

**Analyse critique de la carte de
prédisposition aux risques
mouvements de terrain réalisée par
la DREAL de Basse-Normandie.**

**Tranche 1 : cartographie de l'aléa
chute de blocs à Cherbourg-
Octeville, Saint-Lô et Vire**

Rapport final

BRGM/RP-60464-FR
Janvier 2012

Rapport final

BRGM/RP-60464-FR
Janvier 2012

Analyse critique de la carte de prédisposition aux risques mouvements de terrain. Tranche 1 : Cartographie de l'aléa chute de blocs à Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire

Rapport final

BRGM/RP-60464-FR

Janvier 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 10RISE03

P. Pannet, O. Thollon, K. Lechat, JM. Schroetter

Avec la collaboration de
M. Branellec, M. Le Roy

Vérificateur :

Nom : C. Mathon

Date : 17/12/2011

Signature :



Approbateur :

Nom : E. Gomez

Date : 13/01/2012

Signature :



En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.

Mots clés : Chute de blocs, chute de pierres, éboulement, falaise, versant, prédisposition aux risques, Cherbourg-Octeville, Saint-Lô, Vire, Calvados, Manche, Basse-Normandie.

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

Pannet P., Thollon O., Lechat K., Schroetter JM., coll. Branellec M., Le Roy M. (2012) – Analyse de la carte de prédisposition aux risques mouvements de terrain réalisée par la DREAL de Basse-Normandie. Tranche 1 : cartographie de l'aléa chute de blocs à Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire. Rapport BRGM RP-60464-FR. 152 p., 44 ill., 11 tabl., 3 ph., 4 ann.

Synthèse

Une carte de prédisposition aux risques de manifestation de mouvements de terrain (notamment chutes de blocs et glissements de terrain) a été réalisée par la DREAL de Basse-Normandie en 2004 et 2007 à l'échelle du 1/25 000 sur l'ensemble du territoire régional, sur la base d'une analyse des pentes. Cette carte permet d'identifier les zones de fortes pentes ($>20^\circ$) sur lesquelles sont susceptibles de se produire des phénomènes de chute de blocs et d'éboulement. Toutefois, cette carte ne prend pas en compte les différentes variables intervenant dans la mise en place de tels phénomènes (fracturation, présence d'eau, caractéristiques intrinsèques de la roche, altération...). Il était donc nécessaire, afin d'apprécier les incertitudes inhérentes à la méthodologie d'établissement de cette carte, de la comparer à des cartes d'aléa à échelle plus détaillée, prenant en compte des facteurs de prédisposition intervenant dans le processus de chute de blocs.

Trois sites présentant des géologies, des topographies et des aménagements variés, mais aussi des enjeux, ont donc été étudiés à Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire. Pour cela, le BRGM a mis en place une méthodologie de cartographie adaptée au contexte (milieux urbains et reliefs de faible altitude). Ainsi, une cartographie géomorphologique associée à une analyse de la fracturation a permis de définir l'aléa de départ de blocs. L'évaluation des distances de propagation des blocs susceptibles de chuter a été définie à partir de l'utilisation couplée de modèles empiriques et d'un logiciel de trajectographie (bidimensionnel).

A l'issue, une carte d'aléa à fine échelle (valable au 1/5 000^e, avec une précision au 1/2 000 pour les sites les plus urbanisés) a pu être mise en place sur l'ensemble du territoire des trois villes étudiées.

Même si les surfaces concernées sont peu étendues, il apparaît que malgré des reliefs peu élevés, la conjonction d'une pente parfois abrupte, de contextes géologiques (lithologique et tectonique) particuliers, de l'altération, du climat et de la végétation, est à l'origine de zones présentant un aléa fort pour ce qui concerne les chutes de blocs et les éboulements. C'est le cas par exemple à Cherbourg au niveau de la Montagne du Roule ou au sud du parc de la Fauconnière ; à Saint-Lô pour une petite surface sous les remparts ou au niveau de l'ancienne carrière dans laquelle se trouve aujourd'hui un site de la Croix rouge française ; à Vire, rue des usines, au niveau du moulin de la rue olivier Basselin ou encore dans la forêt du versant opposé à la route des Vaux.

Cette carte d'aléa à fine échelle est utilisable dans les trois villes dans le cadre d'une éventuelle mise en place de plan de prévention des risques naturels.

La comparaison entre cette carte d'aléa et la carte de prédisposition montre que cette dernière couvre beaucoup plus de surfaces que les zones réellement touchées par un aléa chute de blocs.

Toutefois, on a aussi pu constater que la quasi-totalité des zones identifiées comme présentant un aléa de départ de blocs sont comprises dans les zones à forte pente de la carte de prédisposition.

A l'issue de la comparaison, il apparaît que la carte de prédisposition est un excellent outil informatif, qui permet notamment d'identifier dans les zones à enjeux (zones urbaines, linéaire routier...), les sites où des études complémentaires de stabilité des affleurements pourraient être utiles. Et bien qu'elle ne puisse se muer en carte d'aléa dans les zones présentant des enjeux, cette carte de prédisposition, mise à jour avec un MNT plus précis (LIDAR ?) et des zones tampons caractérisant les zones de propagation, pourrait être suffisante dans les zones ne présentant pas d'enjeu majeur.

La carte d'aléa à fine échelle ne vient donc pas en remplacement, mais en complément de la carte de prédisposition, qui définit notamment des zones de forte pente actuellement en équilibre, mais qui pourraient présenter un aléa en cas notamment de terrassement non contrôlé.

Sommaire

1. Introduction	11
2. Contexte géographique et géologique	13
2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA BASSE-NORMANDIE	13
2.2. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE CHERBOURG-OCTEVILLE :	15
2.3. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE SAINT-LO :	19
2.4. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE VIRE :	23
3. Notions théoriques simplifiées	29
3.1. MECANIQUE DE LA RUPTURE	29
3.2. FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHUTE DE BLOCS	30
3.2.1. Facteurs de prédisposition	30
3.2.2. Facteurs de déclenchement	31
3.3. LES DIFFERENTS MODES DE RUPTURE/ MECANISMES D'INSTABILITES	33
3.4. LA PROPAGATION	34
4. Méthodologie	35
4.1. CARTE DE L'ALEA DE DEPART	35
4.1.1. Cartographie géomorphologique	35
4.1.2. Paramètre fracturation	37
4.1.3. Aléa de départ	43
4.1.4. Zones protégées	44
4.1.5. Aléa chute de pierres	44
4.2. ZONES DE PROPAGATION	45
4.2.1. Méthode des cônes	45
4.2.2. Pierre98	48
4.2.3. Evaluation de la propagation	50
4.2.4. Prise en compte des trois dimensions	51

4.3. IDENTIFICATION DU REcul POTENTIEL	51
4.4. CARTE DE L'ALEA CHUTE DE BLOCS.....	52
4.4.1. SIG	53
5. Résultats : exemple de sites remarquables.....	55
5.1. CHERBOURG-OCTEVILLE : FALAISE « ROUGE », RUE DE LA ROCHE QUI PEND	55
5.1.1. Localisation	55
5.1.2. Alea de départ.....	55
5.1.3. Zones de propagation	57
5.2. SAINT-LO : SUD-CITADELLE	60
5.2.1. Localisation	60
5.2.2. Alea de départ.....	60
5.2.3. Zones de propagation	63
5.3. VIRE : RUE DES USINES.....	64
5.3.1. Localisation	64
5.3.2. Aléa de départ.....	65
5.3.3. Zones de propagation	68
5.4. IDENTIFICATION DES ZONES IDENTIFIEES COMME « A RISQUE » LORS DE L'ETUDE	70
6. Analyse critique de la carte de prédisposition.....	71
6.1. CARACTERISTIQUES DE LA CARTE DE PREDISPOSITION.....	71
6.2. ANALYSE STATISTIQUE	71
6.2.1. Cherbourg-Octeville	71
6.2.2. Saint-Lô.....	72
6.2.3. Vire.....	73
6.3. ANALYSE CRITIQUE.....	74
6.3.1. Analyse de la carte.....	74
6.3.2. Analyse de la notice	76
6.4. PROPOSITIONS D'AMELIORATION DE LA CARTE DE PREDISPOSITION .	76
6.4.1. Précision du MNT.....	76
6.4.2. Etudes associées	77
6.4.3. Précision de la notice	77

7. Conclusions	79
8. Bibliographie.....	81

Liste des illustrations

Illustration 1 : Carte géologique de la Basse-Normandie, extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 de la France, éditions BRGM et découpage de la région par les cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM.....	13
Illustration 2 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000 ^{ème} (© IGN) de la commune de Cherbourg-Octeville ; localisation des affleurements étudiés pour compléter la connaissance géologique du site.	15
Illustration 3 : Extrait de la carte géologique de la France 1/50 000 ^{ème} , feuille (n°72 – Cherbourg © BRGM) de la commune de Cherbourg-Octeville.	16
Illustration 4 : Affleurement 1 de la formation du Grès Armoricaïn, le long de la Divette, Parc de la Fauconnière	17
Illustration 5 : Affleurement 2 de la formation du Grès Armoricaïn, Fort du Roule.	18
Illustration 6 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000 ^e (©IGN). Commune de Saint-Lô.	19
Illustration 7 : Extrait de la carte géologique de la France au 1/50 000 ^e , feuilles n°143 et 144 (Saint-Lô et Torigny-sur-Vire, ©BRGM).	20
Illustration 8 : Affleurements 1 et 2 de la formation de Saint-lô (schistes du Briovérien), au niveau des remparts de Saint-Lô.	21
Illustration 9 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000 ^e (© IGN) de la commune de Vire.	23
Illustration 10 : Extrait de la carte géologique de la France au 1/50 000 ^e (© BRGM). Feuille n°174 (Vire). Commune de Vire.	24
Illustration 11 : Vire : affleurement n°1, rue des teintures et affleurement n°2, rue des usines.	25
Illustration 12 : Vire : affleurement n°2, rue des usines ; affleurement n° 3, rue Olivier Basselin.....	27
Illustration 13 : Schémas de principe de la mécanique de la rupture. A gauche représentation des forces en présence (le S correspond à σ) . A droite, représentation du critère de Mohr-Coulomb (SSGm)	30
Illustration 14 : Pied du versant Nord de la Montagne du Roule, Cherbourg. Mise en évidence des différentes familles de fractures relevées : fractures d'ordre 1 en trait plein, fractures d'ordre 2 en pointillés	37
Illustration 15 : Schéma de principe d'un diagramme polaire et de la représentation stéréographique	39

Illustration 16 : Mise en évidence des discontinuités principales (exemple d'un site de la montagne du Roule - Cherbourg), à partir de représentations stéréographiques (tracées par Stereonett).....	41
Illustration 17 : Exemple de site où le relevé de fracturation a donné un aléa fort alors que la hauteur est inférieure à 3 m (2,5 m). L'aléa a été ramené à faible. Affleurement situé à Cherbourg, rue des Vosges.	43
Illustration 18 : Affleurement protégé sur le versant sud des remparts de Saint-Lô	44
Illustration 19 : Versant avec un aléa chute de blocs faible et un aléa chute de pierres moyen (montagne du Roule, Cherbourg)	45
Illustration 20 : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie. A : zone de départ, B : point d'arrêt maximal probable. β :angle de la ligne d'énergie.(Collectif, 2008).....	46
Illustration 21 : Seuils de pente de la ligne d'énergie utilisés dans le cadre d'affleurement surplombant un versant en pente	47
Illustration 22 : Exemple de profil Excel (Montagne du Roule, Cherbourg)	48
Illustration 23 : Fenêtre du logiciel Pierre98 permettant de définir les « paramètres blocs »	49
Illustration 24 : Fenêtre du logiciel Pierre98 permettant de définir la nature de chaque segment du profil et les caractéristiques de chaque sol.....	49
Illustration 25 : Résultat de la simulation (exemple pour 2000 blocs lancés). A gauche : trajectoire des blocs. A droite : histogramme des distances atteintes	50
Illustration 26 : Schéma de principe de la pondération de l'aléa lié à la propagation en fonction de l'aléa de départ (AD). F= Fort, M=Moyen, f=faible	53
Illustration 27 : Situation du site étudié (© IGN).	55
Illustration 28 : Fractures principales de la zone « Falaise rouge ». Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite	56
Illustration 29 : Analyse de la stabilité.	56
Illustration 30 : Aléa de départ au niveau de la zone falaise rouge.....	57
Illustration 31 : Détail de la carte d'aléa chute de blocs au niveau de la zone falaise rouge. Sont ici représentés l'aléa de départ et l'aléa de propagation.	58
Illustration 32 : Localisation du site.....	60
Illustration 33 : Fractures principales de la zone Sud citadelle. Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite.	61
Illustration 34 : Analyse de la stabilité pour les sites 10 et 11 de la zone sud-citadelle.....	61
Illustration 35 : Aléa de départ au niveau de la zone Sud citadelle.....	62
Illustration 36 : Détail du panorama de l'angle sud-ouest des remparts rendant compte de l'aléa de départ de chute de blocs.....	63
Illustration 37 : Détail de la carte d'aléa chute de blocs au niveau de la zone sud citadelle. Sont ici représentés l'aléa de départ et l'aléa propagation.	64
Illustration 38 : Localisation de la rue des usines. Commune de Vire (© IGN).	65

Illustration 39 : Plans de fractures principaux dans la granodiorite de la rue des usines. Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite.	65
Illustration 40 : Plans de fractures principaux dans la cornéenne de la rue des usines. Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite.	66
Illustration 41 : Analyse de la stabilité pour les sites 29 et 34 localisés dans la cornéenne de la rue des usines.....	66
Illustration 42 : Détail de la carte d'aléa de départ de blocs au niveau de la rue des usines.	68
Illustration 43 : Cartographie de l'aléa chute de blocs. rue des usines, Vire.	69
Illustration 44 : Vire, rue des usines : exemple de site où la carte de prédisposition (tons violacés) ne correspond pas du tout à la carte d'aléa (d'aléa faible en jaune à fort en rouge).	74

Liste des tableaux

Tableau 1 : Principaux processus d'évolution des compartiments rocheux (d'après LCPC, 2004)	32
Tableau 2 : Définition et critères d'évaluation des niveaux d'aléa chute de blocs (d'après Marçot et al., 2011)	36
Tableau 3 : Ordres de grandeur des angles de frottement sur des discontinuités préexistantes (joints de stratification ou fracture) (Parriaux A. & Arnould M., 2006)	40
Tableau 4 : Niveau d'aléa en fonction du nombre d'intersections de plans de fractures dans la zone critique	42
Tableau 5 : Pondération de l'aléa en fonction de la hauteur du versant	43
Tableau 6 : Critères d'estimation de la probabilité d'atteinte d'un point donné par un bloc chuté	51
Tableau 7 : Evaluation du niveau d'aléa en fonction de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation pondéré par la hauteur pour la zone falaise rouge. L'aléa chute de pierres n'est également pris en compte que lorsqu'il est supérieur à l'aléa de départ.	57
Tableau 8 : Extension des zones d'aléa propagation pour les sites de la zone falaise rouge	58
Tableau 9 : Evaluation du niveau d'aléa en fonction de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation pondéré par la hauteur pour la zone Sud citadelle. L'aléa chute de pierre est également pris en compte lorsqu'il est supérieur à l'aléa de départ.....	62
Tableau 10 : Extension des zones de propagation pour les site de la zone Sud citadelle (distance exprimée par rapport au pied de falaise).	64
Tableau 11 : Evaluation du niveau d'aléa en fonction de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation pondéré par la hauteur pour la rue des usines. L'aléa chute de pierres n'est également pris en compte que lorsqu'il est supérieur à l'aléa de départ.	67

Liste des photos

Photo 1 : Vue d'ensemble du site (partie gauche de l'affleurement visible).....	59
Photo 2 : Détail d'une partie de l'affleurement et d'un des merlons mis en place.....	59
Photo 3 : Vue d'une partie des affleurements de la rue des usines prise du versant opposé. La proximité entre l'affleurement et les habitations est visible.	69

Liste des annexes

Annexe 1 - Planches cartographiques de l'aléa chute de blocs. Villes de Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire	83
Annexe 2 - Fiches synthétiques présentant les sites identifiés comme « à risque »	131
Annexe 3 - Remparts de Saint-Lô : vue représentation cartographique de l'aléa de rupture	137
Annexe 4 - Notice d'utilisation de la carte de prédisposition	153

1. Introduction

Une carte de prédisposition aux risques de manifestation de mouvements de terrain (notamment chutes de blocs et glissements de terrain) a été réalisée par la DREAL de Basse-Normandie en 2004 et 2007 à l'échelle du 1/25 000 sur l'ensemble du territoire régional, sur la base d'une analyse des pentes. La validation/adaptation de cette carte nécessitant une analyse s'appuyant notamment sur des observations de terrain détaillées, la DREAL de Basse-Normandie a commandité au BRGM l'étude de secteurs aux contextes géologiques variés pour en définir les niveaux d'aléa « mouvements de terrain » (chutes de blocs et glissements), en vue d'une analyse critique de sa carte de prédisposition à la manifestation de ces phénomènes. Ce projet s'articule en deux tranches distinctes, une pour les chutes de blocs (d'une durée de 15 mois) et l'autre pour les glissements de terrain (d'une durée de 30 mois), requérant chacune une méthodologie adaptée.

La présente étude porte spécifiquement sur la tranche « chute de blocs ». Il s'agit de développer une méthodologie efficace pour déterminer d'abord l'aléa des zones de départs potentiels de blocs, ensuite d'évaluer les distances de propagation des blocs susceptibles de chuter, puis de cartographier ces aléas à fine échelle (1/5 000, 1/2 000). L'analyse critique s'est ensuite faite par examen comparatif des cartes produites avec la carte de prédisposition.

2. Contexte géographique et géologique

2.1. CONTEXTE GEOLOGIQUE DE LA BASSE-NORMANDIE

Les trois communes de Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire, communes de Basse-Normandie, appartiennent au Massif Armoricain. La structuration du Massif Armoricain est la conséquence et la superposition de deux chaînes de montagne anciennes : la chaîne cadomienne allant de 700 à 540 millions d'années et de la chaîne hercynienne allant de 330 à 300 millions d'années.

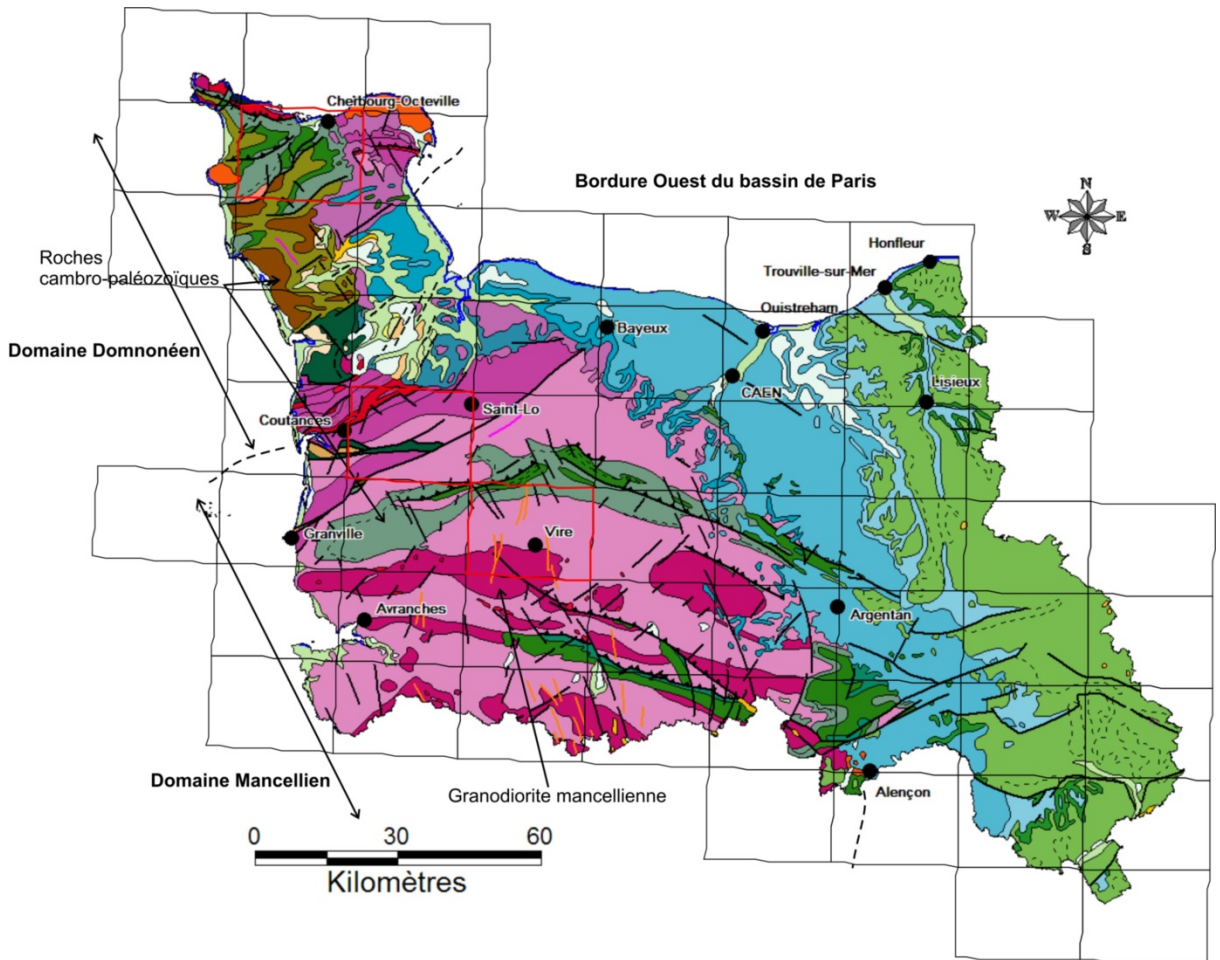


Illustration 1 : Carte géologique de la Basse-Normandie, extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 de la France, éditions BRGM et découpage de la région par les cartes géologiques au 1/50 000 du BRGM

La Basse-Normandie « cadomo-hercynienne » est divisée en deux domaines tectono-stratigraphiques distincts. Au nord et jusqu'à un accident tectonique Coutances-Bayeux, le Domaine Domnonéen et au Sud de cet accident, le Domaine Mancellien.

Le premier (Le Domaine Domnonéen) est composé de roches volcaniques acides et basiques, de schistes briovériens inférieurs (à phyllites) et de roches métamorphiques, sur lesquelles reposent en discordance les roches sédimentaires cambro-paléozoïques (Illustration 1).

Le second (Le Domaine Mancellien) est composé de roches du Briovérien supérieur et de granitoïdes intrusifs, datés dans la fourchette des 520 – 540 millions d'années (comme la granodiorite de Vire) et sur lesquelles reposent aussi les roches sédimentaires du Paléozoïque.

La déformation tectonique diminue, elle, depuis le Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Au Nord-Ouest, la déformation est ductile (D1), et elle s'exprime par une schistosité ou foliation très pénétrative orientée NNE-SSW et fortement pentée, associée à des plis isoclinaux.

Une seconde schistosité de crénulation (D2) affecte cette première schistosité D1 avec une orientation E-W et fortement pentée vers le Sud.

Enfin une déformation tardive (D3) cassante découpe l'ensemble avec des directions N 20, N 50 et N 90.

Plus au sud (au niveau de Saint-Lô par exemple), la déformation D1 est soulignée par des plis isoclinaux avec une schistosité de flux orientée soit N 70, soit N 110 et fortement pentée vers le Sud. Cette déformation est attribuée à l'épisode cadomien et la réorientation en la direction N 110 serait attribuée à l'épisode hercynien.

Un dernier épisode de déformation affecte le Cotentin. Cet épisode est attribué par les auteurs de la notice de la carte géologique Saint-Lô, à l'Hercynien. C'est un épisode de fracturation, créant des failles inverses N 70 à N 110 à vergence sud et des décrochements N 10-30 senestres et N 140-160 dextres.

Les contextes géologiques des trois villes étudiées ont été déterminés, en s'appuyant sur la bibliographie existante et complétés par l'étude d'affleurements *in situ* (Illustrations 2, 7 et 9).

2.2. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE CHERBOURG-OCTEVILLE :

La commune de Cherbourg-Octeville est située à la pointe de la presqu'île du Cotentin, en bordure de la Manche à laquelle elle fait face avec une orientation plein nord (Illustration 2).

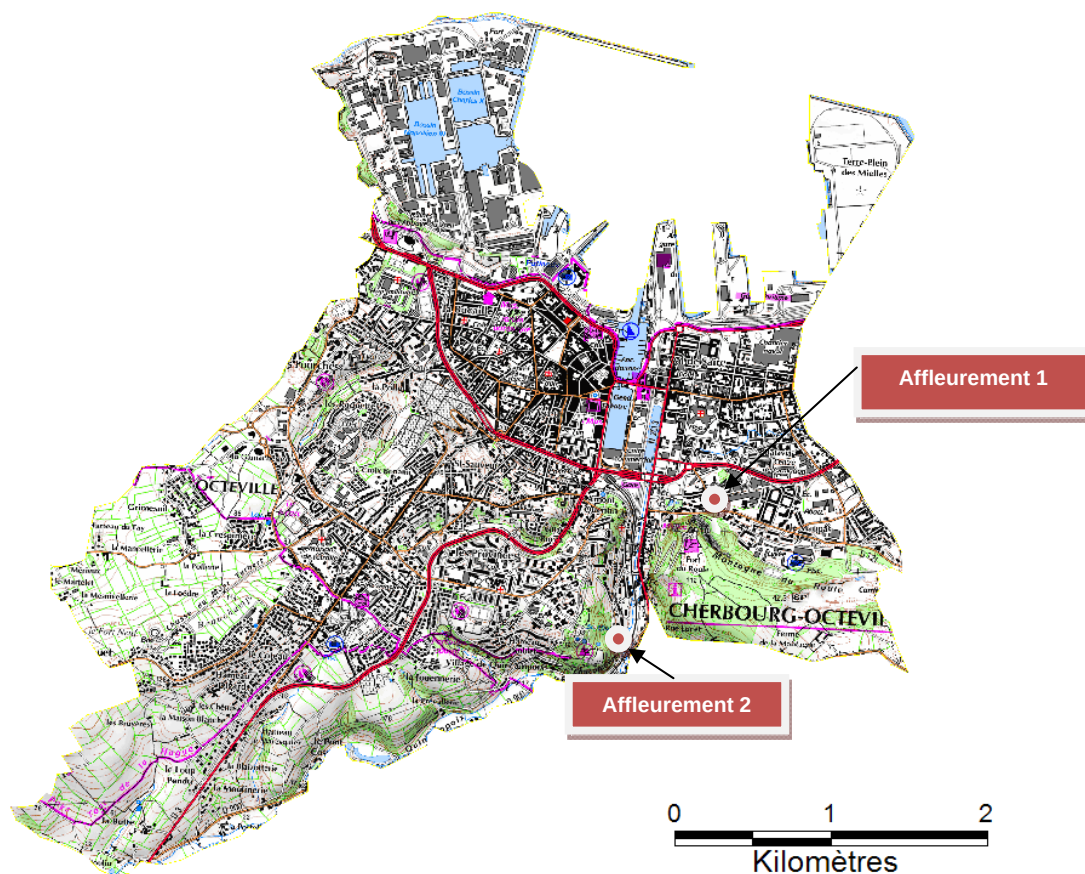


Illustration 2 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000ième (© IGN) de la commune de Cherbourg-Octeville ; localisation des affleurements étudiés pour compléter la connaissance géologique du site.

Sur sa partie septentrionale (face à la mer), l'altitude de la commune avoisine les 5 à 15 m NGF, alors que pour sa partie méridionale, l'altitude atteint les 70 puis 100 m NGF. Entre ces deux secteurs géographiques, il existe une falaise fossile avec une orientation sub-Est-Ouest (Fig.2). Les principaux reliefs sont armés pour l'essentiel par les formations géologiques du Cambro-paléozoïque. Ces reliefs sont surtout largement observables le long de la vallée de la Divette, encaissée au niveau de son exutoire sur environ 90 m.

Cherbourg-Octeville appartient à la feuille géologique Cherbourg, n°072 (Illustration 1).

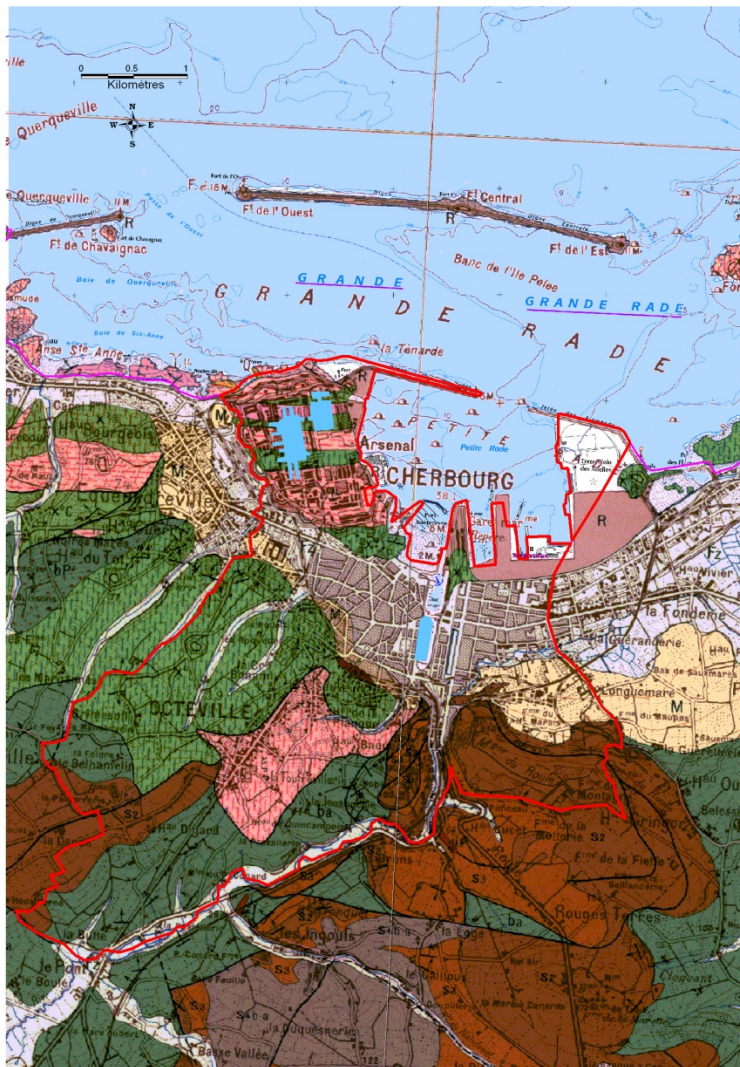


Illustration 3 : Extrait de la carte géologique de la France 1/50 000ième, feuille (n°72 – Cherbourg © BRGM) de la commune de Cherbourg-Octeville.

Sur la partie basse de la commune, les formations géologiques présentes sont des formations d'âge quaternaire, composées par des alluvions modernes notés « Fz », des terrasses marines (notées « M »), contenant des galets roulés de silex, des débris de coquilles de *Patella* et *Ostrea*. Ces terrasses peuvent atteindre pour les plus hautes, l'altitude de 40 m NGF. Ces deux formations géologiques récentes (quaternaires, Fz et M au s.l.), reposent sur un substratum (un ancien platier) composé d'un granite déformé à un orthogneiss, d'âge indéterminé, (notés « γ et ξ » en rose sur l'extrait de carte géologique ci-dessus, Illustration 3), et de schistes notés « x », à séricite, micas et blaviérite en vert clair.

La partie où se situent les principaux reliefs de la commune, est composée de schistes du Cambrien notés « ba » (en vert kaki sur la carte géologique), surmontés par des grès clairs armoricains, notés « s2 » (en marron foncé).

La formation géologique notée « ba » est une formation de schistes et grès en alternance, de couleur sépia à violacé, à verdâtre. Cette formation est recouverte en discordance par la formation notée « s2 », du grès armoricain. Le faciès principal est un quartzite blanc, à grains fins en bancs d'échelle métrique (Illustrations 4 et 5).

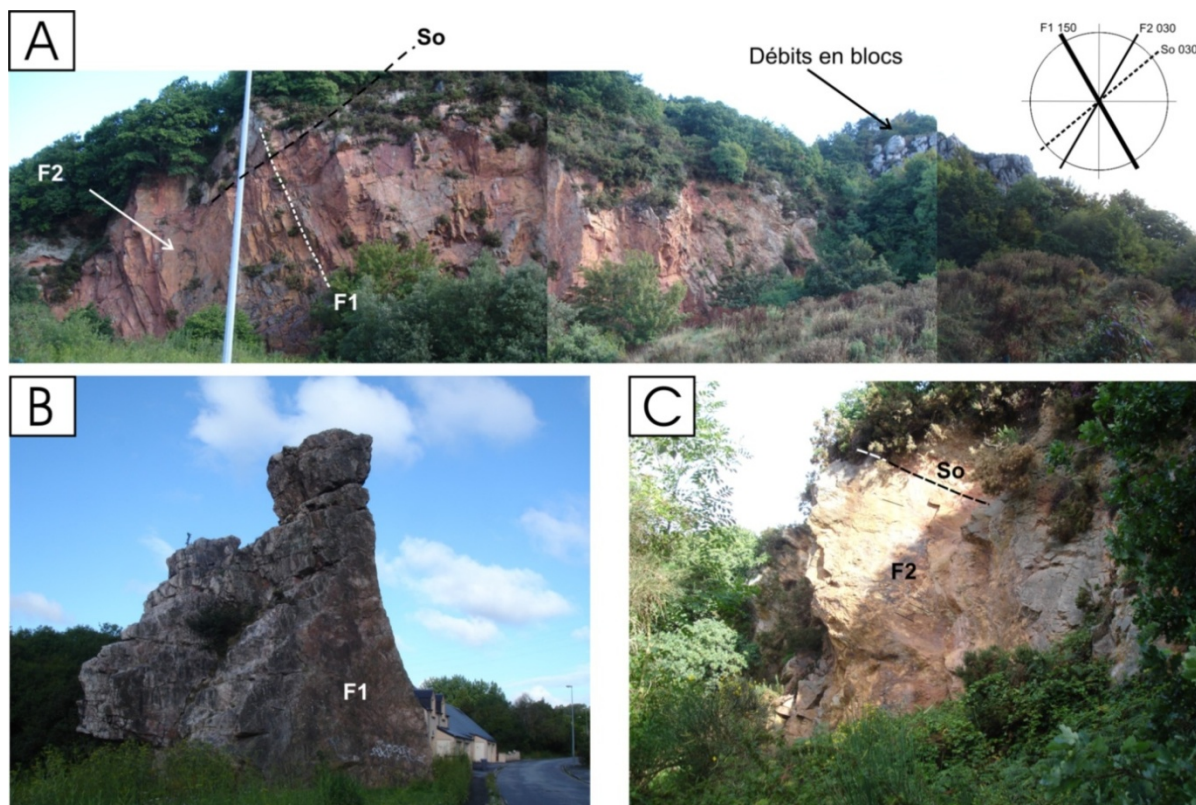


Illustration 4 : Affleurement 1 de la formation du Grès Armoricain, le long de la Divette, Parc de la Fauconnière

Affleurement 1 de la formation du Grès Armoricain, le long de la Divette, Parc de la Fauconnière; **A** : Ancienne carrière dans laquelle il est possible d'observer les principales discontinuités géologiques (So : la stratification, F1 et F2 : plans de fracturation tectonique (Le Nord est parallèle à la bordure de la feuille)). **B** : Débits en blocs de la formation géologique, ici s'ajoutent des plans de décompression. **C** : Relation entre la stratigraphie et F2, contenant des stries de mouvement de 15° vers le nord.

Les grès armoricains constituent l'affleurement 1 (Illustration 4) comme l'affleurement 2 (Illustration 5), basculés, avec respectivement une stratification qui pend de 25° vers de N-NO (N 5025 N) et de 45° vers le NE (N 130, 45/50 N). Ce basculement illustre une tectonique post-formation, accompagné d'une fracturation de la roche.

Pour l'affleurement 1 (Illustration 4), la fracturation tectonique a deux directions préférentielles : F1 N 150 à 145, 70 E (Illustrations 4A et 4B) et F2 N 30, 90 montrant des stries orientées de 15° vers le Nord (Illustrations 4A et 4C).

Pour l'affleurement 2 (Illustration 5), la fracturation a ici aussi deux orientations préférentielles : F3 orientée N 120, 75 S (Illustration 5B) et F4 orientée N 60, 75 N (Illustration 5B).

Sur chacun des deux affleurements, ces diaclases sont responsables du débit en blocs de la formation géologique. A ces diaclases s'ajoutent des fractures de décompression de bordures de vallées (Illustration 4B).

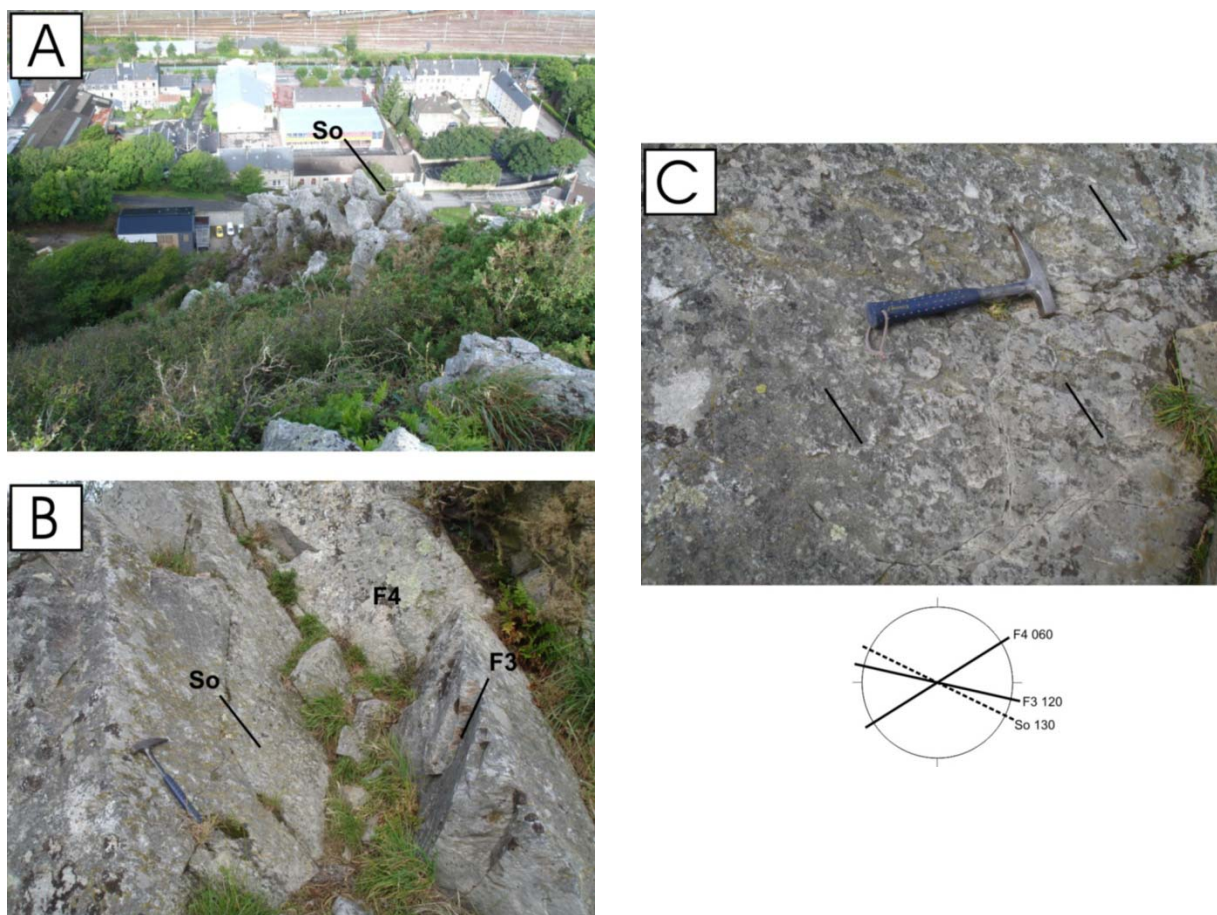


Illustration 5 : Affleurement 2 de la formation du Grès Armoricaïn, Fort du Roule.

A : Vue du haut de la falaise et de la stratification So ; B : Vue d'un affleurement caractéristique avec So : la stratification, F3 et F4 : plans de fracturation tectonique, débitant la roche en blocs ; C : Glissement banc sur banc sur la stratification donnant la direction de transport N035 45/50N.

2.3. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE SAINT-LÔ :

La commune de Saint-Lô est située dans le centre-est du département de la Manche, à la confluence entre la Vire qui constitue en partie, les limites de commune sud et ouest et deux cours d'eau secondaires : le Rau de la Pièrie au nord et un cours d'eau entièrement aménagé au sud.

La partie principalement urbanisée de la commune est située sur l'interfluve de ces deux rivières secondaires avec une altitude allant de 20 à 60 m NGF (Fig.6).

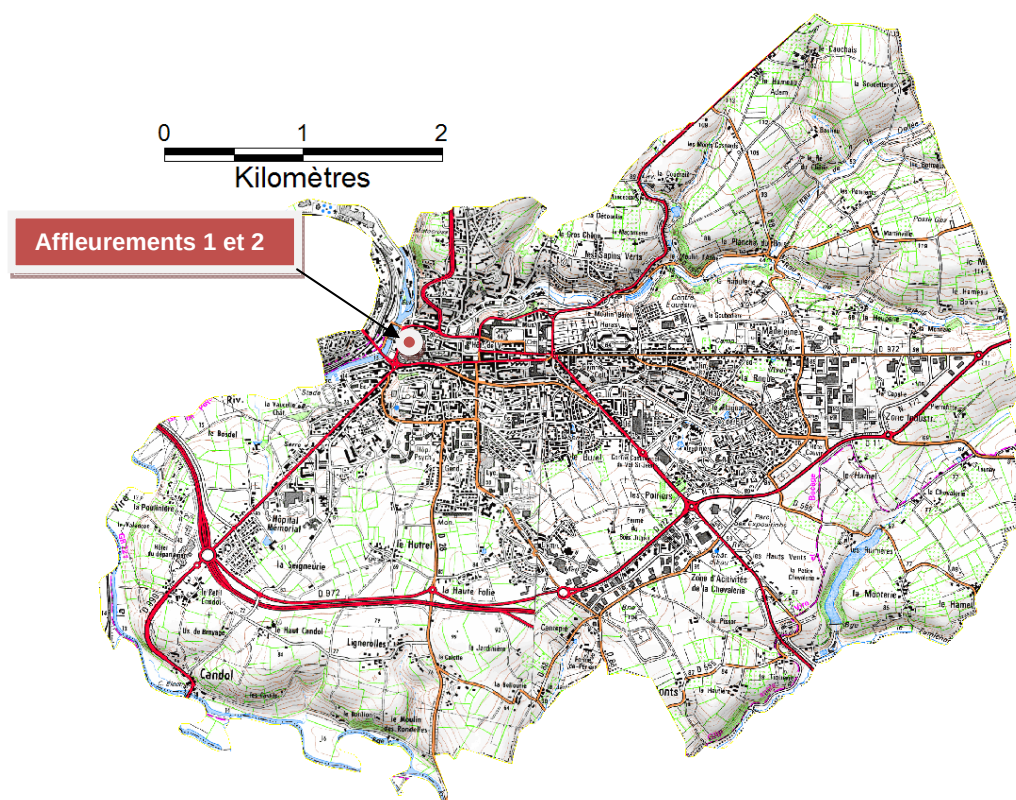


Illustration 6 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000^e (©IGN). Commune de Saint-Lô.

Ces deux rivières secondaires délimitent un promontoire rocheux orienté est-ouest, sur lequel est installée la cité historique depuis la période gallo-romaine. La bordure ouest du promontoire est une falaise d'une vingtaine de mètres de hauteur, sur laquelle sont construits les remparts du château.

Le territoire de la commune de Saint-Lô est à cheval sur les cartes géologiques au 1/50 000^e de Saint-Lô et de Torgny-sur-Vire, portant les numéros respectifs 143 et

144 (Illustration 7). L'ensemble du territoire de la commune est constitué de schistes du Briovérien ou de la Formation de Saint-Lô, et noté « b1L » sur la feuille Saint-Lô et « b1S » sur la feuille Torigni-sur-Vire.

Cette formation géologique constitue une série de roches sédimentaires détritiques en alternance et fortement déformée, composée de niveaux de grès tufacés (notés « b1G »), de siltites fines et d'argilites (notées « b1S ») et enfin de niveaux noirs riches en silice (les phtanites, notés « b1Ph »). Les faciès « b1S » correspondent en général à un schiste de couleur noir rouillé caractéristique.

Cet ensemble de roches est intensément déformé (schistosité de flux associée à des plis isoclinaux).

Les affleurements que sont ces falaises coiffées par les remparts du château de Saint-Lô permettent, du fait de leur orientation variable (concave), un examen très détaillé de l'état de fracturation du massif à cet endroit.

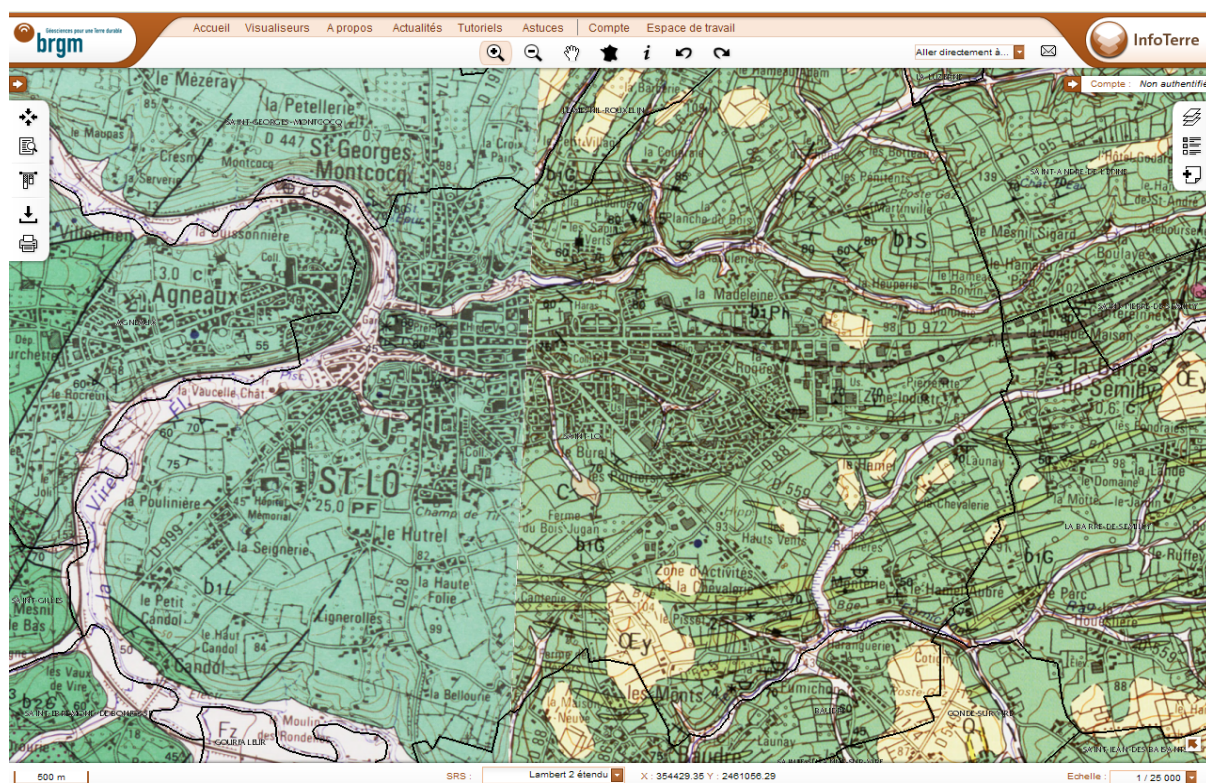


Illustration 7 : Extrait de la carte géologique de la France au 1/50 000^e, feuilles n°143 et 144 (Saint-Lô et Torigni-sur-Vire, ©BRGM).

Sur l'affleurement 1 nord, il est possible d'observer la stratification, la schistosité et un plan de fracturation F1. La stratification et la schistosité S1 sont parallèles avec une orientation N120 50S. Ces deux structures planaires sont affectées par la fracturation F1 orientée N145/140 60N. D'un point de vue lithologique, l'affleurement 1 (au nord des remparts) est un faciès plus gréseux que l'affleurement 2 (au sud des remparts).

D'un point de vue de l'altération, la falaise se situe dans la zone fissurée du profil d'altération, soulignée par la présence de nombreux plans de fracture oxydés (Illustrations 8A et 8B).

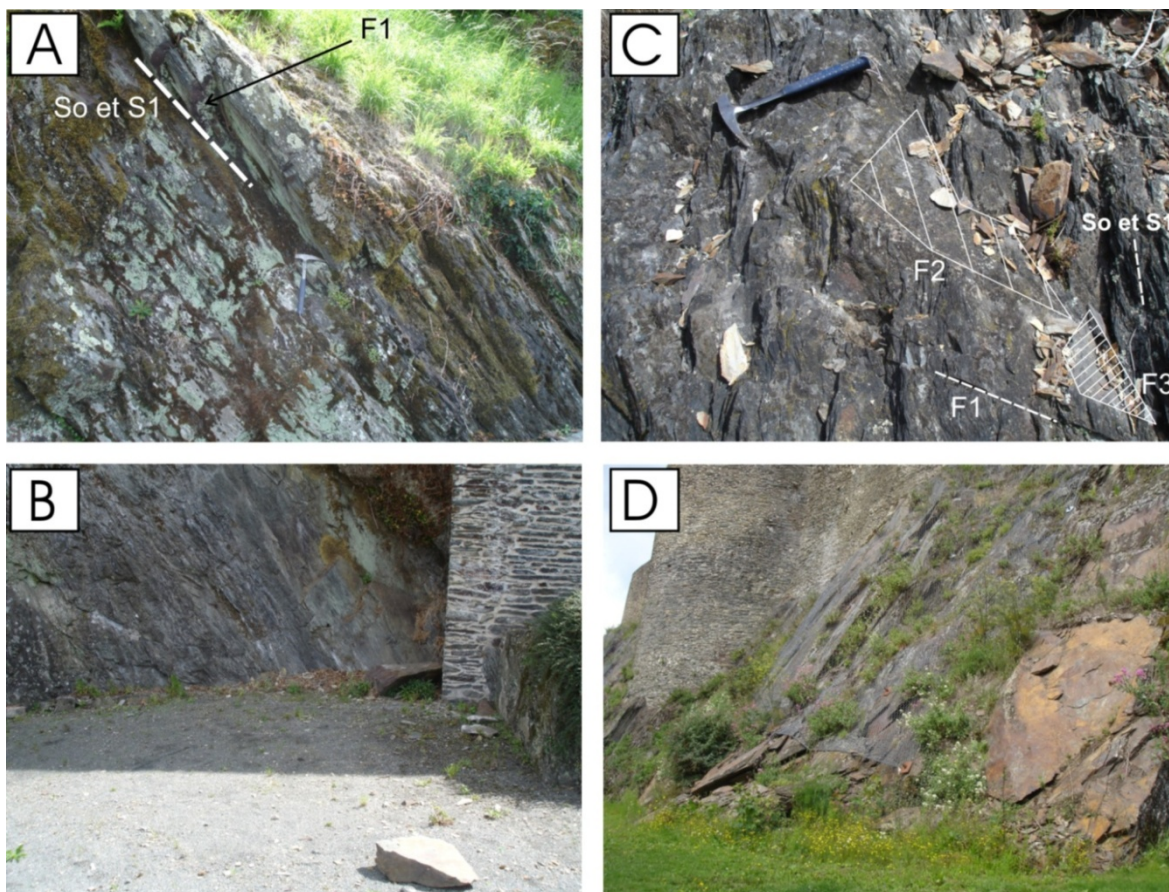


Illustration 8 : Affleurements 1 et 2 de la formation de Saint-lô (schistes du Briovérien), au niveau des remparts de Saint-Lô.

A : Affleurement 1 au nord (peu à pas de chutes de blocs) avec la stratification So parallèle à la schistosité S1 et la fracturation F1 N145/140 60N ; **B :** Chute de blocs à partir du milieu de la falaise ; **C :** Affleurement 2 au sud (nombreuses chutes et glissements de blocs), avec la stratification So (parallèle à S1), F1 et deux plans supplémentaires F2 et F3 de fracturation, débitant la roche en blocs aplatis : F2 N130 65S et F3 N075 35S ; **D :** Glissement sur la stratification So. Les plans F2 et F3 produisant de nombreux chutes et glissements au sud de la falaise.

Sur l'affleurement 2 (au sud), on retrouve la stratification So et la schistosité S1 ainsi que la fracturation F1 (Illustrations 8C et 8D). La stratification et la schistosité sont orientées N 90 65 S légèrement différentes de l'affleurement précédent mais la fracturation F1 reste sensiblement la même N145/140 50E. Deux plans supplémentaires sont observables ici. L'un d'orientation N 130 65 S noté F2 et l'un N 75 35 S noté F3.

Ces deux plans de fracturations montrent des traces d'oxydation et leur orientation a pour conséquence de faciliter la chute ou le glissement de blocs. Ces oxydes sont la conséquence de l'hydratation/altération de la pyrite contenue dans les schistes briovériens. Cette hydratation/altération entraînant une augmentation de volume de la pyrite peut être l'une des causes de la chute et des glissements d'éléments sur cette partie de falaise sud. A ceci s'ajoute l'orientation de la stratification So, de la schistosité S1 et des fracturation F2 et F3, par rapport à la falaise et au vide.

2.4. CONTEXTES GEOLOGIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE DE LA COMMUNE DE VIRE :

La commune de Vire est située dans la région naturelle du bocage virois. La commune est traversée par la Vire au niveau de sa confluence avec la Virène (ces deux cours d'eau ayant fortement incisé le massif rocheux au sud de la commune), et l'Allière.

Le territoire de la commune est allongé suivant un axe sud-ouest / nord-est, sur environ 12 km. Les deux affluents de la Vire, découpent la commune suivant deux vallées sub est-ouest, bordées pour la plus méridionale, de versants parfois très abrupts sur 50 à 70 m de haut.

Le centre historique est situé sur ces reliefs, aux allures de promontoire rocheux, orienté ici aussi sub est-ouest (Illustration 9).

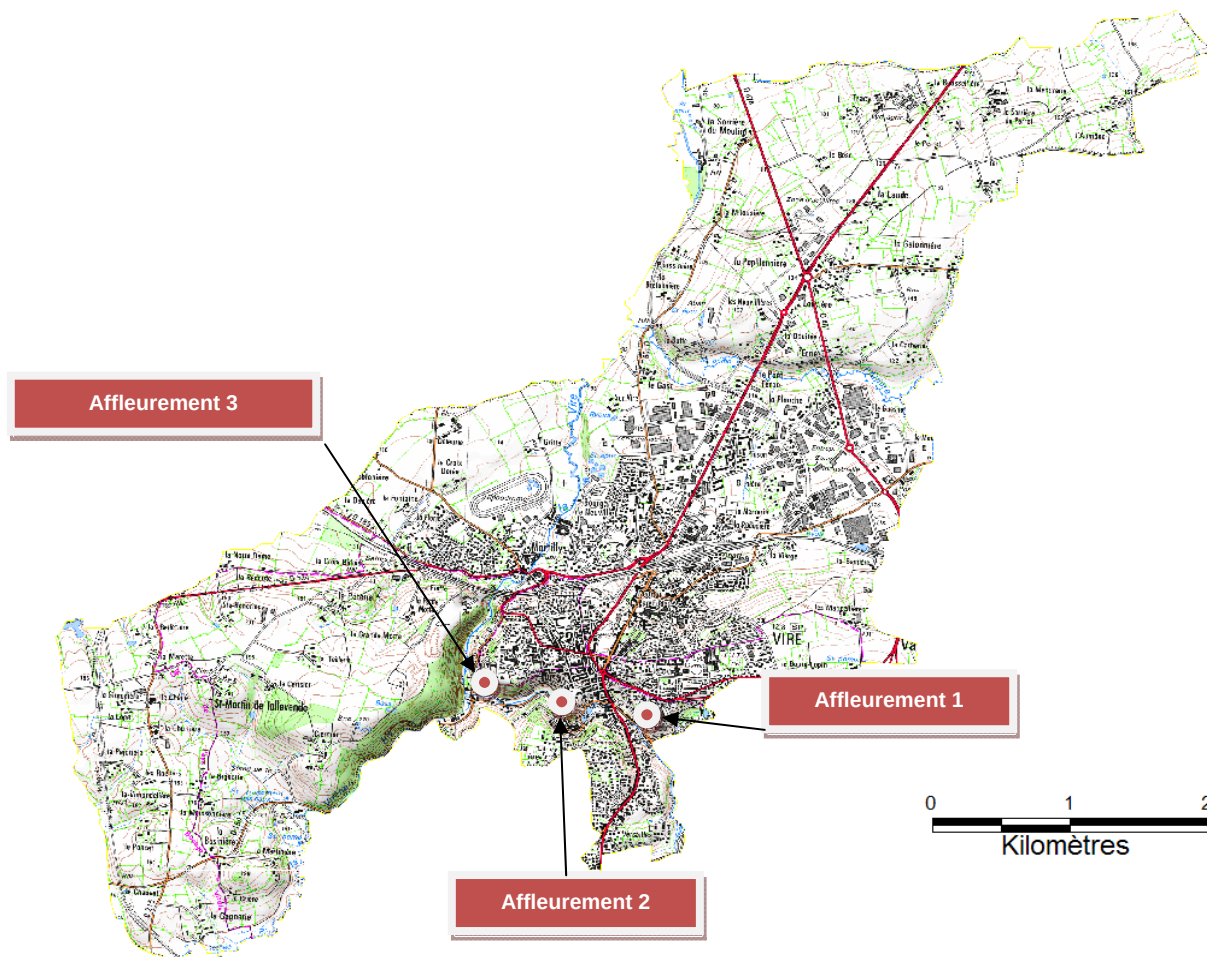


Illustration 9 : Extrait de la carte topographique au 1/25 000^e (© IGN) de la commune de Vire.

La commune de Vire apparaît sur la carte géologique de la France au 1/50 000^e (© BRGM), feuille n°174 (Vire).

Elle est située pour l'essentiel de son territoire, dans l'auréole du métamorphisme de contact entre la granodiorite à biotite et cordiérite (en rouge sur la carte, Illustration 10) et les schistes du Briovérien supérieur.

Le granitoïde plus chaud que son encaissant (les schistes), se mettant en place dans les schistes du Briovérien, les cuisant pour les transformer en une nouvelle roche : les cornéennes (notées « bK^2_0 » et bS^2_0 », ill.10) ou en schistes tachetés caractéristiques. Plus on s'éloigne de la granodiorite en direction du nord et plus le métamorphisme de contact diminue.

La granodiorite est un granitoïde de couleur gris-bleu, d'âge cadomien (environ 540 million d'années), composé de quartz, feldspath, biotite (mica noir) et cordiérite. C'est une roche grenue homogène à grains moyens (2 à 4 mm).

Les cornéennes (notées « bK^2_0 »), ont pour particularité de se distinguer par leur dureté créant des reliefs souvent positifs alors que la granodiorite est altérée. C'est une roche massive, de couleur sombre, en bancs de 0.25 à 0.5 cm d'épaisseur (Illustration 11).

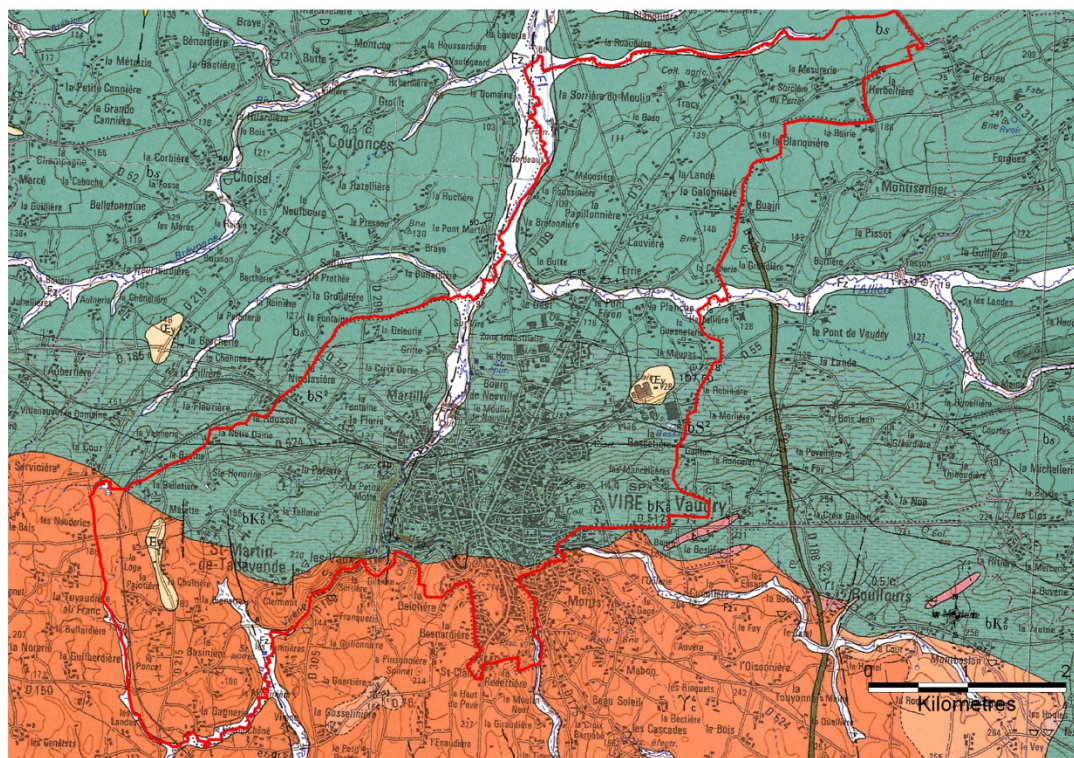


Illustration 10 : Extrait de la carte géologique de la France au 1/50 000^e (© BRGM). Feuille n°174 (Vire). Commune de Vire.

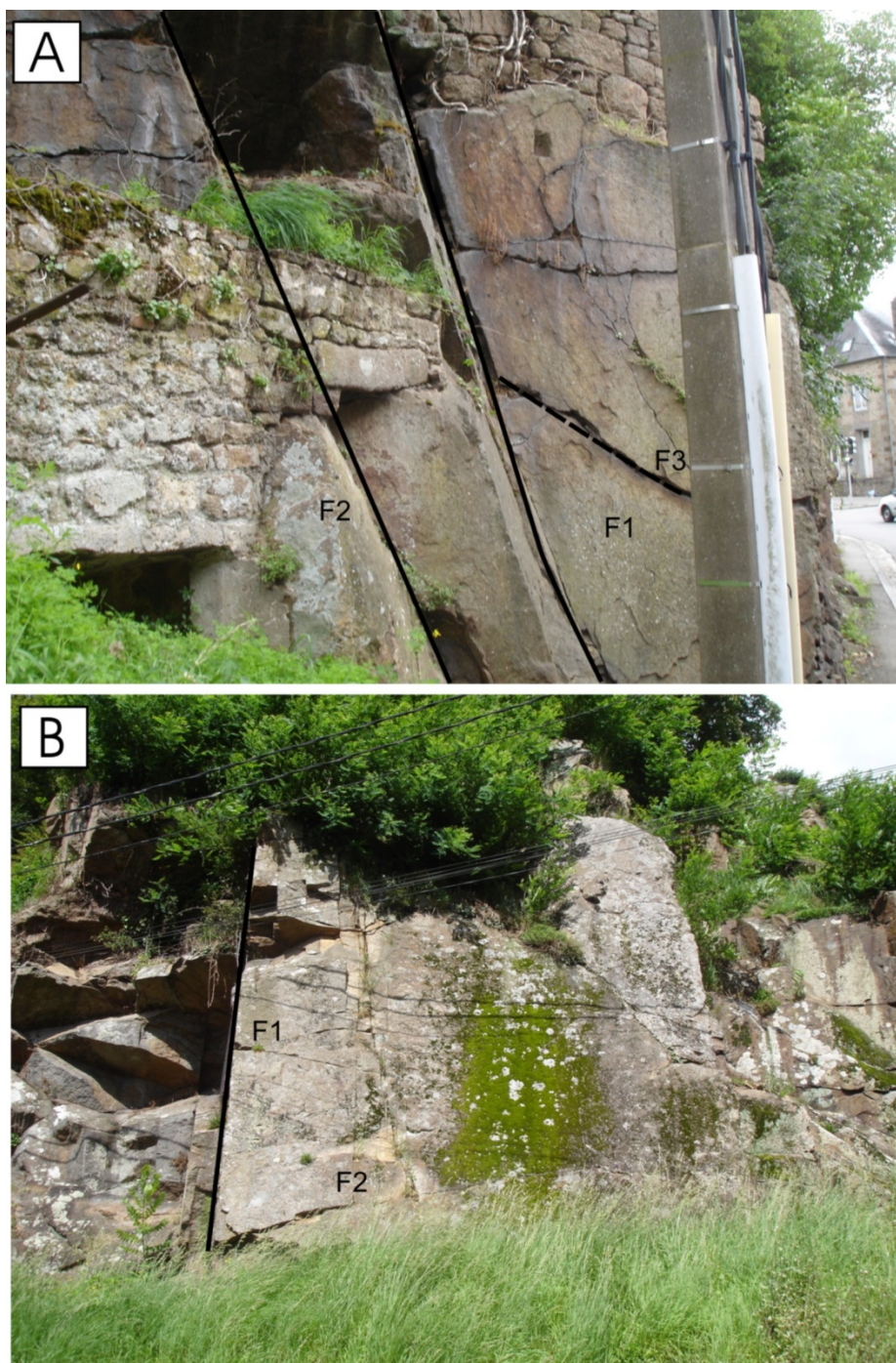


Illustration 11 : Vire : affleurement n°1, rue des teintures et affleurement n°2, rue des usines.

A : Affleurement 1 (rue des teintures): Fracturation F1 (NS 85/90W) perpendiculaire à la falaise et F2 (N125 75S) parallèle, accompagné de plans F3 de décompression (N140 15N et N080 70S); **B** : Affleurement 2 (rue des usines): Fracturation F1 (N175 85/90W) perpendiculaire à la falaise et fracturation F2 (N110 85S) parallèle à la falaise.

Sur les affleurements 1 et 2, la granodiorite de Vire présente des plans de fracturation F1 (NS 85/90W et N175 85/90W) et des plans F2 (N125 75S et N110 85S).

A ces plans de fracturation, s'associent des plans de décompression et l'interaction de ces familles de plans débite la roche en gros parallélipèdes (Illustration 11).

Les plans sub-NS des affleurements 1 et 2, sont parallèles à l'un des contacts principaux entre la granodiorite et les cornéennes, ce qui impliquerait un âge précoce de ces plans syn- à tardi- mise en place du pluton granitique (Illustration 12A).

Dans les cornéennes, les plans de fracturation retrouvés sont notamment F1 sub-NS. Le second plan important qu'il est possible d'observer, est le plan de stratification souligné par la présence de niveau plus fin (argileux). Il existe de nombreuses injections secondaires magmatiques et granitiques sur les affleurements 2 et 3 (rue des usines et rue Olivier Basselin) parallèles à la stratification So (N 85 65 N ou N 80 55 N (Illustrations 12B, 12C et 12D).

A l'ensemble des discontinuités d'origine soit tectonique soit génétique, des plans de décompression se développent parallèlement à la falaise et au vide (N130 45S). Les cornéennes se débitent en blocs de petites tailles (0,2 à 0,6 m³) et peuvent générer des éboulements rocheux alors que la granodiorite, elle, développe des blocs nettement plus importants, pouvant atteindre plusieurs mètres cubes.

Il est à noter que l'on trouve au niveau du contact cornéenne/granodiorite des intrusions de granodiorites dans la cornéenne encaissante sous forme de filons de quelques cm d'épaisseur et plusieurs mètres de longueur (voire sur toute la hauteur des affleurements visibles). Ces filons de granodiorites sont pour la plupart très altérés (sapolite non cohérente, parfois argileuse). Cela a pour conséquence de faciliter la circulation d'eau d'une part, et de délimiter des blocs ou des amas de blocs volumineux.

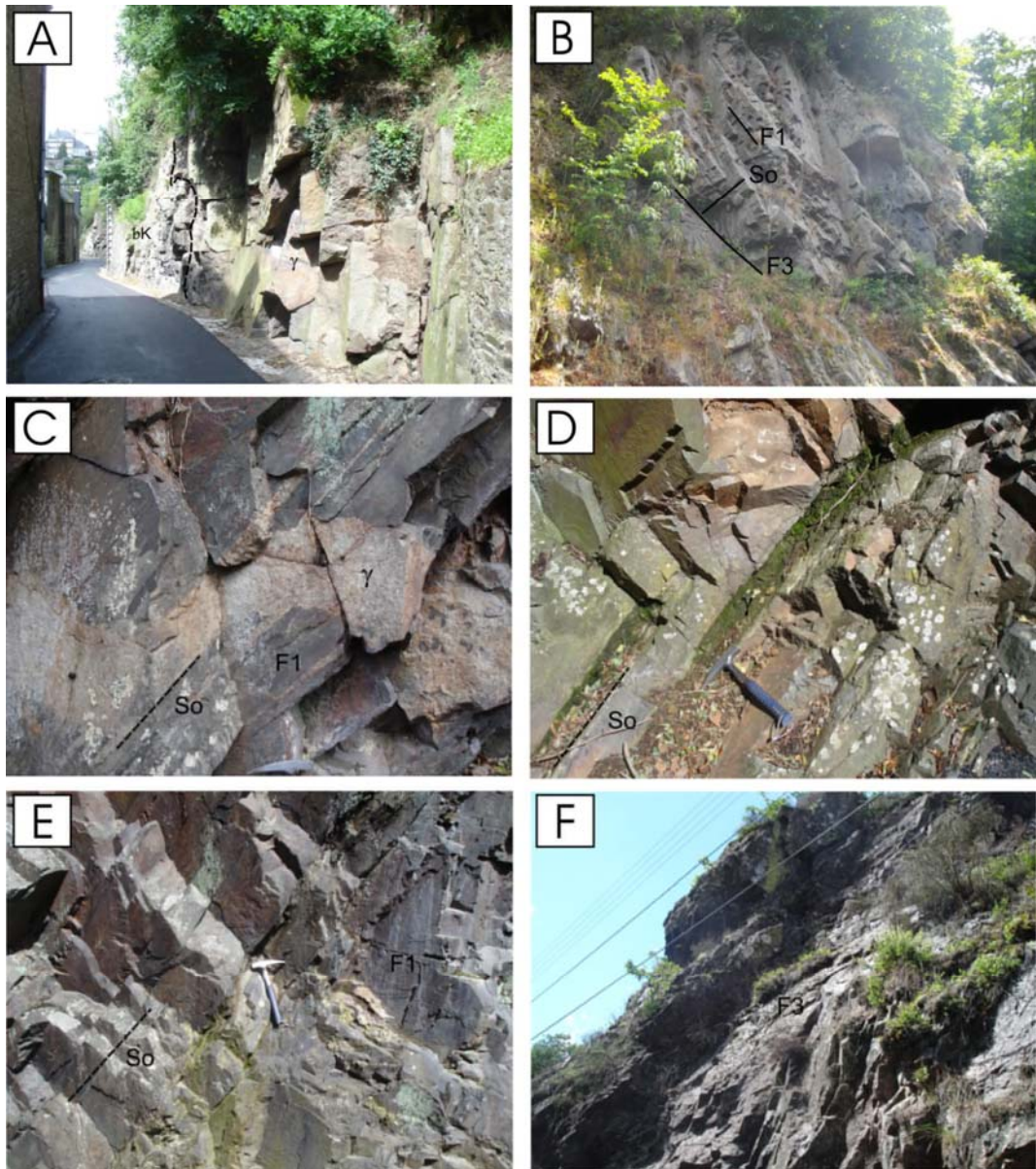


Illustration 12 : Vire : affleurement n°2, rue des usines ; affleurement n° 3, rue Olivier Basselin.

Affleurement 2, rue des usines : **A** : Contact entre la granodiorite et la cornéenne N010 90; **B** : Blocs de cornéennes boulonnés, débités suivant les plans F1 N000 90 et F3 plan de décompression parallèle à la falaise (N130 45S);

Affleurement 3, Rue Olivier Basselin : **C** : Relation entre les injections secondaires de granites (sills) et la stratification So (N080 55N) préservée dans les cornéennes et F1; **D** : Les Injections secondaires de granite sont parallèles à la stratification So et par endroit très altérées ; **E** : Relation entre So et F1, débitant la cornéenne en blocs de taille nettement plus petites que celle du granite ; **F** : Malgré les discontinuités tectoniques (F1, F2) et stratigraphiques (So), des plans de décompression s'ajoutent et donnent des blocs en surplomb de plusieurs mètres cubes.

3. Notions théoriques simplifiées

Les chutes de blocs peuvent être définies comme des phénomènes rapides ou événementiels, qui mobilisent des blocs de roches plus ou moins homogènes depuis un sommet ou une pente. Ils consistent en la chute libre ou le roulement au départ, après rupture, de blocs engendrés par la fragmentation des massifs.

Lors des mouvements tectoniques, la roche subit de fortes contraintes mais sa rigidité limite sa capacité de déformation et conduit à la rupture. Dans les roches massives comme les granites, la masse est prédécoupée par un réseau de fractures qui sont les seules discontinuités. Dans les roches ayant subi une compression, il peut apparaître une schistosité. Dans les roches sédimentaires, la stratification vient s'ajouter au découpage de la masse rocheuse. L'altération et la dégradation du massif vont ensuite conduire à l'ouverture progressive de certaines fractures et provoquer le détachement et la chute de blocs dès que l'équilibre entre les forces de contact et la gravité est rompu. Cette rupture, qui peut être plus ou moins rapide, peut également être favorisée par d'autres phénomènes. On parle de facteurs de prédisposition et de déclenchement (Berthet-Rambaud P., 2004).

3.1. MECANIQUE DE LA RUPTURE

Le comportement mécanique des discontinuités est prépondérant dans la mobilisation des blocs. En effet, ceux-ci sont à l'équilibre tant que les forces résistantes liées au frottement entre les épontes ainsi qu'à la présence de ponts rocheux entre ces dernières contrebalancent l'effet de la pesanteur. On peut considérer que ce

comportement suit le critère de rupture de Coulomb : $R = c + \sigma \tan \alpha$. où R est la résistance au cisaillement, c la cohésion, σ la contrainte normale et α l'angle de frottement interne (GEO³). Les paramètres c et α se déterminent par des essais de cisaillement.

Lorsque la contrainte devient trop importante ou que la résistance au cisaillement des joints diminue il peut y avoir rupture (Illustration 13).

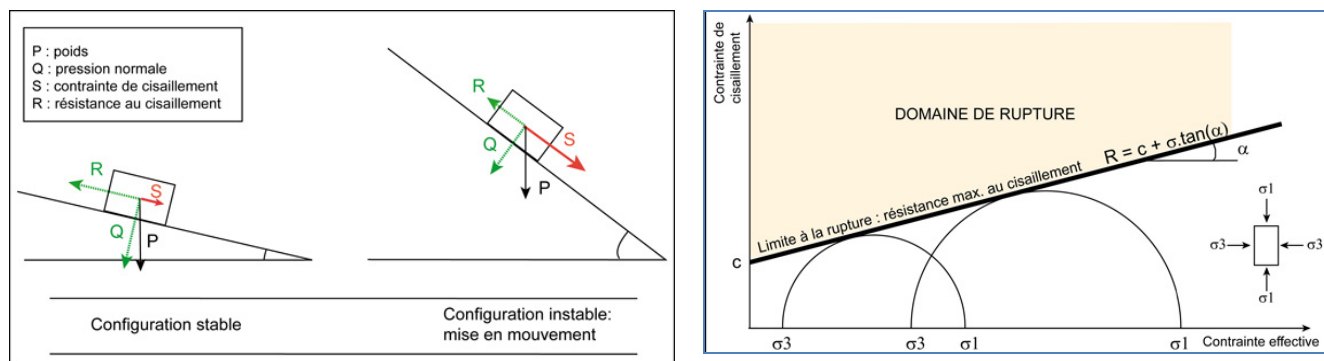


Illustration 13 : Schémas de principe de la mécanique de la rupture. A gauche représentation des forces en présence (le S correspond à σ). A droite, représentation du critère de Morh-Coulomb (SSGm)

3.2. FACTEURS INTERVENANT DANS LA CHUTE DE BLOCS

3.2.1. Facteurs de prédisposition

La première condition est la présence d'un relief permettant la délimitation de blocs au sein d'un massif fracturé. Il y a par ailleurs des facteurs favorables à la mobilisation des blocs (MASSA, Marçot *et al.*, 2011) :

- la présence éventuelle d'une formation sous-jacente plus meuble, déformable ou érodable,
- une action mécanique de l'eau (via la pression interstitielle),
- une orientation favorable des blocs. En effet, le déséquilibre d'une masse rocheuse selon un ou deux plans de discontinuité n'est possible que lorsque le plan ou l'intersection des plans de fracture recoupe le versant avec un pendage aval. Mais cette condition n'est pas suffisante. Il faut en effet que le pendage soit plus fort que l'angle de frottement interne le long des fractures (cas où l'on néglige la cohésion),
- l'état d'altération de la roche.

3.2.2. Facteurs de déclenchement

La mise en mouvement des blocs est liée à un changement des conditions de stabilité qui peut avoir plusieurs origines, combinées ou non. Ainsi les facteurs naturels favorisant le déclenchement d'un événement sont nombreux :

- les événements pluvieux ou la fonte des neiges (augmentation des pressions hydrostatiques),
- les fortes variations de températures (cycle gel/dégel : cryoclastie),
- les séismes,
- la croissance des racines des arbres.

Le Tableau 1 récapitule les processus et leurs actions qui sont à l'œuvre dans la déstabilisation des masses rocheuses.

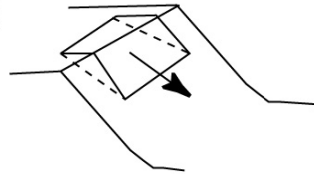
Processus	Agents	Effets	Dynamique
Action Physico-chimique et dissolution	Eau	Altération matricielle Destruction de ponts rocheux Altérations des caractéristiques mécaniques	Lente et souvent masquée
Dislocation	Effets gravitaires Racines Fluage d'une assise Gel, faible profondeur	Destruction mécanique des ponts rocheux Ouverture de fissuration	Lente sous nos latitudes
Erosion mécanique, mise en surplomb	Ecoulement d'eau Abrasion Erosion éolienne	Mise en équilibre par suppression d'appui Perte de cohésion	Variable, peut être rapide
Action mécanique de l'eau (pression hydraulique)	Infiltrations Circulation internes du massif	Déstabilisation par des poussées hydrauliques	Variable, peut être rapide, cyclique
Gélifraction	Gel	Réduction des surfaces d'appui par ablation Décohésion et dislocation des fractures	Lente
Fatigue mécanique	Sollicitation physique et niveau de contraintes élevées	Ecaillage, dégradation mécanique et pont rocheux Progression des fissures	Rarement processus significatif à l'échelle humaine, sauf contextes extrêmes
Application de forces extrêmes	Variation d'effort Déstabilisation anthropique Modification des conditions hydrauliques Séismes	Déstabilisation, activation de nouveaux mécanismes de rupture	Variable, éventuellement rapide. Peut être accidentel

Tableau 1 : Principaux processus d'évolution des compartiments rocheux (d'après LCPC, 2004)

3.3. LES DIFFERENTS MODES DE RUPTURE/ MECANISMES D'INSTABILITES

Les caractéristiques des plans de discontinuités et du massif rocheux définissent des modes de ruptures différents. On peut ainsi distinguer quatre grandes familles d'instabilités (*Hoek & Bray, 1974 ; GEO³ ; LCPC, 2004 ; Figures extraites de Frayssines, 2005*):

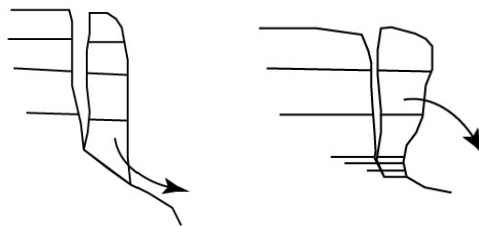
- o Les glissements plans, le long d'une seule surface de discontinuité d'orientation proche (mais inférieure) de celle du versant



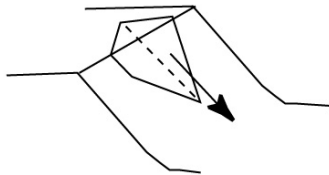
- o Les ruptures en toit ou de surplomb.



- o Les basculements (toppling) dus au déplacement progressif du centre de gravité de structures délimitées par des discontinuités à fort pendage parallèles au versant.



- o Les glissements en dièdres. C'est-à-dire le glissement le long de deux discontinuités dont la ligne d'intersection émerge du talus.



Ce dernier mécanisme est celui qui se rencontre le plus fréquemment. Néanmoins il faut garder à l'esprit que ces différents types de rupture peuvent se rencontrer simultanément sur un même versant.

3.4. LA PROPAGATION

L'ampleur du phénomène chute de blocs est liée à la quantité et au volume des blocs mobilisables mais également aux caractéristiques de propagation définie en sus par la topographie et l'aire de réception des blocs éboulés.

Ainsi plusieurs paramètres influent sur la trajectoire des chutes de blocs (Collectif, 2008):

- la forme et la nature géologique du bloc,
- la hauteur et le type de zone de départ (falaise, éboulis, etc.),
- la topographie et la nature du terrain le long de la trajectoire,
- les obstacles éventuels sur sa trajectoire

Généralement la trajectoire des blocs suit la ligne de plus grande pente. Néanmoins, on peut observer des trajectoires très déviées du fait notamment de la forme des blocs et de la microtopographie.

4. Méthodologie

Notre estimation de l'aléa chute de bloc porte à la fois sur la probabilité de départ des blocs et sur leur aire de propagation potentielle.

4.1. CARTE DE L'ALEA DE DEPART

Deux méthodes ont été combinées pour obtenir l'aléa de départ des blocs le plus précis et objectif possible : une cartographie géomorphologique, basée sur l'observation, et une analyse de la fracturation.

4.1.1. Cartographie géomorphologique

a. Campagnes de terrains

La composante géomorphologique de l'aléa a été définie entièrement « à dire d'expert » lors de campagnes de terrain. Chaque affleurement a donc été observé et a fait l'objet de mesures. Pour une meilleure objectivité, trois campagnes de détermination avec des équipes différentes se sont succédées. Cela a permis une confrontation des résultats et une discussion entre les différents intervenants afin d'arriver à un aléa final qui soit le plus objectif possible.

b. Critères retenus

Plusieurs critères ont été retenus pour évaluer le niveau d'aléa. Ils sont liés à l'intensité potentielle et à la probabilité d'occurrence des chutes de blocs.

Intensité : déterminée par la taille/ le volume des blocs mobilisables, la hauteur du versant et la hauteur de chute (ce dernier facteur étant pris en compte dès cette phase de l'étude, bien qu'empiétant largement sur la propagation des potentiels blocs chutés)

Probabilité d'occurrence : déterminée par l'état de fracturation de massif rocheux et multiplicité des blocs mobilisables.

D'une façon plus générale, nous nous sommes grandement inspirés des critères énoncés dans le Tableau 2 issus d'une méthodologie BRGM (MASSA, Marçot *et al.*, 2011) et adaptés à la morphologie des versants de Basse-Normandie.

Niveau d'aléa chutes de blocs	Définition	Critères d'identification
Fort	Forte probabilité d'apparition de chutes de blocs et intensité forte en cas d'occurrence. Très forte probabilité d'apparition de chutes de blocs et intensité moyenne en cas d'occurrence.	• Indices d'instabilité nombreux et reconnus : crevasses, fissures ouvertes • Falaises de hauteur supérieure à 10 m et fracturation intense de la formation rocheuse susceptible de s'écrouler • Pente forte à très forte (sup à 30°), avec blocs épars déchaussés, posés sur le versant.
Moyen	Faible à moyenne probabilité d'apparition d'éboulements et intensité moyenne en cas d'occurrence. Moyenne probabilité d'apparition de chutes de blocs et intensité moyenne en cas d'occurrence.	• Falaises de hauteur inférieure à 5 m, avec fissures ouvertes dans la zone de départ • Falaises de hauteur entre 5 et 10 m, avec découpage en blocs de la formation rocheuse susceptible de s'écrouler • Falaise de hauteur supérieure à 10 m avec formation rocheuse homogène et moyennement fracturée.
Faible	Déstabilisation de blocs épars sur versant de pente moyenne (20 à 30°) Probabilité faible de la propagation d'un bloc détaché d'une falaise jusqu'à cette zone et intensité faible en cas d'occurrence	• Falaises avec peu de fractures, sans instabilités visibles • Pente moyenne à faible • Abrupts de hauteur < 3m, quel que soit l'état de stabilité

Tableau 2 : Définition et critères d'évaluation des niveaux d'aléa chute de blocs (d'après Marçot et al., 2011)

Limites :

Bien que l'estimation du niveau d'aléa repose sur une grille de critères (Tableau 2) et procède ici d'une confrontation du travail de différentes équipes, cette méthode reste en partie subjective du fait de l'échelle de travail et de la qualité des documents topographiques disponibles. Ce défaut d'objectivité est en partie compensé par les dires d'experts.

4.1.2. Paramètre fracturation

a. Relevé de fracturation

L'objectif est de déterminer avec le plus d'exactitude possible la distribution des différentes familles de discontinuités à partir d'un relevé structural des affleurements présents sur les secteurs d'étude.



Illustration 14 : Pied du versant Nord de la Montagne du Roule, Cherbourg. Mise en évidence des différentes familles de fractures relevées : fractures d'ordre 1 en trait plein, fractures d'ordre 2 en pointillés

Plusieurs éléments sont pris en compte lors des relevés de fracturation :

- Le pendage des plans de fractures,
- L'orientation des plans de fracture,
- L'espacement des fractures appartenant à la même famille,
- La récurrence, c'est à dire le nombre de fois où on les a observés

- L'ordre, c'est à dire si la famille de fracture est une des responsables principales du débit de blocs (ordre 1) ou non (ordre 2). Ce critère est fonction notamment de l'ouverture et du remplissage des fractures.

L'orientation du versant est également relevée, car elle revêt un rôle fondamental dans l'analyse des possibilités de rupture.

La fracturation a donc été relevée sur l'ensemble des sites étudiés, très régulièrement sur un même site et/ou à chaque variation apparente du massif rocheux (variation apparente de la fracturation, changement d'orientation du versant...).

b. Analyse de la fracturation

- **Données théoriques :**

La représentation des plans de fracture se fait généralement à partir de la représentation stéréographique de diagrammes polaires (Illustration 15): on considère une sphère dont un diamètre est la direction du plan considéré. L'intersection du plan avec la demi-sphère inférieure est projetée sur le plan équatorial. Le plan apparaît donc, dans le diagramme, sous la forme d'une courbe. La normale au plan passant par le centre de la sphère intercepte la demi-sphère inférieure en un point : le pôle du plan (P). Le pôle apparaît dans le diagramme sous la forme d'un point (π).

Plusieurs types de projection sont utilisés en analyse structurale. Dans notre cas la fracturation a été analysée par le biais de diagrammes de Schmidt. Il s'agit d'un système de projection stéréographique dans lequel les rapports de surface sont conservés. Cette caractéristique permet un traitement statistique de la densité par unité de surface (isodensités) des pôles des fractures (Illustration 16 B), tracées par le logiciel utilisé (StereoNett, développé par R.W. Allmendinger, Cornell University, USA).

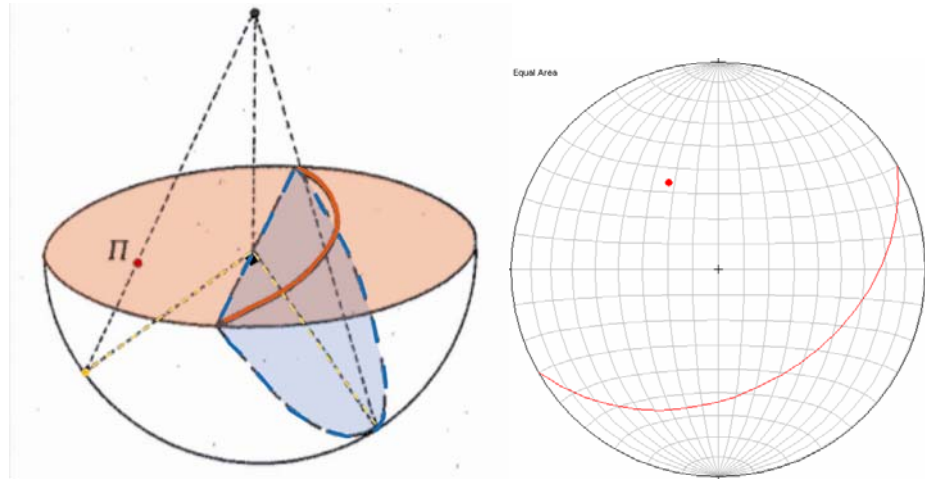


Illustration 15 : Schéma de principe d'un diagramme polaire et de la représentation stéréographique

A gauche : le plan bleu intercepte la demie-sphère inférieure le long de la ligne pointillée bleue. Sa projection sur le plan équatorial (en orange) forme un grand cercle. Π est la projection du pôle P du plan (interception de la demie-sphère et de la droite perpendiculaire au plan passant par le centre de la sphère) sur le plan équatoriale (en rouge). A droite : diagramme stéréographique (grand cercle et son pôle).

Pour déterminer le caractère stable ou instable des blocs découpés par les fractures du massif on prend en compte l'angle de frottement entre les épontes des fractures. L'estimation précise de cet angle suppose des essais de cisaillement réalisés en laboratoire, mais ceux-ci ne sont pas en rapport avec la finalité et l'échelle du présent travail. Compte-tenu de la nature des roches concernées par cette étude, nous avons opté pour un angle à 35° , en accord avec les ordres de grandeur trouvés dans la littérature (Tableau 3).

Types de roches	Angle de frottements interne des joints [°]
Roches magmatiques (granites, basaltes)	40 à 60
Roches métamorphiques massives (gneiss, marbres, quartzites)	35 à 50
Roches métamorphiques schisteuses (micaschistes, chloritoschistes)	20 à 40
Roches sédimentaires non-argileuses (calcaire, grès)	35 à 50
Roches sédimentaires argileuses (argilites, marnes)	8 à 30

Tableau 3 : Ordres de grandeur des angles de frottement sur des discontinuités préexistantes (joints de stratification ou fracture) (Parriaux A. & Arnould M., 2006)

• Les étapes de l'analyse

La première étape consiste à définir des sites homogènes en termes de fracturation (mêmes familles de fractures, mêmes tailles de blocs délimités), de lithologie et d'orientation de versant, tout en gardant une continuité géographique. Cette étape se fait sur le terrain mais également pendant l'analyse. En effet, la représentation des plans de fractures dans le logiciel de stréréographie nous permet d'affiner le découpage des zones en fonction des similitudes de fractures relevées sur un versant ne changeant pas d'orientation.

La deuxième étape est la mise en évidence des discontinuités principales. Ne sont prises en compte que les fractures d'ordre 1 définies sur le terrain (Illustration 16 A). Cette étape est facilitée par la redondance des informations générée par la récurrence des fractures. En effet, les fractures sont rentrées dans le logiciel autant de fois qu'observées sur le terrain.

Stereonet trace alors les courbes d'isodensités de pôles (illustration 16 B) mettant ainsi en évidence les pôles moyens et, par là même, les discontinuités principales (Illustration 16 C).

La troisième étape est l'analyse de stabilité à proprement parler. Cette analyse se fait en intégrant l'angle de frottement entre les épontes de la discontinuité considérée et représenté sur le diagramme de Schmidt sous la forme d'un demi-cercle : les intersections de plans de fractures compris entre le cercle de frottement (35°) et le grand cercle représentant le versant sont considérées comme critiques vis-à-vis de la rupture (Illustration 16 D).

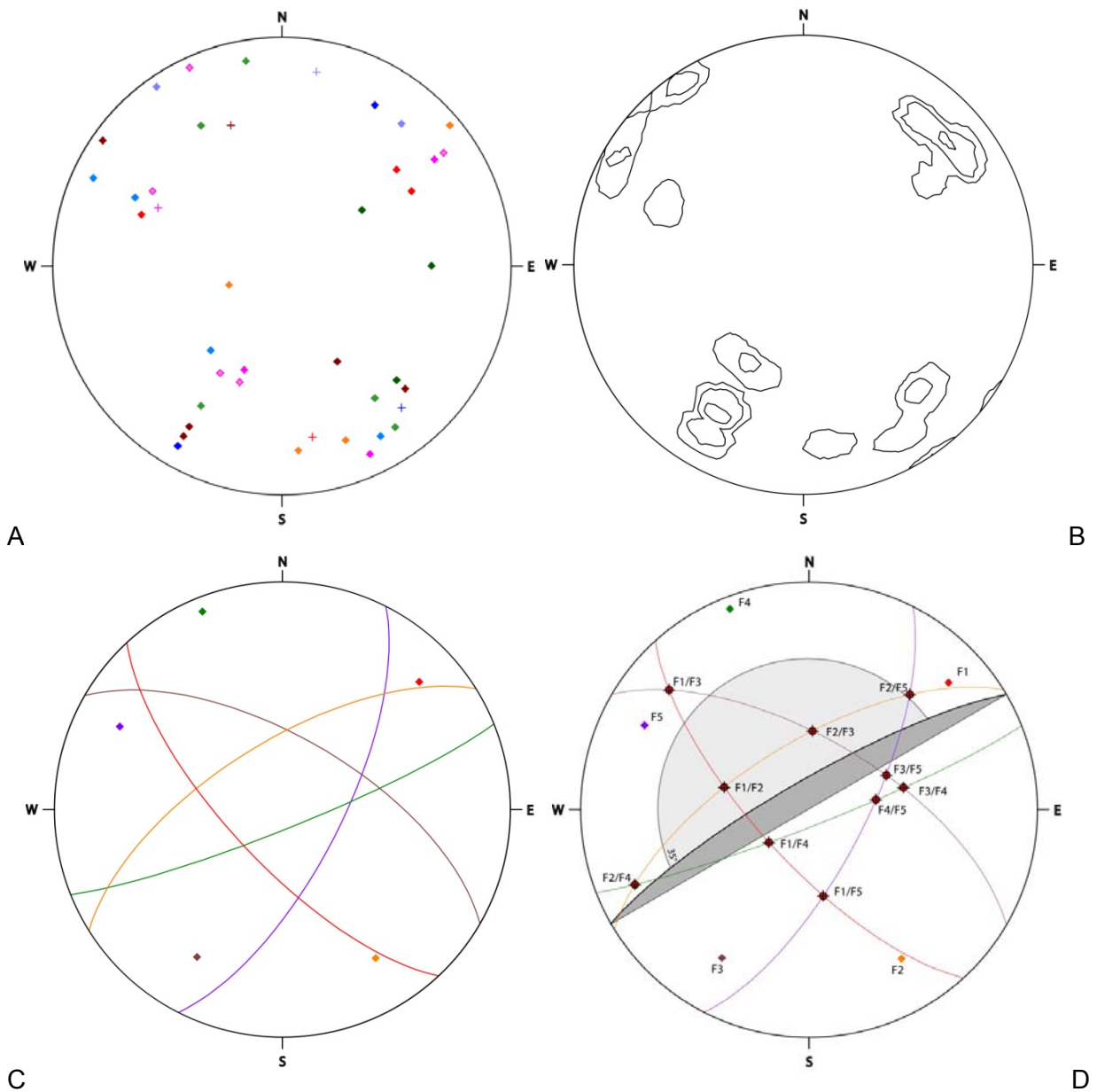


Illustration 16 : Mise en évidence des discontinuités principales (exemple d'un site de la montagne du Roule - Cherbourg), à partir de représentations stéréographiques (tracées par Stereonett).

A : Diagramme de distribution des pôles des discontinuités principales relevées. **B :** Courbes d'isodensités issues de A. **C :** Discontinuités principales (grands cercles) et leurs pôles (points) déduites de B. **D :** Analyse de la stabilité (en gris foncé : grand cercle représentant le versant, en gris clair : cercle représentant l'angle de frottement interne de 35°, F_i = fracture i ; F_i/F_j = intersection des fractures i et j).

Critères retenus pour estimer le niveau d'aléa :

- Le nombre d'intersections dans la zone critique

Nombre d'intersections de plans de fractures dans la zone critique	Niveau d'aléa
0	Faible
1	Moyen
>1	Fort

Tableau 4 : Niveau d'aléa en fonction du nombre d'intersections de plans de fractures dans la zone critique

Limites :

Cette méthode d'analyse possède des limites. En effet, elle met en évidence principalement les ruptures en dièdres. Lorsque les fractures ont un fort pendage amont¹, le mode de rupture en basculement ou une mise en surplomb de masses rocheuses peuvent se produire. De la même façon, des fractures avec un pendage aval et une orientation proches de ceux de l'affleurement (donc fractures apparaissant comme peu nombreuses à l'affleurement) peuvent induire des glissements plans (banc sur banc). Dans ces deux cas certains sites risquent de présenter un « aléa fracturation » faible quand l'aléa géomorphologique les classe en modéré ou fort.

D'où l'intérêt de coupler la cartographie de l'aléa basée sur la fracturation à une cartographie géomorphologique de l'aléa à « dire d'expert ».

- La hauteur du versant.

La hauteur du versant nous semble discriminante vis-à-vis du niveau d'aléa (notamment de son intensité en cas d'occurrence). Il paraît ainsi difficile d'attribuer un niveau d'aléa fort à un versant mesurant moins de 3 m de haut. Aussi, et selon des critères équivalents à ceux pris en compte dans la cartographie issue de l'étude

¹ Pendage amont : pendage orienté du vers l'intérieur du massif

géomorphologique (Tableau 2), nous avons pondéré l'aléa estimé en fonction de la hauteur du versant (Tableau 5 ; exemple Illustration 17).

Hauteur du versant (h)	Aléa maximal possible
$h < 3\text{m}$	Faible
$3 \leq h < 10\text{m}$	Moyen
$10\text{m} \leq h$	Fort

Tableau 5 : Pondération de l'aléa en fonction de la hauteur du versant



Illustration 17 : Exemple de site où le relevé de fracturation a donné un aléa fort alors que la hauteur est inférieure à 3 m (2,5 m). L'aléa a été ramené à faible. Affleurement situé à Cherbourg, rue des Vosges.

4.1.3. Aléa de départ

A l'issue de ces étapes (cartographies de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation), quelques sites (peu nombreux) admettaient des niveaux d'aléa différents selon qu'il est estimé avec une méthode ou avec l'autre.

Dans la mesure où les deux méthodes mises en œuvre sont là pour pallier aux manques de l'autre nous avons naturellement choisi de considérer le niveau d'aléa le plus haut.

4.1.4. Zones protégées

Plusieurs zones font l'objet de mesures de protection (Fort du roule à Cherbourg ; Remparts à Saint-Lô, centre Olivier Basselin à Vire...). Il peut s'agir de la mise en place de grillages orientant les blocs chutés, de l'ancrage de blocs instables, de confortements en béton ou encore de la mise en place de merlon visant à délimiter une zone de réception des éventuels blocs chutés.

Dans ces cas précis, il a été choisi dans un premier temps de considérer l'affleurement comme non protégé et de définir son niveau d'aléa intrinsèque (selon les méthodes décrites par ailleurs) sans prise en compte de la protection, puis d'appliquer un quadrillage grisé sur la représentation cartographique de la protection.

Aussi, il apparaît que tant que les systèmes de protection ont été correctement dimensionnés et sont régulièrement vérifiés et entretenus, l'aléa sur ces zone peut être considéré comme faible. Dans tout autre cas, l'aléa identifié devra être pris en compte.

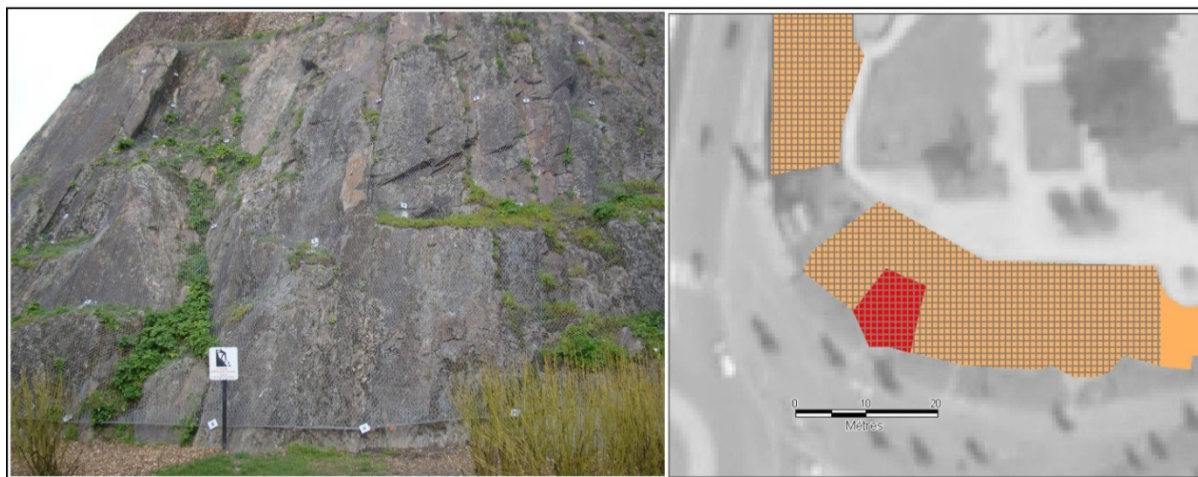


Illustration 18 : Affleurement protégé sur le versant sud des remparts de Saint-Lô

4.1.5. Aléa chute de pierres

L'aléa chute de pierres, relevé sur le terrain, a également été pris en compte dans la cartographie. Cet aléa est différent de l'aléa chute de blocs dans la mesure où il est davantage basé sur la probabilité d'occurrence que sur l'intensité, toujours faible dans ce cas.

L'aléa chute de pierre n'a été carté que lorsqu'il présentait une probabilité d'occurrence significative et donc un aléa significatif et que celui-ci était supérieur à l'aléa chute de chutes de blocs. Il est représenté par un hachurage de la couleur du niveau d'aléa (Illustration 19).



Illustration 19 : Versant avec un aléa chute de blocs faible et un aléa chute de pierres moyen (montagne du Roule, Cherbourg)

4.2. ZONES DE PROPAGATION

La seule estimation des zones de départ de blocs ne donne qu'une idée partielle des zones potentiellement soumises à un risque lié aux chutes de blocs. Aussi, l'identification des zones de réception des blocs susceptibles de chuter fait-elle partie intégrante de l'aléa chute de blocs.

Afin d'estimer la propagation des blocs pouvant se détacher des affleurements, deux méthodes ont été utilisées.

4.2.1. Méthode des cônes

a. Théorie

Le modèle de simulation de chute de blocs le plus simple est un modèle statistique basé sur le principe des lignes d'énergie et a été développé par Heim en 1932 (*Collectif*, 2008). Il repose sur le fait qu'un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide. Il existe alors un angle limite β au-delà duquel il accélère et en-deçà duquel il ralentit. En partant de ce constat, un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant du point de départ et formant un angle β avec l'horizontale. β est appelé l'angle de la ligne d'énergie (Illustration 20).

De par la définition même de cette méthode, celle-ci ne peut être appliquée que dans le cas où l’affleurement domine un versant en pente.

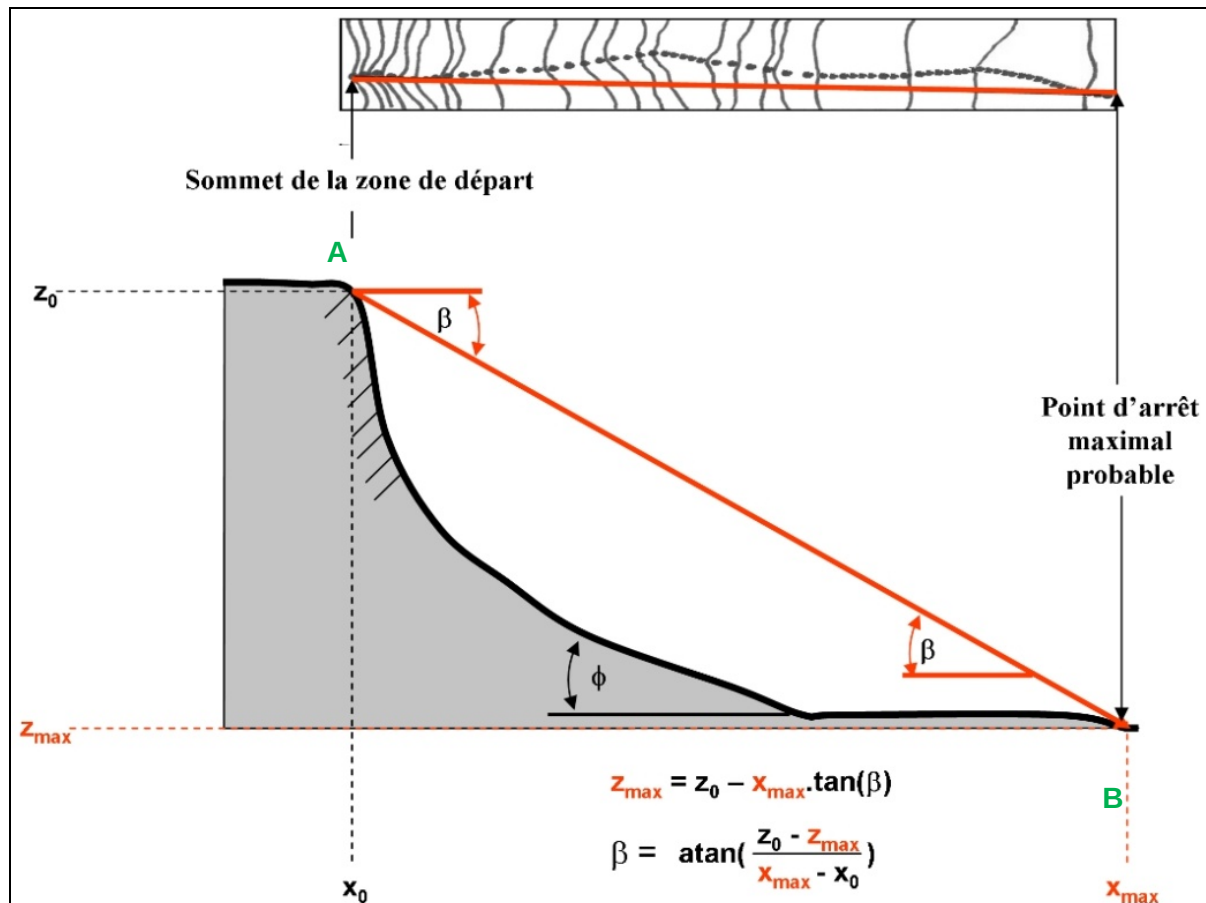


Illustration 20 : Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie. A : zone de départ, B : point d'arrêt maximal probable. β : angle de la ligne d'énergie. (Collectif, 2008)

b. Application numérique

De nombreux auteurs ont travaillé sur l'estimation de l'angle de la ligne d'énergie β (Onofri & Candian, 1979 ; Toppe, 1987 ; Gerber, 1994 ; Jaboyedoff & Labiouse, 2011). Ce que l'on observe en analysant la bibliographie c'est une variation importante de β (de 28,5 à 37°) selon les auteurs.

Les valeurs d'angle choisies sont celles proposées par le CEMAGREF dans le cas de propagation sur terrain non efficacement boisé, soit : 28°, 30° et 34° (cf. Illustration 21 - Berger F., 2009).

L'extension de la propagation est donc définie par l'abscisse du point d'intersection de la ligne d'énergie avec la topographie en aval de la zone de départ de blocs.

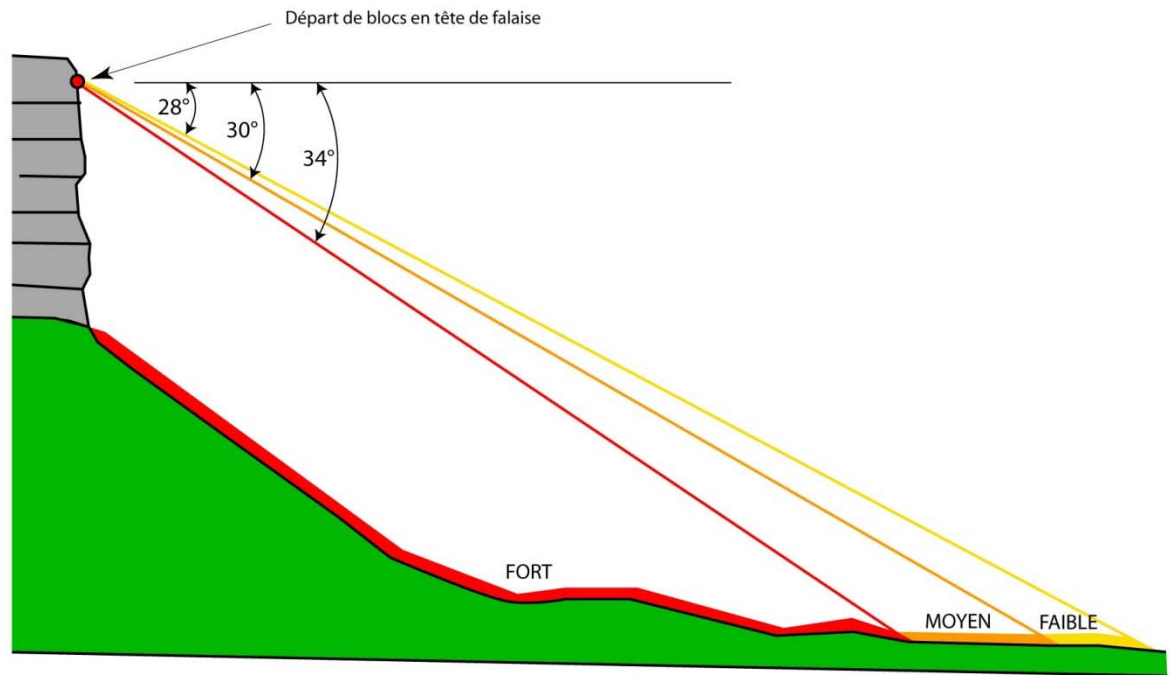


Illustration 21 : Seuils de pente de la ligne d'énergie utilisés dans le cadre d'affleurement surplombant un versant en pente

Comme évoquée, cette méthode empirique n'est utilisable que sur des sites dans lesquels la zone de propagation des blocs est en pente. Or, en milieu urbanisé, il n'est pas rare que des falaises rocheuses surplombent directement une surface plane, dans ces cas l'évaluation des distances de propagation a été faite en utilisant un logiciel de trajectographie.

4.2.2. Pierre98

Pierre98 est un logiciel de trajectographie 2D (déterministe/probabiliste) développé par le BRGM en collaboration avec l'Université de Colombie britannique (Canada). Sa version 3D est maintenant disponible.

Pierre98 calcule la trajectoire du bloc depuis son point de détachement jusqu'à son point arrêt, en prenant en entrée les caractéristiques (masse, forme) et les conditions initiales (altitude et vitesse) du bloc, le profil 2D du terrain et les propriétés des matériaux qui le composent. Le calcul de la trajectoire peut-être effectué de manière déterministe, en introduisant des paramètres constants, mais également et surtout probabiliste en affectant ces paramètres d'une variabilité contrainte par une loi de distribution (normale, log-normale, triangulaire, etc.)

a. Profils

Un profil type de chaque site ayant fait l'objet de mesures de fracturation et/ou d'observation géomorphologique a été établi (Illustration 22) en prenant en compte le fond topographique des cartes IGN au 1/25000, le MNT au pas de 10 m lorsqu'il était disponible (dans de nombreux cas il s'est avéré non conforme à la topographie observée et donc non utilisable), mais aussi et surtout les mesures clinométriques et les schémas relevés pendant les campagnes de terrain. Ces profils ont ensuite été intégrés dans le logiciel Pierre98.

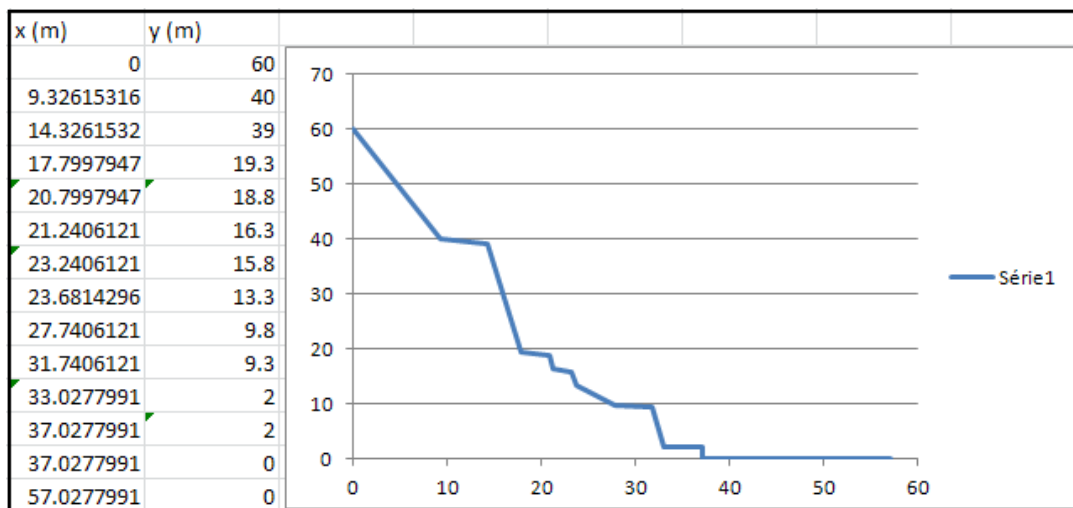


Illustration 22 : Exemple de profil Excel (Montagne du Roule, Cherbourg)

La présence d'obstacles tels que les maisons, murs ou merlons n'a pas été intégrée dans les profils mais nous verrons par la suite comment ils ont été pris en compte.

b. Modélisation

Après avoir défini le type de blocs (Illustration 23) et attribué les types de surfaces correspondant aux différents segments du profil (Illustration 24), le logiciel calcule les trajectoires en mode probabiliste (Illustration 25). La capacité du logiciel permet de simuler *a minima* 1000 lancers d'un même bloc.

Une synthèse de la simulation fournit les caractéristiques de chaque bloc lancé, les caractéristiques de la propagation (vitesse, hauteur des rebonds, etc.) ainsi que la distance parcourue, paramètre que nous recherchons.

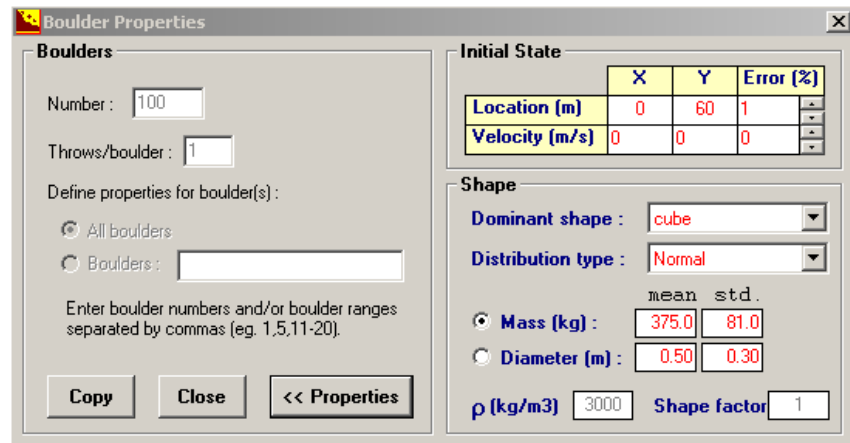


Illustration 23 : Fenêtre du logiciel Pierre98 permettant de définir les « paramètres blocs »

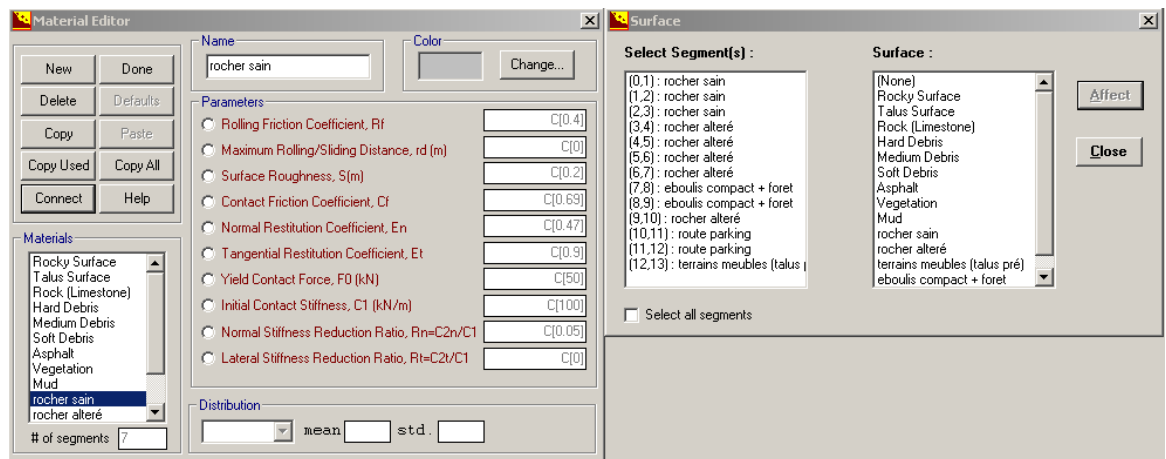


Illustration 24 : Fenêtre du logiciel Pierre98 permettant de définir la nature de chaque segment du profil et les caractéristiques de chaque sol

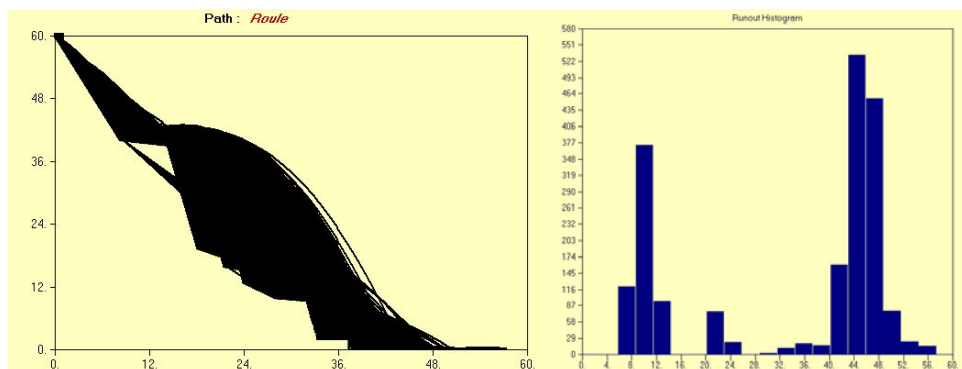


Illustration 25 : Résultat de la simulation (exemple pour 2000 blocs lancés). A gauche : trajectoire des blocs. A droite : histogramme des distances atteintes

Les données ainsi générées ont été traitées à partir d'Excel puis entrées dans le SIG.

4.2.3. Evaluation de la propagation

Zones de réception en pente

Concernant les sites où le versant est en pente en aval des points de départs potentiels des blocs, la méthode des cônes seule a été appliquée.

Zones de réception planes (type dalle de carrière)

Concernant les sites où la méthode des cônes ne peut pas être appliquée, il a fallu combiner les deux méthodes. En effet, l'extension des zones de propagation est estimée par rapport à la probabilité d'atteinte d'un point donné par un bloc de référence (spécifique à chaque site). Le Tableau 6 présente les valeurs communément admises. La seule probabilité d'atteinte calculable par Pierre98 2D étant (en théorie) celle correspondant à l'exposition moyenne, seule cette limite a pu être estimée via le logiciel. La limite entre la probabilité faible et la probabilité négligeable a été choisie comme étant égale à 1 fois la hauteur de l'affleurement. La limite entre probabilité d'atteinte forte et moyenne a quant à elle été définie comme étant égale à 0,5 fois la hauteur de l'affleurement rocheux. Il faut toutefois noter que dans ce cas de figure, on passe très rapidement de la zone de forte probabilité de réception à la zone de faible probabilité de réception. Bien qu'apparaissant dans notre cartographie, la probabilité moyenne de réception n'est pas forcément justifiée dans ce cas précis.

Probabilité d'atteinte d'un point donné par un bloc de référence		Exposition au phénomène de chutes de blocs
$> 10^{-2}$	Soit > 1 bloc sur 100	Zone exposée
$10^{-2} > P > 10^{-4}$	De 1 bloc sur 100 à 1 bloc sur 10 000	Zone moyennement exposée
$10^{-4} > P > 10^{-6}$	De 1 bloc sur 10 000 à 1 bloc sur 1 000 000	Zone faiblement exposée
$P < 10^{-6}$	< 1 bloc sur 1 000 000	Exposition négligeable

Tableau 6 : Critères d'estimation de la probabilité d'atteinte d'un point donné par un bloc chuté

4.2.4. Prise en compte des trois dimensions

La trajectographie définie avec Pierre98 tout comme celle définie par la méthode des cônes est une trajectographie 2D (en réalité 3D, mais à la condition de pouvoir utiliser un MNT représentant les caractéristiques du terrain). Néanmoins, bien que se faisant essentiellement selon la plus grande pente, la propagation peut avoir une variation latérale due à la forme des blocs, à des variations ou des accidents du terrain de réception, à leur éclatement ou à des rebonds sur la microtopographie. L'angle du cône de déviation de la trajectoire des blocs est communément fixé à 30° (Collectif, 2008). Nous avons donc appliqué cette valeur à partir du pied de la zone de départ potentielle lors de la représentation de nos polygones de zones de réception.

4.3. IDENTIFICATION DU REcul POTENTIEL

Chaque décrochement de masse rocheuse a pour conséquence d'entretenir l'érosion régressive qui affecte chaque relief.

Aussi, les zones en amont des masses instables sont susceptibles d'être touchées, notamment suite au déséquilibre que peut induire un décrochement de blocs.

Les matériaux les plus susceptibles d'être mobilisés suite à un décrochement de blocs sont les formations superficielles (qu'elles soient autochtones ou allochtones), de par la faible cohésion des matériaux qui la composent.

Dans de rares cas, le déséquilibre peut toucher par appel au vide des masses rocheuses fracturées.

Enfin, très exceptionnellement, il peut arriver que d'énormes masses de blocs subissent une rupture, emportant une bonne partie du versant et impliquant potentiellement un recul important. Toutefois, ce type d'écroulement en masse nécessite une conjonction de facteurs de prédisposition et de déclenchement particuliers, que l'on ne peut, *a priori*, pas retrouver dans le socle de Basse-Normandie.

La prise en compte de ce recul est très difficile à appréhender, notamment par le fait qu'une partie des variables intervenant dans le phénomène dépendent de l'état de la roche (altération et fracturation) à l'intérieur du massif, et étant de fait invisibles.

D'autre part, le recul potentiel est différent selon que la zone située en amont des instabilités potentielles est en pente ou que l'instabilité se trouve en tête de versant où la partie amont est plane (type front de taille).

Dans le cas où l'amont est en pente, les caractéristiques de l'amont de la zone instable ont permis de prendre en compte le recul potentiel le plus probable dans la cartographie de l'aléa de rupture.

Dans le cas des fronts de taille, le recul potentiel le plus probable a été identifié en fonction de l'altération de la roche en tête de versant (les formations altérées étant les plus facilement mobilisables). Aussi, nous avons appliqué le même aléa que l'aléa de rupture sur une bande en amont dont la largeur est égale à la hauteur des formations altérées visibles sur l'affleurement.

Le recul le plus probable en cas d'occurrence a donc ainsi pu être carté.

Le recul potentiel maximal reste par contre extrêmement difficile à identifier, car comme évoqué, il dépend des caractéristiques de la roche à l'intérieur du massif, ainsi que du pendage, de l'orientation, de la récurrence et de l'ouverture des surfaces de discontinuités proches de l'orientation du versant et responsables de ruptures.

D'autre part, la probabilité d'occurrence d'un événement impliquant un recul important est extrêmement faible sur l'ensemble des zones ayant fait l'objet de cette étude. C'est pourquoi un tel aléa ne peut pas être mesuré. Toutefois, par soucis d'information, et en concertation avec la DREAL de Basse-Normandie, il a été décidé d'identifier, sans la caractériser, une zone d'incertitude correspondant au recul potentiel maximal en amont de l'affleurement présentant un aléa, dont la largeur est égale à la hauteur de l'affleurement.

4.4. CARTE DE L'ALEA CHUTE DE BLOCS

Une fois les cartographies de l'aléa de départ de blocs et des zones exposées à la réception de blocs réalisées, la jointure des deux cartes permet d'obtenir la carte de l'aléa chute de blocs.

Toutefois, la carte indiquant la probabilité de réceptions de blocs a dû être adaptée pour la transformer en carte d'aléa. En effet, cette carte a été réalisée selon quatre niveaux (probabilité nulle à faible, probabilité faible, probabilité moyenne et probabilité

forte, Tableau 6). On ne peut pas transformer ces classes de probabilité directement en aléa dans le sens où l'aléa correspondant à la zone de réception ne peut pas être supérieur à l'aléa de départ de blocs. C'est pourquoi le passage de la carte de probabilité à la carte d'aléa est fonction de la carte d'aléa départ de blocs. (Illustration 26).

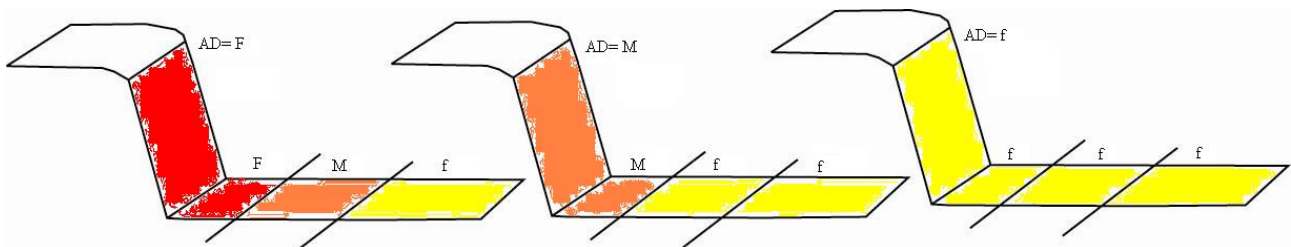


Illustration 26 : Schéma de principe de la pondération de l'aléa lié à la propagation en fonction de l'aléa de départ (AD). F= Fort, M=Moyen, f=faible

4.4.1. SIG

a. Symbologie

La couleur rouge a été définie pour l'aléa fort.

La couleur orange a été définie pour l'aléa moyen.

La couleur jaune a été définie pour l'aléa faible.

Le reste des zones de forte pente présente un aléa nul à faible, qui n'a pas été représenté.

L'aléa chute de pierres a été pris en compte. Aussi, les deux informations apparaissent sur la carte d'aléa, en gardant en fond la plage de couleur correspondant à l'aléa chute de blocs, et en surimpression, un hachuré de la couleur correspondant à l'aléa chute de pierres (là encore, du jaune au rouge en allant de faible à fort).

b. Cas des constructions anthropiques

Le figuré des zones de départ protégées (hachuré gris) a été étendu à la propagation dans les cas des affleurements équipés.

La présence de merlons (aménagements de protection), est matérialisée par une bande bleu turquoise. Au-delà du merlon le niveau de propagation est représenté par la couleur de l'aléa sans protection, au-dessus duquel on applique un maillage grisé

indiquant que si le merlon a été correctement dimensionné, l'aléa devient faible au-delà tant que le merlon est présent et entretenu.

Il faut noter que les maisons n'ont pas été considérées comme des obstacles sauf dans le cas des alignements de maisons mitoyennes ou de barres d'immeubles.

5. Résultats : exemple de sites remarquables

Sont présentées dans cette partie les mesures et analyses réalisées ainsi que les résultats obtenus pour chaque site servant d'exemple.

5.1. CHERBOURG-OCTEVILLE : FALAISE « ROUGE », RUE DE LA ROCHE QUI PEND

5.1.1. Localisation

La falaise « rouge » est une falaise d'une vingtaine de mètres de haut localisée le long de la rue de la Roche qui Pend à Cherbourg-Octeville (Illustration 27).

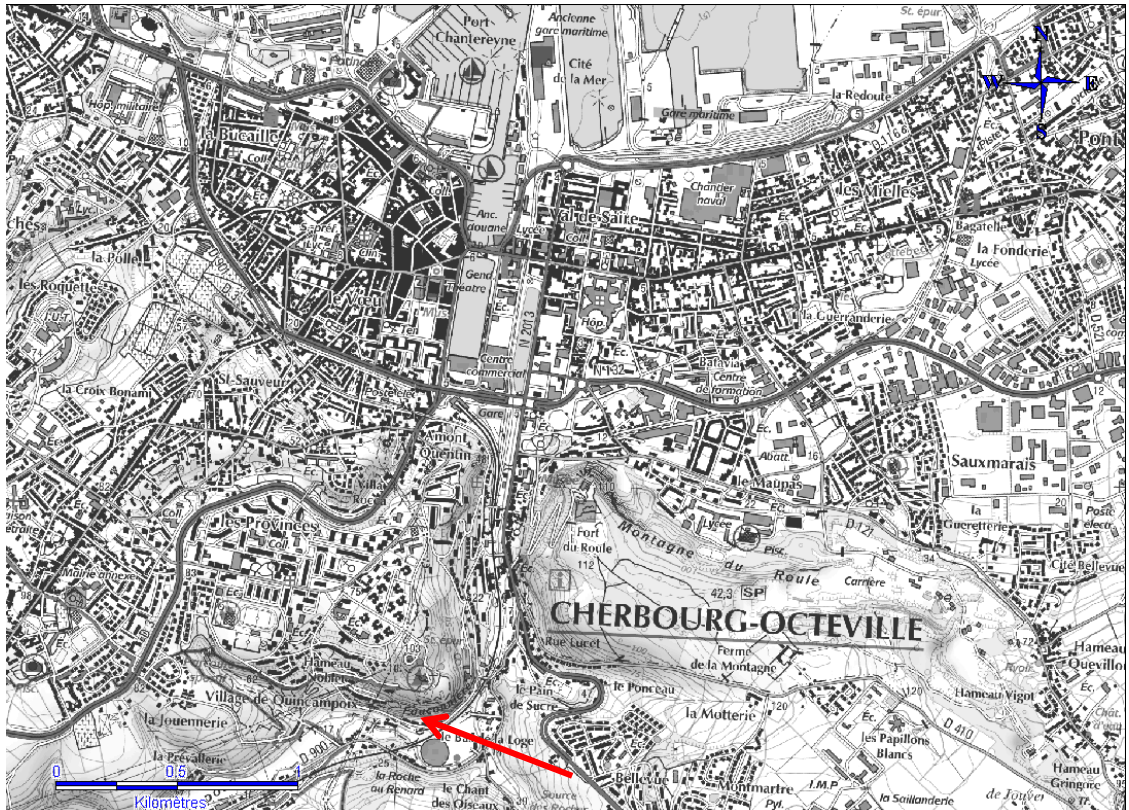
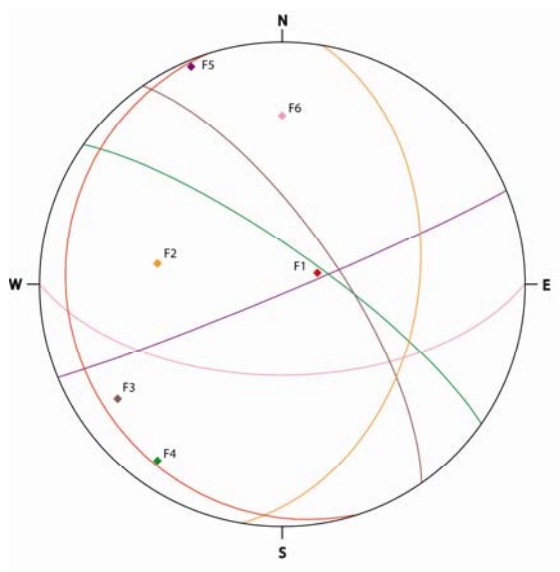


Illustration 27 : Situation du site étudié (© IGN).

5.1.2. Alea de départ

Les mesures prises tout au long de cette falaise ont permis de mettre en évidence 6 directions de fracturation principales (Illustration 28)



Famille	Orientation	Pendage
F1	N160	10 SW
F2	N10	45 SE
F3	N145	70 NE
F4	N125	80 NE
F5	N65	85 SE
F6	N90	60 NE

Illustration 28 : Fractures principales de la zone « Falaise rouge ». Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite

L'analyse de la fracturation s'est faite, comme évoqué dans le développement méthodologique en fonction des intersections des six fractures principales, du cercle de frottement et de l'orientation du versant (Illustration 29).

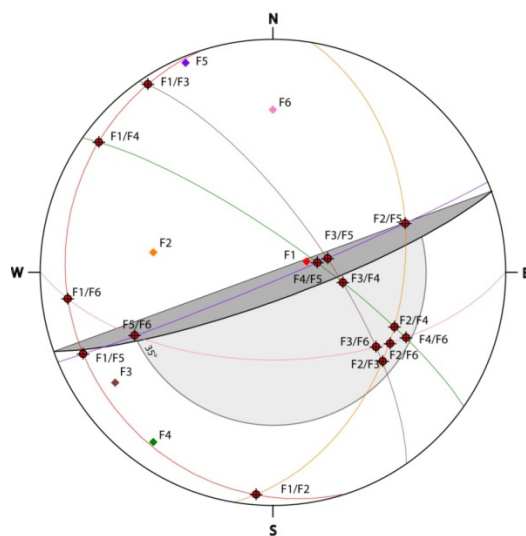


Illustration 29 : Analyse de la stabilité.

En gris foncé : grand cercle représentant le versant, en gris clair : cercle représentant l'angle de frottement de 35°, F_i = fracture i ; F_i/F_j = intersection des fractures i et j). L'analyse montre un niveau d'aléa de départ fort pour cette zone (plusieurs intersections dans la zone critique).

Les résultats de l'analyse de la fracturation, associés aux résultats de la méthode géomorphologique permettent de définir l'aléa de départ de blocs. Ils sont récapitulés dans le Tableau 7 et prennent la forme de polygones de couleurs adaptées au niveau d'aléa sous SIG (Illustration 30).

Site n°	zone	Présence de protection	aléa géomorpho	aléa chute de pierre	alea fract pondéré	alea départ	alea chute de pierre
25a	falaise rouge	merlon	3		3	3	
25b	falaise rouge	merlon	2		2	2	

Tableau 7 : Evaluation du niveau d'aléa en fonction de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation pondéré par la hauteur pour la zone falaise rouge. L'aléa chute de pierres n'est également pris en compte que lorsqu'il est supérieur à l'aléa de départ.

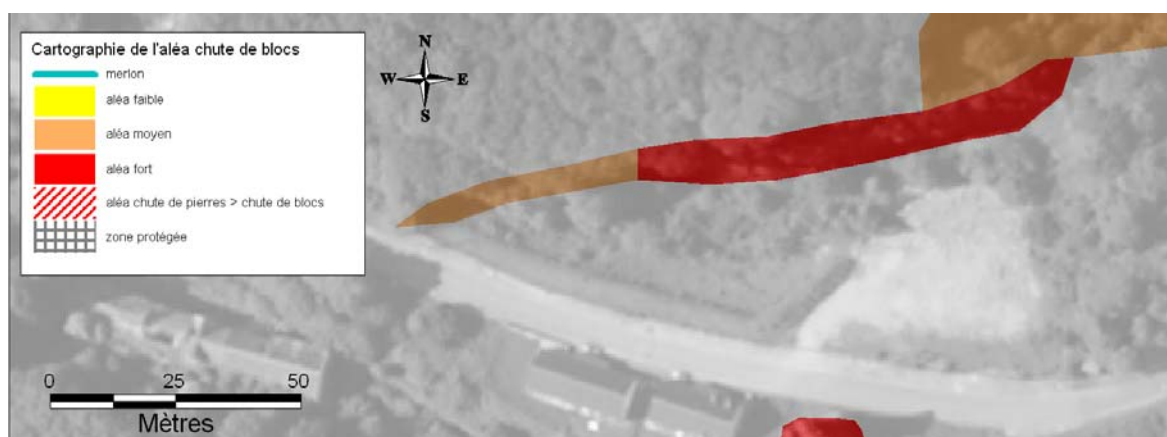


Illustration 30 : Aléa de départ au niveau de la zone falaise rouge.

5.1.3. Zones de propagation

La propagation a été évaluée pour tous les sites de mesures et d'observations sur la base des informations recueillies sur le terrain, des scans 25 de l'IGN et du MNT.

Dans le cas présent, la zone de propagation étant pseudo-plane, l'utilisation du logiciel Pierre 98 a été privilégiée.

Comme évoqué auparavant, l'aléa dans les zones de propagation correspond à la probabilité d'atteinte d'un point donné par un bloc, pondéré par le fait que l'aléa maximal dans la zone de propagation correspond à l'aléa de départ (Tableau 8).

Sur ce site, qui a fait l'objet d'éboulements relativement récents, ont été mis en place des merlons, dont l'impact sur la propagation est pris en compte dans la cartographie (Illustration 31).

Site n°	Niveau d'aléa de départ de blocs	distance (en m) de zone de probabilité forte de réception	distance (en m) de zone de probabilité moyenne de réception	Distance (en m) de zone de probabilité faible de réception
25a	Fort	6	16	26
25b	Moyen		5	15

Tableau 8 : Extension des zones d'aléa propagation pour les sites de la zone falaise rouge

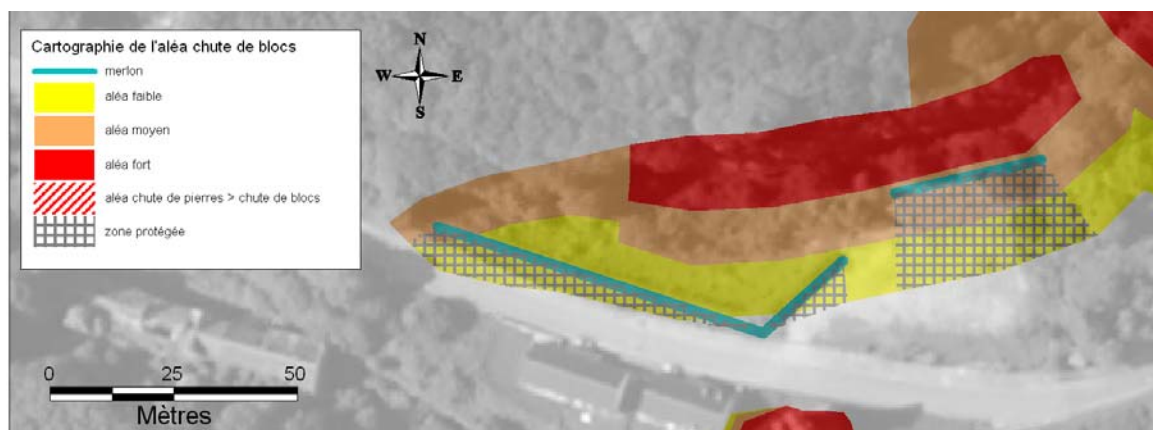


Illustration 31 : Détail de la carte d'aléa chute de blocs au niveau de la zone falaise rouge. Sont ici représentés l'aléa de départ et l'aléa de propagation.



Photo 1 : Vue d'ensemble du site (partie gauche de l'affleurement visible).



Photo 2 : Détail d'une partie de l'affleurement et d'un des merlons mis en place.

5.2. SAINT-LO : SUD-CITADELLE

5.2.1. Localisation

La zone sud-citadelle comprend les affleurements de la face sud des remparts de Saint-Lô (Illustration 32). Le long de cette façade les hauteurs de l’affleurement, sur lequel reposent les remparts, varient entre 1,5 m et une quinzaine de mètres.

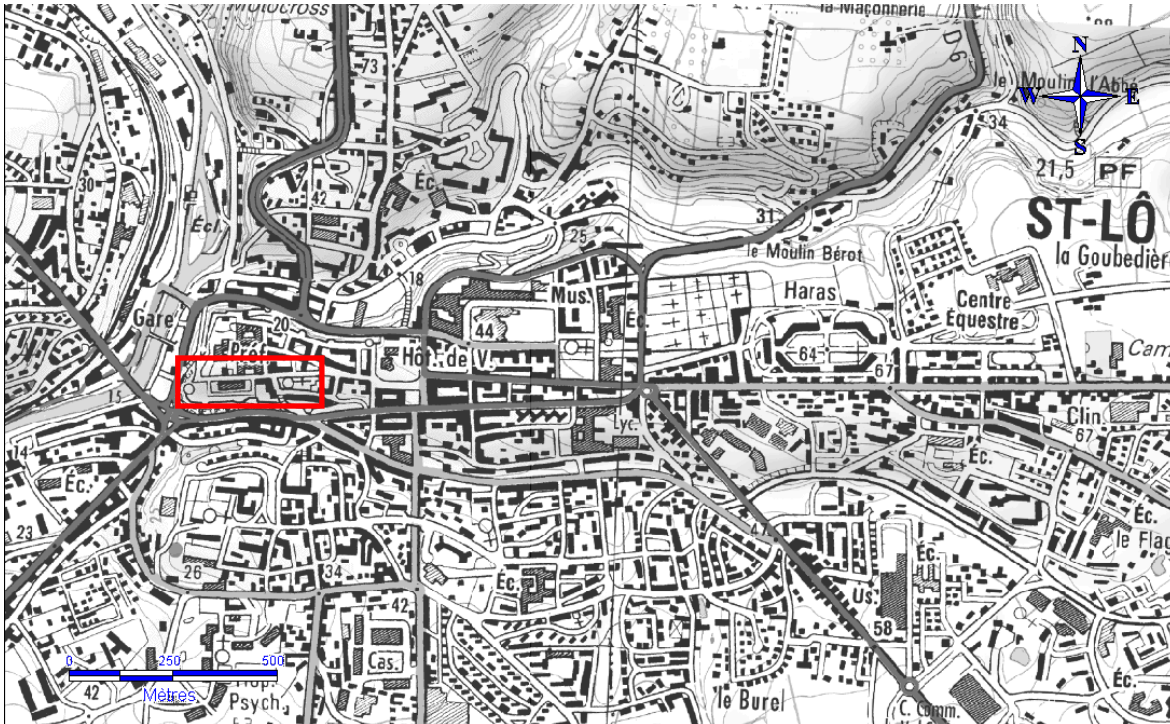


Illustration 32 : Localisation du site.

5.2.2. Alea de départ

La partie sud des remparts de Saint-Lô, longue d'environ 300 m a fait l'objet de 13 points de mesures qui ont permis de mettre en évidence 3 plans principaux ou prédominants de fracturation (Illustration 33), ainsi que deux plans secondaires.

Comme évoqué précédemment, l'analyse de la fracturation a pris en compte les intersections des fractures principales, l'angle de frottement entre les épontes des fractures, ainsi que l'orientation du versant (exemple Illustration 34) et a été pondérée en fonction de la hauteur de l'affleurement.

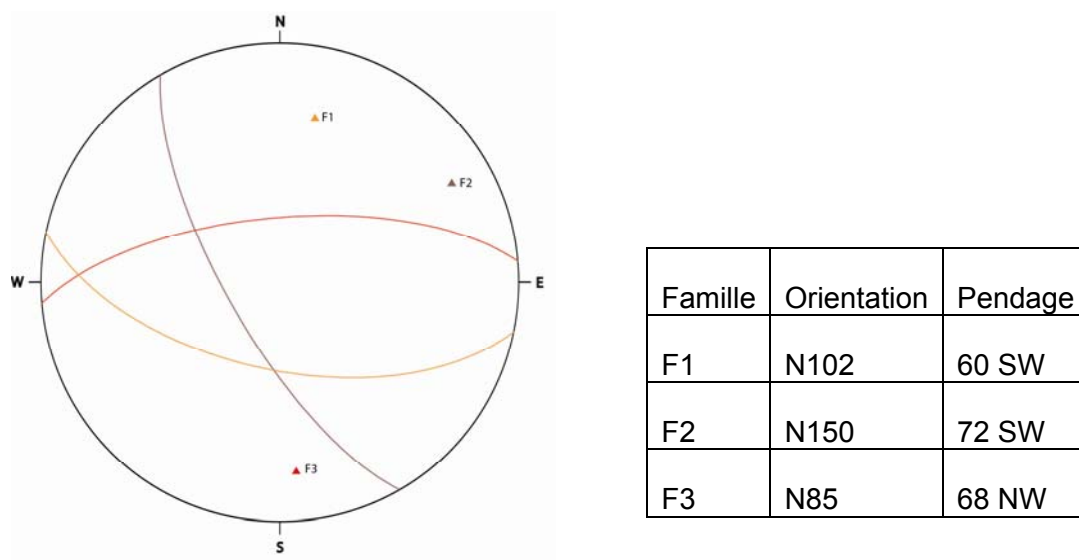


Illustration 33 : Fractures principales de la zone Sud citadelle. Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite.

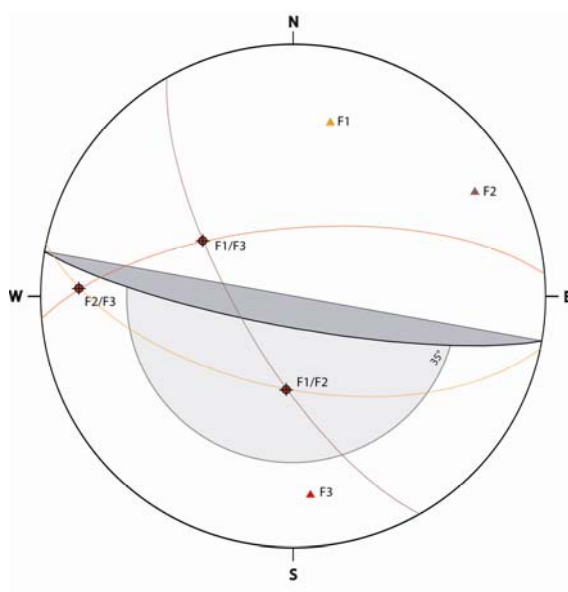


Illustration 34 : Analyse de la stabilité pour les sites 10 et 11 de la zone sud-citadelle.

En gris foncé : grand cercle représentant le versant, en gris clair : cercle représentant l'angle de frottement interne de 35°, F_i = fracture i ; F_i/F_j = intersection des fractures i et j . L'analyse montre un niveau d'aléa moyen pour ces sites : 1 intersection dans la zone critique.

Les résultats de l'analyse de la fracturation, associés aux résultats de la méthode géomorphologique permettent de définir l'aléa de départ de blocs. Ils sont récapitulés

dans le Tableau 9 et prennent la forme de polygones de couleurs adaptées au niveau d'aléa sous SIG (Illustration 35).

Site n°	zone	Présence de protection	<i>alea géomorpho</i>	<i>aléa chute de pierre</i>	<i>alea fract pondéré</i>	alea départ	alea chute de pierre
10	sud citadelle		2	3	2	2	3
11	sud citadelle		2	3	2	2	3
12	sud citadelle	oui	1		1	1	
13	sud citadelle		1	2	2	2	
14	sud citadelle		2	2	2	2	
15	sud citadelle		2	2	2	2	
16a	sud citadelle		1		2	2	
16b	sud citadelle		1		2	2	
17	sud citadelle		1	2	2	2	
18	sud citadelle		1	2	2	2	
19a	sud citadelle		1	2	1	1	3
19b	sud citadelle		1	2	2	2	
20	sud citadelle		1	2	2	2	
21	sud citadelle	oui	2		2	2	
22a	sud citadelle	oui	2	2	2	2	
22b	sud citadelle	oui	2	2	2	2	

Tableau 9 : Evaluation du niveau d'aléa en fonction de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation pondéré par la hauteur pour la zone Sud citadelle. L'aléa chute de pierre est également pris en compte lorsqu'il est supérieur à l'aléa de départ.



Illustration 35 : Aléa de départ au niveau de la zone Sud citadelle.

De par la nature même du phénomène, la cartographie des aléas chute de blocs, et en particulier de départ de blocs, est assez délicate à réaliser sur plan. En effet, la plupart

des affleurements ont peu de composante horizontale ce qui amène certaines restrictions d'un point de vue cartographique : il est ainsi parfois difficile de voir les affleurements sur les photos aériennes, d'autre part les polygones destinés à les représenter sur SIG sont très peu larges et engendrent des limites au niveau du détail de rendu.

Du fait de la situation centrale des remparts de Saint-Lô, situés en plein centre urbain nous avons complété la cartographie en plan par un panorama permettant de palier aux manques sus cités. L'illustration 36 présente un détail de ce panorama, l'ensemble étant consultable en Annexe 3.

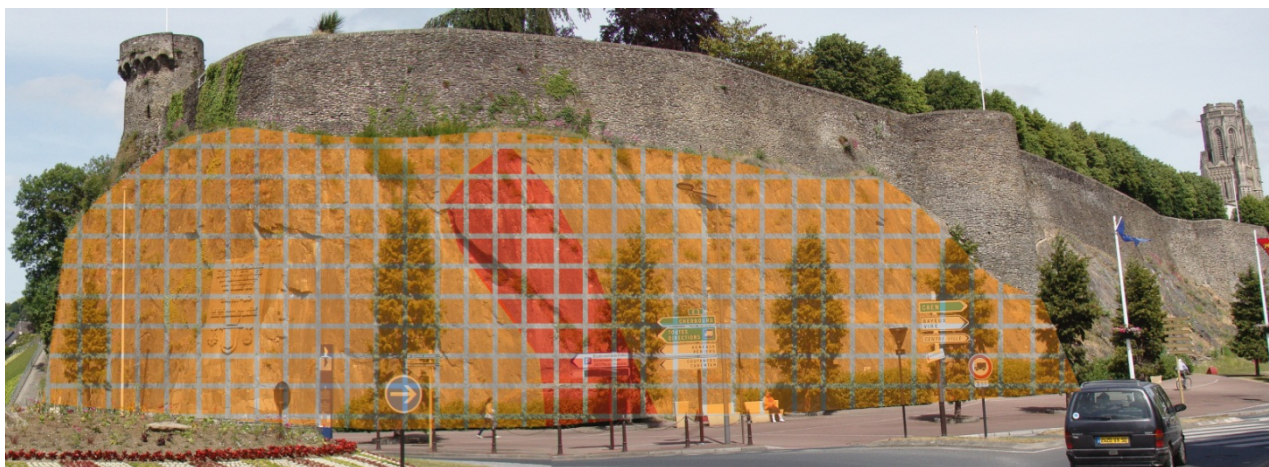


Illustration 36 : Détail du panorama de l'angle sud-ouest des remparts rendant compte de l'aléa de départ de chute de blocs.

En orange : aléa moyen, en rouge : aléa fort. Le maillage gris indique que l'affleurement est protégé. Par conséquent l'aléa est ici faible tant que la protection est maintenue en place et entretenue.

5.2.3. Zones de propagation

Là encore, la zone de réception est totalement plane, et qui plus est, enherbée sur une partie du linéaire de falaise. Pour chaque point de mesure, la probabilité d'atteinte d'un point par les blocs potentiellement chutés a été définie (à l'aide de Pierre 98, Tableau 10), donnant un aléa dans la zone de propagation fonction de l'aléa de départ de blocs.

A l'issue, et en ajoutant cette propagation à l'aléa de départ, on obtient la cartographie de l'aléa chute de blocs.

Site n°	Niveau d'aléa de départ de blocs	distance (en m) de l'aléa fort	distance (en m) de l'aléa moyen	Distance (en m) de l'aléa faible
10;11;	moyen		2	4.5
12	faible			2.3
13	moyen		1	4.5
14;17	moyen		2	5.5
15	moyen		1.5	5.5
16	moyen		1.7	4.5
18	moyen		2.8	7.5
19a	faible			3
19b	moyen		1.7	7.5
20	moyen		1.7	7.5
21	moyen		1.6	4.5
22	moyen		2.3	5.5

Tableau 10 : Extension des zones de propagation pour les site de la zone Sud citadelle (distance exprimée par rapport au pied de falaise).

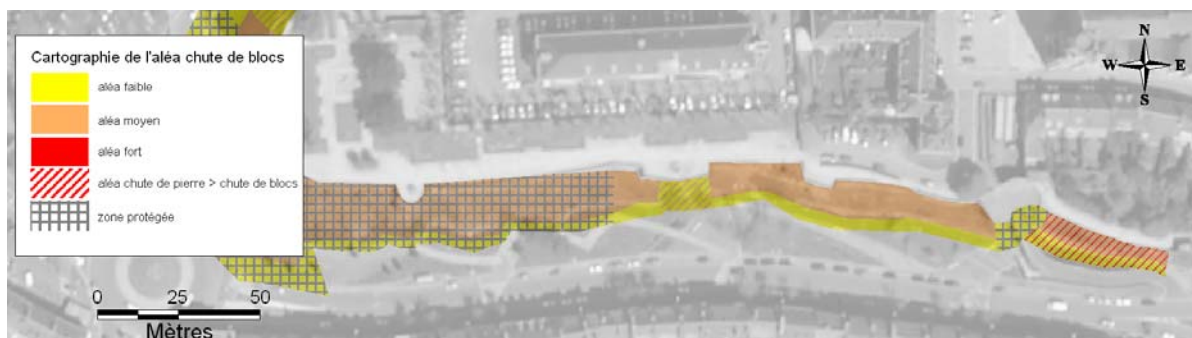


Illustration 37 : Détail de la carte d'aléa chute de blocs au niveau de la zone sud citadelle. Sont ici représentés l'aléa de départ et l'aléa propagation.

5.3. VIRE : RUE DES USINES

5.3.1. Localisation

La rue des usines est bordée par des affleurements rocheux admettant une particularité, puisqu'ils laissent apparaître le contact entre les granodiorites et la cornéenne encaissante. Les hauteurs d'affleurement sont comprises entre 3 et 15 m.

L'autre particularité de la rue des usines est que sur l'étroite terrasse se trouvant entre la falaise et la Vire, se trouve un habitat très ramassé et très proche des affleurements, amenant un enjeu non négligeable et recoupant les zones d'aléa, ce qui rend ce site d'autant plus remarquable.

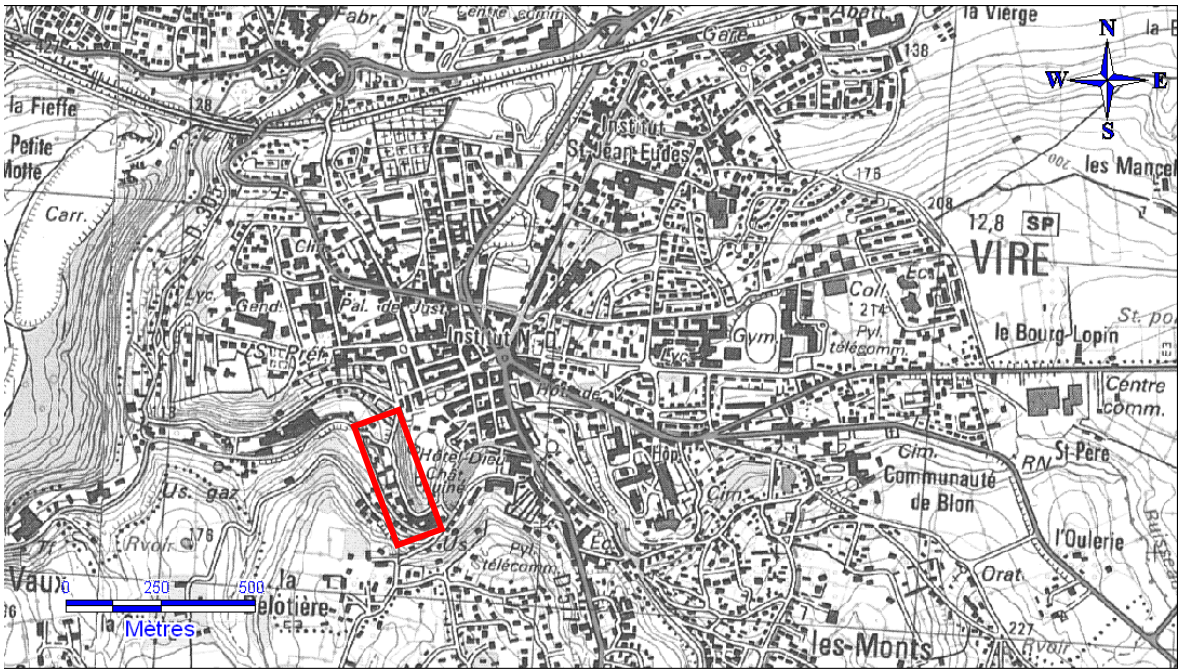
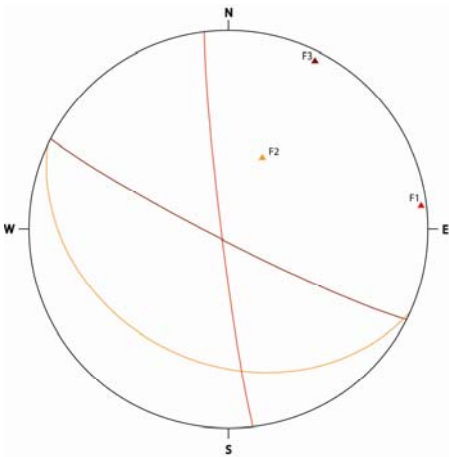


Illustration 38 : Localisation de la rue des usines. Commune de Vire (© IGN).

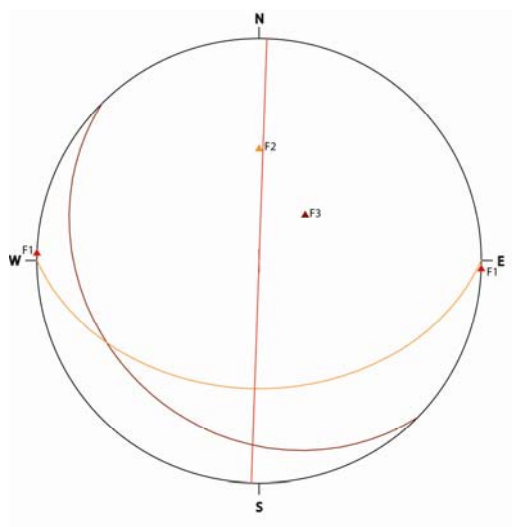
5.3.2. Aléa de départ

Les mesures prises le long de la rue des usines ont permis de mettre 3 directions de fractures principales/prédominantes dans la granodiorites et 3 dans la cornéenne. 17 points de mesures ont permis de définir l'aléa à cet endroit.



Famille	Orientation	Pendage
F1	N175	85 SW
F2	N115	35 SW
F3	N120	85 SW

Illustration 39 : Plans de fractures principaux dans la granodiorite de la rue des usines. Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite.



Famille	Orientation	Pendage
F1	N0	90
F2	N90	40 SW
F3	N135	25 SW

*Illustration 40 : Plans de fractures principaux dans la cornéenne de la rue des usines.
Représentation stéréographique à gauche et tableau récapitulatif à droite.*

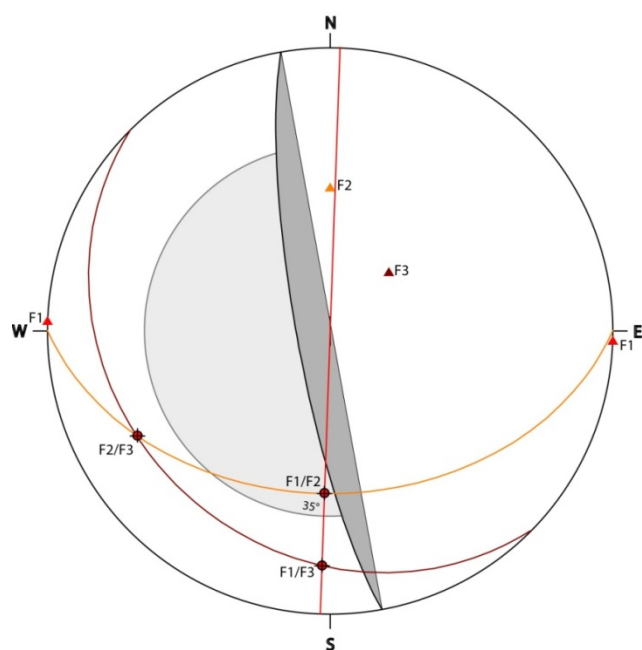


Illustration 41 : Analyse de la stabilité pour les sites 29 et 34 localisés dans la cornéenne de la rue des usines.

En gris foncé : grand cercle représentant le versant, en gris clair : cercle représentant l'angle de frottement de 35°, F_i = fracture i ; F_i/F_j = intersection des fractures i et j). L'analyse montre un niveau d'aléa moyen pour ces sites : 1 intersection dans la zone critique.

Comme pour les deux sites précédemment exposés, l'analyse de la fracturation a pris en compte les intersections des fractures principales, l'angle de frottement entre les épontes des fractures, ainsi que l'orientation du versant (exemple Illustration 41) et a été pondérée en fonction de la hauteur de l'affleurement.

Les résultats de cette analyse de la fracturation, auxquels sont associés les résultats de l'étude géomorphologique permettent de définir l'aléa de départ. Ils sont récapitulés dans le Tableau 11 et prennent la forme de polygones de couleurs adaptées au niveau d'aléa sous SIG (Illustration 42)

Site n°	zone	Présence de protection	aléa géomorpho	alea chute de pierre	alea fract pondéré	alea départ	alea chute de pierre
25a	rue des usines		2		1	2	
25b	rue des usines		1		1	1	
26a	rue des usines		2		1	2	
26b	rue des usines		3		1	3	
27a	rue des usines		3		1	3	
27b	rue des usines		2		1	2	
28a	rue des usines		3		2	3	
28b	rue des usines		2		2	2	
29a	rue des usines		2		2	2	
29b	rue des usines		2		2	2	
29c	rue des usines	OUI	2		2	2	
29d	rue des usines		2		2	2	
29e	rue des usines		2		2	2	
29f	rue des usines		3		2	3	
29g	rue des usines		2		2	2	
29h	rue des usines		1	2	2	2	
34	au-dessus de la rue de l'usine		2		2	2	

Tableau 11 : Evaluation du niveau d'aléa en fonction de l'aléa géomorphologique et de l'aléa fracturation pondéré par la hauteur pour la rue des usines. L'aléa chute de pierres n'est également pris en compte que lorsqu'il est supérieur à l'aléa de départ.

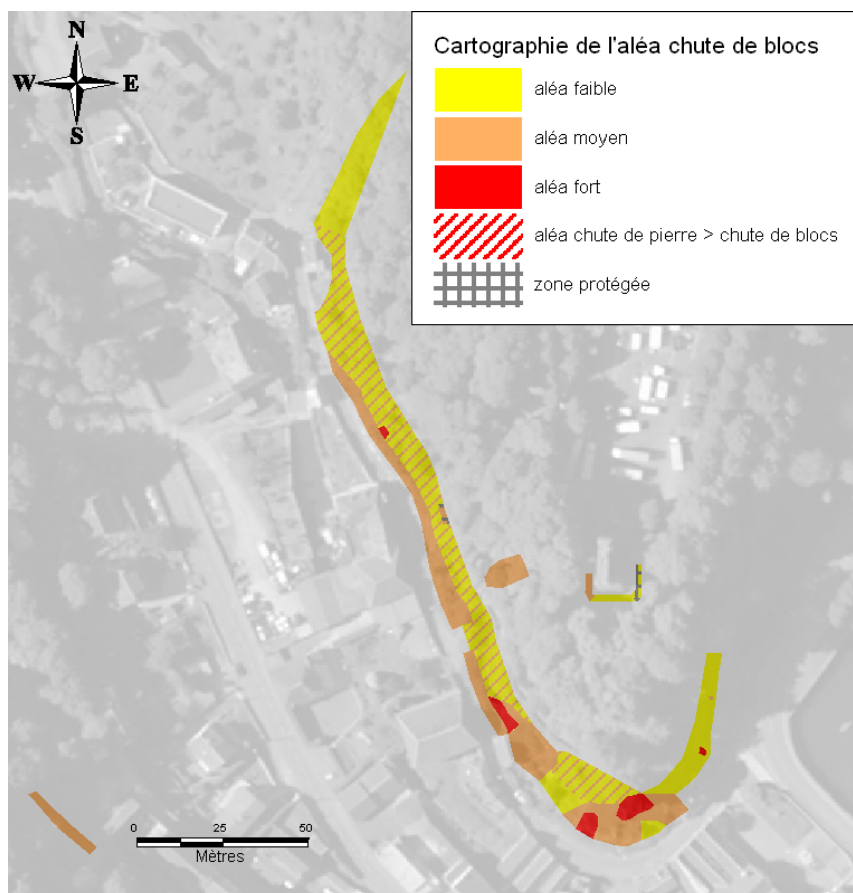


Illustration 42 : Détail de la carte d'aléa de départ de blocs au niveau de la rue des usines.

5.3.3. Zones de propagation

Les zones de réception de blocs rue des usines sont très particulières. En effet, il y a d'une part une alternance entre des zones de pentes et des zones planes, mais surtout, comme évoqué précédemment, des maisons d'habitation en pierres massives, collées les unes aux autres et qui se trouvent très proches des zones d'affleurement. Leur présence aurait pour conséquence en cas d'évènement d'empêcher toute propagation de blocs. Pour les rares endroits où il n'y a pas de maison proches des affleurements, on trouve la Vire, fortement encaissée ici, qui jouerait le rôle d'un large fossé, récepteur de blocs. C'est pourquoi les zones de propagation sont ici très restreintes.

A l'issue, et en ajoutant cette propagation à l'aléa de départ, on obtient la cartographie de l'aléa chute de blocs (Illustration 43).

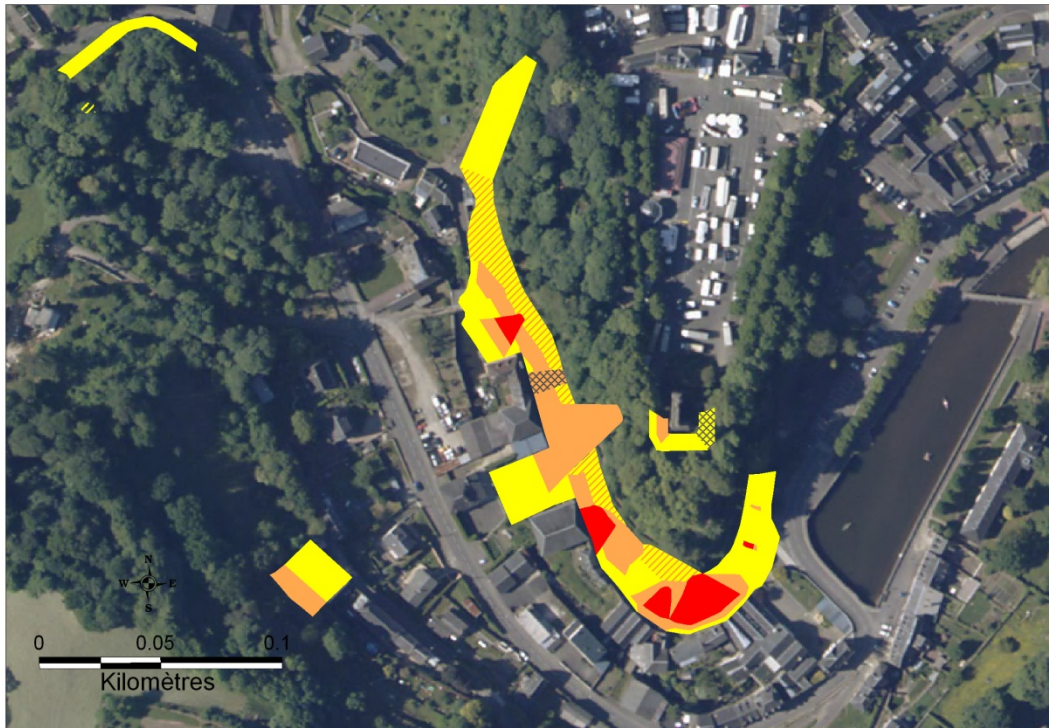


Illustration 43 : Cartographie de l'aléa chute de blocs. rue des usines, Vire.



Photo 3 : Vue d'une partie des affleurements de la rue des usines prise du versant opposé. La proximité entre l'affleurement et les habitations est visible.

5.4. IDENTIFICATION DES ZONES IDENTIFIEES COMME « A RISQUE » LORS DE L'ETUDE

Plusieurs zones étudiées lors de cette cartographie de l'aléa chute de blocs nous ont semblé présenter un risque que l'on pourrait qualifier de « péril imminent ».

Ce risque n'est pas forcément lié à l'intensité de l'aléa, mais plutôt à une conjonction de facteurs (probabilité d'occurrence forte et vulnérabilité de l'enjeu).

C'est pourquoi nous avons choisi, pour ces quelques sites, de mettre en place des fiches synthétiques présentant le type d'aléa, l'enjeu et le risque associé, ainsi que des recommandations d'actions qui permettraient de réduire le risque.

Les fiches concernées sont visibles en Annexe 2.

6. Analyse critique de la carte de prédisposition

6.1. CARACTERISTIQUES DE LA CARTE DE PREDISPOSITION

La notice d'utilisation de la carte de prédisposition aux chutes de blocs rocheux est visible intégralement en Annexe 4. Sont présentées ici les caractéristiques principales de cette cartographie.

La réalisation de la carte de prédisposition aux risques s'est basée sur le fait que les événements récents de chutes de blocs en Basse-Normandie s'étaient tous produits sur des pentes $> 20^\circ$. Une carte des pentes a donc été réalisée. Trois classes (entre 20 et 30° , entre 30 et 40° et $>40^\circ$) ont permis de définir des pentes fortes, des pentes très fortes et de pentes extrêmes.

Cette carte des pentes a été réalisée avec un MNT au pas de 20 m (maille de calcul de 100 m^2).

Il faut noter que cette carte n'est pas présentée comme une carte d'aléa, mais comme une carte de prédisposition. Il est précisé que les classes de pentes sont des moyennes qui peuvent cacher des disparités. Enfin, il est aussi précisé dans la notice que des investigations de terrains sont nécessaires pour qualifier précisément le risque en présence d'enjeux : [... *Aussi, la simple lecture de cette carte demeure-t-elle insuffisante pour déterminer précisément la stabilité ou non des zones prédisposées à la rupture et les risques associés. Il convient réellement, en cas d'enjeux ciblés ou de doute, de s'attacher les services d'un spécialiste...*] (DREAL Basse-Normandie, 2004).

6.2. ANALYSE STATISTIQUE

Afin de définir une comparaison objective entre la carte d'aléa et la carte de prédisposition, une analyse statistique simple a été réalisée.

Aussi, plusieurs éléments comparatifs ont été pris en compte :

- proportion de zones de fortes et très fortes pentes communes avec la carte d'aléa à fine échelle,
- proportion de zones de fortes et très fortes pentes en commun avec l'aléa départ.

6.2.1. Cherbourg-Octeville

Concernant Cherbourg, qui est par ailleurs la ville parmi les trois étudiées dont les coteaux sont les plus urbanisés, seulement 20% des zones présentant une pente de plus de 20° d'après le MNT présentent un réel aléa « chute de blocs » (aléa départ + propagation). Toutefois, cela ne va pas à l'encontre de la carte de prédisposition dont

la notice d'utilisation, si elle précise que les occurrences de chutes de blocs ont lieu dans des zones de plus de 20° de pente, n'indique pas que toutes les zones de plus de 20° de pente sont soumises à un aléa « chute de blocs ».

A l'inverse, seulement 67% des zones identifiées comme présentant un aléa « chute de blocs » par la présente étude se trouvent recoupées par des zones de plus de 20° de pente. Cela signifie donc que la carte de prédisposition « oublie » plus de 30% des zones soumises à l'aléa. Toutefois, on entend ici par aléa « chute de blocs », l'aléa départ + les zones de propagations.

Aussi, si on s'intéresse aux seules zones de départ, on observe que 90,5 % des zones présentant un aléa de départ de blocs se trouvent dans une zone prédisposée. Ce sont donc majoritairement les zones de réception de blocs qui ne sont en toute logique « pas vues » par la carte de prédisposition.

Cela signifie donc (comme évoqué par ailleurs dans la notice de la carte de prédisposition) qu'en appliquant un tampon à l'aval des zones prédisposées, les zones de réception de blocs pourraient être prises en compte.

Si on s'intéresse aux seules zones présentant un aléa fort, on s'aperçoit que plus de 92% des surfaces concernées se situent dans une zone prédisposée à l'aléa. Là encore, cela comprend les zones de réception de blocs. Aussi, si on ne s'intéresse qu'aux zones de départ de blocs, on arrive à 97,4% des surfaces présentant un aléa fort de départ de blocs se situant dans une zone prédisposée à l'aléa « chute de blocs », soit seulement 2,6% de ces sites « oubliés » par la carte des prédisposition, cela s'expliquant très probablement par le degré de précision du MNT.

Par ailleurs, toujours concernant l'aléa fort, 75% des surfaces recroisant la carte de prédisposition concernent des pentes très fortes, contre 25% des pentes fortes. Aussi, bien que n'étant pas totalement fiable, la délimitation entre pentes fortes, pentes très fortes et pentes extrêmes (très peu présentes à Cherbourg, mais correspondant à 100% à un aléa fort) présente un réel intérêt informatif.

6.2.2. Saint-Lô

Les mêmes statistiques ont été effectuées pour la ville de Saint-Lô.

Ici, seulement 18,9% des surfaces prédisposées aux chutes de blocs correspondent à des sites soumis à l'aléa « chute de blocs », soit le même ordre de grandeur qu'à Cherbourg.

71,1% des zones présentant un « aléa chute de blocs » se trouvent dans une zone indiquée comme prédisposée. Par contre, seulement 78,9% des zones soumises à un aléa de départ de chute de blocs recoupent la carte de prédisposition. Autrement dit, plus de 20% des surfaces soumises à l'aléa « chute de blocs » sont en dehors d'une zone prédisposée. Cela s'explique par deux raisons : d'une part une zone de forêt dans laquelle l'aléa « chute de pierres » a été cartée en indiquant un aléa « chute de blocs » faible. Dans cette zone de forêt, succession d'abrupts et de zones plus planes,

la pente moyenne est parfois légèrement inférieure à 20° , ce qui explique une partie de la différence ; d'autre part, on trouve à Saint-Lô des imprécisions flagrantes du MNT et donc de la carte de prédisposition, ne prenant par exemple pas en compte des abrupts pouvant atteindre 20 m de hauteur pour une pente supérieure à 45° (mesures de terrain).

Concernant l'aléa fort, on trouve à Saint-Lô 83% des zones soumises à cet aléa en commun avec la carte de prédisposition. Cette proportion monte à 90,8% quand on ne considère que l'aléa de départ de blocs. L'analyse de ces 9,2% d'erreur est entièrement imputable à l'imprécision et plus précisément au probable lissage du MNT.

6.2.3. Vire

Comme pour les deux autres sites d'étude, à Vire, la proportion de zone prédisposée présentant réellement un aléa « chute de blocs » a été calculée. On obtient ici un résultat bien différent, puisque 48,3% des zones prédisposées présentent un aléa « chute de blocs ».

A contrario, seulement 62,6% des zones présentant un « aléa chute de bloc »s sont indiquées comme prédisposées. Deux raisons là aussi pour expliquer une telle différence : la majorité des surfaces traitées à Vire se situent en zone de forêt, zones très accidentées sur l'ensemble du versant, et présentant un aléa « chute de pierres ». Pour l'ensemble de ces zones, dont les pentes moyennes sont parfois très légèrement inférieures à 20° , un aléa faible a été apposé. L'autre raison vient là encore (et pour des surfaces non négligeables) d'imprécisions du MNT. Ces imprécisions apparaissent soit en tête de versant (lissage avec la maille pseudo plane se situant au-dessus ?), soit dans des zones où le trait de versant présente une courbure importante (Illustration 44).

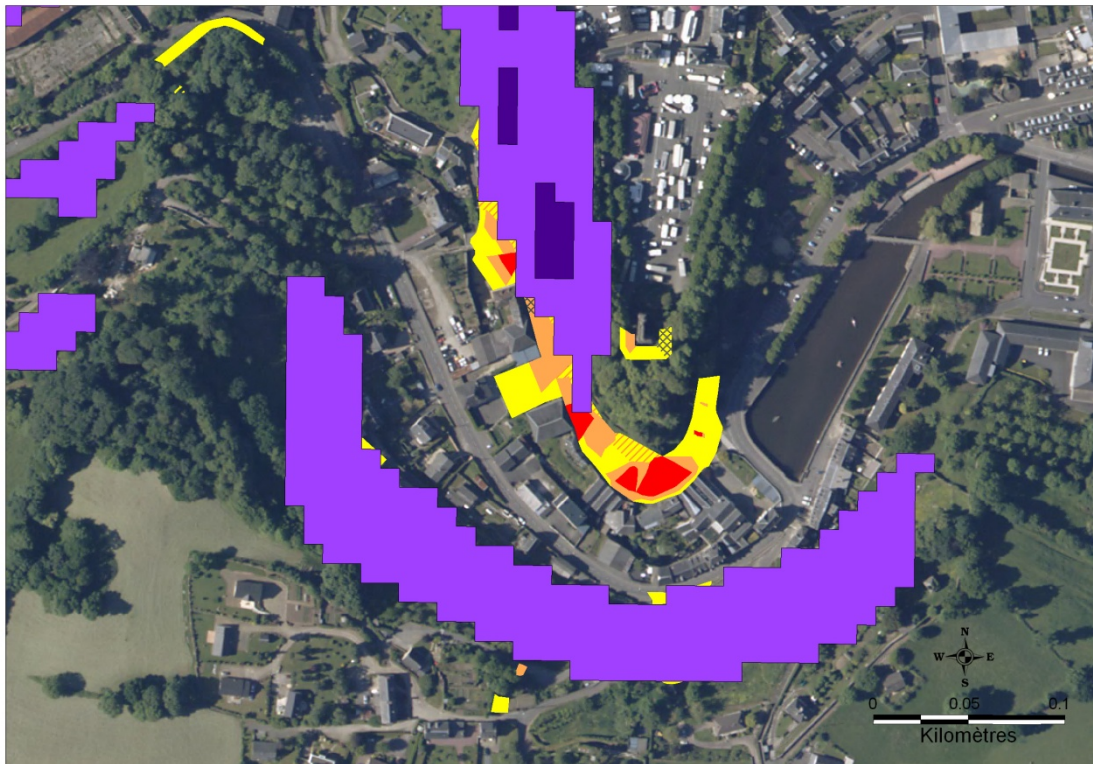


Illustration 44 : Vire, rue des usines : exemple de site où la carte de prédisposition (tons violacés) ne correspond pas du tout à la carte d'aléa (d'aléa faible en jaune à fort en rouge).

Concernant l'aléa fort, on trouve à Vire 79,7% des zones soumises à cet aléa en commun avec la carte de prédisposition. Cette proportion monte à 93% quand on ne considère que l'aléa de départ de blocs. Là aussi, les 7% d'erreur sont entièrement imputables à l'imprécision du MNT (Illustration 44).

6.3. ANALYSE CRITIQUE

6.3.1. Analyse de la carte

La comparaison statistique entre la carte de prédisposition et la carte d'aléa permet de constater de nombreuses disparités, et notamment une forte surestimation des zones potentiellement impactées.

Toutefois, ces disparités peuvent être mesurées. On s'aperçoit notamment que sur des coteaux réguliers et dans les zones de forêt, non soumises aux nombreux aménagements inhérents à l'urbanisation, les surfaces indiquées comme prédisposées aux chutes de blocs sont très proches de celles de la carte d'aléa. C'est le cas par exemple à Vire sur les coteaux boisés de la Virène et de la Vire.

A contrario, sur les coteaux non réguliers, et fortement marqués par les aménagements urbains, la carte de prédisposition admet de nombreuses disparités avec la carte d'aléa.

Il faut toutefois remarquer que mises à part quelques disparités liées à l'imprécision du MNT, la quasi-totalité des zones de départ de blocs sont comprises dans les zones prédisposées. En ce sens, la carte de prédisposition donne des résultats intéressants.

Le principal problème vient donc du fait que seule une partie des zones prédisposées est réellement soumise à l'aléa « chute de blocs ». Cela s'explique par le fait qu'en se basant uniquement sur les pentes, on ne prend pas en compte les autres variables intervenant dans le processus d'instabilité de blocs, à savoir la fracturation, les caractéristiques intrinsèques de la roche, la présence d'eau et le facteur, déterminant, qu'est l'altération. C'est pourquoi utiliser cette carte de prédisposition comme carte d'aléa reviendrait à majorer considérablement les zones potentiellement à risque.

Il apparaît donc que la carte de prédisposition aux risques montre des similitudes intéressantes à grande échelle avec la carte de l'aléa « chute de blocs ». Toutefois, dans le détail, on constate des imprécisions à plusieurs niveaux, liées d'une part à la prise en compte d'un seul facteur agissant sur les processus d'instabilité de blocs (à savoir la pente), et d'autre part à la précision du MNT.

Pour les milieux urbains ou présentant un enjeu, et comme évoqué dans la notice de la carte de prédisposition, des études complémentaires à fine échelle paraissent indispensables en cas de besoin de carte opposable. Pour ce faire, la carte de prédisposition apparaît comme un outil extrêmement intéressant permettant de cibler rapidement les zones prédisposées, puisque la quasi-totalité des zones de départ potentiel de blocs sont ciblées par la carte de prédisposition.

Dans des espaces sans enjeux majeurs (urbanisme notamment) et où l'information de l'aléa ne nécessite pas de précision, la carte de prédisposition pourrait suffire, dans la mesure où elle ne minore qu'en de très rares cas l'aléa (imprécisions du MNT), et prend en compte dans une grande majorité des cas la propagation d'un phénomène en cas d'occurrence. Toutefois, afin de prendre en compte la propagation, un tampon en aval serait à appliquer. Mais il paraît compliqué d'appliquer un tampon unique, comme évoqué dans la notice, les facteurs intervenant dans la propagation étant là aussi multiples.

Enfin, même si cette carte de prédisposition ne semble pas pouvoir se muer avec des ajustements rapides en carte d'aléa, l'information qu'elle propose reste intéressante. En effet, des zones de fortes pentes sont aujourd'hui parfaitement en équilibre et ne présentent pas d'aléa d'éboulement ou de chute de blocs. Toutefois, un aménagement amenant à réaliser un terrassement important dans ces zones à fortes pentes pourrait très rapidement amener à une déstabilisation du versant. C'est pourquoi, en cas de réalisation de carte réglementaire, ces zones de forte pente ne présentant pas en l'état

d'aléa « chute de blocs » ou éboulement pourraient faire l'objet de recommandations / prescriptions quant à leur aménagement futur.

6.3.2. Analyse de la notice

La notice de la carte de prédisposition (Annexe 4) précise les modalités de réalisation de la carte, ainsi que ses limites d'utilisation.

Il apparaît que la notice explique parfaitement la méthode de mise en place de la carte, ainsi que la typologie des phénomènes possibles dans les zones de fortes pentes.

La partie 2 de la notice (« Comment utiliser cette cartographie ? ») définit les limites de cette carte de prédisposition (précision du MNT, non prise en compte de plusieurs variables intervenant dans le processus de chute de blocs, non prise en compte des zones de propagation...).

Ces limites, mises en exergue par la comparaison entre la carte d'aléa et la carte de prédisposition avaient donc été parfaitement identifiées lors de la réalisation de la carte de prédisposition.

Aussi, la notice précise bien que la « *cartographie des prédispositions aux chutes de blocs rocheux est (donc) une information de premier niveau mais l'identification du risque sur un secteur donné implique nécessairement la réalisation d'investigations complémentaire [...] qui permettront d'apprécier les autres facteurs essentiels à la survenance du phénomène et la caractérisation des enjeux* ».

6.4. PROPOSITIONS D'AMELIORATION DE LA CARTE DE PREDISPOSITION

Plusieurs éléments pourraient rendre la carte de prédisposition plus conforme à la réalité.

6.4.1. Précision du MNT

La DREAL de Basse-Normandie a fourni au BRGM en toute fin de cette étude un MNT plus précis (MNT radar à maille de 10 m) que celui utilisé pour réaliser la carte de prédisposition.

Quelques tests comparatifs avec la carte d'aléa ont pu être réalisés, et il apparaît qu'avec les mêmes classes de pente, ce MNT plus précis se rapproche plus de la carte d'aléa de départ de blocs. Les pentes extrêmes correspondent même à chaque fois à des zones potentielles de départ de blocs. Toutefois, beaucoup de zones de fortes pentes ne sont toujours pas concernées par l'aléa pour des raisons déjà évoquées, à savoir que toutes les zones à forte pente ne regroupent pas les variables nécessaires au développement d'instabilités.

D'autre part, là où la carte de prédisposition avait une concordance assez correcte avec les zones de propagations (résultat de son imprécision), ce MNT plus précis ne prend plus du tout en compte les zones de propagations.

On peut penser que l'acquisition d'un MNT encore plus précis (levé LIDAR ?) pourrait permettre une concordance encore plus forte avec la carte d'aléa de départ de blocs. Là encore, il ne s'agira que de critères de pente, et beaucoup de zones prédisposées ne correspondront pas forcément à un aléa chute de blocs.

6.4.2. Etudes associées

Si le but est de faire se rapprocher le plus possible la carte de prédisposition et la carte d'aléa, quelques études complémentaires de traitement de données pourraient apporter des résultats sans toutefois qu'il soit possible d'atteindre la précision de l'étude d'aléa que le BRGM a réalisée.

Orthophotographies

Tout d'abord, un traitement des orthophotographies permettrait d'identifier toutes les zones à forte pente ne présentant pas d'affleurement et donc d'aléa chute de blocs (cela n'exclurait pas un éventuel aléa de mouvement de surface des dépôts de pente, type glissement ou reptation). Par ce fait, tous les versants en équilibre pourraient être retirés des zones de prédispositions.

Analyse documentaire de la fracturation

Les cartes géologiques ainsi que la bibliographie géologique fournissent des données sur la fracturation principale. Une étude SIG de cette fracturation, comparée à l'orientation des versants pourrait permettre de définir par une analyse grossière de la fracturation (sur le modèle de ce qui a pu être fait pour la carte d'aléa) les principaux plans de rupture présentant un pendage aval en fonction de l'orientation des versants.

Cela ne donnerait toutefois qu'une indication très partielle de la fracturation.

6.4.3. Précision de la notice

La comparaison entre la carte d'aléa et la carte de prédisposition aux risques de chute de blocs permet un retour d'expérience qu'il serait intéressant d'intégrer dans la notice.

Aussi, les statistiques indiquant le pourcentage de zones prédisposées réellement soumises à un aléa, ainsi que celles indiquant le pourcentage de zones présentant un aléa se trouvant dans des zones de forte pente permettraient au lecteur de se faire lui-même un jugement.

D'autre part, comme évoqué précédemment, il est important de faire apparaître dans la notice que même si une bonne partie des zones prédisposées est en équilibre et ne

présente pas d'aléa chute de blocs, elles n'en restent pas moins des zones potentiellement instables, soit en présentant un risque de glissement des dépôts de pente en cas d'humectation trop importante (déjà précisé dans la notice, mais à répéter dans ce paragraphe de retour d'expérience), soit en cas d'aménagement non calibrés (notamment terrassements pouvant déséquilibrer le versant).

7. Conclusions

La carte de prédisposition au risque de chute de blocs en Basse-Normandie permet d'identifier les zones de fortes pentes ($>20^\circ$) sur lesquelles sont susceptibles de se produire des phénomènes de chutes de blocs et d'éboulements.

Toutefois, cette carte ne prend pas en compte les différentes variables intervenant dans la mise en place de tels phénomènes (fracturation, présence d'eau, caractéristiques intrinsèques de la roche, altération...). Il est donc nécessaire afin de connaître les limites exactes de cette carte, de la comparer à des cartes d'aléa à échelle plus détaillée, prenant en compte l'ensemble des facteurs intervenant dans le processus de chute de blocs.

Pour cela, trois sites présentant des géologies, des topographies et des aménagements variés, mais aussi des enjeux, ont été étudiés dans les villes de Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire.

Pour cela, le BRGM a mis en place une méthodologie de cartographie adaptée au contexte (milieux urbains et reliefs de faible altitude).

Aussi, une cartographie géomorphologique associée à une analyse précise de la fracturation a permis de définir l'aléa de départ des blocs, alors que l'étude des zones de réceptions et le couplage d'un logiciel de trajectométrie (Pierre 98 © BRGM) et d'une méthode d'évaluation de la propagation en zone de pente ont permis de définir la géométrie potentielle et les probabilités de propagation de blocs.

A l'issue, une carte d'aléa à fine échelle (valable au 1/5 000^e, avec une précision au 1/2 000 pour les sites les plus urbanisés) a pu être mise en place sur l'ensemble du territoire des trois villes étudiées.

Même si les surfaces concernées sont peu étendues, il apparaît que malgré des reliefs peu élevés, la conjonction d'une pente parfois abrupte, de contextes géologiques (litologique et tectonique) particuliers, de l'altération, du climat et de la végétation, est à l'origine de zones présentant un aléa fort pour ce qui concerne les chutes de blocs et les éboulements. C'est le cas par exemple à Cherbourg au niveau de la Montagne du Roule ou au sud du parc de la Fauconnière ; à Saint-Lô pour une petite surface sous les remparts ou au niveau de l'ancienne carrière dans laquelle se trouve aujourd'hui un site de la Croix rouge française ; à Vire, rue des usines, au niveau du moulin de la rue olivier Basselin ou encore dans la forêt du versant opposé à la route des Vaux.

Cette carte d'aléa peut servir comme document de travail dans le cadre d'une éventuelle mise en place de plans de prévention des risques dans ces trois villes.

La comparaison entre cette carte d'aléa et la carte de prédisposition montre que cette dernière couvre beaucoup plus de surfaces que les zones réellement touchées par un aléa chute de blocs.

Toutefois, on a aussi pu constater que la quasi-totalité des zones identifiées comme présentant un aléa de départ de blocs sont comprises dans les zones à forte pente de la carte de prédisposition.

A l'issue de la comparaison, il apparaît que la carte de prédisposition est un excellent outil informatif, qui permet notamment d'identifier dans les zones à enjeux (zones urbaines, linéaire routier...), les sites où des études complémentaires de stabilité des affleurements pourraient être utiles. Et bien qu'elle ne puisse se muer en carte d'aléa dans les zones présentant des enjeux, cette carte de prédisposition, mise à jour avec un MNT plus précis (LIDAR ?) et des zones tampons caractérisant les zones de propagation, pourrait être suffisante dans les zones ne présentant pas d'enjeu majeur.

La carte d'aléa à fine échelle ne vient donc pas en remplacement, mais en complément de la carte de prédisposition, qui définit notamment des zones de forte pente actuellement en équilibre, mais qui pourraient présenter un aléa en cas notamment de terrassement non contrôlé.

8. Bibliographie

Allmendinger R. W. (2003) - Stereonett.

Berger F. (2009) - Pour une meilleure prise en compte des forêts à fonction de protection vis-à-vis des risques naturels dans les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles, les aménagements forestiers et les Chartes Forestières de Territoire. CEMAGREF & ONF. Rapport de fin de contrat du CEMAGREF pour le programme « Risque-Décision-Territoire » du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. 128p.

Berthet-Rambaud P. (2004) - Structures rigides soumises aux avalanches et chutes de blocs : modélisation du comportement mécanique et caractérisation de l'interaction "phénomène-ouvrage". Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble I, France. 286p.

Collectif (2008) - Arpa Piemonte - Centro Regionale per le Ricerche Territoriali e Geologiche, Torino, Italia ; Cemagref, Grenoble, France ; Politecnico di Torino - Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Italia ; Consorzio Forestale Alta Valle di Susa, Oulx (To), Italia ; S.I.R. s.r.l. Interreg IIIa 2000-2006 Alpes Latines Coopération Transfrontalière France-Italie, Projet n. 165 PROVIALP, Protection de la viabilité alpine - Rapport final. 375p.

Collectif (2001) – Guide « parades contre les instabilités rocheuses ». Collection Environnement *Les risques naturels*. LCPC 2001 n°59023103. 144 p.

DREAL de Basse-Normandie (2004) – Notice d'utilisation de la carte de prédisposition aux chutes de blocs rocheux.

Dupret L., Dissler E., Poncet J., Coutard J.P. (1997) - Carte géologique de la France au 1/50 000^e, feuille n°143 (Saint-Lô). Ed. BRGM.

Frayssines M. (2005) - Contribution à l'évaluation de l'aléa éboulement rocheux (rupture). Thèse de doctorat. Université Joseph Fourier, Grenoble I, France. 224p.

GEO³ (laboratoire de Géotechnologies, Hydrogéologie, Prospection Géophysique. Université de Liège) (postérieur à 2005) - Stabilité des parois rocheuses, méthodologie d'étude et modes de confortement. Rapport réalisé pour la DGATLP (Direction Générale de l'Aménagement du Territoire, du Logement et du Patrimoine, Ministère de la Région Wallonne). 91p.

Gerber W. (1994) - Beurteilung des Prozesses Steinschlag, Forstliche Arbeitsgruppe Naturgefahren (FAN), Herbstkurs Poschiavo, Kursunterlagen, WSL, Birmensdorf. 20p.

Graindor M.J. (1963) - Carte géologique de la France au 1/50 000^e, feuille n°72 (Cherbourg). Ed. BRGM.

Hoek E. & Bray J.W. (1974) - Rock Slope Engineering. The Institution of Mining and Metallurgy, London. 309p.

Heim A. (1932) - Bergsturz und Menschenleben. Fretz & Wasmuth, Ziirich.

Jaboyedoff M. & Labiouse V. (2011) - Technical notes : Preliminary estimation of rockfall runout zones. In Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 11, pp. 819-828.

Janjou D., Langevin C., Minoux L., Lautridou J.P. (1986) - Carte géologique de la France au 1/50 000^e, feuille n°1974 (Vire). Ed. BRGM.

Labiouse V., Descoedres F. (1999) - Possibilities and Difficulties in predicting Rockfall Trajectories. Joint Japan-Swiss seminar on Impact Load by Rockfall and Design of Protection Structures, Kanazawa, Japan, pp. 29-36.

LCPC (2004) - Les études spécifiques d'aléa lié aux éboulements rocheux. Guide technique, coll Environnement - les risques naturels, Laboratoire Centrale de Ponts et Chaussées, Paris. 86 p.

Marçot et Girard A. (2011) - Projet MASSA ALCOTRA n°65 (Medium And Small Size rock fall hazard Assessment) : Evaluation de l'aléa lié aux chutes de blocs et aux éboulements de volume intermédiaire. Rapport intermédiaire - Action 1 : Méthodes d'évaluation – Activité 1 : Application de la méthodologie BRGM à la cartographie « rapide » de l'aléa chute de blocs sur les axes transfrontaliers Rapport final BRGM/RP-59667-FR - 170 pages, 78 Ill. et 4 Annexes.

Marçot N. (2010) - Présentation pour le projet Interreg IVa Alcotra MASSA : la méthode « rapide » d'évaluation de l'aléa chute de blocs ou éboulement rocheux proposée par le BRGM.

Mathon C., Chassagneux D., Béchenne F., Bouchut J. (2003) - Tribunal de Grande Instance de Nantes – Référé n°99/00605 - Examen de la falaise "Rue de Chateaulin" et préconisation de travaux de mise en sécurité. Rapport d'expertise BRGM RP-51924-FR. 133 p.

Onofri R. & Candian C. (1979) - Indagine sui limiti di massima invasione di blocchi rocciosi franati durante il sisma del Friuli del 1976. Reg.Aut.Friuli –Venezia Guila, Cluet. 42 p.

Parriaux A. & Arnould M. (2006) - Géologie : bases pour l'ingénieur. Presses polytechniques et universitaires romandes, Suisse. 514 p.

Toppe R. (1987) - Terrain models: a tool for natural hazard mapping, in Avalanche formation, movement and effects. International Association and Hydrological Sciences, Wallingford, UK, 162, pp. 629-638.

Vernhet Y., Hervy V., Lerouge G., Besombes J.C. (2000) - Carte géologique de la France au 1/50 000^e, feuille n°144 (Torgni-sur-Vire). Ed. BRGM.

Annexe 1

Planches cartographiques de l'aléa chute de blocs. Villes de Cherbourg-Octeville, Saint-Lô et Vire

Liste des planches :

Cherbourg-Octeville

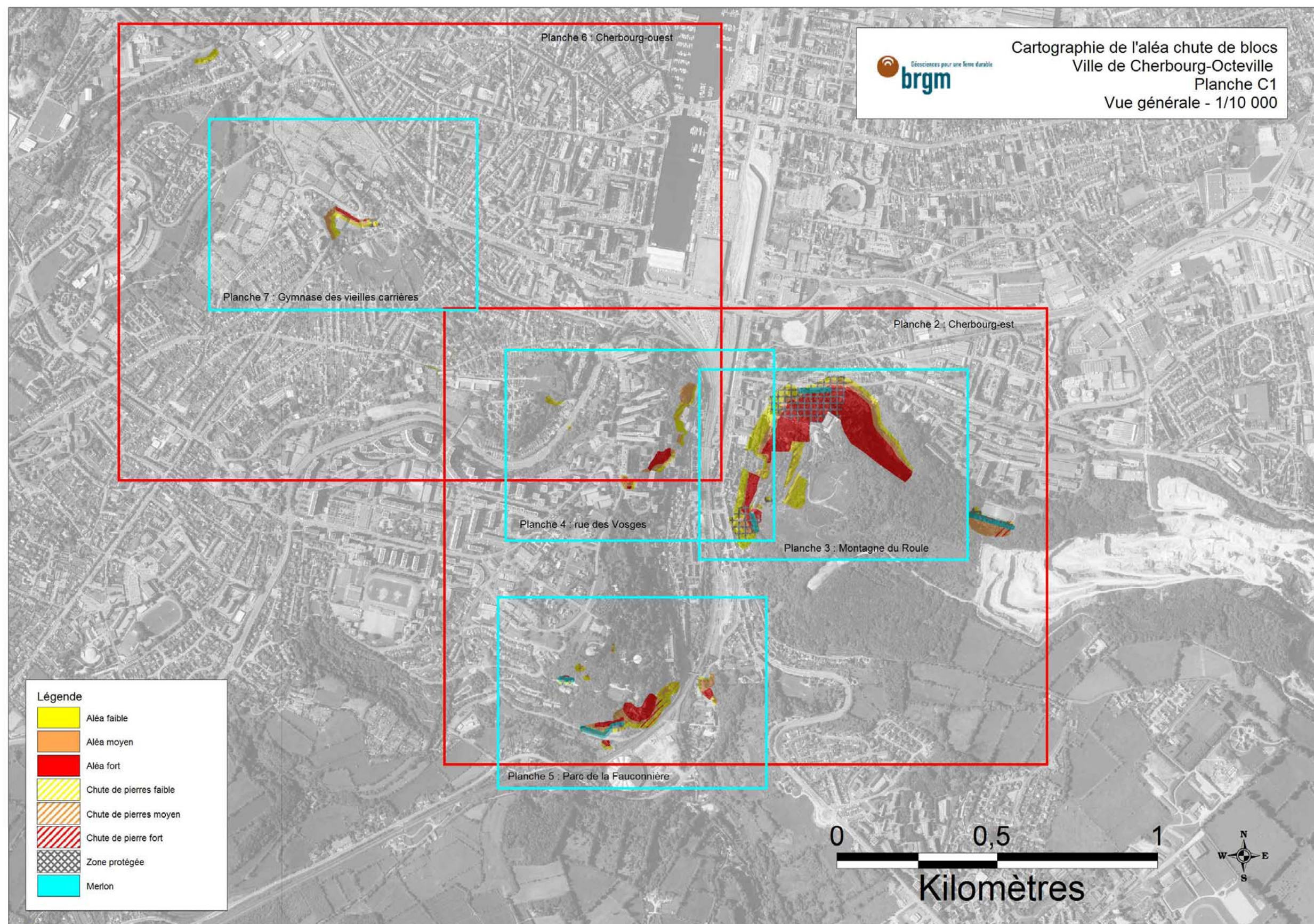
C1 : Vue générale 1/10 000
C2 : Cherbourg est ; 1/5 000
C3 : Montagne du Roule : 1/ 2 000
C4 : Rue des Vosges : 1/ 2 000
C5 : Parc de la Fauconnière : 1/ 2 000
C6 Cherbourg ouest : 1/5 000

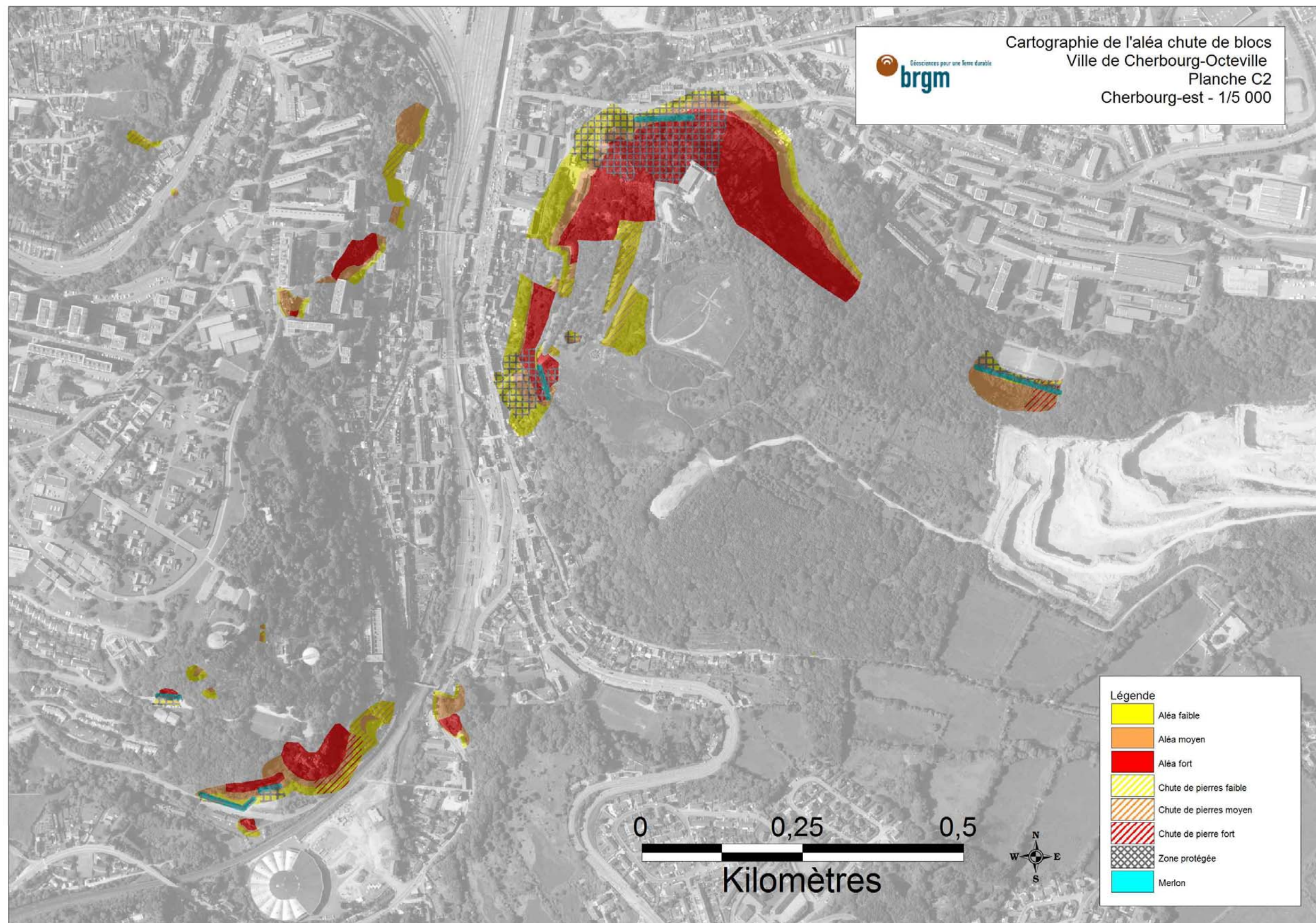
Saint-Lô

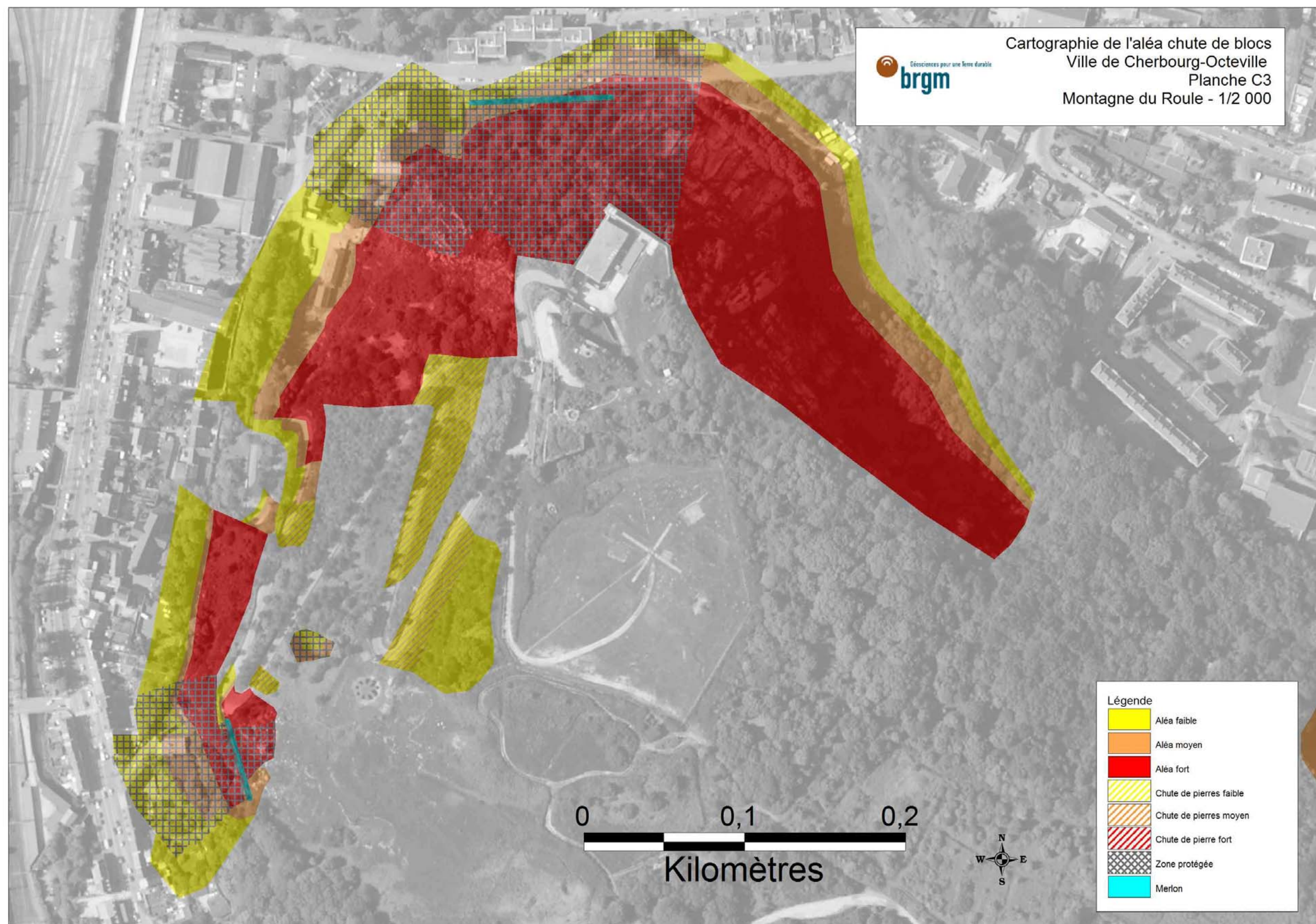
SL1 : Vue générale : 1/20 000
SL2 : Vaux de Vire : 1/5 000
SL3 : Saint-Lô centre : 1/5 000
SL4 : Remparts : 1/ 2 000
SL5 : Saint-Lô nord-est : 1/ 4 000
SL6 : Saint-Lô sud : 1/ 4 000

Vire

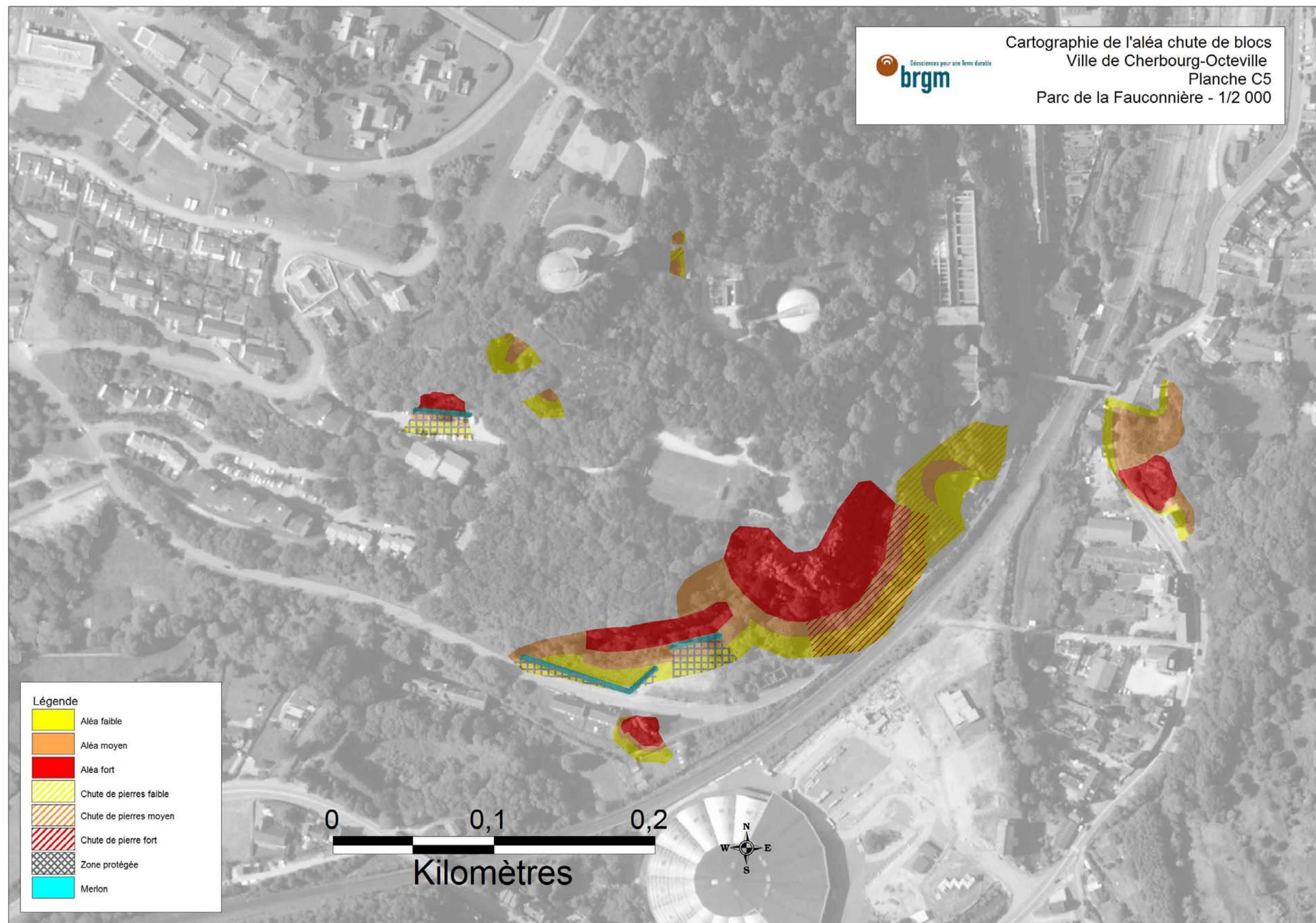
V1 : Vue générale : 1/10 000
V2 : Vire est : 1/3 000
V3 : Rue aux teintures : 1/1 500
V4 : Rue des usines : 1/1 500
V5 : Route des Vaux : 1/ 4 000
V6 : Rue Le Houx I 1/ 4 000
V7 : Rue Basselin : 1/1 500
V8 : Centre Olivier Basselin : 1/1 500

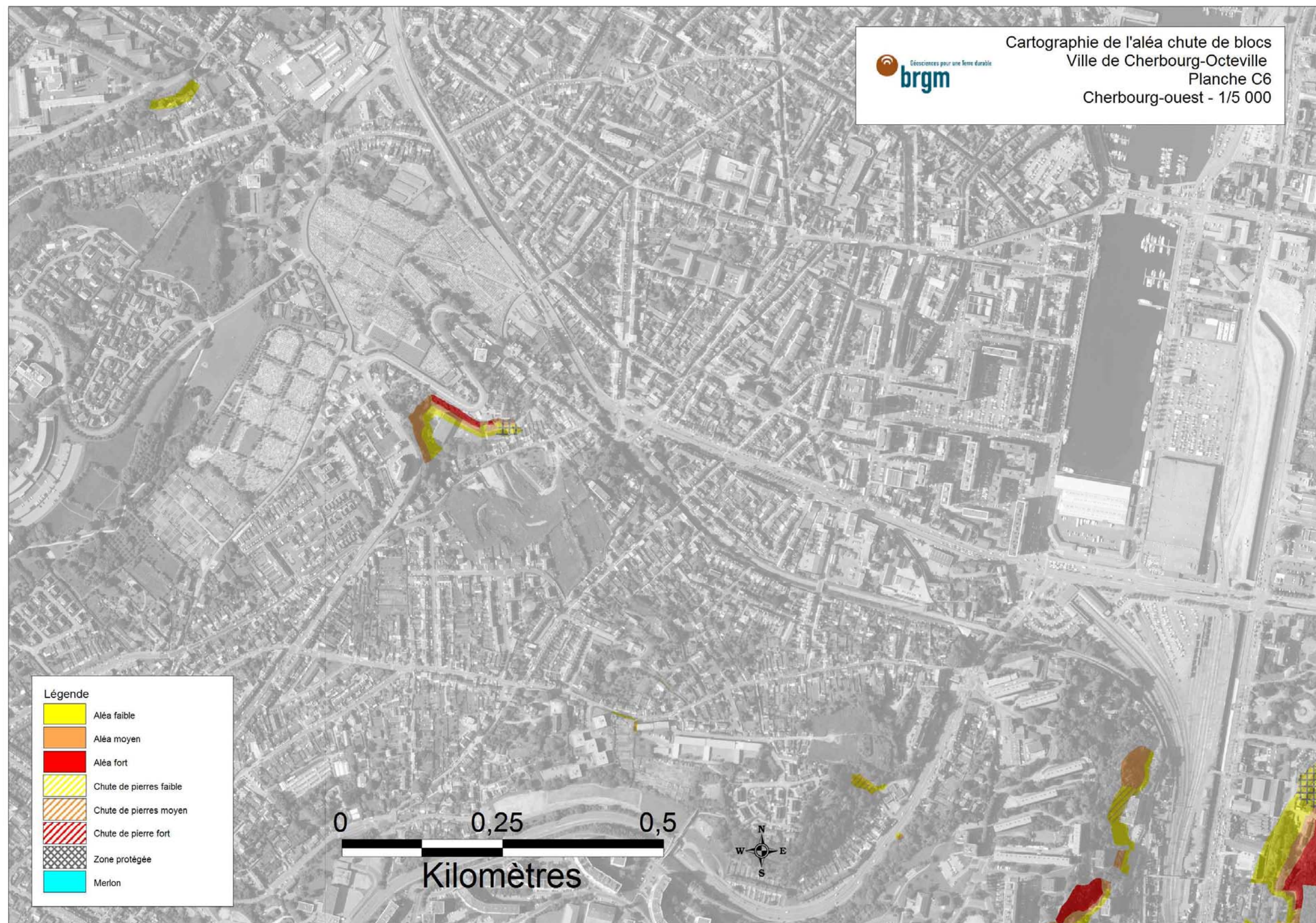


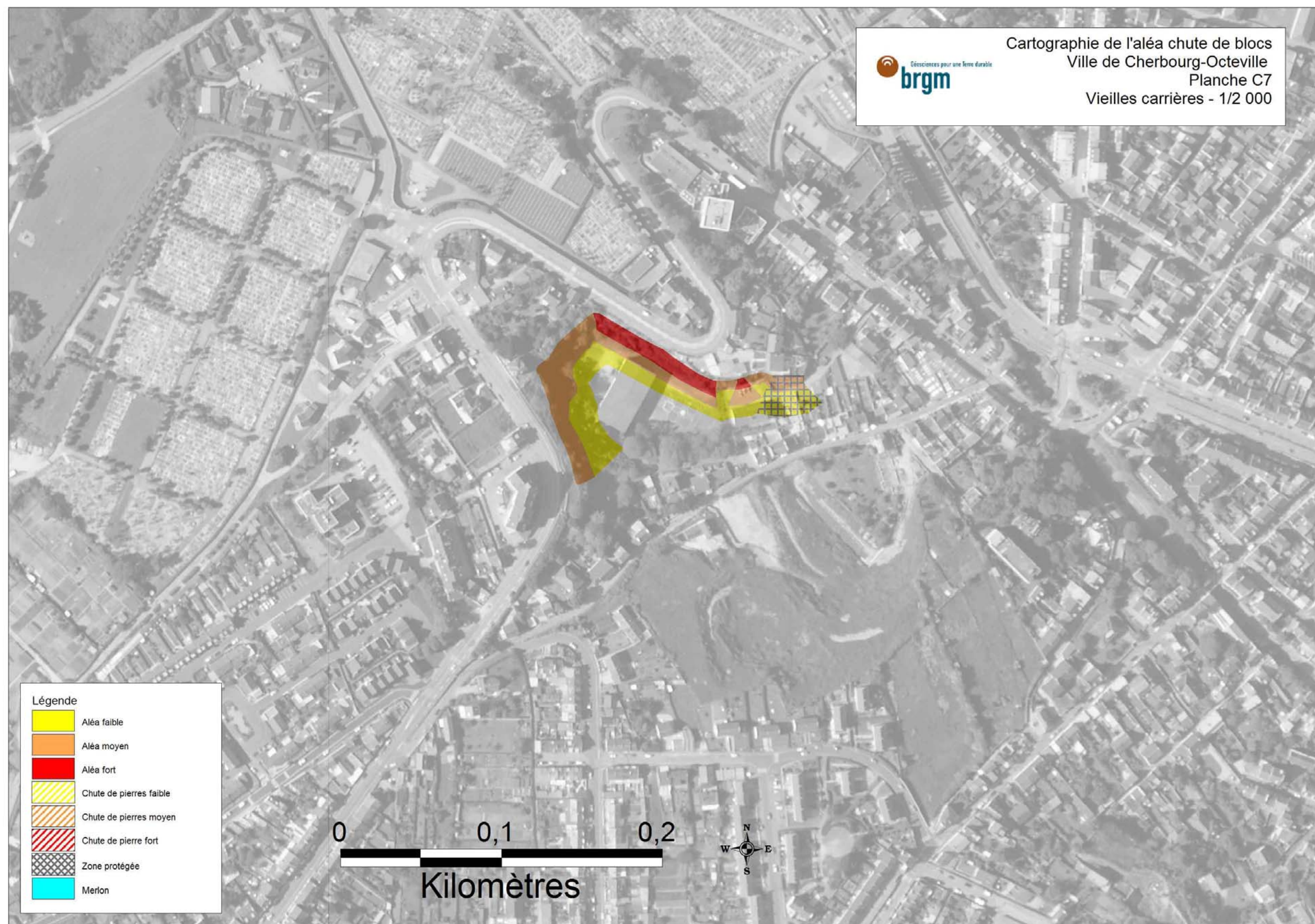








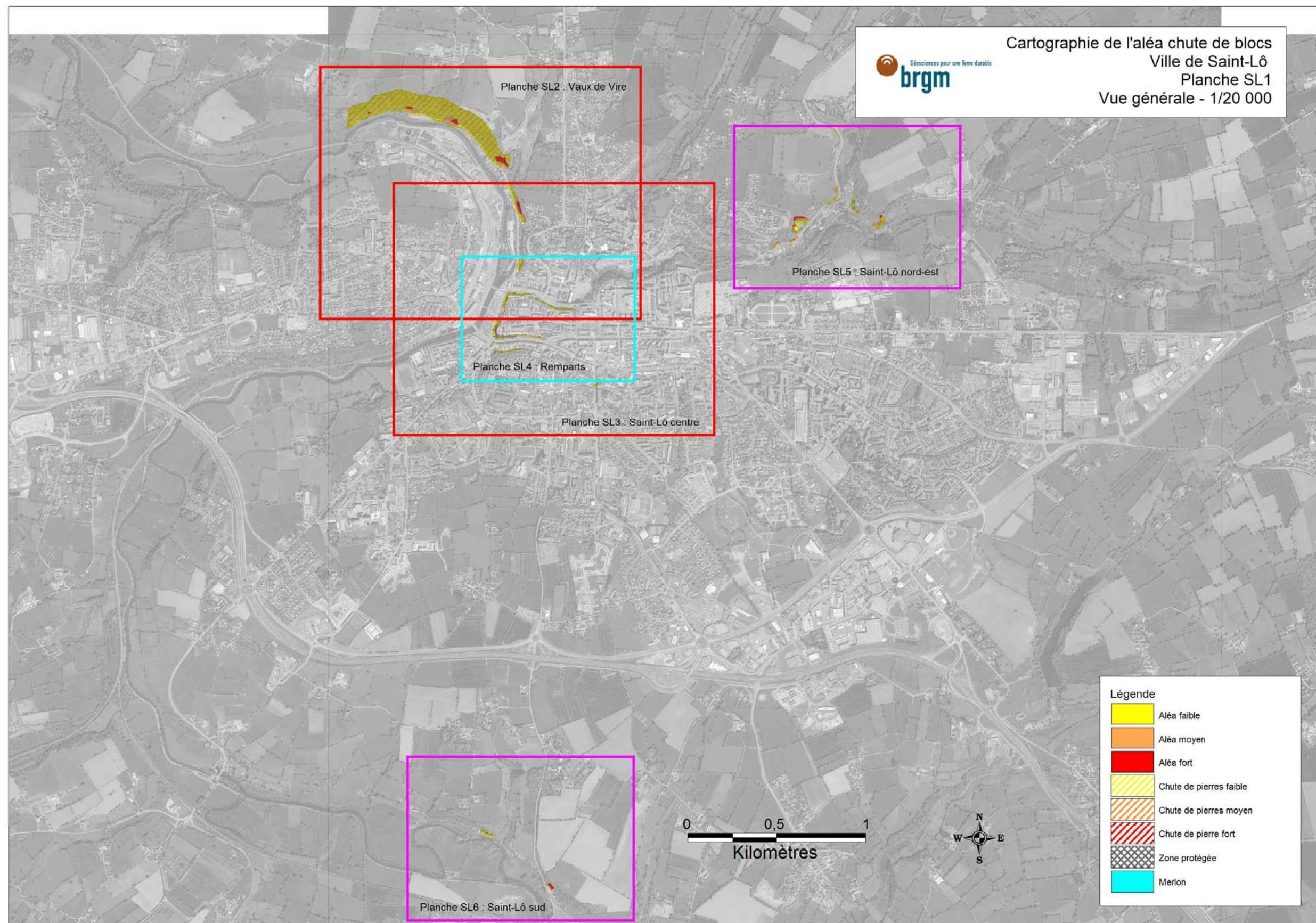


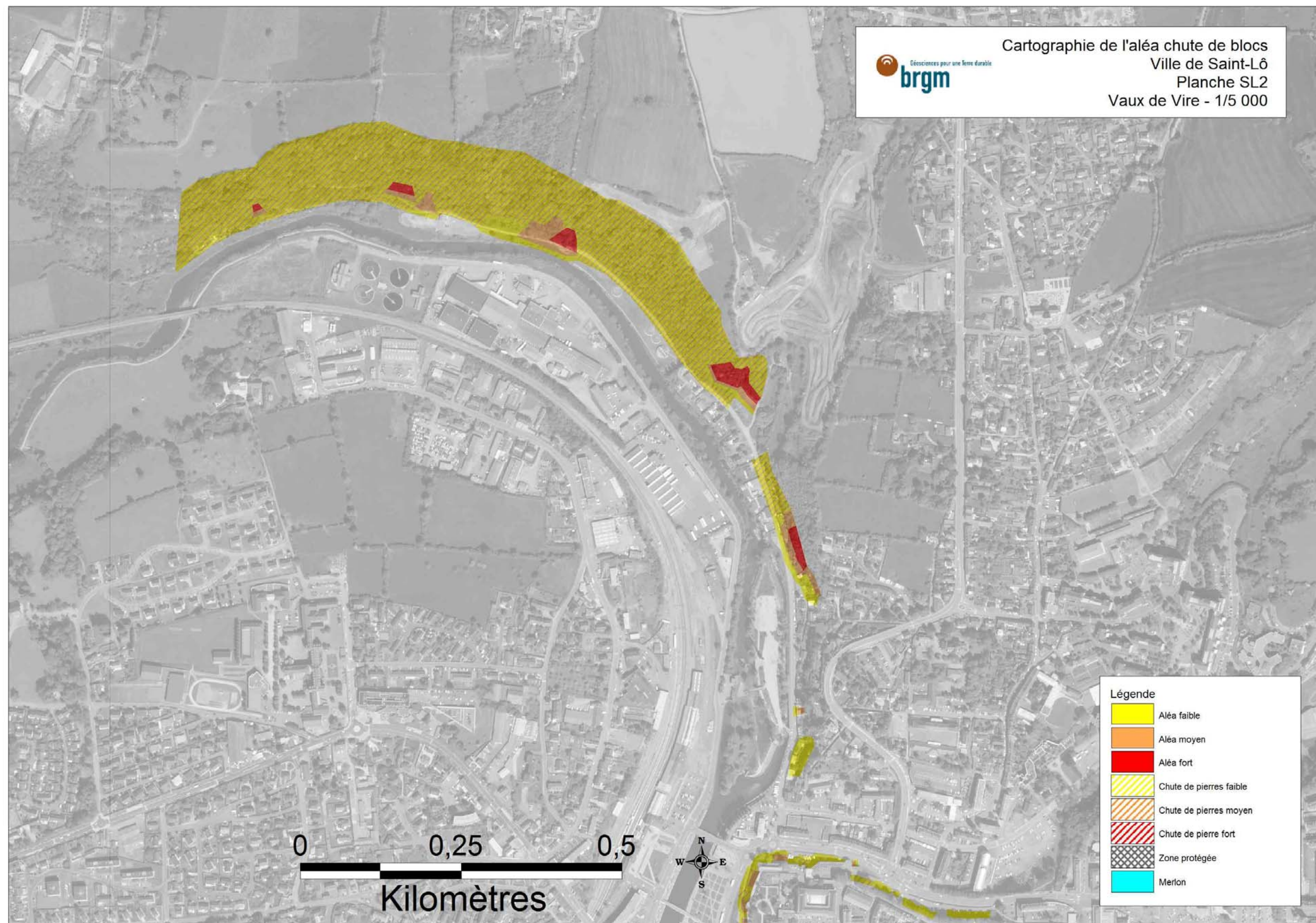


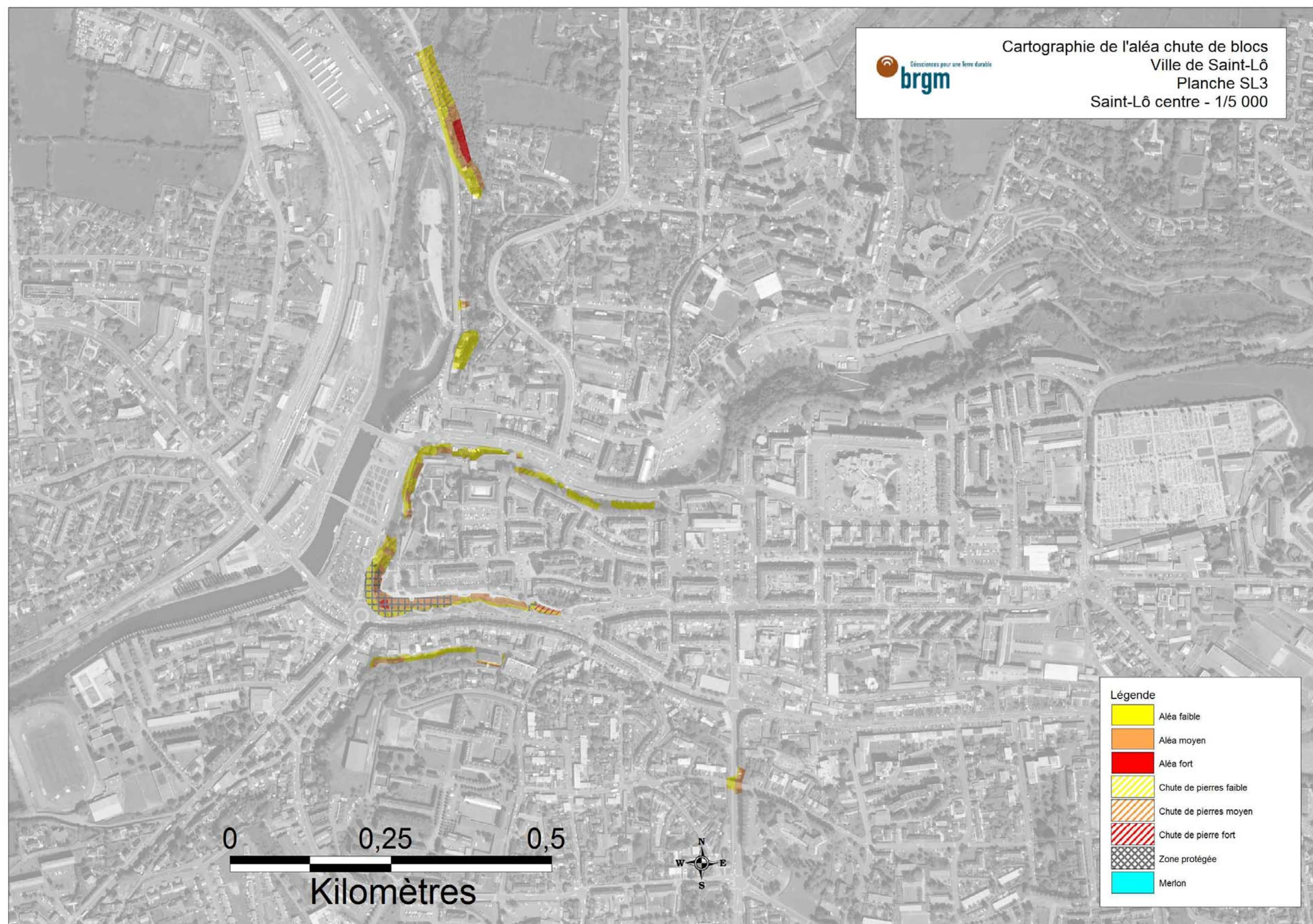
Liste des planches :

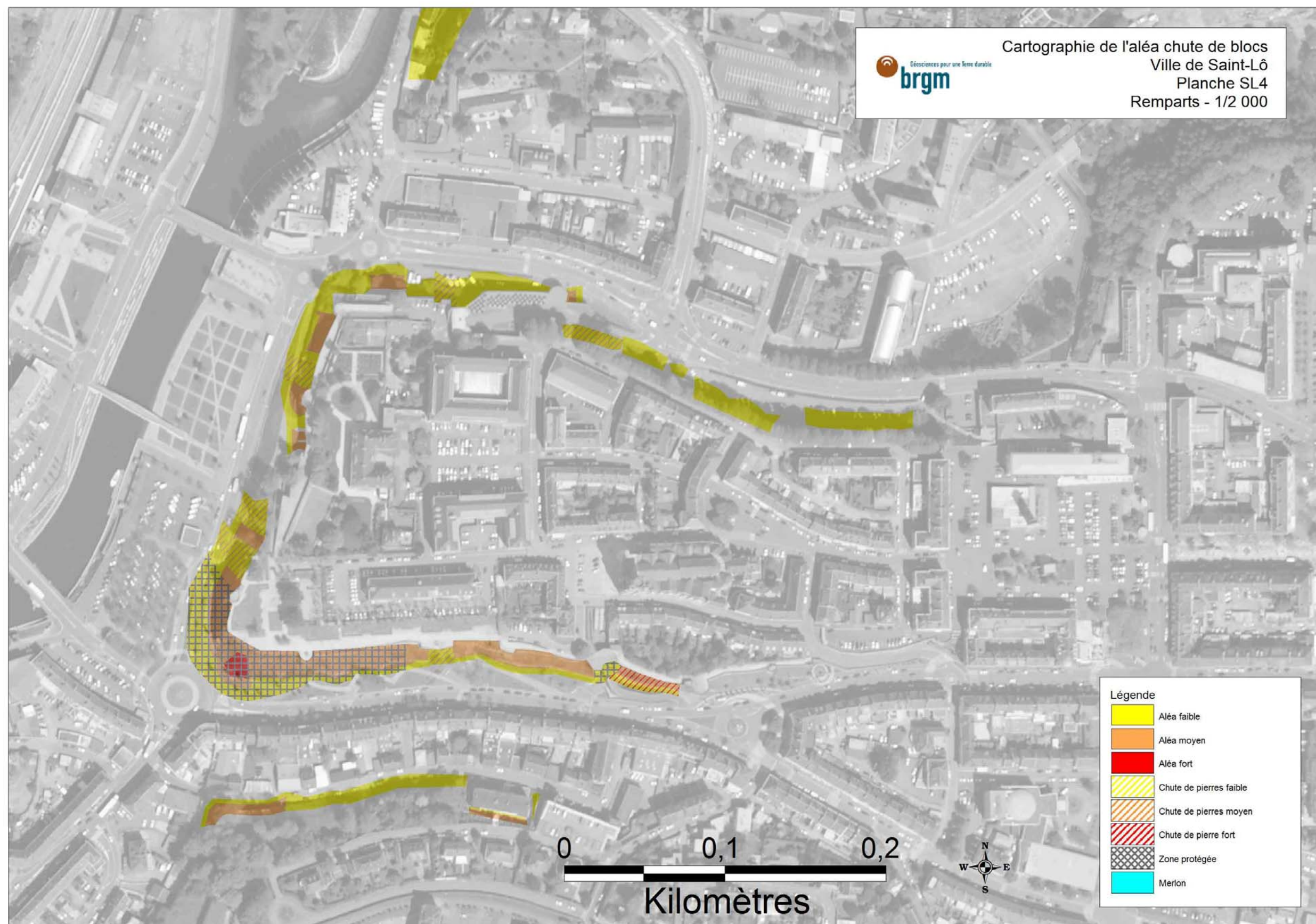
Saint-Lô

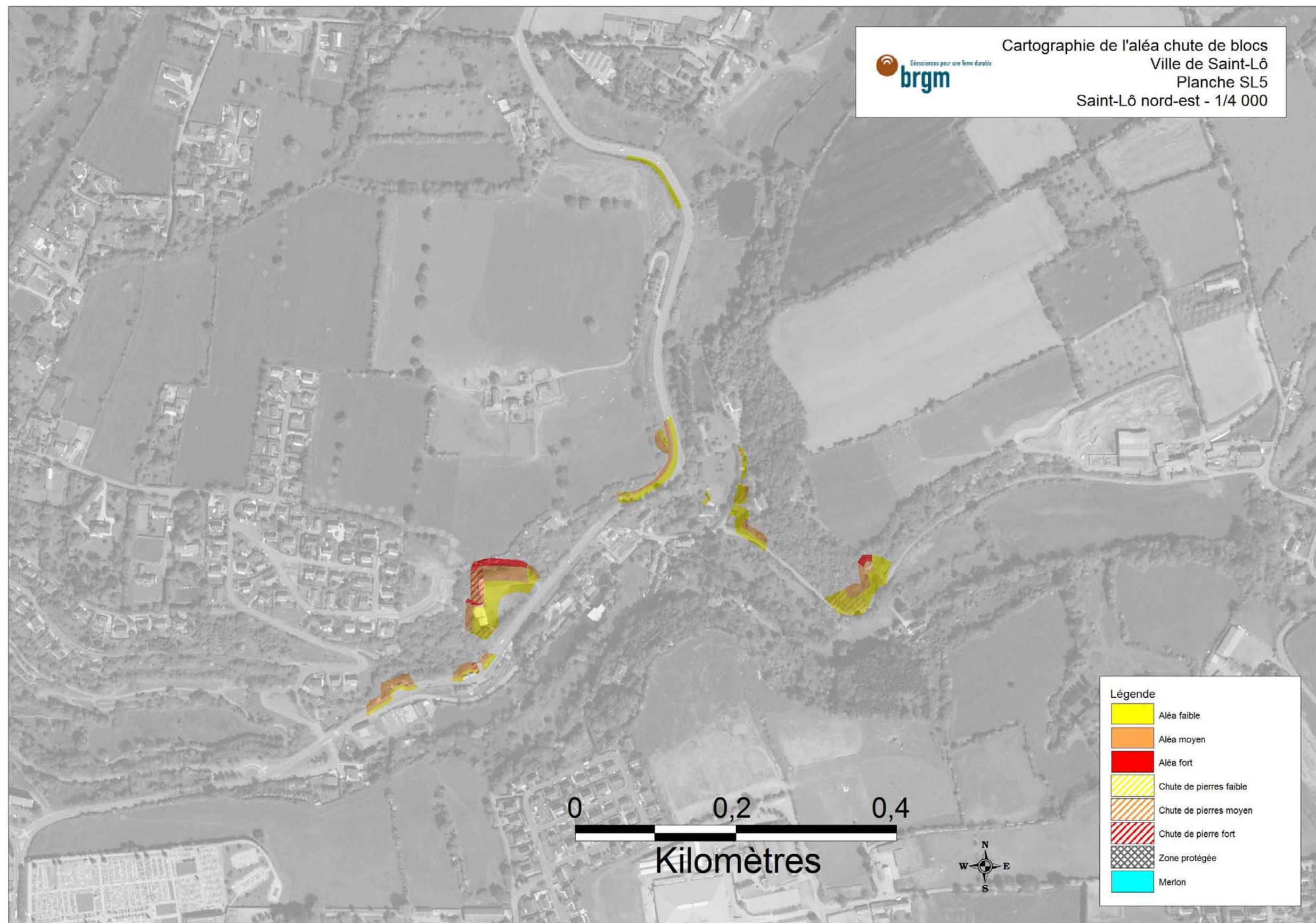
SL1 : Vue générale : 1/20 000
SL2 : Vaux de Vire : 1/5 000
SL3 : Saint-Lô centre : 1/5 000
SL4 : Remparts : 1/ 2 000
SL5 : Saint-Lô nord-est : 1/ 4 000
SL6 : Saint-Lô sud : 1/ 4 000

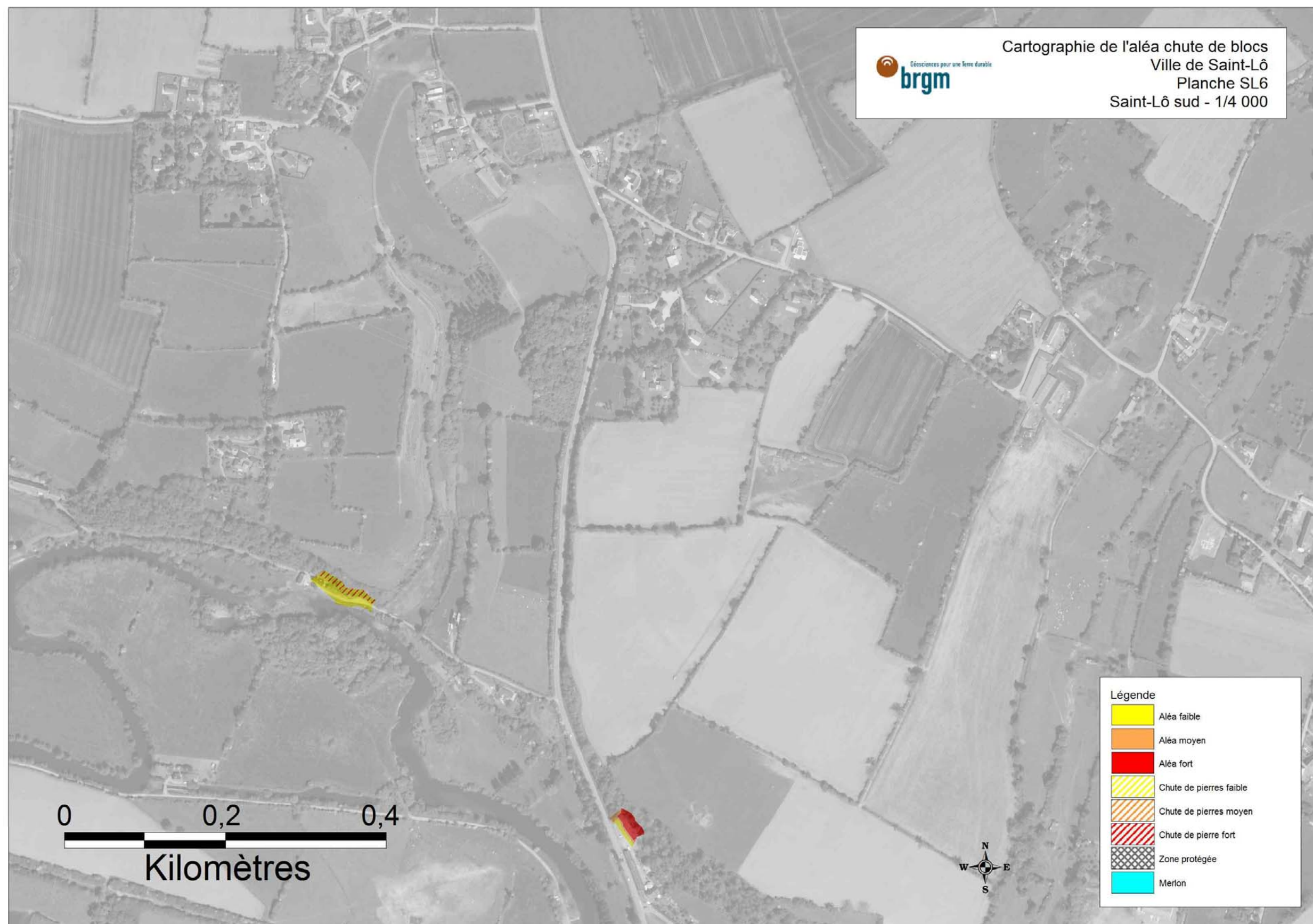








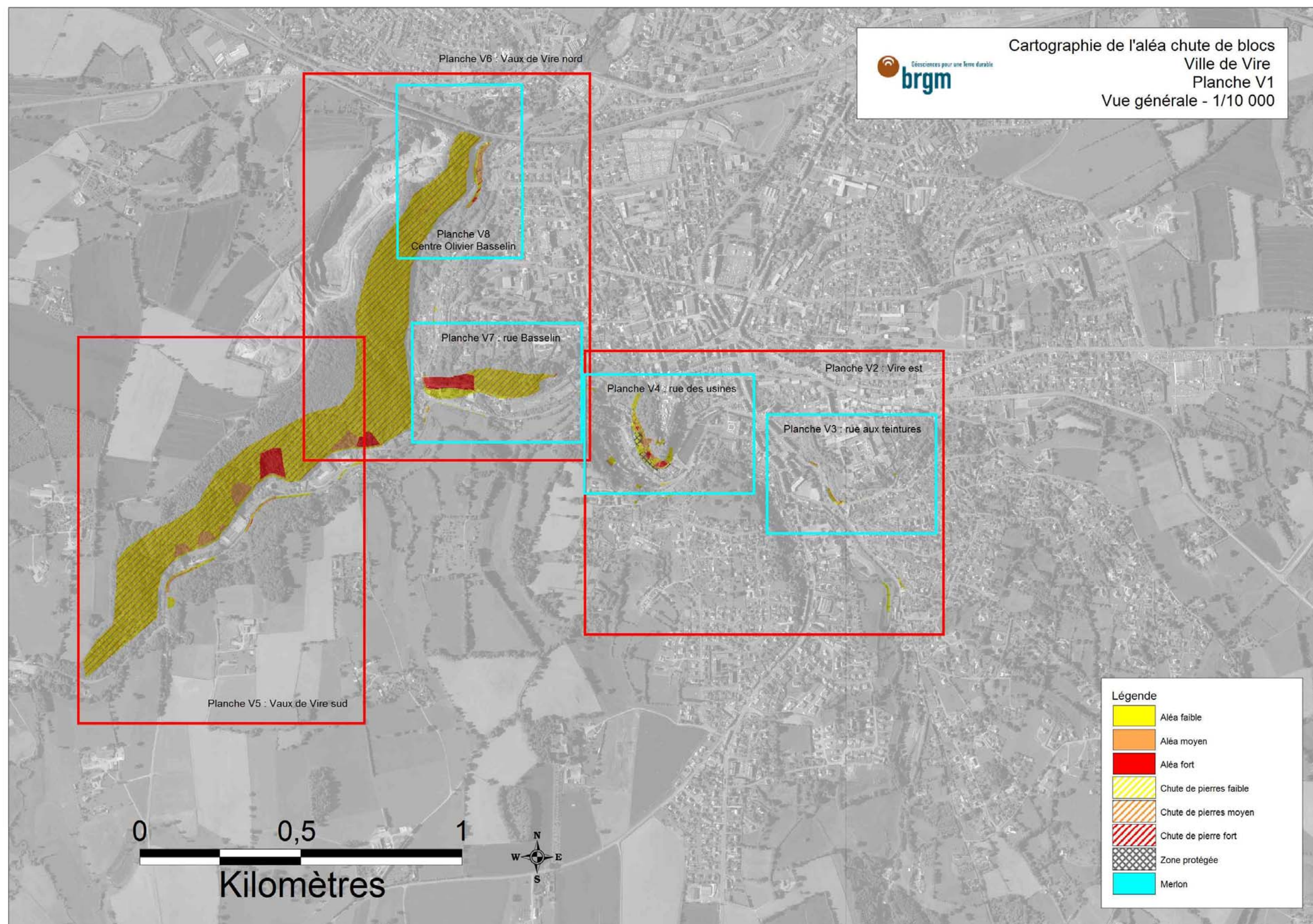


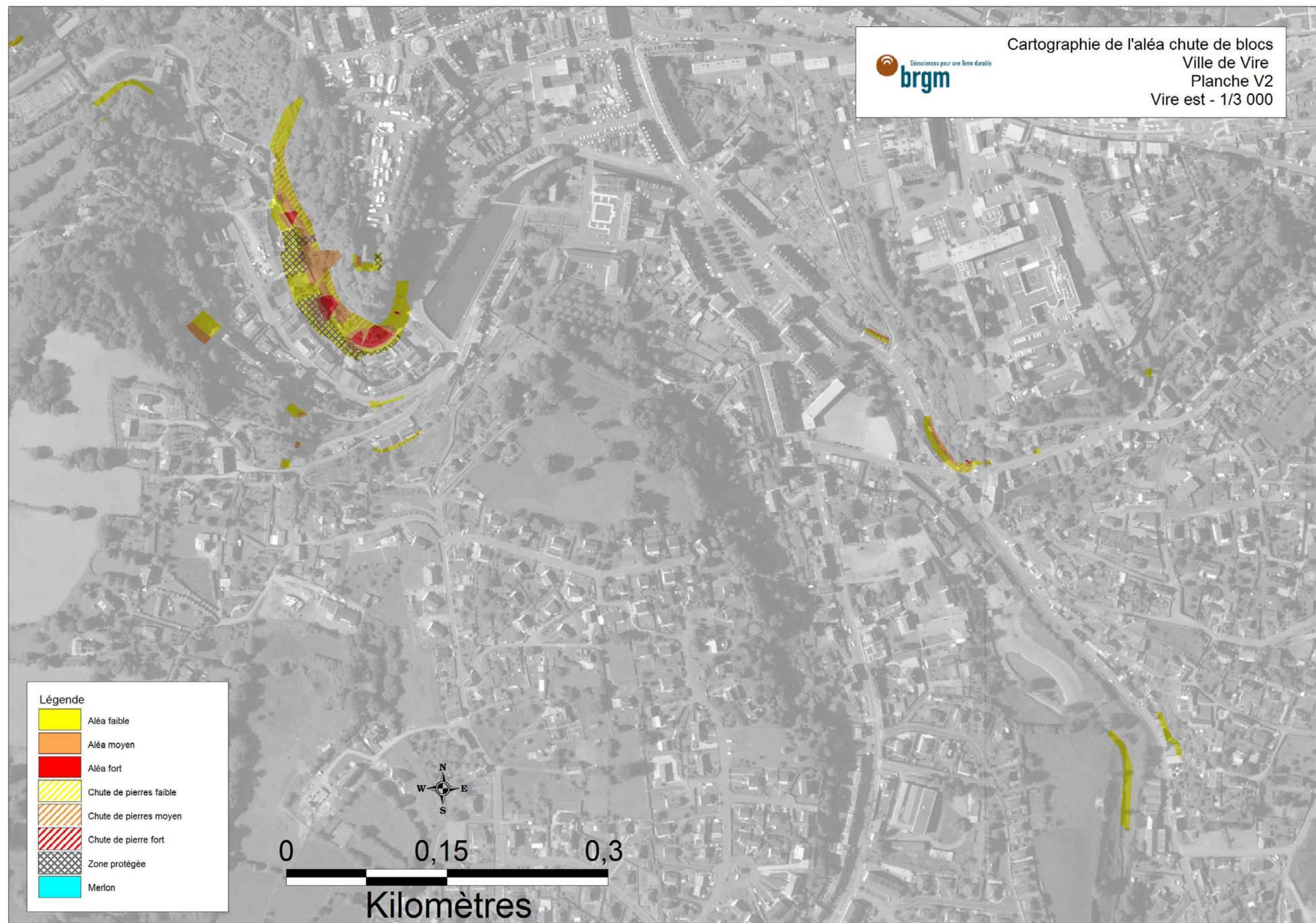


Liste des planches :

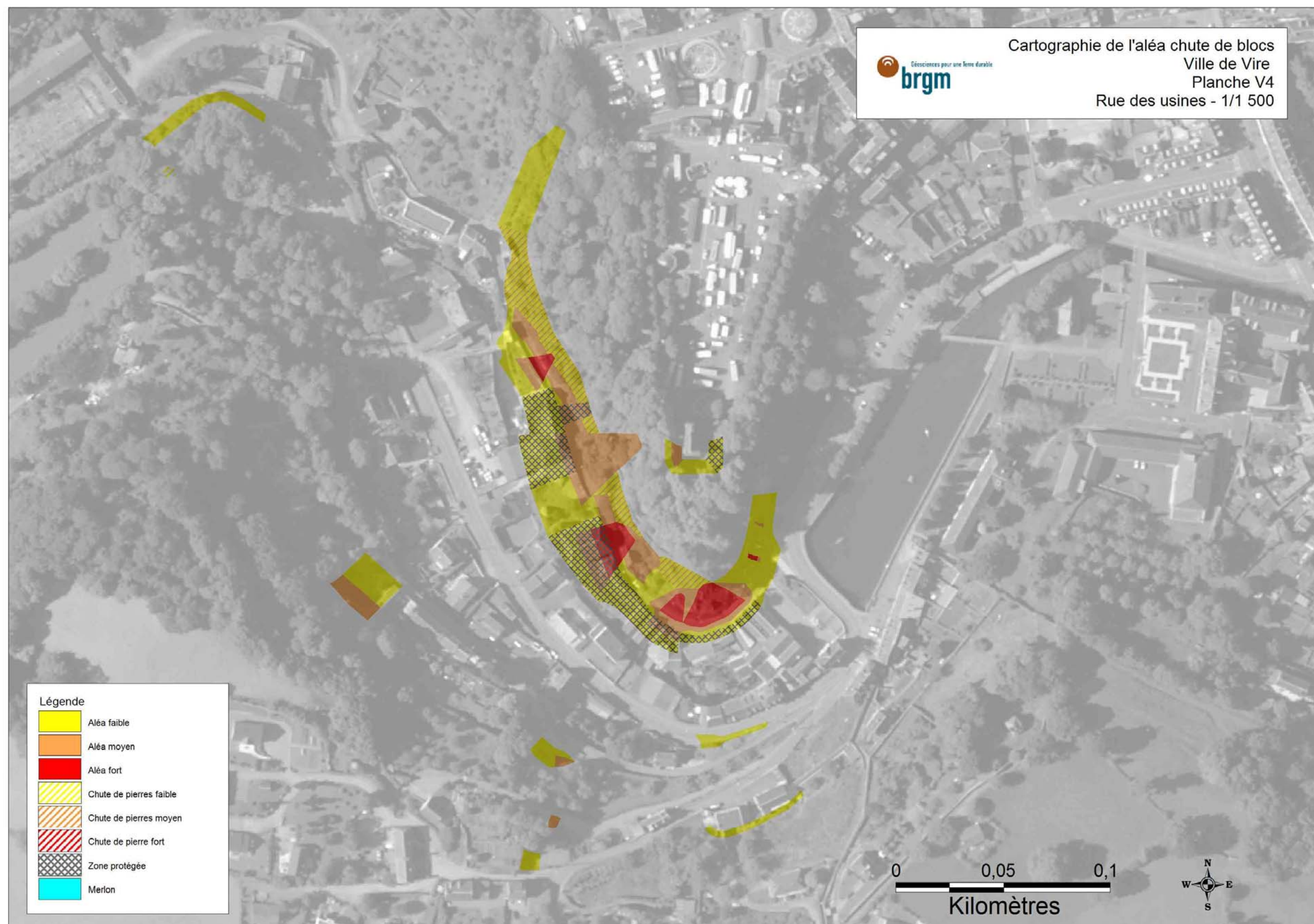
Vire

- V1 : Vue générale : 1/10 000
- V2 : Vire est : 1/3 000
- V3 : Rue aux teintures : 1/1 500
- V4 : Rue des usines : 1/1 500
- V5 : Route des Vaux : 1/ 4 000
- V6 : Rue Le Houx I 1/ 4 000
- V7 : Rue Basselin : 1/1 500
- V8 : Centre Olivier Basselin : 1/1 500

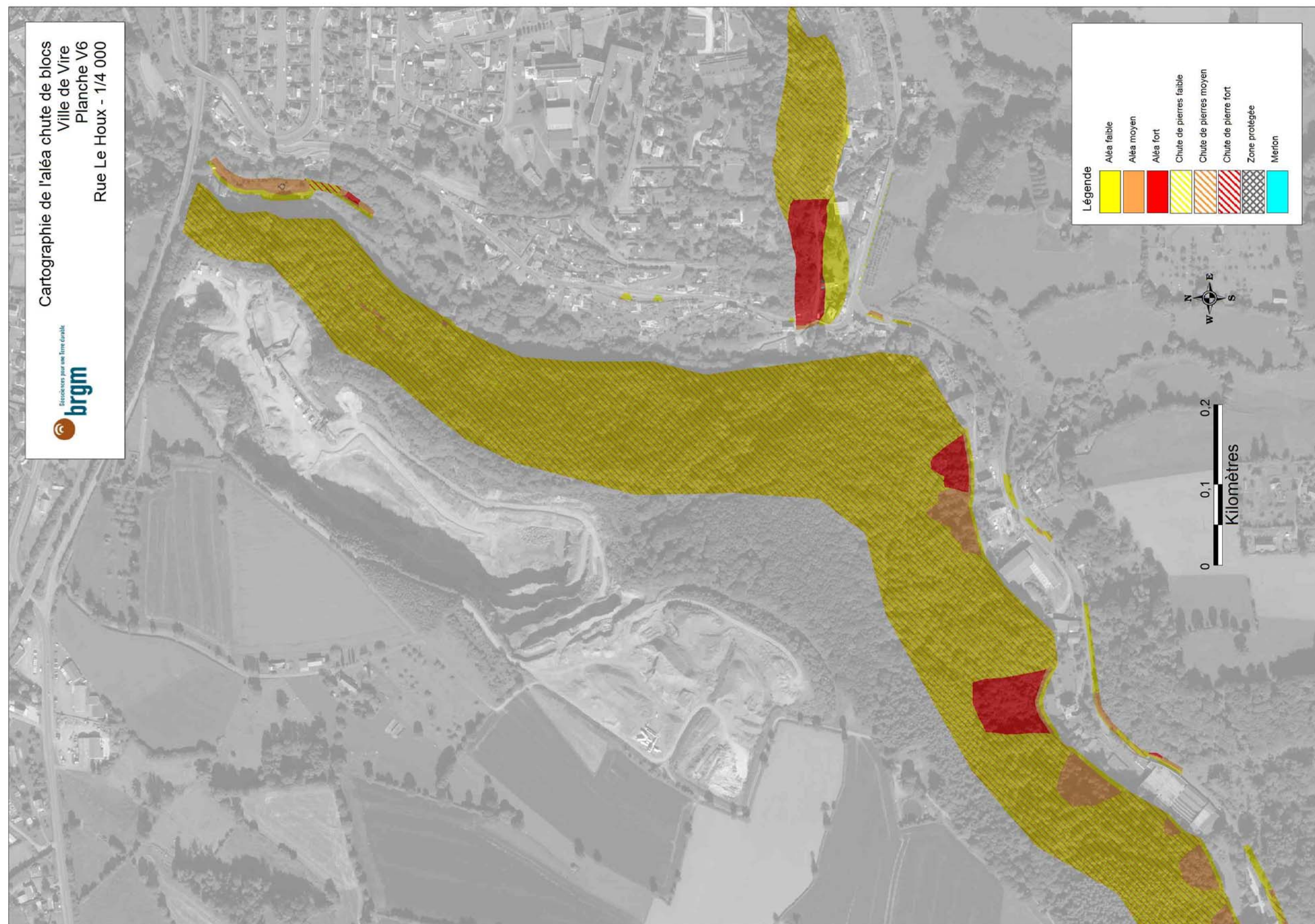


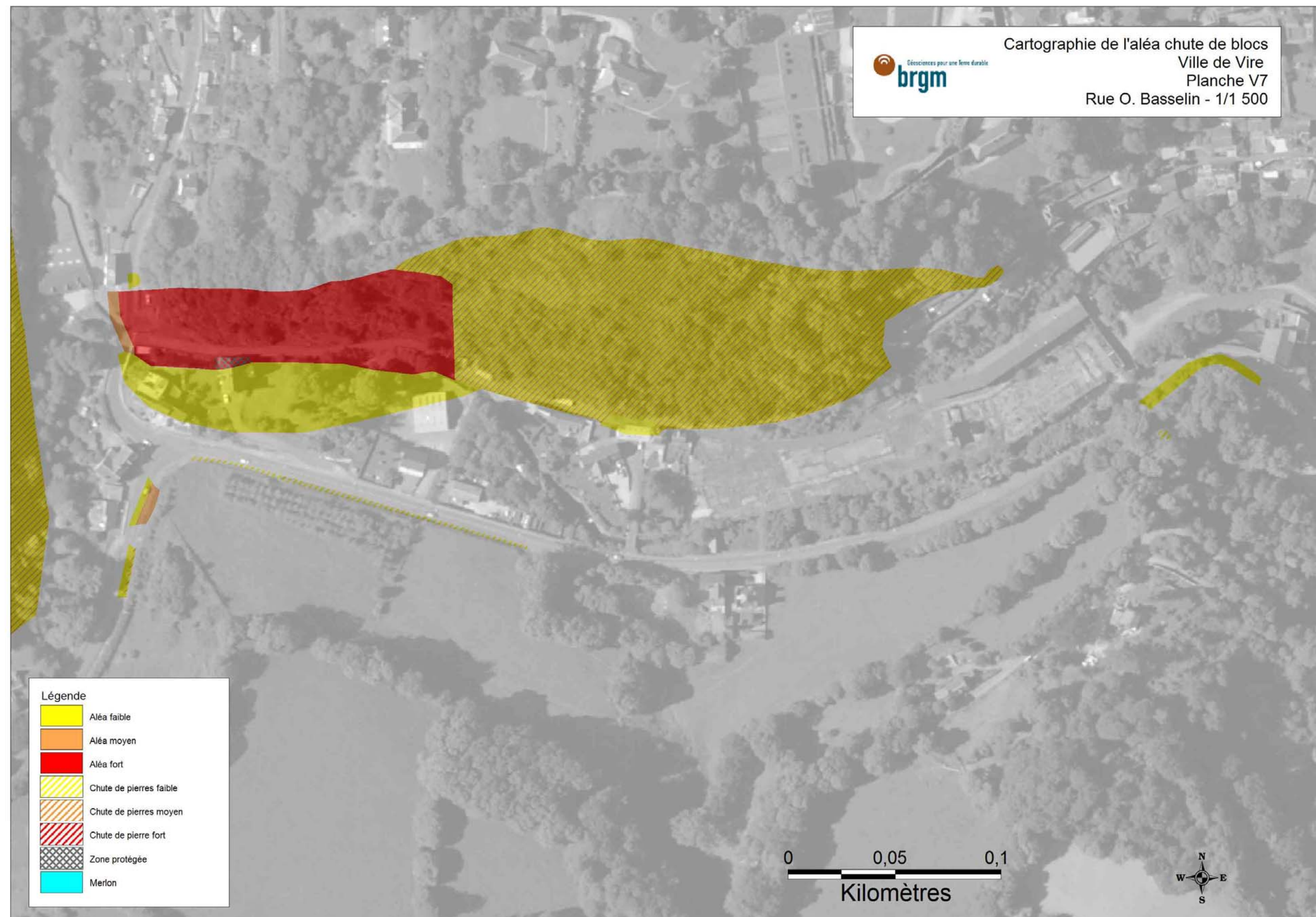














Annexe 2

Fiches synthétiques présentant les sites identifiés comme « à risque »

FICHE SITE REMARQUABLE :

Ancien front de taille localisé au Centre de la croix rouge. 467 route d'Isigny 50000 Saint Lô



CONTEXTE :

Affleurement de siltites au niveau d'une ancienne carrière.

ENJEU :

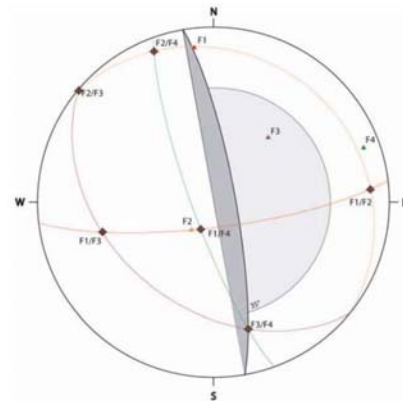
Local des secouristes de la Croix-Rouge accolé au front ouest de la carrière.

PROXIMITE DE L'ENJEU PAR RAPPORT A L'ALEA :

Immédiate. La zone de réception des blocs correspond au toit du bâtiment.

FRACTURATION / DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE :

La fracturation indique un aléa faible pour cet affleurement mais ne prend pas en compte le découpage du versant par les fractures pseudo-verticales. En effet, géomorphologiquement on observe une fracturation importante qui découpe des colonnettes pluri-décimétriques, mises en surplomb. La hauteur de l'affleurement (25m) et l'importance de la surface découpée par la fracturation génèrent une probabilité d'occurrence moyenne à forte de chute de pierres (avec risque de rebonds sur le toit) et dans une moindre mesure, de chute de blocs. Du fait de cette probabilité d'occurrence et de la proximité de l'enjeu et de sa vulnérabilité (toit en tôle, individus sans protection), le risque lié aux chutes de pierre et aux chutes de blocs peut être considéré comme fort.



Recommandations :

La mise en place d'un filet de protection permettrait de réduire le risque. Il conviendrait aussi d'assurer un suivi régulier du site.

FICHE SITE REMARQUABLE :

Aux n°206 et 212 de la rue Valvire, 50000 Saint Lô



CONTEXTE :

Affleurement de siltites à l'arrière des habitations sises aux n°206 et 212 de la rue Valvire

ENJEU :

Maisons sous-jacentes.

PROXIMITE DE L'ENJEU PAR RAPPORT A L'ALEA :

Immédiate. La zone de réception des blocs correspond au toit des maisons. Présence éventuelle d'une cour au niveau du n°212 de la rue Valvire.

FRACTURATION / DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE :

On observe la présence d'une écaille métrique délimitée par une fracture ouverte avec un pendage aval au-dessus du n° 206. Cette écaille semble (il n'a pas été possible de s'en approcher) plutôt instable et risque d'endommager la maison si elle venait à tomber.

Une deuxième écaille d'un demi-mètre cube environ, également délimitée par une fracture ouverte avec un pendage aval, est visible au-dessus du n°212 de la rue Valvire. Bien que l'intensité soit plus faible que dans le cas précédent, la probabilité d'occurrence reste élevée.

Du fait d'une probabilité d'occurrence moyenne et de l'importance de l'enjeu, le risque de chute du bloc est élevé.



Recommandations :

La mise en place d'une protection, type boulonnage permettrait de réduire considérablement le risque.

FICHE SITE REMARQUABLE :

Affleurement localisé au Centre de Loisirs Olivier Basselin. Rue de la Chesnaie 14500 Vire



CONTEXTE :

Affleurement de cornéenne le long de la Vire.

ENJEU :

Zone d'attente des parents venant récupérer leurs enfants.

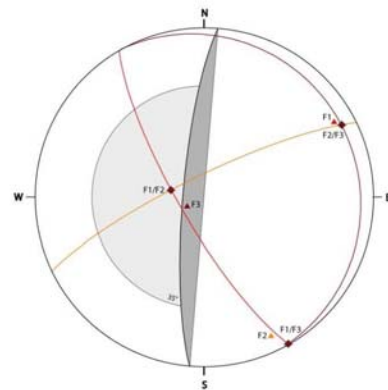
PROXIMITE DE L'ENJEU PAR RAPPORT A L'ALEA :

Immédiate. La zone de réception des blocs s'étend sur toute la largeur du chemin.

FRACTURATION / DESCRIPTION GEOMORPHOLOGIQUE :

La fracturation indique un aléa moyen pour cet affleurement dont une partie a déjà été protégée par boulonnage. Néanmoins, géomorphologiquement on observe un certain nombre de blocs pluri-décimétriques désolidarisés en tête de versant pouvant chuter à court terme. Ainsi, si l'intensité d'un événement reste faible, sa probabilité d'occurrence est moyenne voire forte pour certains blocs.

Du fait de la probabilité d'occurrence et de la proximité de l'enjeu et surtout de sa vulnérabilité (individus sans protection), le risque chute de bloc est ici fort.

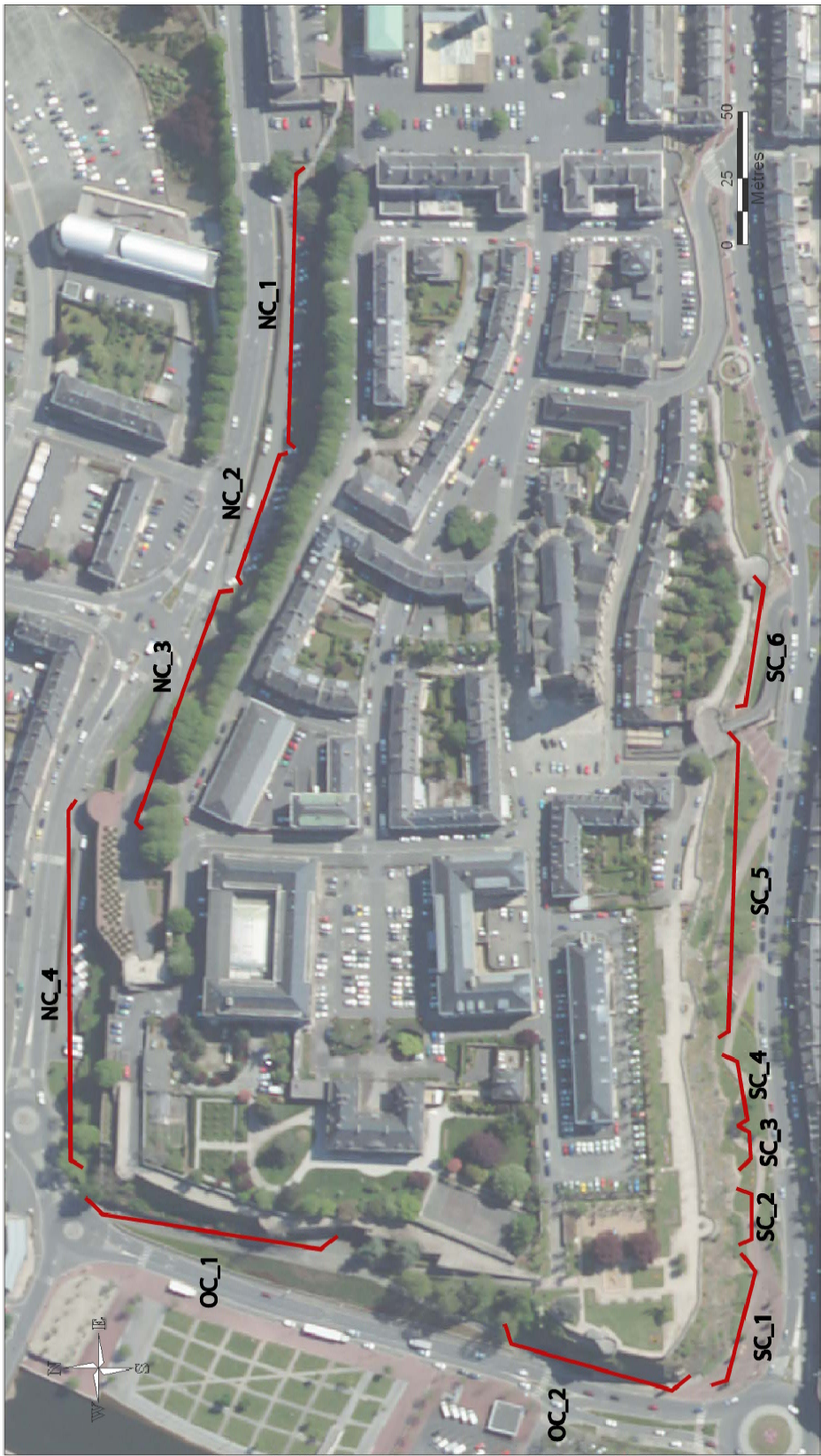


Recommandations :

Une purge des blocs désolidarisés du versant serait nécessaire, ainsi qu'un suivi régulier de l'évolution du site

Annexe 3

Remparts de Saint-Lô. Représentation panoramique de l'aléa





NC_1



NC_3



NC_2



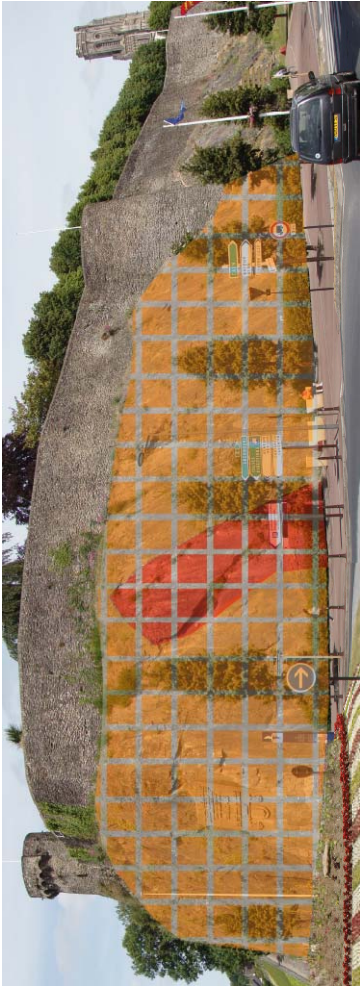
NC_4



OC_1



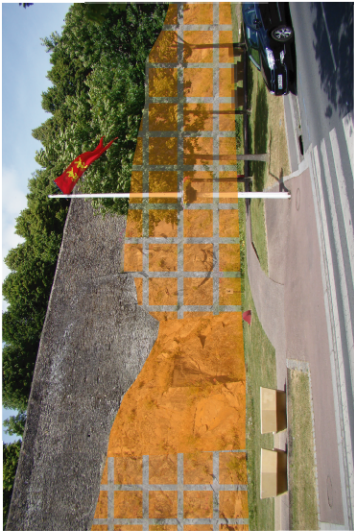
OC_2



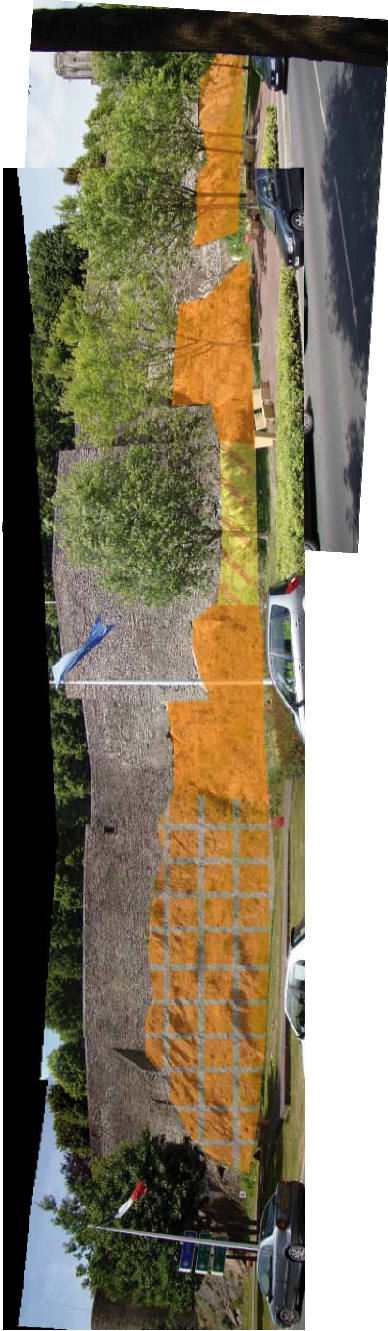
SC_1



SC_2



SC_3



SC_4



Annexe 4

Notice d'utilisation de la carte de prédisposition au risque chute de blocs en Basse-Normandie



NOTICE D'UTILISATION DE LA CARTE DE PREDISPOSITION AUX CHUTES DE BLOCS ROCHEUX

AVERTISSEMENT

La carte de prédisposition aux chutes de blocs rocheux est un document d'orientation des politiques d'aménagement du territoire et d'information préventive des populations. Sa prise en considération est fortement recommandée dans le cadre des procédures d'urbanisme.

Les chutes de blocs sont des phénomènes dont la survenance est conditionnée par de très nombreux paramètres : la pente, le climat, la lithologie des terrains, leur état d'altération et de fissuration, la circulation des eaux de surface et souterraine... Une telle complexité ne permet pas la réalisation d'une cartographie d'aléa. Il reste cependant possible d'identifier les terrains prédisposés en analysant leur pente.

Les chutes de bloc survenues ces dernières années en Basse-Normandie se sont produites dans des versants dont la pente excédait toujours une vingtaine de degrés. L'atlas des prédispositions aux chutes de blocs décrit donc les territoires dépassant ce seuil. Ils ne représentent que 0,1 % de la surface de l'Orne et 0,7 % du Calvados et de la Manche. Ils sont par ailleurs situés à 95 % sur le socle armoricain.

Si ces territoires sont rares ils n'en sont pas moins dangereux. Ils sont par ailleurs pour la plupart d'entre eux prédisposés au déclenchement de coulées de boue et de glissement de terrain. Aussi leur repérage cartographique s'avère-t-il une nécessité au même titre que leur prise en compte dans les politiques d'aménagement.

I - Que recouvre le zonage proposé ?

Le zonage décrit les territoires susceptibles d'être affectés par des chutes de blocs en raison de leur forte pente. Cette instabilité peut se déclencher par voie naturelle, au cours ou à la suite d'un événement climatique exceptionnel de par sa durée ou son intensité. La rupture est souvent provoquée par la présence de facteurs aggravants induits par des processus d'érosion et d'altération, en général très longs à se mettre en œuvre, par l'élévation du niveau des nappes phréatiques ou par des travaux d'aménagement.

- 2 -

Le zonage proposé décrit quatre classes dont le passage est progressif et se fait selon une gradation qui permet de décrire l'augmentation de la pente en tant que facteur discriminant :

- Les territoires non légendés regroupent les terrains dont les pentes sont trop faibles pour être considérées comme sensibles, en l'état actuel des connaissances. Cependant, certains de ces terrains peuvent être situés en aval immédiat de versants prédisposés, ou en pied de falaise, et servir de zone d'atterrissage de blocs dévalant la pente. Ils doivent être dans ce cas intégrés aux espaces prédisposés. La bande de terrain impacté sera à définir sur site. En l'absence d'étude spécifique, une bande de sécurité de 50 m peut-être prise en considération. Par ailleurs, en amont immédiat de terrains prédisposés, se localise une bande étroite de terrains qui, dominant le vide ou une forte pente, fait l'objet d'une décompression. Sans pente exceptionnelle, ces terrains sont en mesure d'être impliqués dans une rupture et sont donc également prédisposés. Les infrastructures qui y sont implantées font également l'objet de tensions qui entraînent leur dégradation (fissures, décollement de dalles...). Là encore, l'absence d'aménagement de tels terrains sur une faible bande est nécessaire en l'absence d'études détaillées. La largeur de cette dernière pourrait être de 20 m.
- **Classe pente forte** : légendée « Terrain prédisposé pente forte ». Les territoires représentés ici sont ceux dont les pentes sont comprises entre 20° et 30°. La pente calculée étant une pente moyenne, ces terrains peuvent présenter localement des pentes faibles ou, à l'inverse, supérieures à 30°. Les investigations de terrain s'avèreront nécessaires pour y qualifier précisément le risque en présence d'enjeux. Il peut être lié d'une part aux chutes de pierres et de blocs elles mêmes mais aussi au déclenchement de glissements de terrain entraînant dans des coulées plus ou moins boueuses des formations superficielles arrachées au substrat. Ces loupes de glissement peuvent, en fonction du versant, être plus ou moins enrichies en fragment rocheux et donc plus ou moins dangereuses. En l'absence d'aménagement ou de vocation touristique, il est souhaitable de classer tous ces terrains en zone naturelle dans les documents d'urbanisme et d'en valoriser le patrimoine paysager, généralement exceptionnel. Ils sont rarement urbanisés et n'ont pas vocation à l'être.
- **Classe pente très forte** : légendée « Terrain prédisposé pente très forte ». Cette classe regroupe les territoires dont les pentes sont très fortes, comprises en moyenne entre 30 et 40°. Ils correspondent en général à des versants escarpés, boisés, disposant d'un substrat rocheux plus ou moins affleurant. Ils sont exceptionnellement urbanisés. Lorsqu'ils le sont ou lorsque des zones urbaines les bordent en aval ou en amont immédiat, des études spécifiques devront être conduites. Elles permettront de qualifier l'aléa, puis le risque, et de définir les mesures de sauvegarde à mettre en oeuvre. Ces études devront également prendre en considération, lorsque les versants disposent de formations superficielles meubles, le risque de glissement de terrain. En l'absence d'enjeu, ces terrains doivent être exclus des processus d'urbanisation. Il est préférable d'en utiliser la valeur paysagère dans les politiques d'aménagement du territoire tout en conservant à l'esprit que leur valorisation touristique impliquera d'en sécuriser les parcours si nécessaire.
- **Classe pente extrême** : légendée « Terrain prédisposé pente extrême ». Ces espaces, dont les pentes sont supérieures à 40°, sont représentés dans les falaises littorales, fossiles ou actives, dans certaines gorges telles celles de l'Orne ou de la Vire, ainsi que dans les

- 3 -

auréoles de cornéennes affleurant autour des massifs granitiques des bocages armoricains. En présence de roche affleurante, les ruptures y surviennent régulièrement, les fragments de roche étant en mesure de dévaler au delà de la zone cartographiée. Ces territoires ne font l'objet d'aucun aménagement autre que touristique. Mais les territoires qui les bordent, en aval ou en amont immédiat, sont parfois urbanisés, notamment le long du littoral. Dans ce cas, des études spécifiques devront être menées afin de définir le zonage d'aléa, le risque et les mesures conservatoires à mettre en œuvre. Les sites touristiques devront eux aussi faire l'objet d'études spécifiques et d'un suivi permettant de minimiser le risque lié à leur fréquentation. En amont d'une falaise, les terrains décomprimés peuvent intéresser une large bande de terrain susceptible de basculer presque instantanément dans le vide. Des panneaux d'information doivent alerter sur le danger existant et les mesures de sauvegarde qu'il convient d'adopter en cas de danger imminent (bruit, petites ruptures annonciatrices d'une plus importante).

Cas particuliers : certains aménagements anthropiques et infrastructures majeures ont fait l'objet de remblais, de déblais ou d'excavations de grande importance. Les pentes qui les jalonnent peuvent excéder 20° et certains d'entre eux sont cartographiés dans cet atlas, qu'ils puissent ou non représenter un risque. Le traitement automatique n'a pas permis d'en écarter la représentation ni de les répertorier en tant que tels. Ces espaces sont souvent de petite taille, apparaissent fréquemment en tache isolée, le long des infrastructures routières et ferroviaires et à proximité des zones urbaines. Certains de ces territoires représentent des zones à risque (les bordures de carrières par exemple, soumises à la décompression) mais la plupart d'entre eux ne sont pas prédisposés et seront progressivement extraits de l'atlas.

II – Comment utiliser cette cartographie ?

Tout utilisateur de ce document doit prendre en considération les limites d'interprétation que la précision de son support cartographique impose. Le support choisi, le 1/25 000 de l'IGN, est le fond de carte le plus précis actuellement disponible sur l'ensemble de la région. Ses précisions planimétrique et altimétrique sont bonnes mais ne permettent en aucun cas d'appréhender le risque à l'échelle de la parcelle. En effet, pour des questions de lisibilité de la carte, le bâti est souvent décalé pour que des objets prioritaires (les routes par exemple) soient mieux représentés. Ce décalage atteint fréquemment une vingtaine de mètres. Aussi est-il fortement recommandé de ne pas retranscrire l'information présente à une autre échelle que celle de son support d'origine : le 1/25 000. Zoomer le document pour en faciliter la lecture à l'échelle du cadastre n'augmentera pas la précision de l'information et sera source d'erreurs d'interprétation.

Par ailleurs, les modèles numériques de terrain utilisés dans cette étude pour décrire les variations de pente ont été réalisés au pas de 20 m. Ils disposent certes d'une précision importante mais s'avère néanmoins insuffisante pour décrire toutes les micro-variations de pente d'un profil topographique. La maille de calcul représentée ici (le pixel) est de 100 m². Une interprétation complémentaire de terrain, réalisée par un géotechnicien ou un géologue, sera donc bien souvent nécessaire pour cerner et maîtriser le risque.

- 4 -

Enfin, le vieillissement d'un escarpement se fait lentement et insidieusement. Les mécanismes contrôlant la rupture sont difficiles à conceptualiser ; les volumes impliqués difficiles à prévoir ; la trajectoire des roches détachées difficile à évaluer. Aussi, la simple lecture de cette carte demeure-t-elle insuffisante pour déterminer précisément la stabilité ou non des zones prédisposées à la rupture et les risques associés. Il convient réellement, en cas d'enjeux ciblés ou de doute, de s'attacher les services d'un spécialiste.

La cartographie des prédispositions aux chutes de blocs rocheux est donc une information de premier niveau mais l'identification du risque sur un secteur donné implique nécessairement la réalisation d'investigations complémentaires. Elles devront revêtir la forme d'études de terrain et/ou géotechniques qui permettront d'apprécier les autres facteurs essentiels à la survenance du phénomène et la caractérisation des enjeux. Ces investigations sont à réserver, dans un premier temps, aux zones urbaines et aux sites touristiques les plus sensibles et de haute fréquentation.

III- Quelques recommandations complémentaires

En raison du danger que représentent le détachement de blocs d'un escarpement rocheux et/ou le déclenchement d'un glissement de terrain en territoire de classe 1 ou plus, il convient de ne pas attendre la réalisation d'études complémentaires pour mettre en oeuvre un certain nombre de dispositions :

- maintenir ces espaces à l'écart des processus d'urbanisation mais également des activités de camping et de caravanage ; ce sont en général des terrains boisés.
- maintenir hors urbanisation deux bandes de sécurité d'une centaine de mètres environ, l'une située en aval et destinée à l'épandage d'éventuelles coulées de boue et de blocs, l'autre située en amont, généralement soumise à une érosion régressive et à la décompression des terrains (les bâtiments situés sur cette zone peuvent se déformer au cours du temps) ; les études sur site permettront, en présence d'enjeu, de préciser la largeur des bandes nécessaires à une maîtrise optimisée du risque ;
- de maîtriser les ruissellements tant dans le versant qu'en amont de celui-ci afin d'en limiter l'instabilité et l'érosion.

Lorsque ces territoires sont déjà bâtis et en présence d'escarpements rocheux, la réalisation d'une étude diagnostic de chute de blocs peut s'avérer nécessaire. En cas de risque avéré, des ouvrages de protection à maîtrise d'ouvrage collective (filets, merlons...) ou des protections individuelles seront à envisager.

Les secteurs prédisposés ne couvrent que 5‰ de la surface de la Basse-Normandie et la très grande majorité d'entre eux sont sans enjeux, donc sans risques. Les collectivités pour lesquelles les risques sont notables ont été répertoriées dans les DDRM (dossier départemental des risques majeurs) de chaque département. Les principales collectivités touchées sont Granville, pour laquelle un PPR est prescrit, et Cherbourg-Octeville. Mais d'autres collectivités disposent de versants abrupts en zone urbaine ou péri-urbaines (voir les DDRM sur les sites internet des préfectures) .

- 5 -

Dans les secteurs bâtis ou touristiques, en l'absence d'études spécifiques, quelques mesures de prévention, de protection et de sauvegarde simples peuvent s'envisager tels que :

- le suivi périodique par un spécialiste des zones de stabilité douteuse ou la mise sous surveillance de sites ou d'ouvrages ; une purge régulière des versants permet de limiter les risques.
- l'information sur les risques et les précautions à prendre, notamment la réalisation d'un dossier d'information communale sur les risques majeurs (DICRIM) ;
- la signalisation du danger, le contrôle ou la suppression d'accès dans les zones d'effondrement ou d'éboulement ; cette mesure semble essentielle le long du littoral et dans les gorges abondamment visitées telles celles de la Rouvre, de l'Orne et de la Vire ;
- l'élaboration de plans d'évacuation et de secours dans certaines situations particulières ;
- la signalisation routière de l'aléa.

Cette notice explicative s'inscrit en support aux réflexions d'aménagement mais ne constitue nullement, au regard de l'échelle de la carte, de la diversité et de la complexité des configurations de terrain, un vademecum des dispositions à prendre pour maîtriser le risque. Pour ce faire, il convient de consulter des ouvrages spécialisés sur la question ou de prendre directement l'attache de géotechniciens et de géologues. Néanmoins, le « **Guide méthodologique plans de prévention des risques de mouvements de terrain** », disponible sur le site du Ministère chargé des risques naturels, à l'adresse <http://www.prim.net>, offre de nombreuses informations sur le sujet. Elles permettent d'approcher quelques principes fondamentaux à ne pas négliger.



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Basse-Normandie
4, av. de Cambridge
Citis Odyssée
14 209 – Hérouville-Saint-Clair - France
Tél. : 02 31 06 66 40