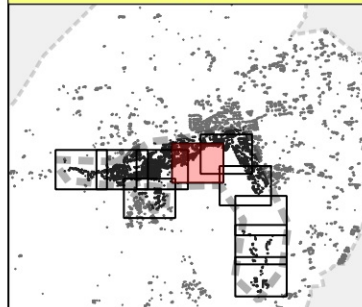
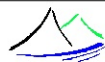


1:2000

0 10 20 30 40 50 m



Version 0.1 - Août 2019






0 1000 2000 3000 4000 m
















Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages

-  1
-  1
-  6.134
-  18.97
-  39.51
-  83.14
-  98.55
-  98.55
-  121.6
-  167.9
-  221.8
-  293.6
-  370.6
-  499
-  1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

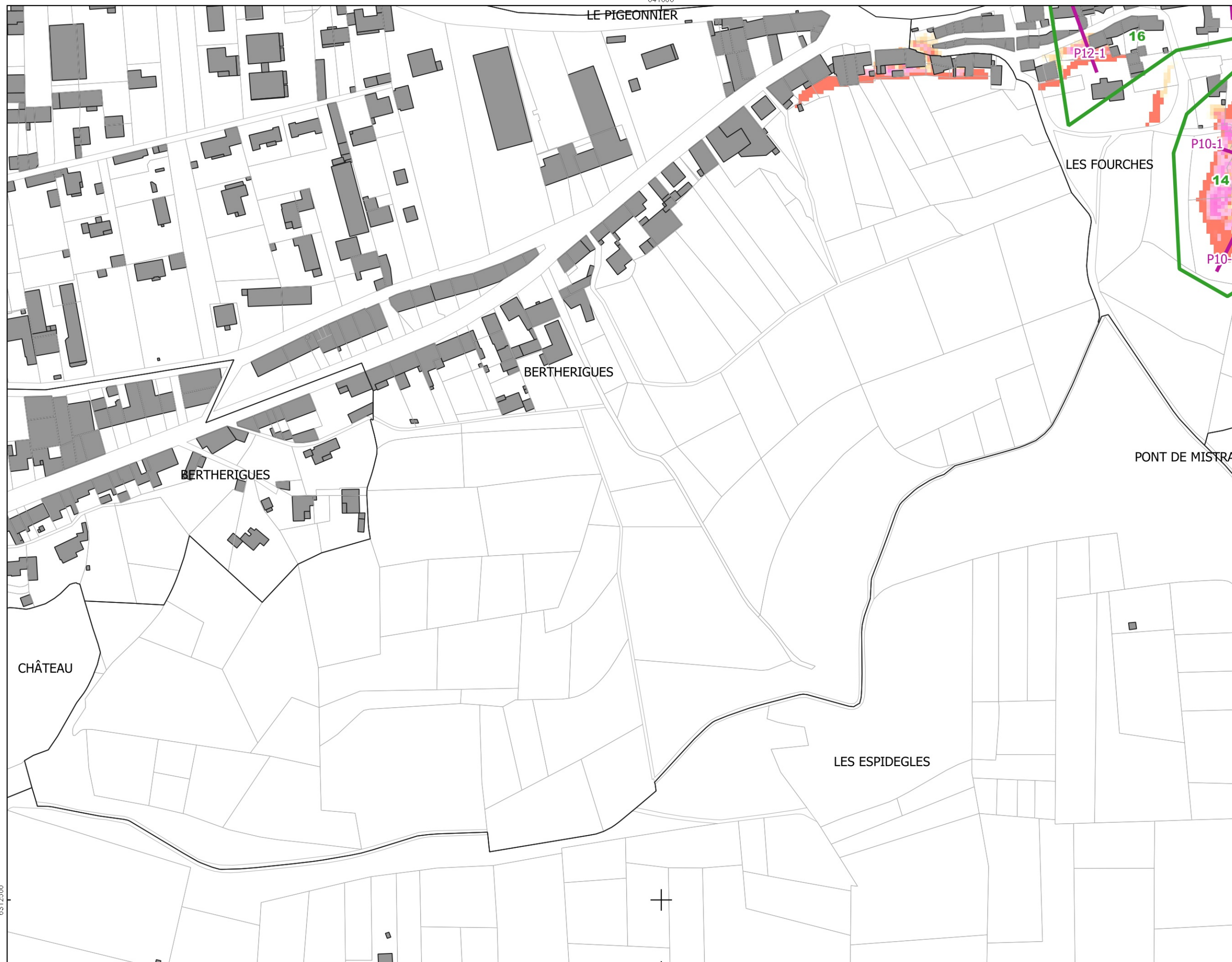
Topographie RGEALTI®



1:2000

0 10 20 30 40 50 m

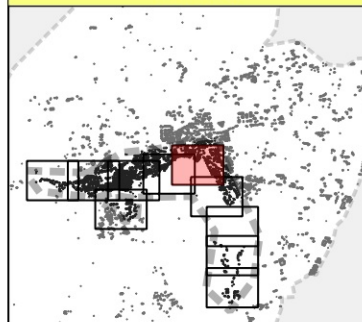
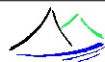
Version 0.1 - Août 2019





6312500

841000

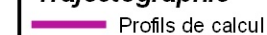
6312500



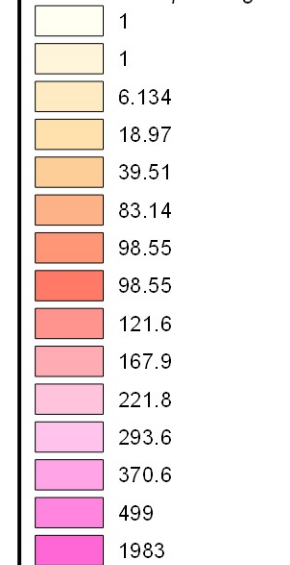
Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages



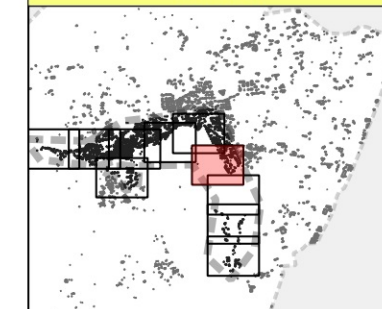
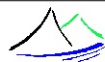
**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

Topographie RGEALTI®





1:2000






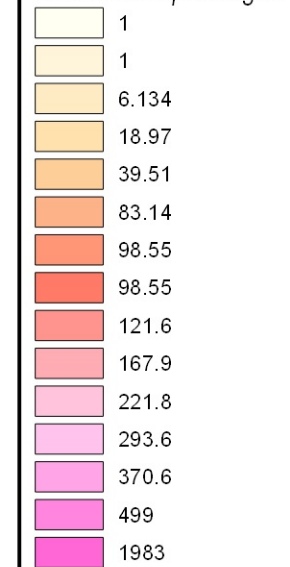
Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages



**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

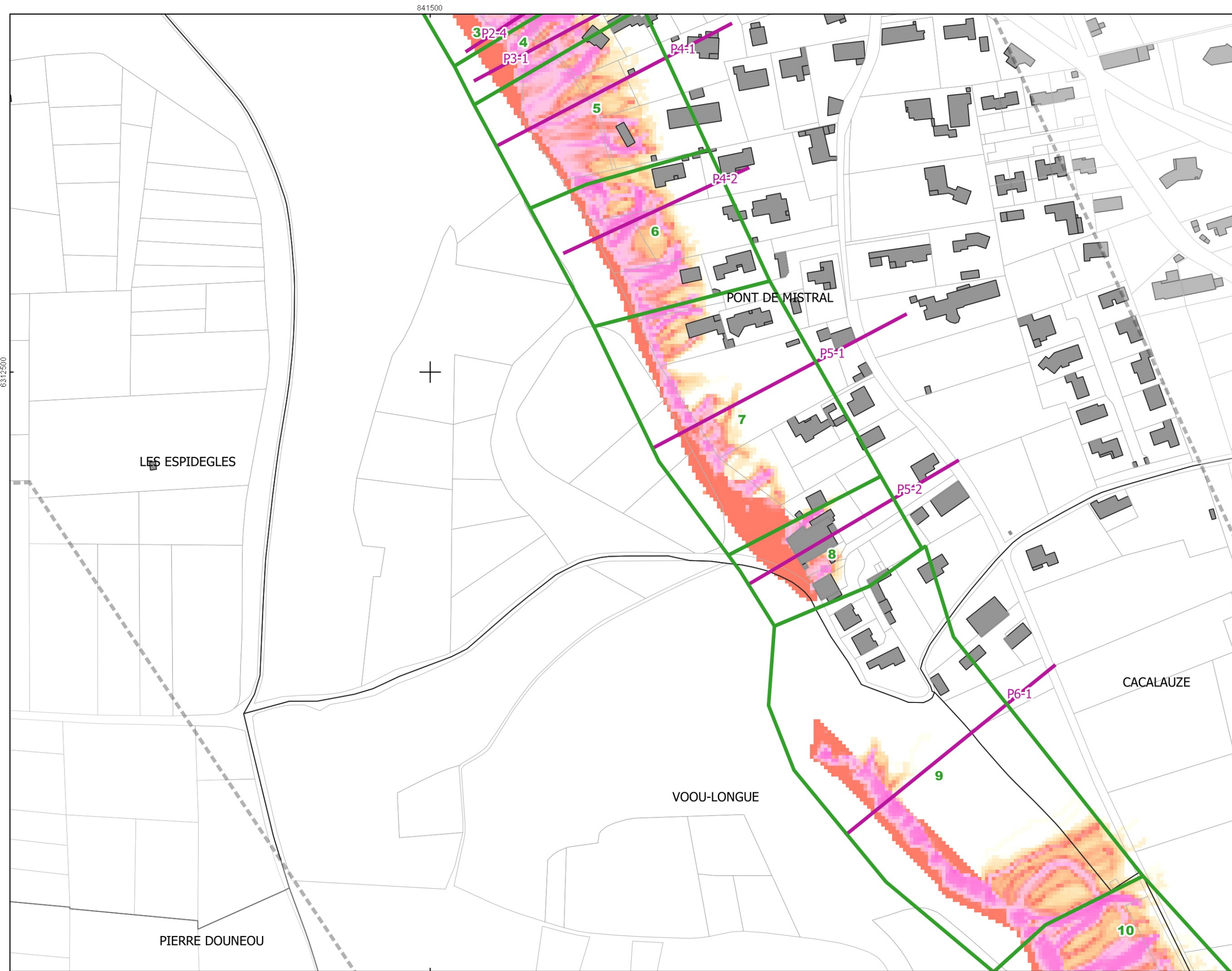
Topographie RGEALTI®

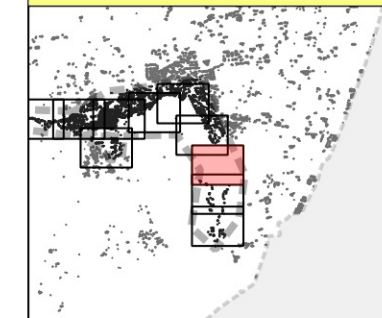
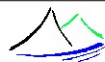


1:2000





Version 0.1 - Août 2019






0 1000 2000 3000 4000 m






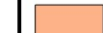
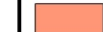
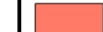
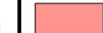






Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages

-  1
-  1
-  6.134
-  18.97
-  39.51
-  83.14
-  98.55
-  98.55
-  121.6
-  167.9
-  221.8
-  293.6
-  370.6
-  499
-  1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

Topographie RGEALTI®



1:2000

0 10 20 30 40 50 m

Version 0.1 - Août 2019

6312000

841500

842000

6312000

841500

842000

VOOU-LONGUE

CACALAUZE

PIERRE DOUNEOU

VOOU-LONGUE (GRANRUT)

PENDIEU

P7-3

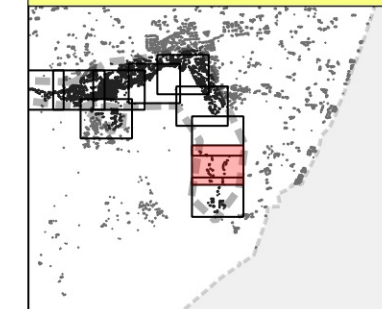
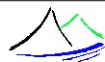
P7-1

P7-2

P6-1



9

10




0 1000 2000 3000 4000 m
















Légende

-  Périmètre étudié
-  zones_homogenes_A

Trajectographie

-  Profils de calcul

Nombre de passages

-  1
-  1
-  6.134
-  18.97
-  39.51
-  83.14
-  98.55
-  98.55
-  121.6
-  167.9
-  221.8
-  293.6
-  370.6
-  499
-  1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

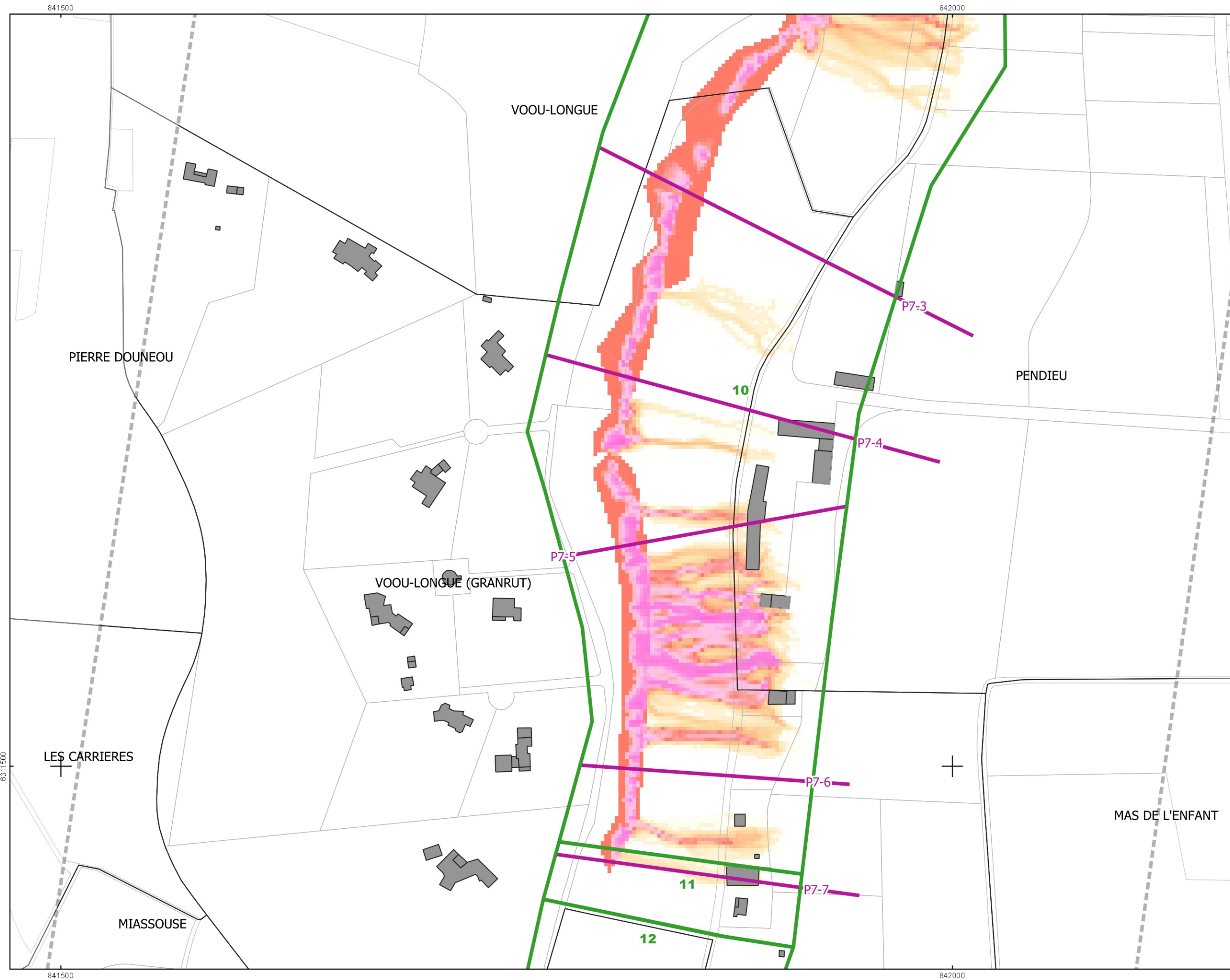
Topographie RGEALTI®

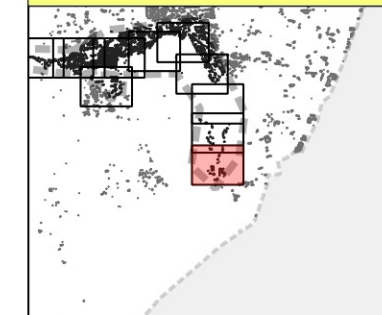
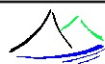


1:2000

0 10 20 30 40 50 m

Version 0.1 - Août 2019





0 1000 2000 3000 4000 m

Légende

- Périimètre étudié
- zones_homogenes_A

Trajectographie

- Profils de calcul

Nombre de passages

- 1
- 1
- 6.134
- 18.97
- 39.51
- 83.14
- 98.55
- 98.55
- 121.6
- 167.9
- 221.8
- 293.6
- 370.6
- 499
- 1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

Topographie RGEALTI®

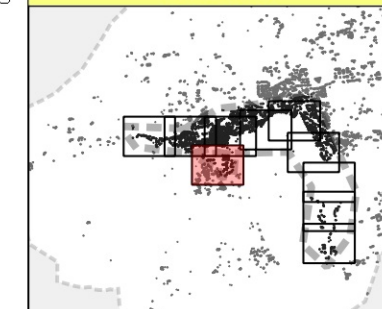
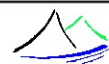


1:2000

0 10 20 30 40 50 m

Version 0.1 - Août 2019





0 1000 2000 3000 4000 m

Légende

- Périimètre étudié
- zones_homogenes_A

Trajectographie

- Profils de calcul

Nombre de passages

- 1
- 1
- 6.134
- 18.97
- 39.51
- 83.14
- 98.55
- 98.55
- 121.6
- 167.9
- 221.8
- 293.6
- 370.6
- 499
- 1983

**DOCUMENT
DE TRAVAIL**

Topographie RGEALTI®



1:2000

0 10 20 30 40 50 m

Version 0.1 - Août 2019

