

Cartographie de l'aléa glissement de terrain et chute de bloc rocheux

Versants des communes de Fontaine et Bar-Sur-Aube
Rapport final

BRGM/RP-65258-FR
Janvier 2016

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

Y.Thuon, F.Leprêtre

Vérificateur :

Nom : B. Colas

Date : 2/2/2016

Signature :



Approbateur :

Nom : P. Pannet

Date : 05/02/2016

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 et de l'environnement est certifié AFNOR selon les normes ISO
9001 et ISO 14001.**

Mots clés : Glissement de terrain, chute de bloc, chute de pierre, mouvement de terrain, éboulement, risque naturel, calcaire, marno-calcaire, Kimméridgien, Portlandien, vignoble aubois, Colline Sainte-Germaine, Fontaine, Bar-Sur-Aube, Aube, Champagne-Ardenne.

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

Y.Thuon, F.Leprêtre (2015) - Cartographie de l'aléa glissement de terrain et chute de blocs rocheux. Versants des communes de Fontaine et Bar-Sur-Aube (10). Rapport final. BRGM/RP-65258-FR. 74 pages, 45 illustrations, 3 annexes.

Synthèse

La Direction Départementale des Territoires de l'Aube (DDT 10) a confié au BRGM une étude technique visant à caractériser l'aléa « chute de blocs » et « glissement de terrain » pour un versant de la commune de Fontaine et deux versants de la commune de Bar-Sur-Aube (10).

En effet, un glissement de terrain s'est produit en mars 2014 sur le territoire de Bar-sur-Aube, en contrebas de la ferme Ste Germaine et a engendré des chutes de blocs qui se sont arrêtés sur un replat avant de menacer deux habitations et une route communale. Les observations faites par le BRGM dans le cadre des appuis administrations ont révélé un secteur perturbé par des traces de glissements superficiels et peu profond mais qui peuvent également engendrer des chutes de blocs.

Le rapport a pour objectif de présenter la méthodologie d'évaluation de l'aléa et les mesures réglementaires associées à chaque aléa qui pourraient être proposées si un plan de prévention des risques naturels (PPRn) était prescrit.

Les mesures proposées favorisent à la fois l'aménagement parcellaire et l'aménagement global, pour la gestion des eaux notamment. Les travaux à réaliser doivent être envisagés à une échelle cohérente vis-à-vis du risque.

Le facteur « eau » étant prédominant dans le déclenchement de glissement nouveau ou la réactivation de phénomènes anciens, une gestion raisonnée des eaux de surface et également des eaux souterraines est nécessaire. La plupart des mesures sont de bon sens : il convient notamment d'empêcher une infiltration concentrée de grandes quantités d'eau et on veillera en outre à constituer et/ou entretenir un aménagement hydraulique adéquat.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Inventaire des glissements de terrain et des chutes de blocs rocheux	11
2.1. ENQUETE ET INFORMATIONS RECUEILLIES	11
2.1.1. Bilan sur le glissement de terrain transmis par la commune de Bar-sur-Aube « Fontaine Germaine »	11
2.1.2. Bilan pour la chute de bloc rocheux survenue en mars 2014 sur la commune de Bar-sur-Aube « Colline Ste Germaine » (Rapport BRGM/RP-63522-FR) 14	
2.1.3. Base de données des mouvements de terrain du BRGM et Base données Gaspar des catastrophes naturelles	15
2.2. CARTOGRAPHIE DE TERRAIN	16
2.2.1. Géologie de la zone d'étude et prédisposition au mouvement de terrain 16	
2.2.2. Hydrogéologie et hydrographie.....	18
2.2.3. Inventaire des mouvements de terrain.....	20
2.3. ELEMENTS TECHNIQUES SUPPLEMENTAIRES	29
3. Typologie des mouvements de terrain	31
3.1. LES CHUTES DE BLOCS ET DE PIERRES	31
3.1.1. Mécanique de la rupture.....	31
3.1.2. Les différents modes de rupture/mécanismes d'instabilité	31
3.1.3. La propagation	32
3.1.4. Intensité des phénomènes	32
3.2. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN	34
3.2.1. Les mouvements sans plan de rupture.....	34
3.2.2. Les glissements avec plans de rupture.....	34
3.3. LES EROSIONS DE BERGES	36
4. Méthodologie de l'évaluation de l'aléa	39
4.1. PRINCIPE	39
4.2. ANALYSE GENERALE DES FACTEURS DETERMINANTS	39
4.2.1. Facteurs de prédisposition aux mouvements de terrain.....	40
4.2.2. Facteurs de déclenchement des mouvements de terrain.....	41

4.3. DONNEES EXPLOITEES.....	42
4.3.1. Carte géologique	42
4.3.2. Carte des pentes	42
4.3.3. Photographies aériennes.....	44
4.4. VISITES DE TERRAIN	45
5. Cartographie de l'aléa glissement de terrain.....	47
5.1. DEMARCHE EMPLOYEE	47
5.1.1. Géomorphologie de la vallée de l'Aube	47
5.1.2. Croisement de la pente et de la géologie.....	48
5.1.3. L'eau dans les terrains	52
5.1.4. Expertise du terrain	52
5.2. CARACTERISATION DE L'ALEA ET CARTOGRAPHIE	52
5.3. INDICATION SUR LA PROPAGATION	53
6. Cartographie de l'aléa chute de blocs	55
6.1. CARTE DE L'ALEA DE DEPART	55
6.1.1. Campagne de terrain.....	55
6.1.2. Critères retenus.....	55
6.1.3. Aléa chute de pierre	57
6.2. ZONE DE PROPAGATION	57
6.2.1. Méthode des cônes	57
6.2.2. Pierre98.....	59
6.2.3. Prise en compte des trois dimensions	61
6.3. CARTOGRAPHIE.....	62
7. Proposition de mesures réglementaires à destination des services de l'Etat. 65	
7.1. PRECONISATIONS GENERALES	65
7.1.1. Généralités.....	65
7.1.2. Les eaux souterraines et de surface.....	65
7.2. PROPOSITIONS PARTICULIERES	66
7.2.1. Pour l'aléa Chute de bloc	66
7.2.2. Pour l'aléa glissement de terrain.....	67
8. Conclusion et mesures complémentaires	71

9. Bibliographie 73

Liste des illustrations

Illustration 1 – Zone d'étude (3 km ² environ).....	10
Illustration 2 – Photographie de la coulée sur la route (source : Ville de Bar-sur-Aube)	12
Illustration 3 – Cicatrice de départ dans les terrains argileux décomprimés (source : Ville de Bar-sur-Aube).....	13
Illustration 4 – Enrochements et massif drainant réalisés depuis (source : BRGM, Février 2015)	13
Illustration 5 : Vue aérienne du versant Ste Germain	14
Illustration 6 - Tableau des catastrophes naturelles sur la commune de Bar-sur-Aube (Source : www.prim.net).....	16
Illustration 7 - Tableau des catastrophes naturelles sur la commune de Fontaine(Source : www.prim.net).....	16
Illustration 8 - Carte géologique de la zone d'étude (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE).....	18
Illustration 9 – Observations de terrains sur le contexte hydrologéologique (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)	19
Illustration 10 – Eboulement rocheux récent (mars 2015, BRGM)	20
Illustration 11 – Eboulement rocheux imminent (mars 2015, BRGM).....	21
Illustration 12 – Secteur du vallon des Queues de Renard – Observation de terrain (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)	22
Illustration 13 – Secteur de la colline Ste Germain – Observation de terrain (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)	23
Illustration 14 – Mur basculé sur la route entre Fontaine et Bar-sur-Aube (BRGM, 2015)	24
Illustration 15 – Résurgence en bas du versant sur la route et en aval des maisons (BRGM, 2015)	24
Illustration 16 – Cicatrice en formation dans la pente et moutonnement (BRGM, 2015).....	25
Illustration 17 – Prolongement de la rue Pierre Brossolette (Geoportail, 2015)	26
Illustration 18 – Secteur de Fontaine – Observation de terrain (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)	27
Illustration 19 – Formations superficielles en coupe (BRGM, 2015).....	28
Illustration 20 – Sentier au niveau de la cote d'Aube (BRGM, 2015).....	29
Illustration 21 – Localisation du Lycée Bachelard par rapport à la zone d'étude.....	30
Illustration 22 - Extrait de la méthode de qualification des aléas et des enjeux dans le cadres d'un PPRmouvement de terrain et traduction réglementaire (DDTM06, RTM06, CEREMA Méditerranée, juin 2013).....	33

Illustration 23 - Synthèse des chutes de blocs rencontrées dans le secteur d'étude.....	34
Illustration 24 - Schéma d'un glissement plan (www.brgm.fr)	35
Illustration 25 - Bloc diagramme d'un glissement rotationnel complexe (Flageollet (1989) et Cruden et Varnes (1996))	36
Illustration 26 - Synthèse des glissements rencontrés sur le secteur d'étude	36
Illustration 27 - Erosion de berge sur une rive concave	37
Illustration 28 - Extrait de la carte des pente avec le MNT 25 sur fond IGN 1/25 000	43
Illustration 29 - Extrait de la carte des pente des dalles au pas de 1 m disponible sur fond IGN 1/25 000	44
Illustration 30 – Coupe schématique de la vallée de l'Aube (profil issu du levé LIDAR).....	47
Illustration 31 – Source en pied de versant	48
Illustration 32 - Matrice de susceptibilité aux glissements de terrain	49
Illustration 33 – Eboulis recouvrant la formation j9a.....	50
Illustration 34 – Carte de susceptibilité aux glissements de terrain « brute »	51
Illustration 35 - Niveau d'intensité suivant le guide méthodologique (MEDDE, 1999)	53
Illustration 36 – Carte de l'aléa glissement de terrain résultante	54
Illustration 37 – Matrice de décision sur les zone de départ (1=faible, 2=moyen, 3=fort, 4= très fort, DDTM 06, RTM 06, CETE Méditerranée, juin 2013)	56
Illustration 38 – Zone de départ potentiel identifiée sur le terrain	56
Illustration 39 - 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)	58
Illustration 40 - Seuils de pente de la ligne d'énergie utilisés dans le cadre d'affleurement surplombant un versant en pente	59
Illustration 41 - exemple de profil excel extrait sous arcgis (Colline Ste Germaine)	60
Illustration 42 : Résultat de la simulation (exemple pour 1000 blocs lancés).....	61
Illustration 43 – Définition et critères d'évaluation des niveaux d'aléa chute de blocs (d'après Marçot et al., 2011).....	62
Illustration 44 : 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	63
Illustration 45 - Carte de l'aléa chute de bloc résultante (échelle 1/10 000)	64

Liste des annexes

Annexe 1 - Carte informative des phénomènes naturels

Annexe 2 - Extrait du rapport SIMECSOL de 1971

Annexe 3 - Cartographie de l'aléa « mouvement de terrain »

1. Introduction

La Direction Départementale des Territoires de l'Aube (DDT 10) a confié au BRGM une étude technique visant à caractériser l'aléa « chute de blocs » et « glissement de terrain » pour un versant de la commune de Fontaine et deux versants de la commune de Bar-Sur-Aube (10).

En effet, un glissement de terrain s'est produit en mars 2014 sur le territoire de Bar-sur-Aube, en contrebas de la ferme Ste Germaine et a engendré des chutes de blocs qui se sont arrêtés sur un replat avant de menacer deux habitations et une route communal. Les observations faites par le BRGM dans le cadre des appuis administrations (rapport BRGM RP-63522-FR de mars 2014) ont révélé un secteur perturbé par des traces de glissements superficiels et peu profond pouvant également engendrer des chutes de blocs.

Les phénomènes pris en compte se limitent aux glissements de terrain (glissements circulaires, glissements plans, fluage, reptation, solifluxion) et aux chutes de blocs. Ces phénomènes correspondent à ceux qui sont les plus répandus pour les territoires concernés et qui justifient la présente étude. Les autres phénomènes mouvements de terrain, du type affaissement, effondrement, érosion de berge notamment n'ont pas été retenus sur ces deux communes pour la cartographie de l'aléa. En outre le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux a déjà été traité à l'échelle départementale (Rapport BRGM RP-56710-FR).

Le périmètre d'étude a été défini par la DDT10 dans le cadre d'une première approche sur le risque glissement de terrain et chute de blocs au vu de l'évènement de mars 2014. Il peut se définir comme suit (Illustration 1) :

- commune de Fontaine : Vallon dit du « Barbevau » et versants associés ;
- commune de Bar-sur-Aube : Versant dit de la « côte d'Aube », colline Ste-Germaine et Vallon des Queues de Renard et versants associés.

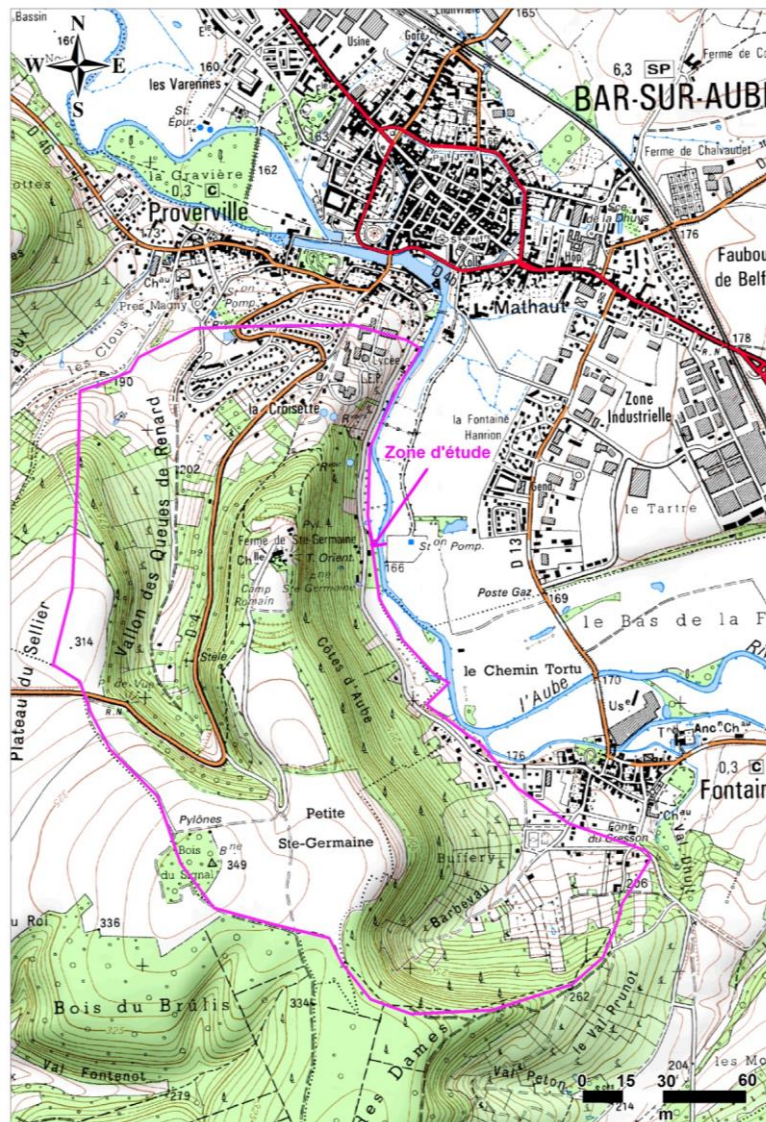


Illustration 1 – Zone d'étude (3 km² environ)

2. Inventaire des glissements de terrain et des chutes de blocs rocheux

2.1. ENQUETE ET INFORMATIONS RECUEILLIES

Plusieurs contacts ont eu lieu avec la mairie de Bar-sur-Aube mais également avec la mairie de Fontaine par le biais de l'agence territoriale de la DDT 10 à Bar-sur-Aube.

En préalable à l'étude, une réunion s'est déroulée le 6 janvier 2015 à l'agence territoriale de la DDT 10 de Bar-sur-Aube en présence de représentants des services techniques de la commune de Bar-sur-Aube et de la Communauté de Communes de la Région de Bar-sur-Aube. Il s'agissait de faire une présentation de la méthodologie de l'étude et de faire un bilan sur les données existantes de la thématique « mouvements de terrain » sur ces secteurs.

La mairie de Bar-sur-Aube a transmis un dossier relatif à un glissement de terrain à cette réunion et le BRGM a également présenté les informations bibliographiques dont il disposait afin d'enrichir l'inventaire des phénomènes. La mairie de Fontaine n'a pas d'éléments sur le secteur et aucun phénomène n'aurait été constaté sur le territoire d'étude.

2.1.1. Bilan sur le glissement de terrain transmis par la commune de Bar-sur-Aube « Fontaine Germaine »

Un glissement de terrain s'est produit en 2003 en amont de la route communale reliant Fontaine à Bar-sur-Aube. Les terrains glissés ont affecté cette voie. L'entreprise Hydrogéotechnique a été chargé en 2003 de réaliser une mission de type G5 : diagnostic de sinistre et G1-G2 : Etude de faisabilité géotechnique et prédimensionnement des ouvrages géotechniques (C/T/03/B/068/F/081). Les désordres observés sont :

- Des fissures affectant les remblais entre le réservoir et le chemin qui le longe ;
- Une fissure longitudinale dans le chemin longeant le réservoir, marquant le bord aval d'une conduite d'adduction d'eau au réservoir ;
- D'autres décrochements montrant des ruptures de terrain en aval du chemin.

La propagation du glissement s'étend sur la route communale de Fontaine à Bar-sur-Aube. Le bureau d'étude remarque qu'en octobre 2003 la route de Fontaine commence à se dégrader. Il conclue que les désordres observés sont vraisemblablement liés à un emboîtement de ruptures de type pseudo-circulaire (loupes de glissement) affectant des sols

argileux décomprimés rencontrés sur des épaisseurs de 3,50 à 6,20 m au droit des forages réalisés. Des solutions de confortement ont été proposées et réalisées sur ce site.

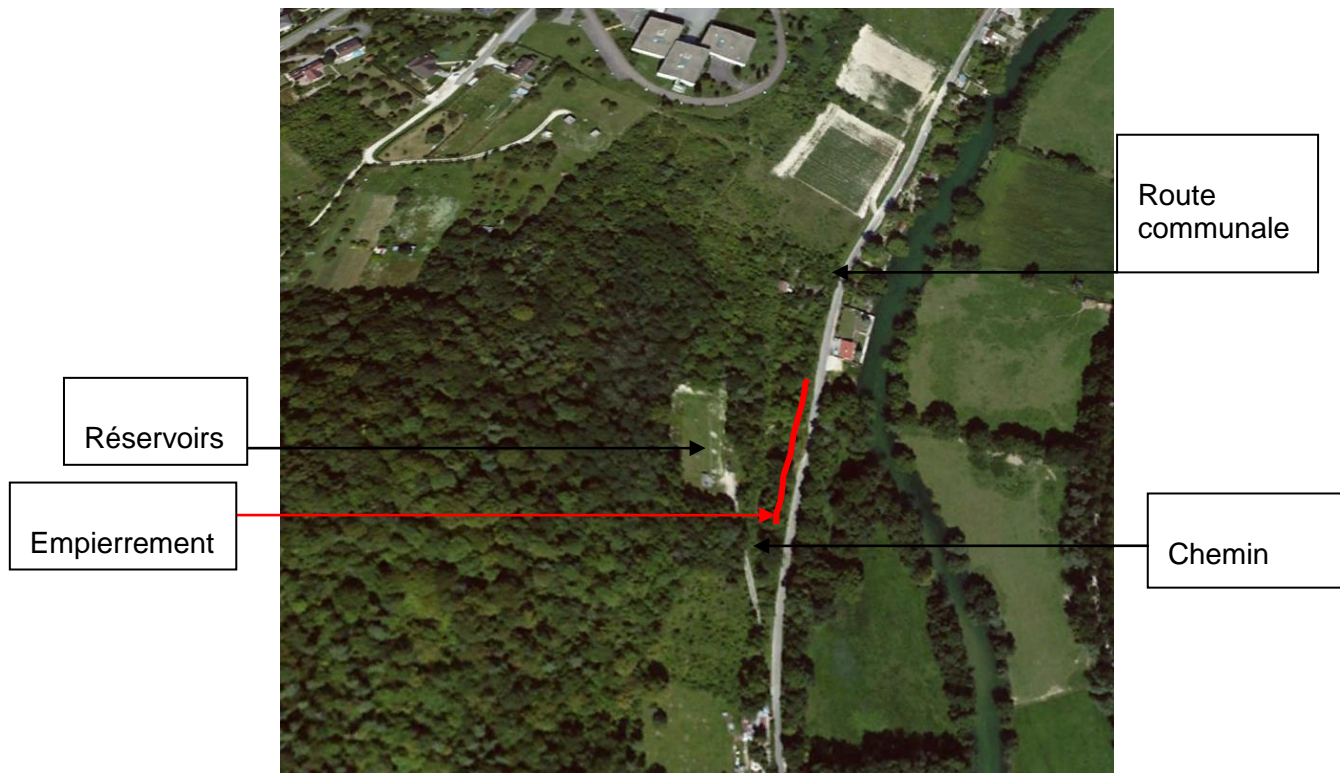


Illustration 2 – Photographie de la coulée sur la route (source : Ville de Bar-sur-Aube)



Illustration 3 – Cicatrice de départ dans les terrains argileux décomprimés (source : Ville de Bar-sur-Aube)



Illustration 4 – Enrochements et massif drainant réalisés depuis (source : BRGM, Février 2015)

2.1.2. Bilan pour la chute de bloc rocheux survenue en mars 2014 sur la commune de Bar-sur-Aube « Colline Ste Germaine » (Rapport BRGM/RP-63522-FR)

En mars 2014, un mouvement de terrain s'est déclaré sur la colline Ste Germaine et a fait l'objet d'une expertise par le BRGM (BRGM/RP-63522-FR). Ce mouvement de terrain a entraîné l'apparition d'une niche d'arrachement de 2 m de haut sur 20 m de large, d'une fissure de détente à 50 cm en amont de cette niche et d'une coulée de débris composée en grande partie par des blocs de calcaires d'1 m³. Le mouvement de terrain est dû à un phénomène de glissement très superficiel affectant les formations marneuses altérées de surface. La conjonction d'éléments naturels : présence d'un contact géologique, de sources, d'érosion régressive engendrée par l'incision de l'Aube explique le phénomène.

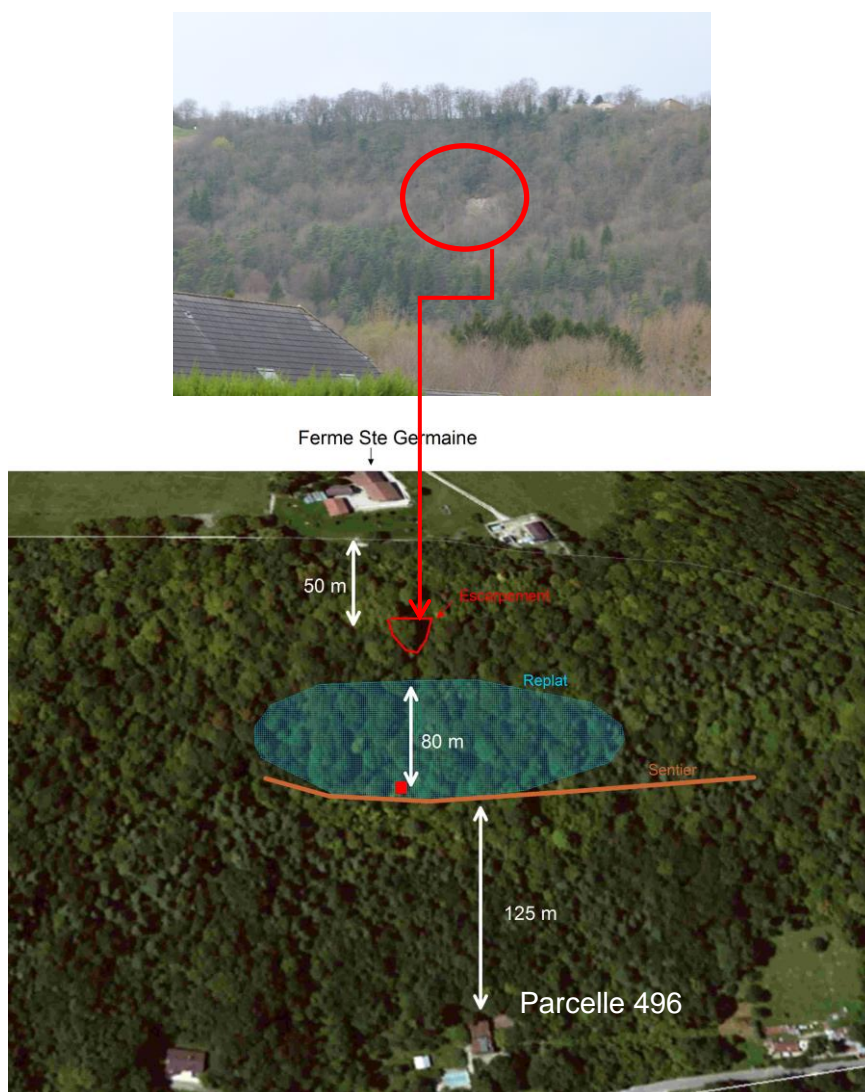


Illustration 5 : Vue aérienne du versant Ste Germaine

La distance de propagation des blocs a été limitée par la présence d'un replat dans le versant, mais la configuration du terrain varie du Sud au Nord et ce replat n'est pas présent sur toute la longueur du versant.

Pour prévenir du risque à très court terme de chute de blocs et de pierres non stabilisés, le BRGM a recommandé une purge des blocs instables et de mettre en place une barrière interdisant aux promeneurs de quitter le sentier et de se diriger en direction du glissement.

Compte tenu, principalement, de la présence du replat topographique en amont du sentier et dans une moindre mesure de la forêt arbustive dense sur près de 125 m en amont de la maison située en aval parcelle n°496, la probabilité d'atteinte de cette dernière par un bloc résultant du glissement actuel reste faible. Il a cependant été recommandé qu'une étude soit réalisée dans les meilleurs délais pour qualifier l'aléa « mouvements de terrain » (glissement et chutes de blocs) sur ce secteur du territoire communal (lieu-dit « S^{te} Germaine » et le cas échéant sur d'autres secteurs de la commune) et proposer des mesures de protection actives ou/et réglementaires.

2.1.3. Base de données des mouvements de terrain du BRGM et Base données Gaspar des catastrophes naturelles

La base de données des mouvements de terrain du BRGM disponible sur www.georisques.gouv.fr recense un mouvement de terrain référencé 600009. D'après les informations disponibles, c'est un glissement puisque la fiche indique « du fluage de terrain sur la petite route de Fontaine » relevé par la DDT10 et enregistré dans l'inventaire départemental des mouvements de terrain du BRGM (rapport RP-58174-FR). Toutefois, la fiche mentionne également la D13 qui ne se situe pas au même endroit, la localisation est également incertaine.

Concernant la base de données des catastrophes naturelles GASPARD disponible sur www.prim.net, la commune de Bar-sur-Aube dispose de 8 arrêtés CATNAT. 7 sont en lien avec des coulées de boue. La commune de Fontaine dispose également de 4 arrêtés CATNAT. Ils portent tous sur des coulées de boue.

Arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondations et coulées de boue	10/04/1983	20/04/1983	21/06/1983	24/06/1983
Inondations et coulées de boue	11/05/1993	11/05/1993	28/09/1993	10/10/1993
Inondations et coulées de boue	08/06/1994	08/06/1994	06/09/1994	25/09/1994
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Inondations et coulées de boue	23/12/2010	23/12/2010	05/04/2011	10/04/2011
Inondations et coulées de boue	07/06/2012	07/06/2012	27/07/2012	02/08/2012
Inondations et coulées de boue	05/05/2013	07/05/2013	20/06/2013	27/06/2013
Inondations par remontées de nappe phréatique	05/05/2013	09/05/2013	27/02/2014	01/03/2014

Illustration 6 - Tableau des catastrophes naturelles sur la commune de Bar-sur-Aube (Source : www.prim.net)

Arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Inondations et coulées de boue	08/06/1994	08/06/1994	06/09/1994	25/09/1994
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Inondations et coulées de boue	07/06/2012	07/06/2012	27/07/2012	02/08/2012
Inondations et coulées de boue	05/05/2013	07/05/2013	20/06/2013	27/06/2013

Illustration 7 - Tableau des catastrophes naturelles sur la commune de Fontaine (Source : www.prim.net)

2.2. CARTOGRAPHIE DE TERRAIN

2.2.1. Géologie de la zone d'étude et prédisposition au mouvement de terrain

La région de Bar-sur Aube se situe sur la bordure orientale du Bassin de Paris dans la région naturelle du Barrois. Les terrains géologiques, uniquement sédimentaires, forment une série continue depuis le Séquanien (j7, illustration 8) jusqu'au Portlandien inférieur (j9a). Les dépôts quaternaires se présentent sous la forme d'alluvions anciennes (pléistocènes, Fy).

Le relief actuel correspond à la nature des roches à l'affleurement. Les plateaux à bords abrupts sont formés par les calcaires du Séquanien et du Portlandien inférieur. Les dépressions sont creusées par les marnes du Kimméridgien et la région présente une forte différence d'altitude entre les plateaux et la vallée de l'Aube qui est assez étroite et profonde dans ces secteurs calcaires.

Les couches présentent toutes une stratification subhorizontale avec un léger pendage vers le nord-ouest. Dans le détail, la succession géologique (de la plus récente à la plus ancienne) est la suivante :

- Fy : Pléistocène. Alluvions anciennes de gravier calcaire dont l'âge est bien déterminé par les restes de vertébrés et les silex taillés rencontrés dans les régions voisines. L'épaisseur est de quelques mètres. A la frontière entre Bar-sur-Aube et Fontaine, au niveau de l'Aube, ces alluvions sont soumises à une forte **érosion de berge**.
- j9a : Portlandien inférieur. Suite à l'érosion, le Portlandien n'est représenté que par ses assises inférieures constituées par des calcaires blanchâtres sublithographiques durs et compacts durs. L'épaisseur de la formation est d'environ 50 m. Ces calcaires peuvent présenter **une prédisposition au chute de blocs** s'ils se retrouvent à l'affleurement. Sur le terrain, ils sont systématiquement recouverts de prairie et de

cultures céréalières. Ils sont donc très peu affleurant et moins soumis en l'état au risque chute de blocs.

- j8b : Kimméridgien supérieur et moyen. Cette couche est constituée par une alternance marno-calcaire : trois assises de marnes grises séparées par deux assises de calcaires marneux durs à grains fins. Cette formation est présente sur une bonne partie de la zone d'étude. Dans son ensemble, l'épaisseur peut atteindre 80 m et les niveaux marneux présentent **une prédisposition au glissement de terrain** (les marnes sont composées d'une forte proportion d'argiles). **Les niveaux calcaires peuvent présenter une susceptibilité aux chutes de blocs.** Cinq sondages récupérés sur la Banque de Données du Sous-Sol (www.infoterre.brgm.fr) référencés 03351X0001/R permettent d'estimer l'épaisseur des bancs calcaires à environ 5 m et les épaisseurs de marnes à environ 25 m.

Les visites de terrains ont révélé une forte proportion de dépôts colluvionnés sur toute la première moitié de l'épaisseur des marno-calcaires kimméridgiens. j8a : Kimméridgien inférieur. Composé de calcaires jaunâtre hétérogènes, troués, noduleux et glauconieux. Leur épaisseur n'excède pas 15 m et ils peuvent présenter **une prédisposition aux chutes de blocs.**

- j7 : Séquanien. Cet étage est composé de calcaires homogènes beiges assez durs par des calcaires sublithographiques durs en gros bancs pluri-décimétriques. Il représente une épaisseur de 80 m et peu présenter une **prédisposition aux chutes de blocs.**

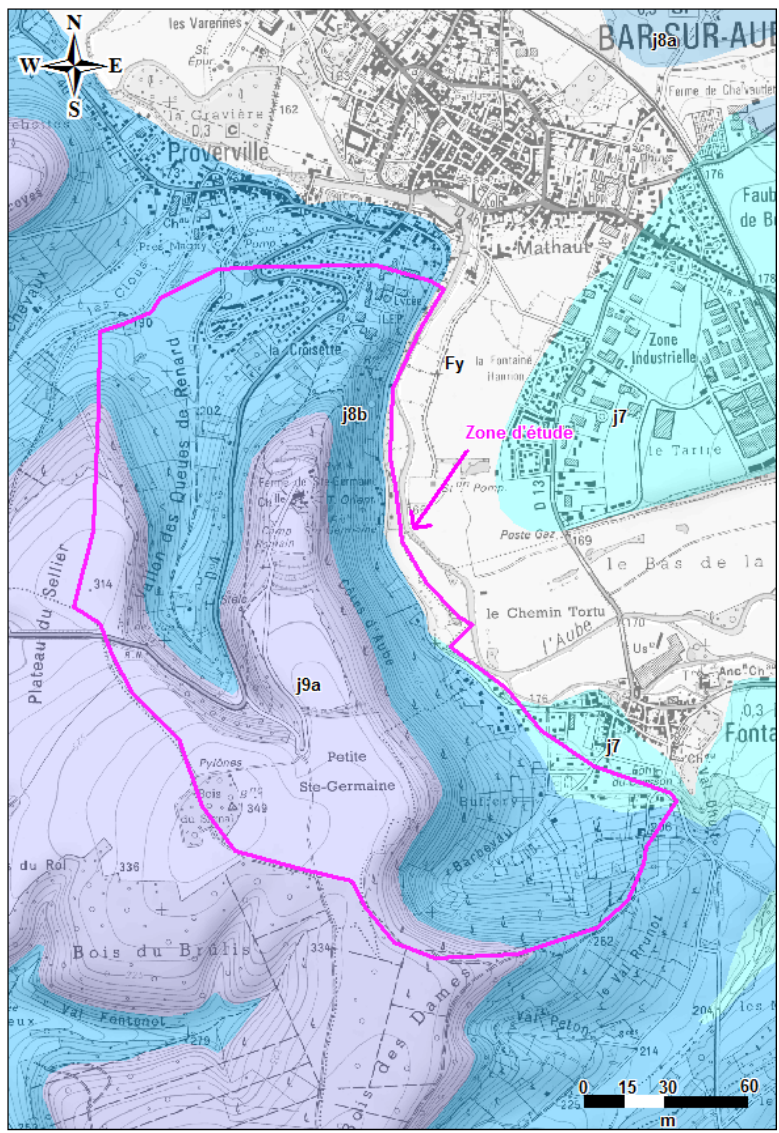


Illustration 8 - Carte géologique de la zone d'étude (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)

2.2.2. Hydrogéologie et hydrographie

Le réseau hydrographique est marqué par la présence de l'Aube qui entaille de manière assez profonde les couches calcaires du Jurassique supérieur. Sur le secteur d'étude, l'Aube incise fortement dans une rive concave les alluvions anciennes et les calcaires séquanien (j7) entre Fontaine et Bar-sur-Aube avec un dénivelé de 20 m parfois

Les nappes aquifères se présentent dans l'ordre suivant depuis les terrains les plus récents au plus anciens :

- la nappe pléistocène (correspondant aux alluvions de fond de vallée) ;
- la nappe du Kimméridgien moyen (dans les calcaires au-dessus des assises marneuses).

Les sources apparaissent logiquement à la faveur des interfaces entre marnes et calcaires mais également à la base des dépôts colluvionnés. La présence des mares observées est systématiquement due à une action anthropique (reprofilage de la pente) mais témoigne du caractère imperméable des niveaux marneux du Kimméridgien supérieur (j8b).

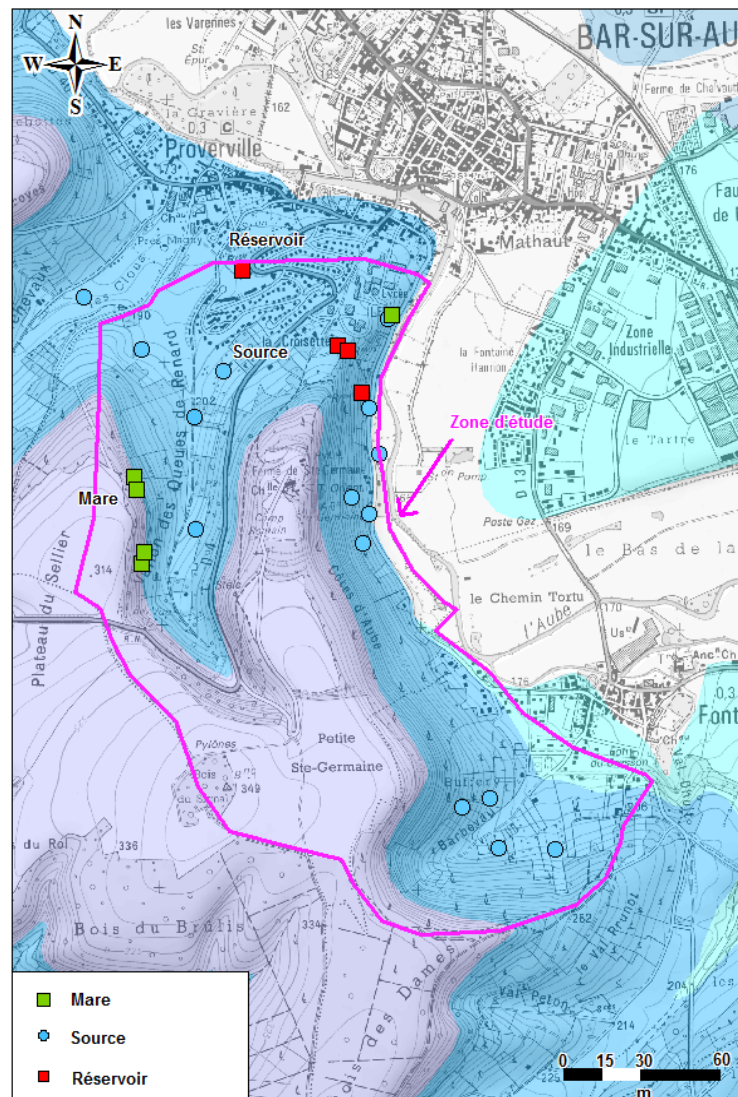


Illustration 9 – Observations de terrains sur le contexte hydrogéologique (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)

Lors de la réunion de présentation de l'étude le 6 janvier 2015, la commune de Bar-sur-Aube a signalé au BRGM que le versant de la colline Ste-Germaine présente beaucoup de

sources et qu'elles se sont toujours déplacées : lorsque l'une arrêta de couler c'est une autre source qui apparaissait. Les calcaires séquaniens peuvent être aquifères quand ils sont diaclasés mais l'activité karstique est très faible.

2.2.3. Inventaire des mouvements de terrain

Plusieurs campagnes de terrain ont été réalisées (24-25 février 2015, 2-3 mars 2015, 16-17 mars 2015) pour améliorer la connaissance de la géologie et de l'hydrogéologie locale, mais également pour inventorier et classer les mouvements de terrain rencontrés.

Bar sur Aube – Secteur Vallon des queues de Renard

Sur le flanc Est du Vallon, il y a très peu de fluage. En revanche sur le flanc Ouest, plusieurs indices sont observés :

- Un escarpement rocheux anthropique d'environ 5 m de haut dans les calcaires du Kimméridgien et du Portlandien entraînant des chutes de blocs (0,25 m³ pour le plus gros) et de pierre (20 cm³ pour les plus petites) jusqu'en bas de la pente (Illustration 10). Ces chutes de blocs sont très récentes ;



Illustration 10 – Eboulement rocheux récent (mars 2015, BRGM)



Illustration 11 – Eboulement rocheux imminent (mars 2015, BRGM)

Les mécanismes de mise en mouvement sont liés à l'alternance de niveaux compétents (calcaires) et tendres (marneux) qui favorisent un profil de versant de type « érosion différentielle » avec la création de petites zones de surplomb. Les bancs fracturés produisent alors des blocs pour une remise à l'équilibre du versant. Le phénomène reprend ensuite avec une nouvelle phase d'érosion. Cette dynamique engendre une régression lente et progressive des pentes.

- des anciennes cicatrices de glissement de terrain, une légère contre pente localisée et du fluage dans toute cette zone du vallon (Illustration 12).

La carte suivante rassemble les données collectées sur le terrain.

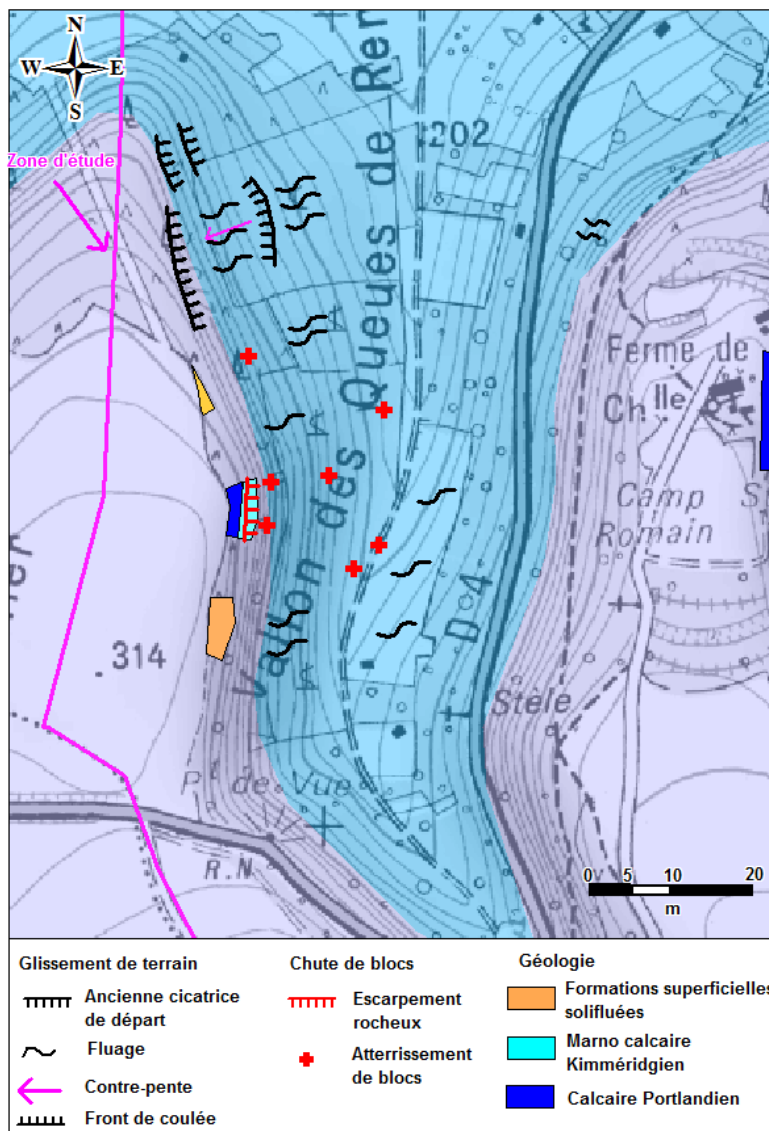


Illustration 12 – Secteur du vallon des Queues de Renard – Observation de terrain (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)

Bar sur Aube – Secteur de la colline Ste Germaine

Sur ce flanc donnant sur la vallée de l'Aube, la rivière entaille les plateaux calcaires en créant une érosion régressive et un « appel au vide ». Plusieurs phénomènes ont été observés :

- le glissement de terrain de mars 2014 dans les marnes kimméridgiennes ayant entraîné une chute de blocs de calcaire kimméridgien et Portlandien ;

- Le versant est affecté d'anciennes cicatrices de glissements de terrain créant peu de fluage sur les zones boisées mais des fronts de coulée observés en bas de pente et surtout des indices : le déplacement de sources sur le versant (acté par la mairie et lors de notre visite du Lycée Gaston Bachelard), des sources localisées plutôt en pied de coulées, quelques fissures observées sur les maisons (mais pouvant être attribuées à du tassement différentiel des marnes assez argileuses), des rustines sur la route de Fontaine à Bar-sur-Aube et enfin des basculements de murs.

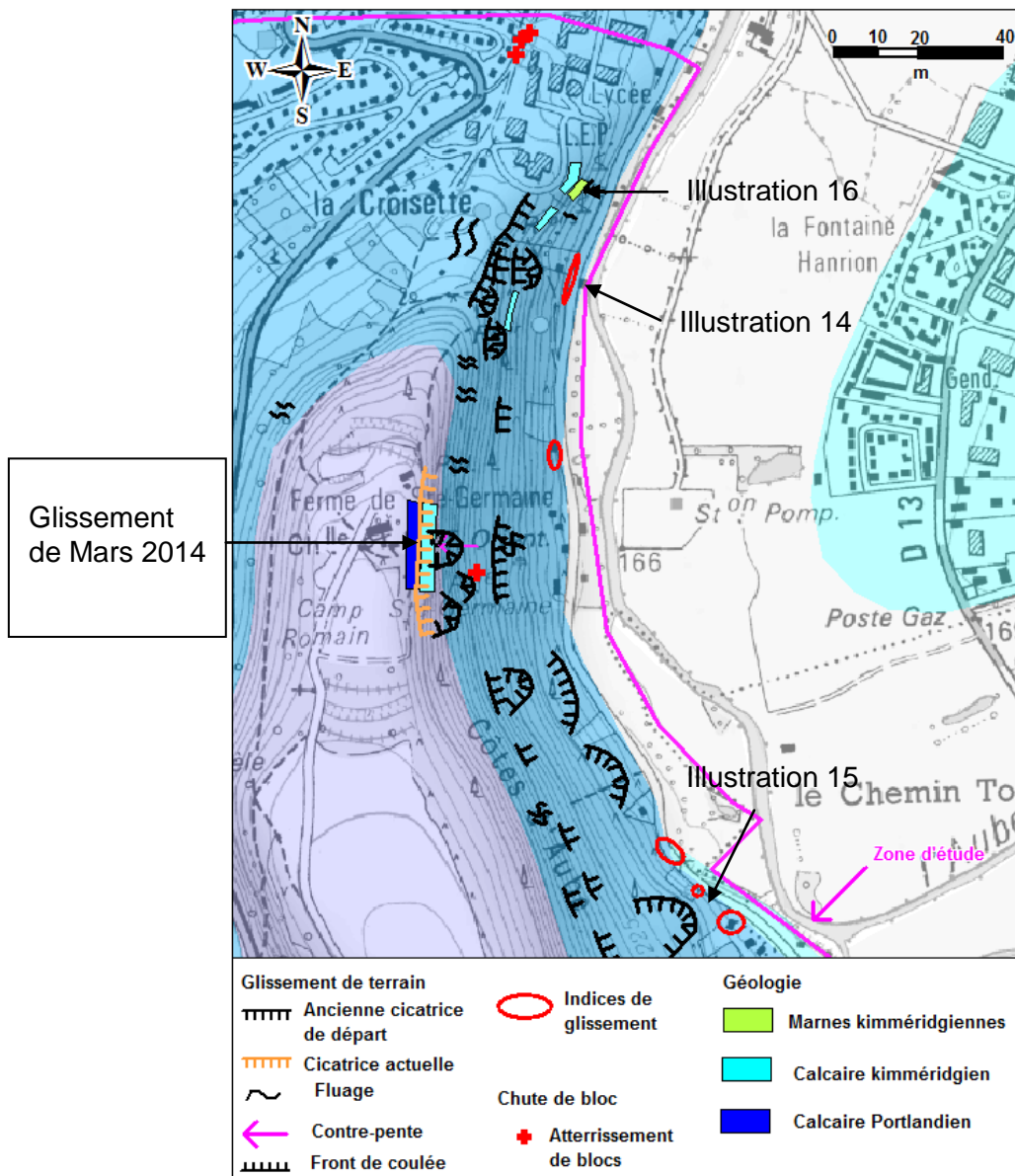


Illustration 13 – Secteur de la colline Ste Germaine – Observation de terrain (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)



Illustration 14 – Mur basculé sur la route entre Fontaine et Bar-sur-Aube (BRGM, 2015)



Illustration 15 – Résurgence en bas du versant sur la route et en aval des maisons (BRGM, 2015)

- Du fluage dans des zones viticoles récemment plantées : présence de moutonnement dans la pente et d'un début de cicatrice de glissement. Cette zone est également en aval d'une petite retenue artificielle captant les eaux de sources en amont du versant :



Illustration 16 – Cicatrice en formation dans la pente et moutonnement (BRGM, 2015)

- Dans le prolongement de la rue Pierre Brossolette (encadrement rouge, Illustration 17), quelques chutes de pierres ont été observées (15 cm^3 en moyenne) lors des visites de terrain de février et mars 2015. Elles résultent d'un décaissement pour créer le chemin et les talus ne sont pas sécurisés. Ce sentier étant particulièrement emprunté par les élèves de l'établissement Gaston Bachelard, le BRGM a signalé à la mairie et la DDT la présence de ces pierres.



Illustration 17 – Prolongement de la rue Pierre Brossolette (Geoportail, 2015)

Secteur de Fontaine

Le secteur de Fontaine concerné par l'étude se situe sur les versants du vallon du Barbevau. L'incision du vallon étant moins importante que celui de l'Aube, les phénomènes rencontrés sont moins développés et surtout liés à l'anthropisation :

- Coté Sud, quelques anciens escarpement en marche d'escaliers de 10 m de long avec une légère contrepente sont observés. Les pentes sont importantes avant la cote 250 m NGF et s'atténuent progressivement dans les marnes qui ne présentent quasiment pas de fluage ;
- Coté nord-est, le versant est marqué par un talus anthropique créé pour exploiter des vignes. Ce talus laisse apparaître une coupe des formations superficielles présentes sur le versant. En amont, d'autres escarpements naturels de vingt mètres de long sur 2 mètres de hauteur provoquent quelques chutes de blocs et de pierre, ils sont stoppés par la végétation (Illustration 18);

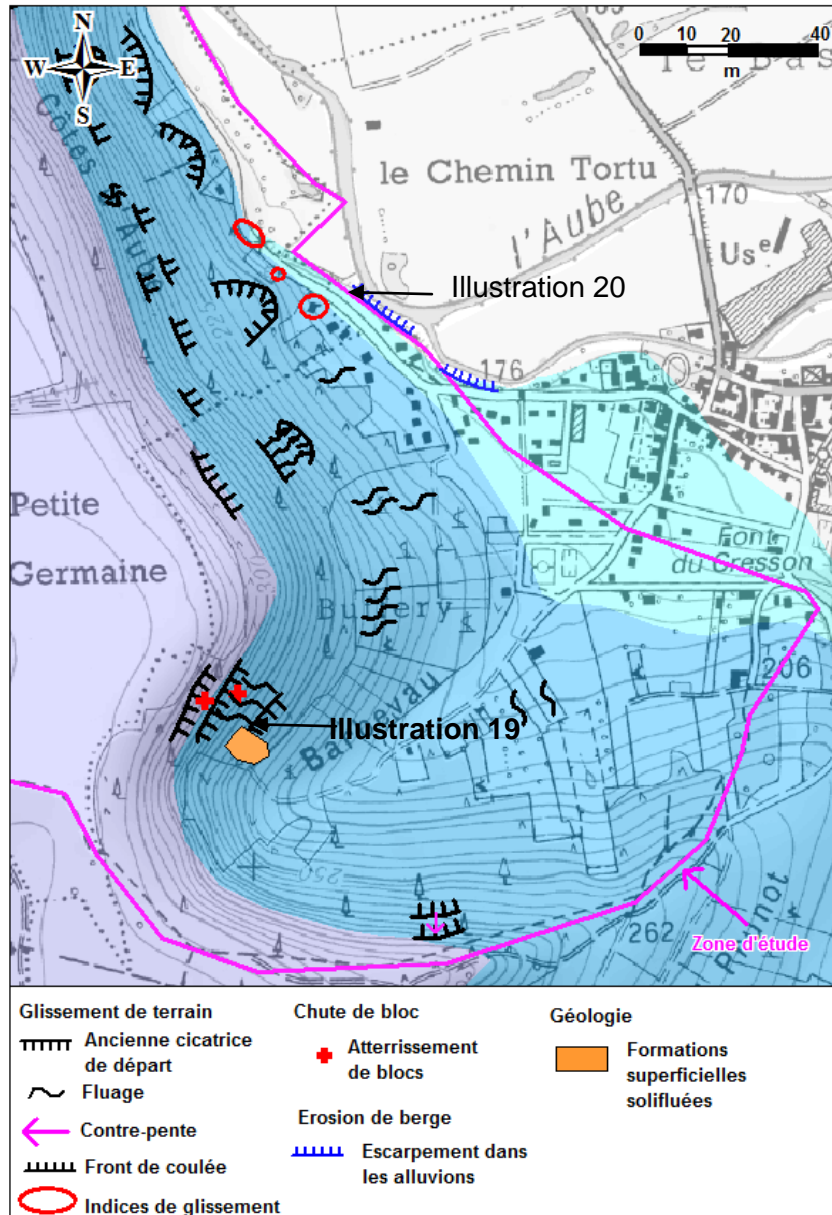


Illustration 18 – Secteur de Fontaine – Observation de terrain (carte BRGM (c), échelle 1/50 000, feuille n°335 BAR-SUR-AUBE)



Illustration 19 – Formations superficielles en coupe (BRGM, 2015)

La mairie de Fontaine a également signalé deux érosions de berge dans la rive concave de l'Aube à la limite entre Bar-sur-Aube et Fontaine. Une visite a été réalisée le 25 septembre 2015 pour constater cette érosion de berge. Il est possible d'accéder à l'Aube par un sentier situé au niveau du 29, chemin de Fontaine (parcelle 101). Le sentier n'est pas balisé et débouche sur un ravin de 5 mètres de haut. Les formations érodées et composant les parois du talus sont des alluvions de l'Aube (Illustration 20 – Sentier au niveau de la cote d'Aube (BRGM, 2015)). Les parcelles jouxtant la parcelle 101 ne sont pas habitées, en revanche les parcelles 95 et 96 présentent une habitation (résidence secondaire).



Illustration 20 – Sentier au niveau de la cote d’Aube (BRGM, 2015)

2.3. ELEMENTS TECHNIQUES SUPPLEMENTAIRES

Lors des visites de terrain complémentaires, le proviseur du lycée Bachelard a autorisé le BRGM travailler dans l'enceinte du lycée, qui occupe une surface importante du versant (5,4 hectares). Toutefois il n'a pas été possible d'observer de terrain naturel tant les surfaces sont urbanisées. Il n'y a pas de traces de glissement, seulement d'une source intermittente en contre-bas du gymnase (Illustration 21). Les bâtiments ne présentent pas de fissures majeures si ce n'est celles du vieillissement. Le conseil départemental de l'Aube nous a fait parvenir les études de sols réalisés en 1971 pour la construction de la cité scolaire et en 2007 pour l'extension. Ces documents ont pu être examinés et apportent des informations sur la nature des sols.

Synthétiquement sur les sondages, entre 0 et 2 m, des limons sableux et des marnes sableuses sont observées puis de 2 à 5 m ce sont des marnes gris-bleu et enfin une couche marno-calcaire voire essentiellement calcaire jusqu'à 15 m. Ceci confirme la présence des marnes kimméridgiennes à proximité de la surface à cet endroit du versant.

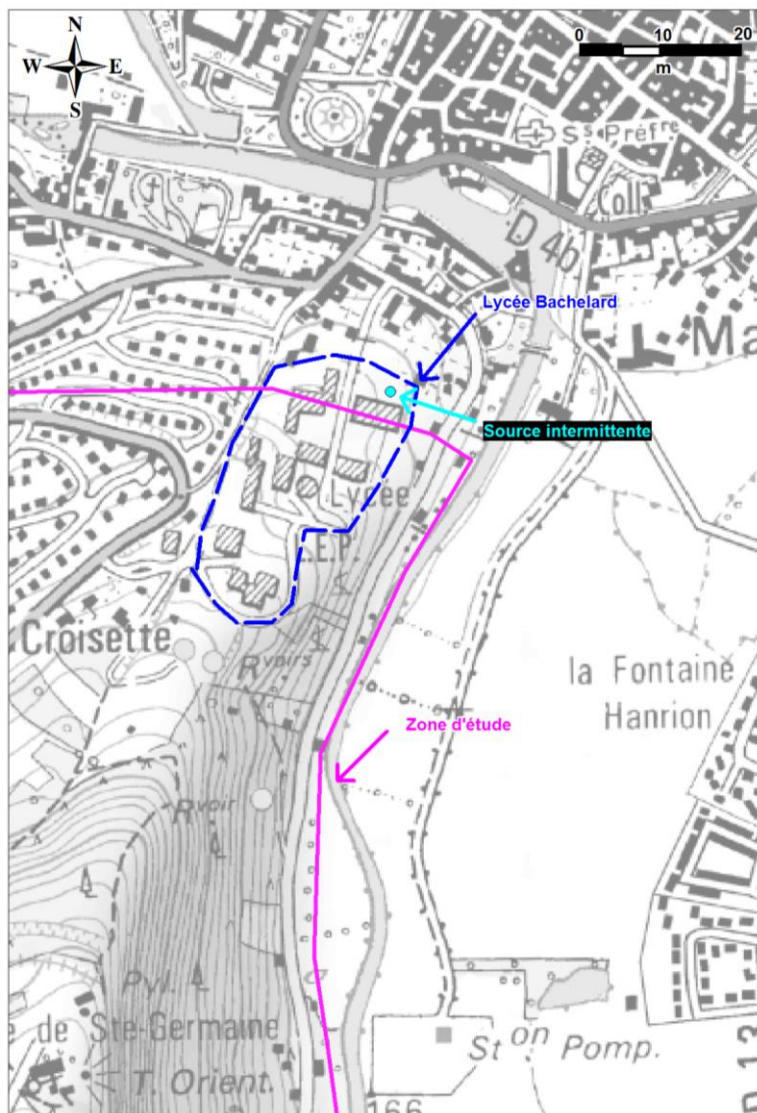


Illustration 21 – Localisation du Lycée Bachelard par rapport à la zone d'étude

3. Typologie des mouvements de terrain

3.1. LES CHUTES DE BLOCS ET DE PIERRES

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. Elles consistent en la chute libre ou le roulement, après rupture, de blocs engendrés par la fragmentation des massifs.

Lors des mouvements tectoniques, des décompressions induites par l'incision d'un cours d'eau ou lors des glaciations des périodes froides du Quaternaire, la roche subit de fortes contraintes mais sa rigidité limite sa capacité de déformation et conduit à la rupture (fracturation / fissuration). 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. Dans les roches massives comme les calcaires kimméridgiens et portlandien, la masse de calcaire est fondue dans les marnes et soumise à la rupture au moment du glissement des marnes. 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.

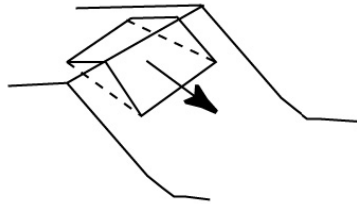
3.1.1. Mécanique de la rupture

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. 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.

3.1.2. Les différents modes de rupture/mécanismes d'instabilité

Les caractéristiques des plans de discontinuités et du massif rocheux définissent des modes de ruptures différents :

- Les glissements plans, le long d'une seule surface de discontinuité d'orientation proche (mais inférieure) à celle du versant (figure *Frayssines, 2005*);



- Les chutes de blocs liés à l'alternance de niveaux compétents (calcaires) et tendres (marneux) qui favorisent un profil de versant de type « érosion différentielle » avec la création de petites zones de surplomb. Les bancs fracturés produisent alors des blocs pour une remise à l'équilibre du versant. Le phénomène reprend ensuite avec une nouvelle phase d'érosion. Cette dynamique engendre une régression lente et progressive des pentes
- Chaos de blocs (altération) et remobilisation de blocs dans la pente.

Ces différents types de rupture peuvent se rencontrer simultanément sur un même versant.

3.1.3. 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 :

- La nature géologique et la forme 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, il est possible d'observer des trajectoires très déviées du fait notamment de la forme des blocs et de la microtopographie.

3.1.4. Intensité des phénomènes

L'intensité des aléas correspond à l'ampleur du phénomène. Cette ampleur est évaluée différemment selon les phénomènes étudiés. Elle porte sur des paramètres physiques, sa détermination est faite à dire d'expert s'appuyant sur des critères de terrain. Les différents paramètres physiques entrant en ligne de compte pour la détermination de l'intensité d'un

phénomène sont différents suivant les phénomènes. Pour les chutes de blocs, les paramètres sont :

- volume type potentiellement instables pouvant se propager dans le versant après fragmentation ;
- potentialité d'atteinte (ce paramètre sera établi par analogie avec des phénomènes connus en l'absence d'étude précise).

Intensité	Description
Très élevée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant dépasse la dizaine de m ³ et s'étend sur la totalité du versant*.
Élevée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant est supérieur ou égal à 1 m ³ et la possibilité d'atteinte de ces blocs est la totalité de la zone. - la zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume supérieur ou égal à 10 m ³
Modérée	- le volume unitaire pouvant se propager dans le versant est inférieur à 1 m ³ et la possibilité d'atteinte de ses blocs est la totalité de la zone. - la zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume supérieur ou égal à 1 m ³
Faible	- la zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume inférieur à 1 m ³

*pas d'arrêt dans le versant, atteinte du point bas du versant.

Illustration 22 - Extrait de la méthode de qualification des aléas et des enjeux dans le cadres d'un PPRmouvement de terrain et traduction réglementaire (DDTM06, RTM06, CEREMA Méditerranée, juin 2013)

Données de volumes :

Pierres : $V < 1 \text{ dm}^3$

Blocs : $1 \text{ dm}^3 < V < 1 \text{ m}^3$

Gros blocs : $V > 1 \text{ m}^3$

Volume totale déplacé :

Chutes de pierres ou de blocs : $V_t < 100 \text{ m}^3$

Eboulement en masse : $10^2 \text{ m}^3 < V_t < 10^5 \text{ m}^3$

Eboulement en grande masse (écroulement) : $V_t > 10^6 \text{ m}^3$

Synthèse des chutes de blocs rencontrées	Mode de rupture	Intensité	Faciès rencontré	Pente	Facteur de déclenchement	Propagation
Evénement de Mars 2014 colline Ste Germaine	Glissement plan et chaos de blocs	Elevée (bloc supérieur ou égal à 1m ³)	Calcaire/Eboulis /dalle calcaire dans les marnes	supérieure à 55°	Géologie/pente /pluviométrie	Angle de 29° depuis la zone de départ jusqu'au bloc. Environ 40 m depuis la zone de départ
Vallon des queues de Renard	Erosion différentielle	Modérée (1 dm ³ <bloc<1m ³)	Calcaire/Eboulis /dalle calcaire dans les marnes	supérieure à 70°	Géologie/pente /talutage	Angle de 35° depuis la zone de départ (blocs) et 28° dans le versant (pierres)
Rue du 8 mai à Bar sur aube	Erosion différentielle	Faible (blocs<1dm ³)	Calcaire et dalles calcaire dans les marnes	supérieure à 70°	Géologie/pente /talutage	Directement sur la rue du 8 mai.

Illustration 23 - Synthèse des chutes de blocs rencontrées dans le secteur d'étude

3.2. LES GLISSEMENTS DE TERRAIN

3.2.1. Les mouvements sans plan de rupture

Ces types de mouvements ne sont pas considérés comme des glissements à proprement parlé puisque la mise en mouvement n'est pas caractérisée par un plan de cisaillement identifiable. Dans notre zone d'étude, c'est la frange superficielle des terrains qui est affectée par ce type de mouvements.

Le fluage est un phénomène physique provoquant des déformations gravitaires irréversibles sous des sollicitations constantes atteignant le domaine plastique (Philipponnat et al., 2008). C'est un mouvement lent d'une masse de terrain (à matrice fine argileuse ou silteuse) non limitée par une surface de rupture clairement définie se manifestant sur des faibles ou fortes pentes. Il peut se repérer par un moutonnement de faible amplitude et relativement serré. Les arbres peuvent être inclinés ou présenter des troncs qui tendent ensuite à se redresser pour donner une forme « en tête de pipe » à leur base.

3.2.2. Les glissements avec plans de rupture

Les glissements pelliculaires

Le glissement pelliculaire est un décrochement superficiel gravitaire affectant une mince frange de terrain à matrice fine et limitée par une surface de rupture identifiable (<5 m de profondeur), recouvrant les versants à pentes moyennes à raides (>20%). Cette frange est fortement altérée avec des caractéristiques mécaniques faibles, cela peut également affecter les colluvions. Suite à une saturation en eau des matériaux, la cohésion et/ou l'angle de frottement interne sont diminués par l'augmentation de la teneur en eau et rend le sol instable. Le terrain se détache du haut du versant et glisse par petits paquets vers le bas (Mathon et al., 2005). Ce type de glissement fait généralement suite au phénomène de reptation.

La morphologie de ces glissements est caractérisée par une surface moutonnée ou par des petites terrasses dans les versants, et de courtes fissures arquées ou rectilignes soulignent la tête des instabilités.

Les glissements plans

Il s'agit de mouvements gravitaires se traduisant par la translation d'un volume de sol ou de roche d'un versant, sur une surface de rupture approximativement plane, généralement selon la ligne de plus grande pente (Illustration 24). La différence majeure avec le glissement pelliculaire vient de la profondeur de sa surface de rupture qui est ici plus importante.

La particularité de ce glissement tient dans la géométrie de sa surface de rupture qui est plus ou moins rectiligne. Généralement, elle est héritée d'une discontinuité naturelle préexistante dans le terrain : joints ou limites stratigraphiques, plans de failles ou diaclases, plans de schistosité. Elle peut également correspondre soit à une couche mince de mauvaises caractéristiques mécaniques (on parlera de « couche-savon ») sur laquelle s'exerce souvent l'action de l'eau.

Les glissements plans sont le plus souvent associés à des fissures en tête et des bourrelets en pieds. Ils peuvent se développer sur des épaisseurs de plusieurs dizaines de mètres et peuvent affecter des versants de pente moyenne (< 20%) pour autant que les facteurs de prédisposition soient réunis.

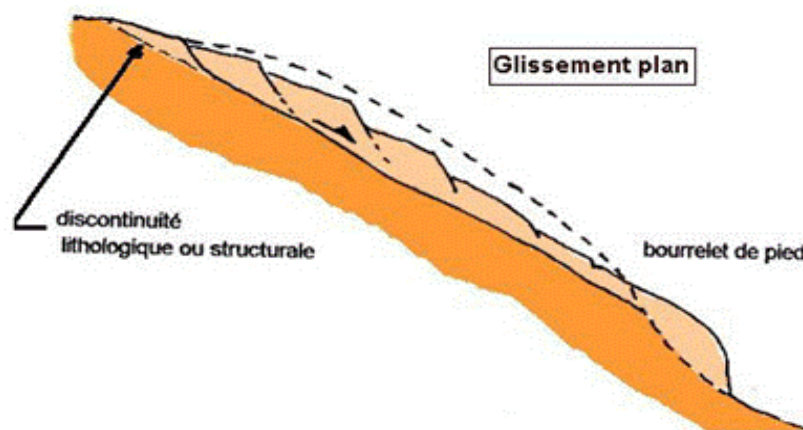


Illustration 24 - Schéma d'un glissement plan (www.brgm.fr)

Les glissements rotationnels ou circulaires

Ils correspondent à des mouvements gravitaires et peuvent présenter une brusque rupture de pente ainsi que des fissures en tête et des bourrelets en pied (Illustration 25). Leur surface de rupture de forme circulaire et concave les différencie des glissements plans. On peut noter la présence de contre-pente au sein de la masse glissée. Par ailleurs, plusieurs

glissements rotationnels peuvent s'emboîter et former un glissement circulaire complexe. L'apparition d'un premier glissement en bas de pente entraîne une perte de butée pour les terres situées au-dessus et provoque des glissements successifs remontant vers l'amont : on parle d'évolution régressive (Philipponnat et al., 2008). Les glissements circulaires peuvent avoir des profondeurs et des volumes en mouvement très variables.

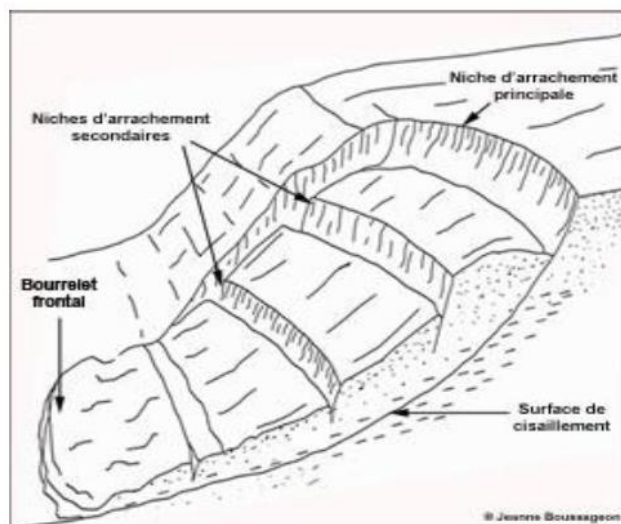


Illustration 25 - Bloc diagramme d'un glissement rotationnel complexe (Flageollet (1989) et Cruden et Varnes (1996))

Synthèse des glissements caractéristiques	Mode de rupture	Intensité	Faciès rencontré	Pente	Facteur de déclenchement	Propagation
Versant type versant de Barbevau (Fontaine)	Glissement pelliculaire	Faible (vitesse lente) à moyenne (aire géographique importante)	Dépôts soliflués	A partir de 10°	Pente et géologie	Fluage lent/Evolution difficilement perceptible
Événement de Mars 2014 colline Ste Germaine	Glissement plan	Elevée car vitesse rapide	Eboulis et Marnes	supérieure à 40°	Pente et géologie	Environ 5 m pour les marnes
Route communale 2003 et versant	Glissement rotationnel	Elevée car vitesse rapide	Marnes et dépôts soliflués	A partir de 10°	pente/géologie et eau	Entre 5 et 10 m

Illustration 26 - Synthèse des glissements rencontrés sur le secteur d'étude

3.3. LES EROSIONS DE BERGES

Les érosions de berges sont des phénomènes affectant exclusivement les berges et les bords de rivières ou de fleuves. Ce mouvement de terrain a été inventorié dans le cadre des visites de terrain, cependant, il n'est pas l'objet de la présente étude et n'est pas inclus dans la cartographie de l'aléa.

Ils résultent de :

- La force érosive de l'écoulement des eaux qui sape le pied des rives et conduit au glissement ou à l'éboulement de la berge par suppression de la butée de pied qui assurait l'équilibre ;
- L'enfoncement des cours d'eau au fil du temps, qui conduit également au glissement ou à l'éboulement de la berge.

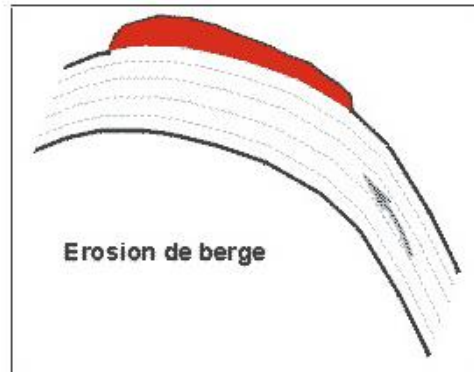


Illustration 27 - Erosion de berge sur une rive concave

4. Méthodologie de l'évaluation de l'aléa

4.1. PRINCIPE

Dans le but de cerner l'ampleur du phénomène qui pourrait se produire et dont il faut protéger les populations et les biens, il convient de déterminer le phénomène de référence pour chaque type de mouvement de terrain dans un secteur homogène donné. Celui-ci correspond au « plus fort événement historique connu ou potentiel, à considérer comme vraisemblable à échéance centennale ou plus » (référence guide méthodologique PPR mouvement de terrain, MEDDE).

Il convient de délimiter le périmètre où les phénomènes considérés doivent être pris en compte en termes de prévention des risques et de hiérarchiser ces zones en différents niveaux d'aléa.

Compte tenu de la complexité des phénomènes de mouvements de terrain et de l'absence de données sur une longue série temporelle, on privilégie une approche qualitative en retenant la probabilité maximale pour les phénomènes déclarés et pour les phénomènes potentiels en retenant l'importance des différents facteurs de prédisposition identifiés. Une approche par analogie avec des événements observés dans un secteur proche présentant un contexte géologique, géomorphologique et structural similaire peut également être retenue.

L'identification et l'analyse des facteurs de prédisposition s'appuie ainsi sur des documents existants (notamment cartes géologiques, carte des pentes, données géotechniques, photos aériennes, ...), des observations de terrain (géomorphologie, indices..) et sur la connaissance du terrain et des phénomènes connus par les acteurs locaux.

L'aléa peut également être évalué en fonction du niveau d'importance des mesures à prendre pour se prémunir du phénomène potentiel et de l'ordre de grandeur des coûts et du niveau de prise en charge : propriétaire individuel, promoteur ou aménageur, collectivité locale, Etat...

Dans tous les cas, l'aléa est délimité sans tenir compte des ouvrages de protection existants.

4.2. ANALYSE GENERALE DES FACTEURS DETERMINANTS

L'identification de ces facteurs est importante car ce sont eux qui gouvernent la répartition spatiale de l'aléa mouvements de terrain. La cartographie de l'aléa nécessite donc la connaissance de ces facteurs en tout point. Les mouvements de terrain surviennent à la conjonction de deux types de facteurs :

- les facteurs de prédisposition (ou facteurs permanents) ;
- les facteurs de déclenchement.

4.2.1. Facteurs de prédisposition aux mouvements de terrain

Il est à noter que la liste ci-dessous est générale et non exhaustive. Suivant le niveau d'étude, d'autres facteurs peuvent être identifiés et/ou évalués.

a) La lithologie

En ce qui concerne les facteurs de prédisposition, le principal est la lithologie. Sa répartition spatiale est interprétée au travers des cartes géologiques à l'échelle $1/50\,000$ qui couvrent la totalité de la zone d'étude.

Il convient toutefois de garder à l'esprit que les éléments cartographiés sont des formations géologiques (caractérisées par un âge et des conditions de mise en place) lesquelles ne correspondent pas nécessairement à une lithologie homogène. Enfin, il faut souligner que les formations superficielles de faible extension, qui sont souvent le siège de glissements ou d'éboulements, sont parfois mal représentées sur ces cartes. Les visites de terrain permettent alors d'améliorer cette connaissance.

b) La géométrie des terrains

La pente des versants constitue l'un des facteurs importants de prédisposition. La répartition spatiale de ce paramètre peut être approchée dans un premier temps par l'exploitation d'un modèle numérique de terrain (MNT).

A noter à Bar-sur l'Aube, l'influence que crée l'incision de l'Aube dans la vallée et plus particulièrement en contrebas de la colline Ste Germaine. Elle engendre un appel au vide des formations géologique situées sur les versants.

Par ailleurs, la présence d'un thalweg influe sur la stabilité des terrains, notamment en période de mise en charge. En effet, les thalwegs sont le lieu de concentration des eaux d'écoulements qui peuvent mobiliser les matériaux déstructurés.

c) La structuration des formations géologiques à l'affleurement

Le degré de fracturation et l'altération des affleurements rocheux constituent un facteur de prédisposition dont le rôle est prépondérant, en ce qui concerne du moins les phénomènes de chutes de blocs. Or ce paramètre n'est connu que de manière très locale (relevés ponctuels de fracturation à l'échelle d'un affleurement).

De la même façon, les discontinuités des formations géologiques à l'affleurement constituent aussi un facteur de prédisposition important. L'épaisseur des bancs calcaires influe souvent sur leur degré de fracturation (les joints de sédimentation faisant office de discontinuité).

Le pendage d'une formation lithologique joue également un rôle non négligeable et peut, suivant son orientation, modifier le niveau d'aléa établi principalement suivant la lithologie et la pente. Un affleurement affecté d'un pendage aval sera plus sensible à l'amorce de chutes

de blocs ou d'éboulements, à contrario celui affecté d'un pendage amont favorisera la création de surplombs.

Ici, les déformations tectoniques importantes par plis ou failles sont inexistantes. Les formations géologiques ont un pendage régulier et généralement faible, dans le sens de l'ennoyage du Bassin de Paris, c'est-à-dire E-W à SE-NW.

d) *L'occupation du sol*

Elle modifie les conditions d'infiltrabilité du sol et de ruissellement des eaux de surface mais aussi la stabilité de certains versants. Ainsi, le poids d'arbres faiblement enracinés peut augmenter le risque de glissement superficiel dans des pentes déjà proches de la rupture. De plus, les racines des arbustes poussant en paroi rocheuse s'insinuent dans les fractures et peuvent, à terme, favoriser sa déstabilisation. A l'inverse, la présence d'un boisement en pied de paroi rocheuse ou dans la pente peut dans une certaine mesure constituer une protection contre les chutes de pierres et de blocs et limiter les distances de propagation.

4.2.2. Facteurs de déclenchement des mouvements de terrain

Naturels ou anthropiques, ces facteurs ne seront pas pris en compte pour l'établissement de la carte d'aléa mouvements de terrain. En effet, la répartition spatiale de ces facteurs est mal connue et peut présenter de grandes variabilités locales. Ces facteurs, d'autre part, évoluent au fil du temps, souvent de manière difficilement prévisible.

e) *La pluviométrie*

De tous les facteurs de déclenchement des phénomènes de mouvements de terrain, la pluviométrie est certainement le facteur naturel prépondérant. En effet, la teneur en eau des terrains modifie leurs caractéristiques mécaniques et donc leur état de stabilité. Les glissements peuvent être générés par une perte de cohésion des terrains due à leur saturation. De même, une mise en charge de la nappe conduit à une chute de la contrainte effective dans les terrains et donc à une diminution de leur résistance au cisaillement. Dans une moindre mesure, les chutes de blocs peuvent aussi être activées par une mise en charge de l'eau dans les joints de stratification ou de schistosité.

f) *Le gel-dégel*

Le gel et le dégel peuvent occasionner des instabilités notamment dans les massifs rocheux. En effet, l'infiltration d'eau dans les fissures accompagnée d'une gelée peut entraîner l'ouverture des fissures et donc la chute de blocs. De même, la fonte tardive de « coins » de glace dans les fissures peut conduire à un colmatage de celles-ci favorisant leur mise en pression lors d'épisodes pluvieux ce qui peut provoquer la chute de blocs ou des éboulements.

g) La modification du profil topographique

La modification, surtout si elle est brutale, du profil de la topographie peut provoquer des instabilités de talus ou de versants. En effet, suite à un glissement avec une niche d'arrachement profonde, d'autres mouvements de terrain peuvent se déclencher. Le plus souvent, c'est l'homme qui provoque de telles instabilités lors de travaux (déblais, remblais...).

L'action anthropique constitue, avec la pluviométrie, un facteur déterminant. L'homme façonne la topographie par des terrassements destinés à des aménagements divers (construction, voirie, réseaux...).

4.3. DONNEES EXPLOITEES

La cartographie des zones d'instabilité potentielle est obtenue par combinaison des cartes de répartition des différents facteurs susceptibles de participer à l'instabilité des terrains. La caractérisation et l'évaluation des critères visant à déterminer la susceptibilité pour chaque facteur de causalité sont établies suivant une démarche d'expert.

Cette démarche permet, dans un premier temps, notamment pour le phénomène de glissement de terrain, de mettre en avant les zones les plus susceptibles de présenter des instabilités et donc d'orienter les visites de terrain.

4.3.1. Carte géologique

Sur la carte géologique, un total de 5 faciès a été identifié sur les zones d'étude (Illustration 8). L'analyse et la caractérisation des formations permettent de déterminer pour chacune d'entre elles un niveau de susceptibilité lithologique par type de mouvement de terrain. Ce niveau de susceptibilité (2.2.1- Géologie de la zone d'étude et prédisposition au mouvement de terrain) est établi suivant une méthode d'expertise en caractérisant les formations géologiques au regard de l'occurrence d'un type de phénomène. Cette analyse est réalisée en se basant sur :

- la description géologique des faciès permettant d'apprécier la « tenue » des formations ;
- l'inventaire évènementiel et la cartographie des phénomènes actifs.

4.3.2. Carte des pentes

La pente des versants constitue un facteur de prédisposition déterminant. Un MNT au pas de 25m a été modélisé à partir des courbes de niveaux issues de la BD Topo de l'IGN (Illustration 28). La modélisation utilisée est l'outil « Topo vers raster » du logiciel ArcView. Au cours de l'étude, la DDT de l'Aube a transmis au BRGM un MNT LIDAR au pas de 1 m (Illustration 29) sur une bonne moitié de la zone d'étude et notamment la zone de glissement de mars 2014. Il reste toutefois une partie de la carte au pas de 25 m au sud-ouest.

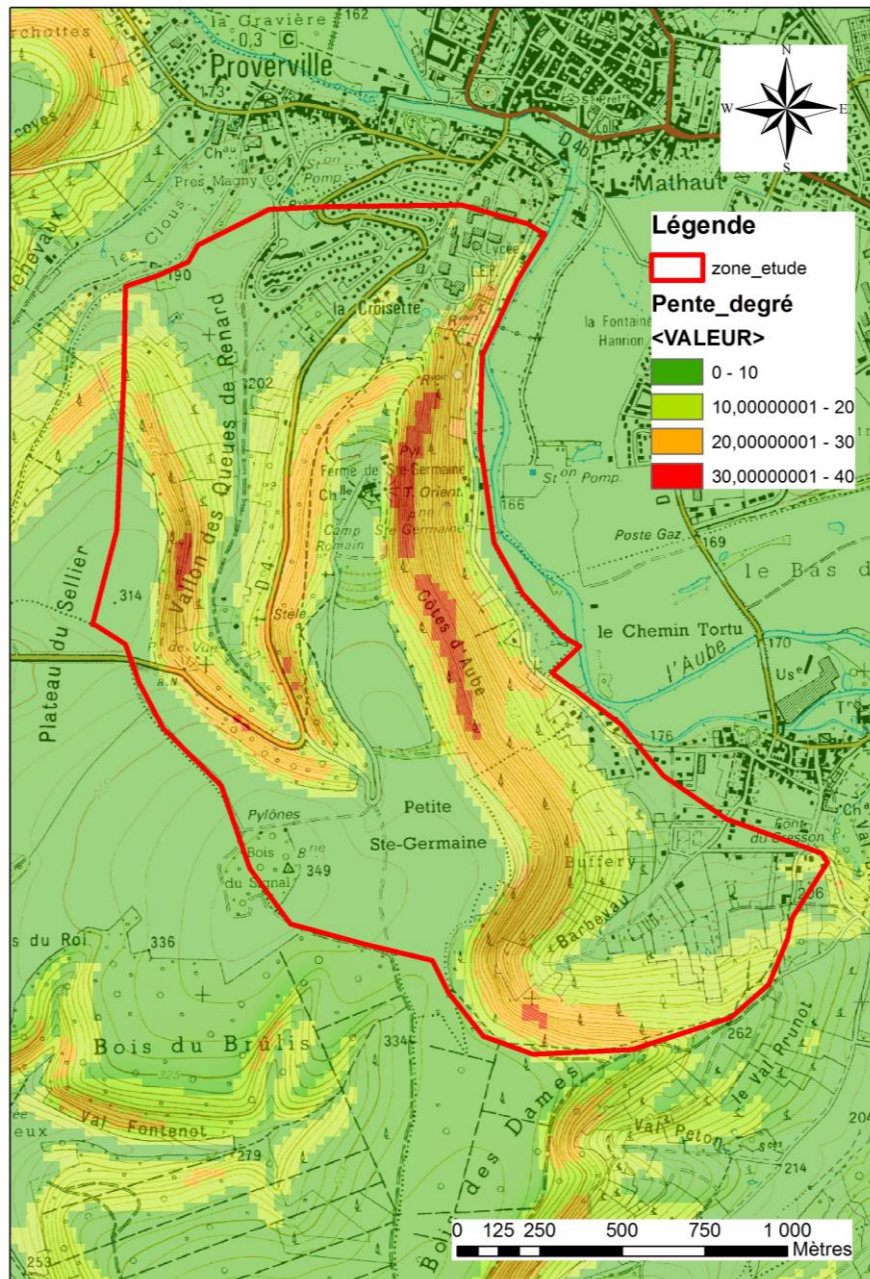


Illustration 28 - Extrait de la carte des pente avec le MNT 25 sur fond IGN 1/25 000

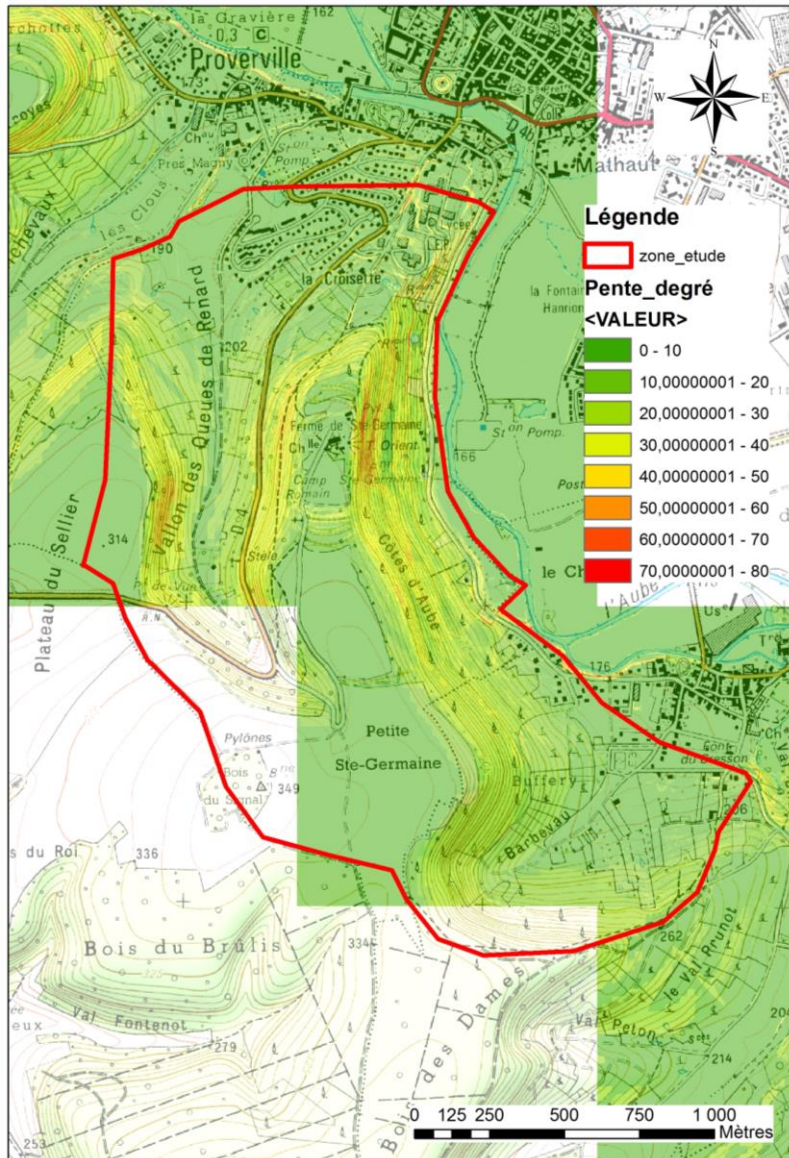


Illustration 29 - Extrait de la carte des pente des dalles au pas de 1 m disponible sur fond IGN 1/25 000

4.3.3. Photographies aériennes

L'exploitation des photographies aériennes permet, d'une façon générale, d'identifier les indices précurseurs, les formes caractéristiques et les facteurs de prédisposition à une échelle pertinente pour localiser et cartographier les évènements passés, les mouvements déclarés et les zones de stabilité incertaine.

Une analyse historique des photos-aériennes sur les bases données historiques de géoportail ne permet pas d'identifier un changement majeur du versant. En 1948 (date du plus ancien cliché), il est plus clairsemé à partir de la mi-pente sans doute à cause de cultures céréalière et/ou maraichère plus développées.

4.4. VISITES DE TERRAIN

Les visites de terrain permettent de préciser les nombreuses informations recueillies par ailleurs. Ainsi, l'analyse et le croisement des différentes informations (cartes géologiques, MNT, photographies aériennes, inventaire...) permet de déterminer un certain nombre de facteurs intervenant dans la survenance des phénomènes et en conséquence, d'apporter un début d'explication. Néanmoins, et notamment à l'échelle de travail de cette étude, les missions de terrain sont nécessaires pour vérifier les hypothèses retenues et préciser les informations.

Les visites de terrain ont eu lieu à plusieurs périodes différentes : fin février, début mars, mi-mars, début septembre et fin septembre.

Ces visites ont permis de repérer de nombreux indices liés à la morphologie des terrains (moutonnement, rupture de pentes atypique...), à la circulation des eaux (sources, écoulement, saturation des terrains, végétation...), aux indices de mouvements de terrain (fluage, glissement de talus routier, fissures dans les habitations, arbres penchés...). Ils sont décrits dans le paragraphe « Inventaire des mouvements de terrains ».

5. Cartographie de l'aléa glissement de terrain

5.1. DEMARCHE EMPLOYEEE

5.1.1. Géomorphologie de la vallée de l'Aube

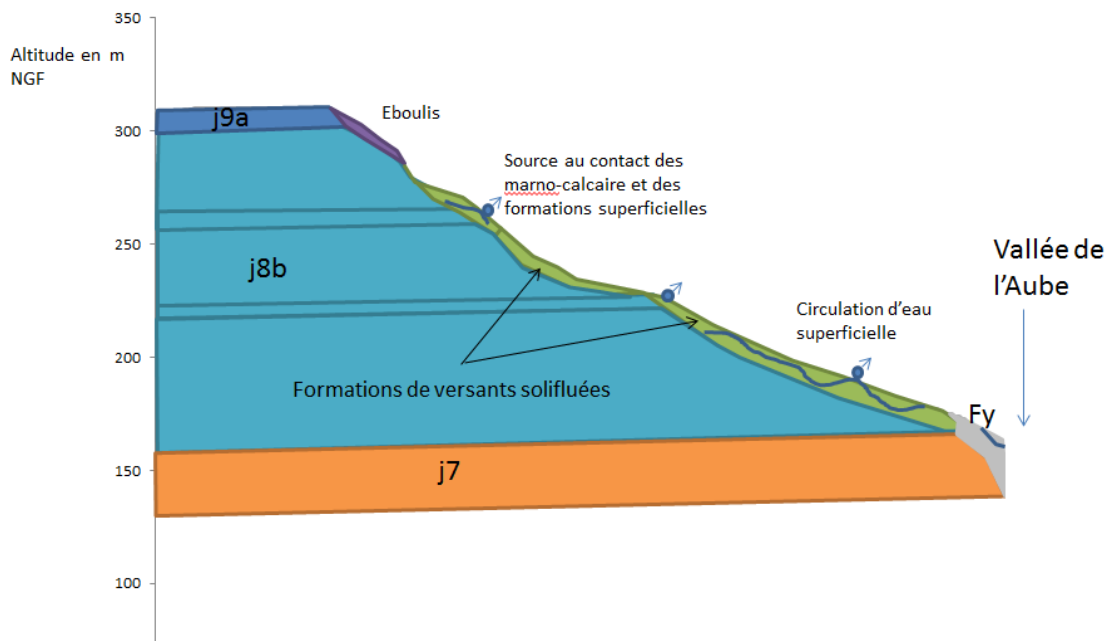


Illustration 30 – Coupe schématique de la vallée de l'Aube (profil issu du levé LIDAR)

La vallée de l'Aube à Bar-sur Aube présente très peu d'affleurements. Les seuls visibles se situent souvent dans les talus haut des vignes et laissent apparaître des marnes très argileuses et des calcaires en plaquette (j8b). Cette formation géologique se révèle être propice à l'apparition de glissements de terrain de par ses mauvaises qualités géomécaniques. Par ailleurs, elle est recouverte de formations colluvionnées (formations de versant) à dominantes argileuses. Cet ensemble est surmonté par une formation calcaire (j9a) recouvertes d'éboulis.

La vallée est large et très entaillée au niveau de la colline Ste Germaine puisque le versant se situe dans une rive concave. Les pentes, au sein du Kimméridgien vont en moyenne de 5 à 30° avec des zones très pentues de 60° en aval de la ferme Ste Germaine. Les pentes s'accroissent à l'affleurement des formations calcaires.

L'alternance marno-calcaires du Kimméridgien (j8b) conduit à plusieurs niveaux de sources entre ces deux formations imperméables et perméables. Ces sources se réinfiltrent au sein des formations superficielles et des éboulis argileux de la formation. La circulation souterraine de ces eaux est très changeante et mouvante. Elle donne lieu à l'apparition puis disparition de sources. Il n'y a pas vraiment de nappe dans ce massif mais des circulations anarchiques (Illustration 31).



Illustration 31 – Source en pied de versant

5.1.2. Croisement de la pente et de la géologie

Les formations géologiques présentes sur le territoire ont une sensibilité distincte les unes des autres vis-à-vis du phénomène de glissement de terrain. Suivant la pente observée pour chacune des formations géologiques, un niveau de susceptibilité au phénomène peut être affecté.

Les autres paramètres, en particulier l'eau, intervenants dans l'apparition d'un phénomène sont donc ici écartés car non continu, diffus et « noyé » dans la pente. Ainsi en première approche et en liaison avec l'expertise de terrain et la rétro-analyse qu'elle implique, on obtient :

- Pour les formations j8b de marno-calcaires et les marno-calcaires considérés comme recouvertes de formations colluvionnées, il est estimé :
 - une susceptibilité nulle à faible pour une pente inférieure à 5° ;
 - une susceptibilité faible pour une pente comprise entre 5 et 10° ;

- une susceptibilité moyenne pour une pente entre 10 et 20° ;
 - une susceptibilité forte pour une pente entre 20 et 40° ;
 - une susceptibilité très forte pour les formations colluvionnées dont la pente dépasse 40°.
- Pour les formations marno-calcaire (j8b) recouvertes d'éboulis et les alluvions (Fy) :
- une susceptibilité nulle à faible pour une pente inférieure à 5°;
 - une susceptibilité faible pour une pente comprise entre 5 et 10° ;
 - une susceptibilité moyenne pour une pente entre 10 et 30° ;
 - une susceptibilité forte pour une pente entre supérieur à 30°.
- Pour la formation calcaire j9 et considéré comme à certains endroits recouverts d'éboulis (ces éboulis ont été cartographiés lors des visites de terrains) :
- une susceptibilité nulle à faible pour une pente inférieure à 5° pour les éboulis et faible jusque 20°;
 - une susceptibilité nulle à faible pour les calcaires jusque 35 ;
 - Au-delà, cette susceptibilité est rattachée à de la chute de blocs.

		Pentes en degré °						
		0-5	5-10	10-20	20-30	30-40	>40°	
Formations affleurantes	Formations colluvionnées sur Marno-calcaire	Nul à faible	Faible	Moyen	Fort	Fort	Très fort	
	Marno-calcaire		Faible	Moyen	Fort	Fort	Fort	
	Alluvions		Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort	
	Eboulis sur marno-calcaire		Faible	Moyen	Moyen	Fort	Fort	
	Eboulis sur calcaires		Faible	Faible	-	-	CDB	CDB
	Calcaires		Nul à faible	Nul à faible	-	-	-	CDB

Illustration 32 - Matrice de susceptibilité aux glissements de terrain

En toute rigueur, cette formation calcaire n'est pas sujette au phénomène de glissement de terrain. Néanmoins, les éboulis (Illustration 33) qui la surchargent sont eux sujets à ce phénomène. Cette susceptibilité est très variable et dépend de l'état d'altération du matériau (présence de minces barres calcaires ou de cailloutis), de la proportion d'argile ou de limons, de la saturation en eau...



Illustration 33 – Eboulis recouvrant la formation j9a

Ce premier croisement basé sur la géologie, les formations superficielles identifiées et l'hydrogéologie a conduit à la carte de susceptibilité suivante :



Illustration 34 – Carte de susceptibilité aux glissements de terrain « brute »

5.1.3. L'eau dans les terrains

L'eau est un facteur primordial dans le déclenchement des glissements de terrain. En effet, de par son action, l'eau altère les matériaux et réduit leurs propriétés géomécaniques. Suivant la teneur en eau du matériau, son comportement est solide, plastique ou liquide.

Comme signalé précédemment, la circulation des eaux souterraines est très changeante et mouvante. La situation actuelle ne reflète pas la situation possible dans 50 ans.

Ainsi, le facteur « eau » n'est ici pas considéré comme discriminant pour différencier une zone d'une autre. De fait, et en se plaçant dans une situation défavorable, ce facteur est considéré comme homogène sur l'ensemble de la zone d'étude ou, du moins, pouvant être à l'origine en tout point d'un glissement de terrain.

Cette apparente non prise en compte ne doit cependant pas masquer l'essentiel : la maîtrise de l'aléa glissement de terrain s'obtient en grande majorité par la maîtrise des eaux souterraines et de surface. La présence d'eau est implicitement prise en compte justement dans les classes de pente proposées même si elle n'est pas présente partout.

5.1.4. Expertise du terrain

Les visites de terrain ont permis d'apporter des informations complémentaires essentielles, notamment d'apprécier le contexte géomorphologique de la vallée et de définir des seuils de pente.

Au final, elles ont permis de définir les zones soumises à l'aléa « glissement de terrain », (niveaux d'aléa nul à faible, faible, moyen et fort) et les événements connus (pour lesquels un niveau d'aléa moyen à fort est attribué en fonction de la probabilité d'occurrence et l'intensité) et non stabilisés en totalité.

Ces visites ont également permis d'observer si des dommages étaient visibles sur les habitations et le lycée Bachelard et ont ainsi pu affiner le niveau d'aléa de certaines zones qui peuvent apparaître en susceptibilité forte alors qu'elles sont en réalité au niveau de talus routiers. D'autre part, la géologie a été retracée puisque certaines zones en j8b (marno-calcaire) ne sont parfois que des calcaires et induisent donc préférentiellement de la chute de blocs plutôt que du glissement de terrain.

5.2. CARACTERISATION DE L'INTENSITE

L'estimation du niveau d'aléa résulte de la conjonction de plusieurs critères, avec un « poids » prépondérant pour la géologie et les pentes. Le croisement entre la géologie et les pentes permet d'élaborer une matrice de susceptibilité (Illustration 32) dont les intensités sont définies qualitativement à partir d'une évaluation empirique de la prédisposition ou susceptibilité plus ou moins forte d'un site au phénomène concerné. Les résultats obtenus par cette approche méthodologique répondent aux définitions du guide méthodologique Plans de Prévention des Risques (PPR) mouvement de terrain (MEDDE). Ainsi l'intensité

peut-être évaluée en fonction de l'importance et de l'ordre de grandeur du coût des mesures qu'il pourrait être nécessaire de mettre en œuvre pour s'en prémunir. Des classes d'intensités croissantes peuvent être identifiées selon que ces mesures sont du ressort d'un propriétaire individuel, d'un groupement de propriétaires, d'un promoteur ou d'un aménageur, ou qu'elles débordent largement le cadre parcellaire et qu'elles nécessitent une intervention et un investissement collectifs. Le tableau suivant, extrait du guide PPR, propose un exemple de classification :

Niveau d'intensité	Niveau d'importance des parades	Exemples de mesures de prévention
Faible	Supportables financièrement par un propriétaire individuel.	Purge de quelques blocs instables en falaise, confortement d'une petite galerie par pilier maçonné.
Moyenne	Supportables financièrement par un groupe restreint de propriétaires (immeuble collectif, petit lotissement).	Comblement d'une cavité souterraine, drainage d'une zone instable.
Forte	Intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire et/ou d'un coût très important et/ou techniquement difficile.	Stabilisation d'un glissement de terrain important, confortement d'un pan de falaise instable.
Majeure	Pas de parade technique.	Phénomène de grande ampleur tel que les glissements de Séchilienne ou La Clapière.

Illustration 35 - Niveau d'intensité suivant le guide méthodologique (MEDDE, 1999)

5.3. CARACTERISATION DE L'ALEA ET CARTOGRAPHIE

Pour l'ensemble de la zone d'étude, une carte d'aléa « glissement de terrain » a été dressée avec des zooms (Annexe 3). Cette carte est représentée et valable à l'échelle $1/10\,000$ sur fond OrthoPhoto (Illustration 36).

Les niveaux d'aléa rencontrés sont : nul à faible, faible, moyen et fort.

5.4. INDICATION SUR LA PROPAGATION

Un tampon de 10 m a été affecté à chaque couche en empiétant sur l'aléa le plus fort pour prendre en compte la propagation d'une éventuelle coulée. Ce tampon a été retenu en fonction des éléments de propagation rencontrés sur le terrain et référencé dans l'illustration 26.

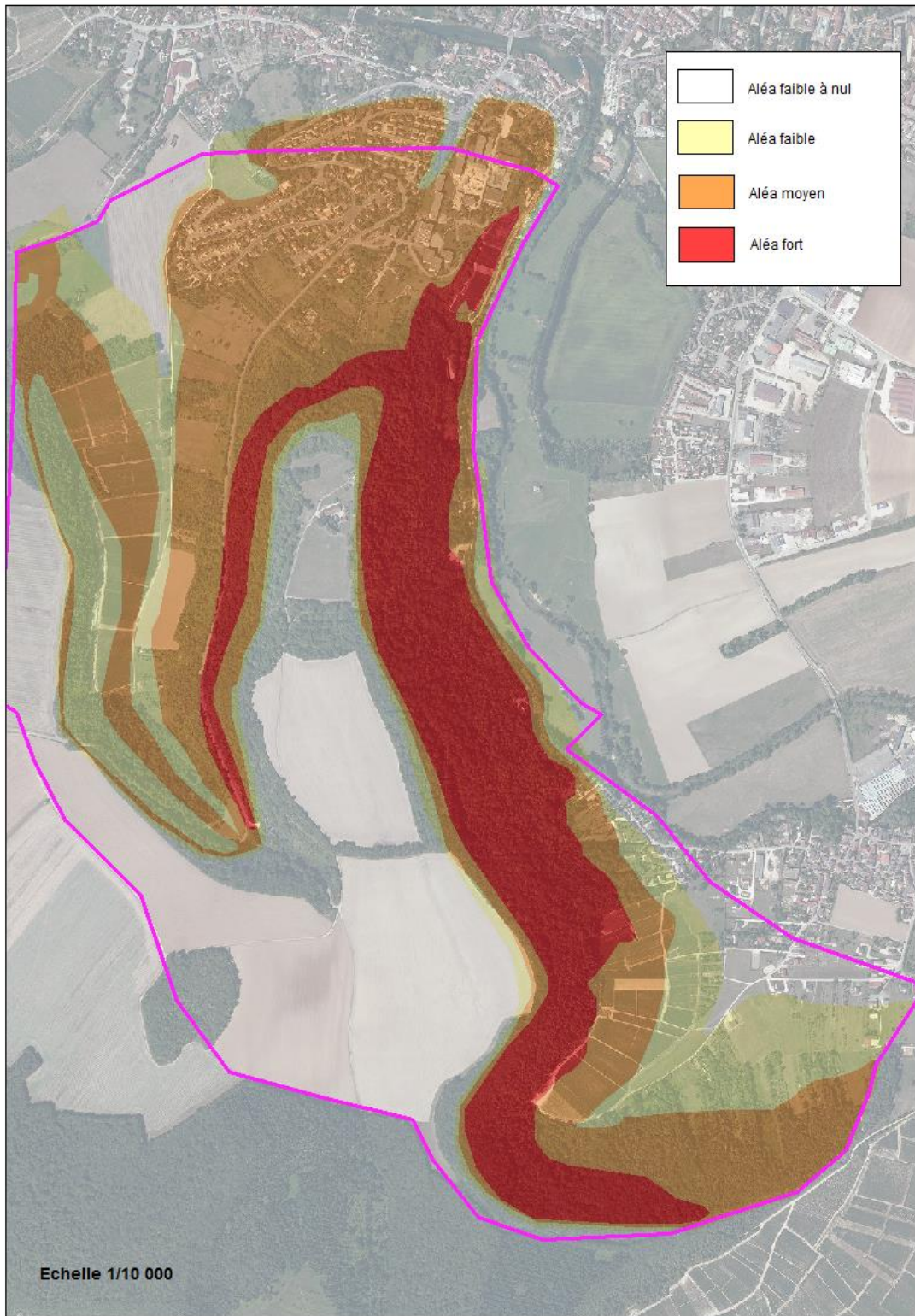


Illustration 36 – Carte de l'aléa glissement de terrain résultante

6. Cartographie de l'aléa chute de blocs

L'évaluation de l'aléa chutes de blocs et éboulements rocheux s'effectue en déterminant dans un premier temps les zones de départ potentiel puis les conditions probables de propagation des masses éboulées.

6.1. CARTE DE L'ALEA DE DEPART

L'aléa de départ porte sur l'analyse de l'ensemble du territoire et a pour objectif la délimitation des secteurs sur lesquels un risque est ou pourrait être présent. Cette démarche s'appuie une cartographie géomorphologique.

6.1.1. Campagne de terrain

La composante géomorphologique de l'aléa a été définie entièrement à dire d'expert lors de campagnes de terrain. Les affleurements ont été observés et sont présentés dans le chapitre 2. Inventaire historique des mouvements de terrain. Concernant les zones de départ potentielles observées, trois sont représentées dans la zone d'étude :

- Les chutes de blocs de mars 2014 (paragraphe 2.1.2, rapport BRGM RP-63522-FR) ;
- Les chutes de blocs en amont du Vallon des Queues de Renard (détaillé dans le paragraphe 2.2.3 (illustration 8) ;
- Les chutes de pierre observées dans la rue Pierre Brosselette (illustration 15).

Les chutes de blocs de Mars 2014 n'ont pas montré de signe précurseur si ce n'est une pente très forte (supérieure à 45°) et les blocs se situaient en partie dans les marno-calcaires du kimméridgien c'est pourquoi nous avons identifié cette zone comme une zone d'aléa de départ potentiel. Egalement, les affleurements de calcaires Portlandien et Kimméridgien étant rare, les campagnes de terrain ont permis de délimiter la couches géologiques susceptibles de créer des chutes de blocs : les éboulis calcaire dont la pente est supérieure à 20° et les calcaires dont la pente est supérieure à 40°.

6.1.2. Critères retenus

Plusieurs critères ont été retenus pour évaluer le niveau d'aléa de départ. 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 ou le degré d'altération de la couche géologique susceptible de créer des blocs.

Un croisement de ces deux paramètres selon la matrice suivante a été effectué pour obtenir la carte d'aléa de départ. Par exemple pour le phénomène de référence de mars 2014, la probabilité d'occurrence est forte et l'intensité modérée. L'aléa de départ obtenu est fort (illustration 37).

Intensité				
Probabilité d'occurrence	Faible	Modérée	Elevée	Très élevée
Faible	Faible	Moyen	Fort	Majeur
Moyenne	Moyen	Fort	Fort	Majeur
Forte	Fort	Fort	Fort	Majeur

Illustration 37 – Matrice de décision sur les zone de départ

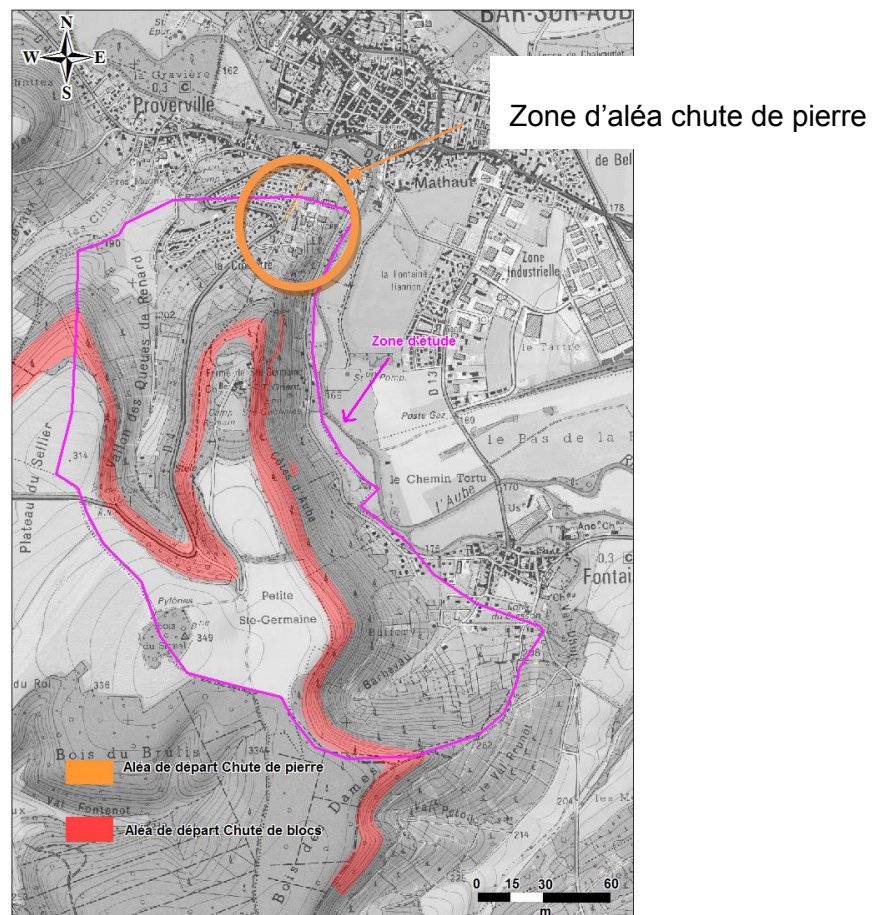


Illustration 38 – Zone de départ potentiel identifiée sur le terrain

6.1.3. Aléa chute de pierre

L'aléa chute de pierres, relevé sur le terrain, a également été pris en compte dans la cartographie. Cette 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.

La zone concernée chute de pierre est représenté sur l'illustration 38.

6.2. ZONE 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 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.

6.2.1. Méthode des cônes

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 39).

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.

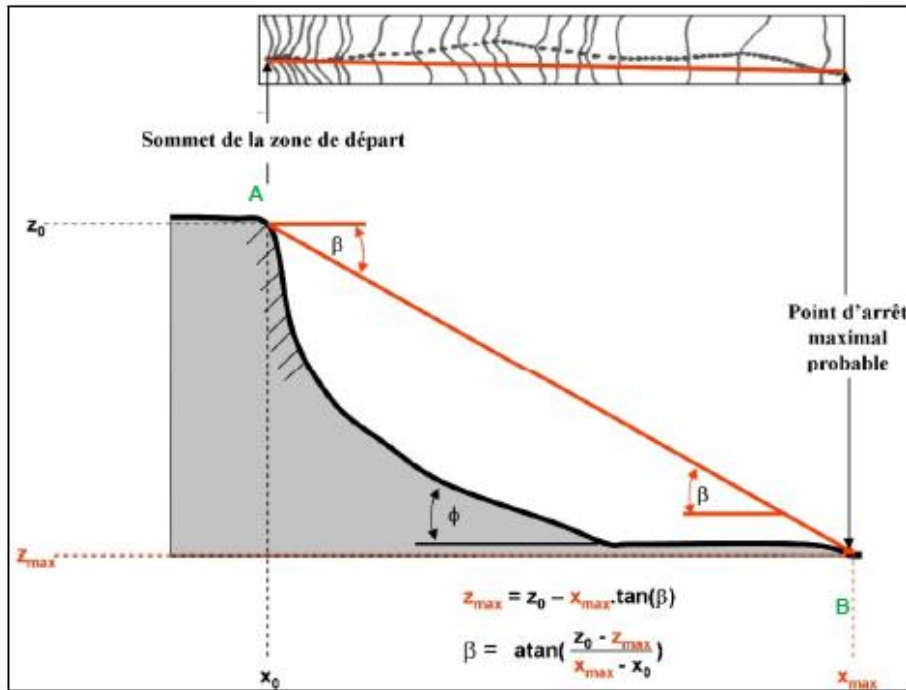


Illustration 39 - Représentation schématique du principe de la ligne d'énergie . A : zone de départ, B : point d'arrêt maximal probable. β angle de la ligne d'énergie (Collectif, 2008)

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 40 - 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.

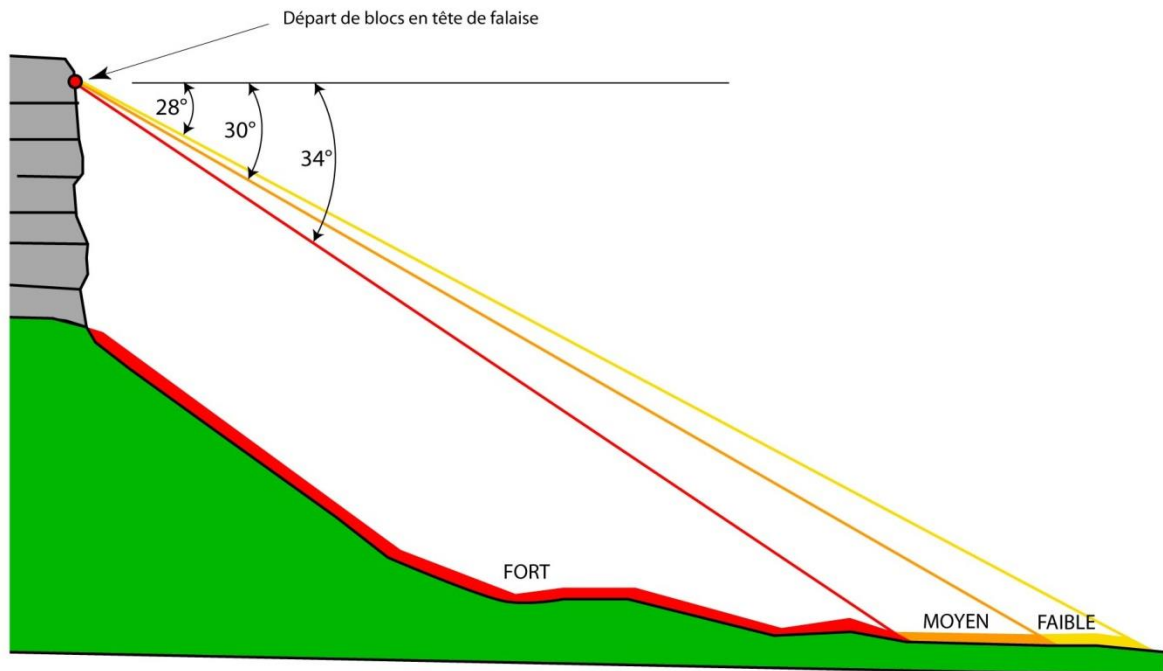


Illustration 40 - Seuils de pente de la ligne d'énergie utilisés dans le cadre d'affleurement surplombant un versant en pente

Comme évoquée, cette méthode empirique n'est utilisable que sur des sites dans lesquels la zone de propagation des blocs est en pente. Pour appuyer cette méthode, quelques essais sur un logiciel de trajectographie ont permis de confirmer la propagation.

6.2.2. Pierre98

A titre informatif et de comparaison/complément avec la méthode des cônes, trois profils de pente ont été réalisés sur un logiciel de trajectographie : Pierre 98.

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

Une douzaine de profil sur des zones d'affleurement rocheux ou présentant les mêmes caractéristiques que l'éboulement de mars 2014 a été établi (Illustration 41) en prenant en compte le fond topographique des cartes IGN au 1/25000, le MNT au pas de 25 m lorsque le

levé LIDAR n'était pas disponible, mais aussi les schémas relevés pendant les campagnes de terrain. Ces profils ont ensuite été intégrés dans le logiciel Pierre98.

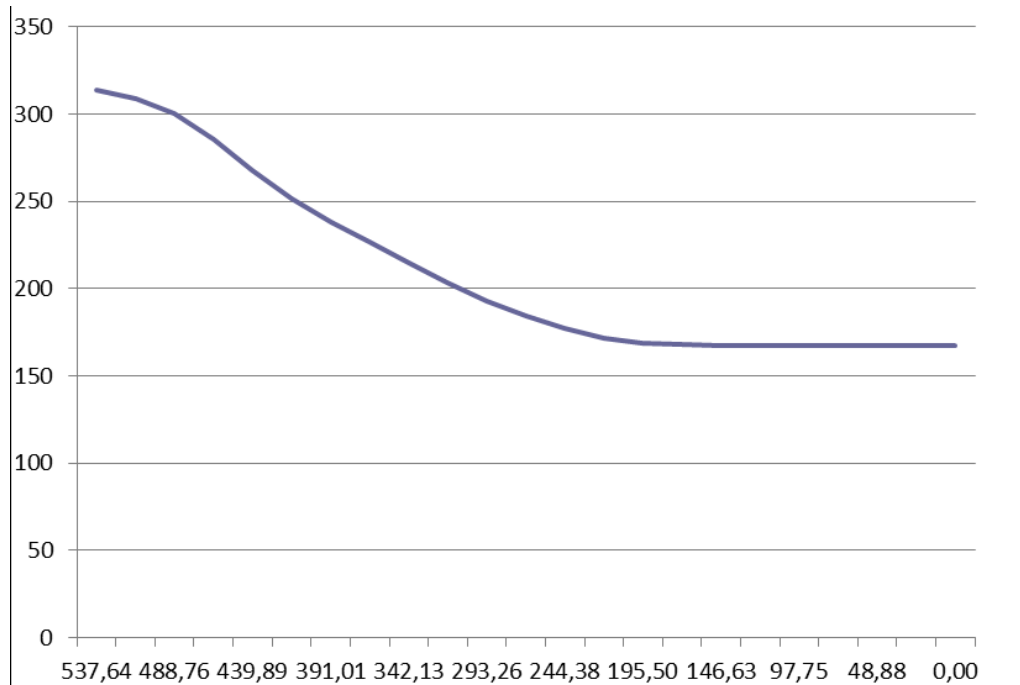


Illustration 41 - exemple de profil excel extrait sous arcgis (Colline Ste Germaine)

a. Modélisation

Après avoir défini le type de blocs et attribué les types de surfaces correspondant aux différents segments du profil, le logiciel calcule les trajectoires en mode probabiliste. 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.

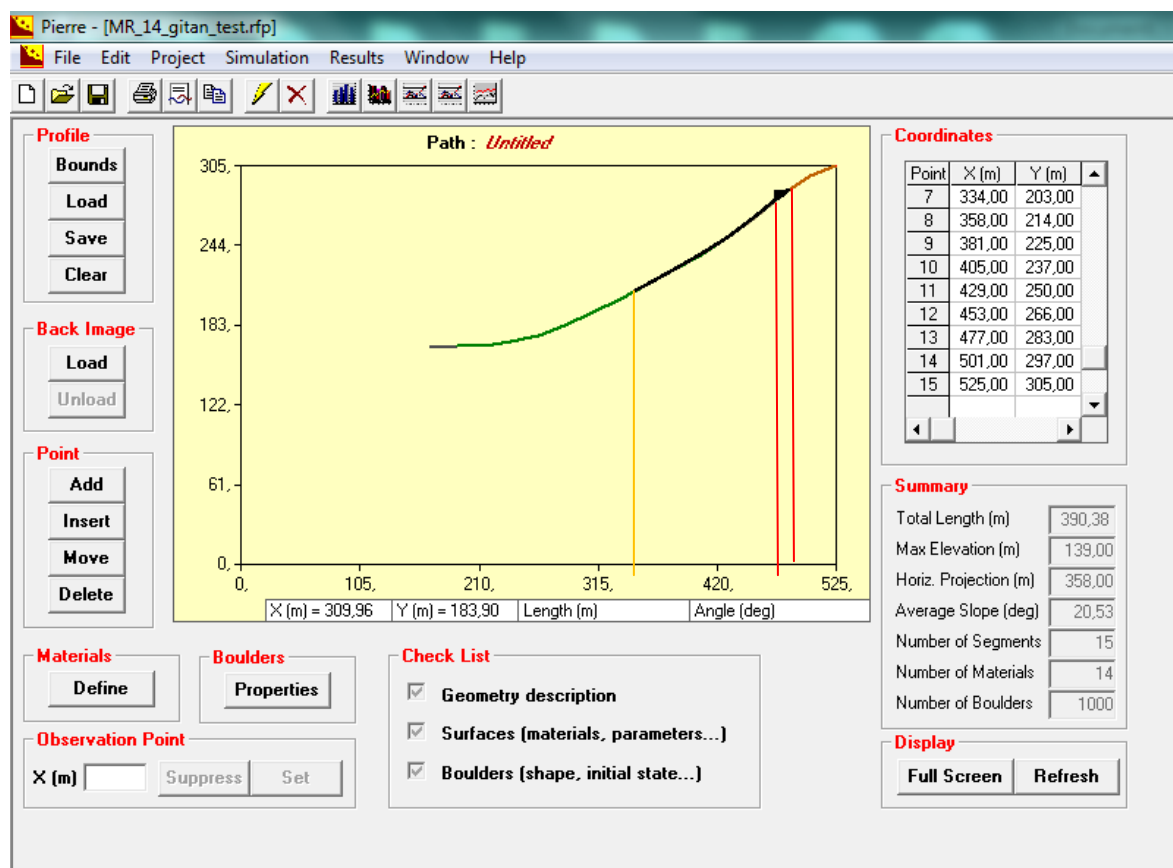


Illustration 42 : Résultat de la simulation (exemple pour 1000 blocs lancés).

Il est possible de voir sur cette fenêtre que la plupart des blocs lancés s'arrêtent en début de trajectoire (entre 477 et 471 en abscisse, ligne rouge). Seulement quelques un poursuivront jusque 347 en abscisse (ligne orange). Sur ce profil simulé en aval de la colline Ste Germaine, sur le terrain, les blocs se sont arrêtés d'abord dans la pente sur les dix premier mètres et un bloc a poursuivi 40 m plus loin. Ces données sont concordantes.

6.2.3. 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, 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 fixé à 15° de part et d'autre de la ligne de plus grand pente.). 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.

6.3. CARTOGRAPHIE

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.

D'une façon plus générale, nous nous sommes grandement inspirés des critères énoncés dans l'illustration 43 issus d'une méthodologie BRGM (MASSA, Marçot et al., 2011).

Niveau d'aléa chutes de blocs	Définition	Critères d'identification
Fort	<p>Forte probabilité d'apparition de chutes de blocs et intensité forte en cas d'occurrence.</p> <p>Très forte probabilité d'apparition de chutes de blocs et intensité moyenne en cas d'occurrence.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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'ébouler • Pente forte à très forte (sup à 30°), avec blocs épars déchaussés, posés sur le versant.
Moyen	<p>Faible à moyenne probabilité d'apparition d'éboulements et intensité moyenne en cas d'occurrence.</p> <p>Moyenne probabilité d'apparition de chutes de blocs et intensité moyenne en cas d'occurrence.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 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'ébouler • Falaise de hauteur supérieure à 10 m avec formation rocheuse homogène et moyennement fracturée.
Faible	<p>Déstabilisation de blocs épars sur versant de pente moyenne (20 à 30°)</p> <p>Probabilité faible de la propagation d'un bloc détaché d'une falaise jusqu'à cette zone et intensité faible en cas d'occurrence</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Falaises avec peu de fractures, sans instabilités visibles • Pente moyenne à faible • Abrupts de hauteur < 3m, quel que soit l'état de stabilité

Illustration 43 – Définition et critères d'évaluation des niveaux d'aléa chute de blocs (d'après Marçot et al., 2011)

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, (Illustration 44)). 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 38).

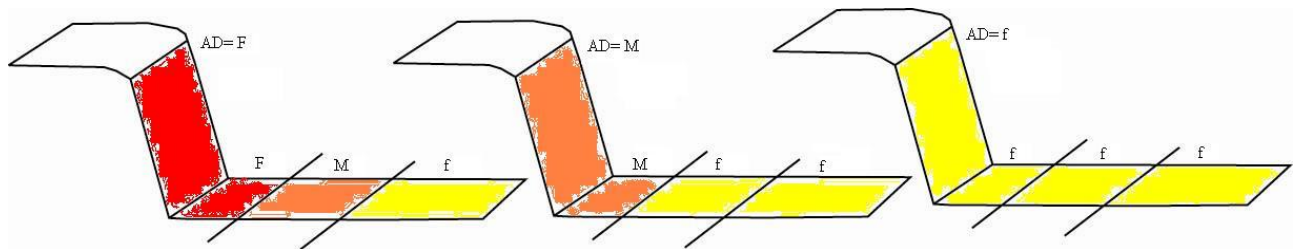


Illustration 44 : Schéma de principe de la pondération de l'aléa lié à la propagation en fonction de l'aléa de départ (AD). F= Fort, M=Moyen, f=faible

Les niveaux d'aléa rencontrés sont : l'aléa faible, moyen et fort.

L'aléa chute de pierres a été pris en compte au niveau de la rue Marie Curie à Bar-sur-Aube et en amont du vallon des queues de Renard où l'aléa chute de blocs laisse ensuite place à de l'aléa chute de pierre.

Pour l'ensemble du territoire d'étude, une carte d'aléa « chute de blocs » a été dressée (Illustration 45). Cette carte est à l'échelle $1/10\,000$ sur fond Orthophoto.

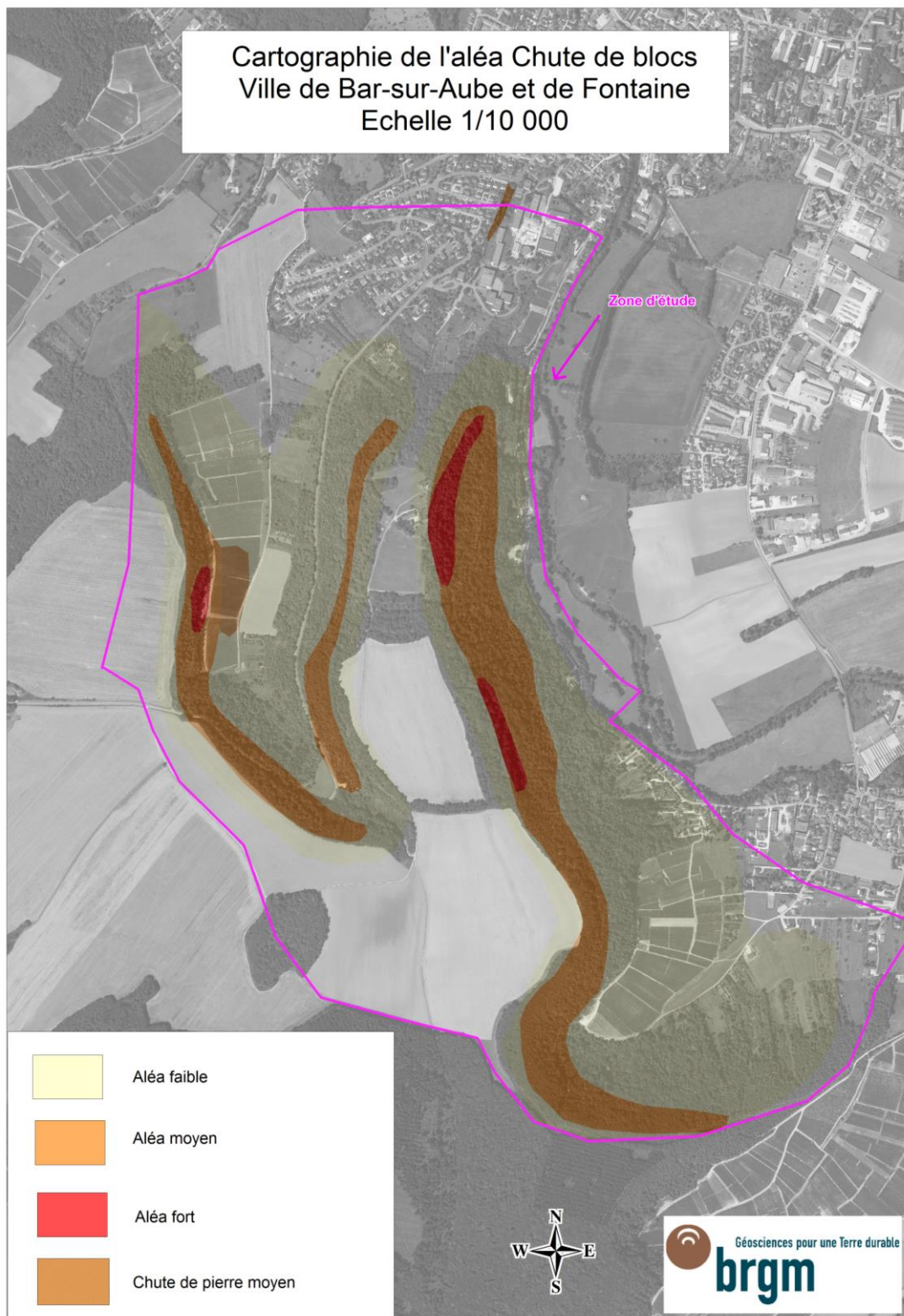


Illustration 45 - Carte de l'aléa chute de bloc résultante (échelle 1/10 000)

7. Proposition de mesures réglementaires à destination des services de l'Etat

7.1. PRECONISATIONS GENERALES

7.1.1. Généralités

Au vu de l'évaluation du risque, c'est-à-dire de la présence à la fois d'un aléa et d'un enjeu, il s'agit ici de proposer des mesures de prévention à caractère réglementaire tant en matière d'études ou de travaux à réaliser par les collectivités publiques qu'en mesures d'adaptation des bâtiments et des ouvrages existants ou futurs afin de réduire leur vulnérabilité. Ces mesures préconisées peuvent être réalistes au regard des coûts engendrés pour la collectivité ou le particulier, et adaptées au contexte local rencontré.

Les mesures proposées favorisent à la fois l'aménagement parcellaire et l'aménagement global, pour la gestion des eaux notamment. Les travaux à réaliser doivent être envisagés à une échelle cohérente vis-à-vis du risque.

7.1.2. Les eaux souterraines et de surface

Le facteur « eau » étant prédominant dans le déclenchement de nouveaux glissements ou la réactivation de phénomènes anciens, une gestion raisonnée des eaux de surface et également des eaux souterraines est nécessaire. La plupart des mesures sont de bon sens : il convient notamment d'empêcher une infiltration concentrée de grandes quantités d'eau et on veillera en outre à constituer et/ou entretenir un aménagement hydraulique adéquat.

a) La circulation des eaux

Suivant le niveau de la nappe, celui-ci donne lieu à l'apparition de sources au sein du versant.

Ces eaux, ensuite, se réinfiltrent plus en aval et ressortent en pied de versant.

La circulation des eaux est très changeante et mouvante. En effet, par exemple, entre deux points distants d'environ 50 m, le niveau d'eau est différent. Par ailleurs, la présence de plusieurs résurgences au niveau de la route entre Fontaine et Bar-sur-Aube (lors de nos différents passages) confirme que l'eau est très présente à l'échelle du versant.

b) Les aménagements rencontrés

La présence d'eau au sein de l'ensemble du versant a conduit la population locale à mettre en place des aménagements en adéquation avec leur besoin.

Au niveau des parcelles viticoles, l'eau est drainée par le chemin en amont et dirigée vers un puits. Sinon, l'écoulement des eaux s'effectue de façon naturelle pour la plupart des cas.

7.2. PROPOSITIONS PARTICULIERES

Pour ce paragraphe, il est possible de s'appuyer sur le tableau 6 du guide méthodologique des plans de prévention mouvement de terrain du MEDDE qui définit les principes de constructibilité en fonction de l'aléa et des enjeux existant ou à venir.

Tableau 6 : Principes de délimitation et de constructibilité

Aléa	Mesures de prévention	Espaces non urbanisés	Espaces urbanisés	
			non protégés	protégés*
Majeur	Impossibles techniquement.	Inconstructible		
Fort	Difficiles techniquement ou très coûteuses dépassant largement le cadre de la parcelle.	Inconstructible	Inconstructible	Inconstructible (exceptionnellement constructible sous conditions strictes).
Moyen	Dépassant le cadre de la parcelle cadastrale (généralement à maîtrise d'ouvrage collective) ou coûteuse.	Inconstructible	Inconstructible (exceptionnellement constructible sous condition de prise en compte des mesures ou après mise en œuvre de protections et révision du PPR).	Constructible sous condition d'entretien des ouvrages de protection.
Faible	Ne dépassant pas le cadre de la parcelle cadastrale (généralement à maîtrise d'ouvrage individuelle) ou d'un coût modéré.	Constructible sous condition de prise en compte des mesures de prévention inconstructible en cas de danger humain.	Constructible sous condition de prise en compte des mesures de prévention.	Constructible sous condition d'entretien des ouvrages de protection.

* La prise en compte d'ouvrages de protection inclue la nécessité d'entretien de ces ouvrages.

7.2.1. Pour l'aléa Chute de bloc

a) Aléa fort

Il n'existe pas d'enjeux en aléa fort. Le but d'un PPR étant de ne pas générer de risque, les projets nouveaux ne seront pas autorisés.

b) Aléa moyen

Il n'existe pas encore d'enjeux dans l'aléa moyen. L'objectif principal de cette zone est de permettre la construction tout en l'adaptant au risque. Afin de limiter la propagation de blocs, le déboisement et le défrichement des sols sont fortement déconseillés.

- **Réglementation des projets nouveaux**
 - Concevoir les façades, toitures et ouvertures exposées de façon à ce qu'elles puissent supporter l'impact de blocs ou mettre en place des écrans souples ou rigides en amont des constructions futures (ouvrage à maîtrise d'ouvrage collective ou protection individuelle)
- **Réglementation des projets sur les biens et activités existants**
 - Adaptation recommandée de la construction à l'impact de blocs, accès et ouvertures principales sur les façades non exposées, etc...
- **Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**
 - Sur les voies carrossables publiques, pose de panneaux de danger signalant les chutes de blocs tant qu'il n'y a pas d'ouvrages protecteurs en amont
 - Déboisement et défrichement des sols fortement déconseillés
- **Mesures sur les biens et activités existants**
 - Néant

c) *Aléa faible*

Il n'existe aucune contrainte au sein de cette zone. Il convient cependant de ne pas déboiser et défricher afin de limiter la propagation de blocs.

- **Réglementation des projets nouveaux**
 - Néant
- **Réglementation des projets sur les biens et activités existants**
 - Néant
- **Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**
 - Déboisement et défrichement des sols déconseillés
- **Mesures sur les biens et activités existants**
 - Néant

7.2.2. Pour l'aléa glissement de terrain

a) *Aléa fort*

L'objectif principal de cette zone est de ne pas augmenter le risque :

- en maîtrisant les enjeux (interdiction de constructions nouvelles)
 - en maîtrisant l'aléa (notamment interdiction de toute infiltration concentrée de grandes quantités d'eau)
- **Réglementation des projets nouveaux**
 - Toutes constructions interdites
 - **Réglementation des projets sur les biens et activités existants**
 - Extension limitée à moins de 20m², autorisée une seule fois.
 - **Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**
 - Maintien obligatoire de l'état boisé des terrains, interdiction de coupes rases de surface supérieure à 50 ares.

- Etude de stabilité obligatoire pour les affouillements et exhaussements de sol de plus de 2 m de hauteur.
- Interdiction de toute infiltration concentrée de grandes quantités d'eau. L'établissement de seuils volumes/débits infiltrés n'est pas réalisé au sein de cette étude car cela suppose la connaissance de nombreux paramètres par formation géologique. Par défaut, il convient ainsi de maîtriser (aménagements hydrauliques) les eaux collectées, par le drainage notamment, et de les rejeter à l'aval en dehors de la zone, en pied de versant.
- **Mesures sur les biens et activités existants**
 - Maîtrise des eaux obligatoire (puisard interdit, obligation de raccordement aux réseaux des communes ou de mise en place de fosse étanche).
 - Étude de risque obligatoire pour les Etablissements Recevant du Public (ERP). Cette étude définira les conditions de mise en sécurité des occupants et usagers, et, s'il s'agit d'un service public lié à la sécurité, les modalités pour assurer la continuité de celui-ci.

b) Aléa moyen

L'objectif principal de cette zone est de réaliser des projets nouveaux sous maîtrise individuelle. Pour les projets d'envergure, des études complémentaires seront nécessaires.

- **Réglementation des projets nouveaux**
 - Études géotechnique, hydrogéologique et hydraulique obligatoires à l'échelle du versant, en préalable à tout projet de construction d'un Etablissement Recevant du Public (ERP) ou d'une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE).
Ces études devront spécifier :
 - 1) les caractéristiques mécaniques et hydrogéologiques des terrains environnants, la nature du terrain d'emprise du projet, de manière à préciser les contraintes à respecter, d'une part pour garantir la sécurité du projet vis-à-vis de l'instabilité des terrains, d'autre part pour éviter toute conséquence défavorable du projet sur le terrain environnant ;
 - 2) les modalités de terrassement, de soutènements de talus sur les parcelles concernées par le projet : les pentes des talus et de fouille en provisoire et en définitif à respecter pour garantir leur stabilité ;
 - 3) les modalités de drainage ou d'irrigation des parcelles concernées par le projet : proposition d'un aménagement approprié au site (chaussée bétonnée et drainante, implantation de bassins de décantation...).Les études seront confiées à un bureau d'études spécialisé.
 - Conception résistante au fluage obligatoire pour toute construction nouvelle.
 - Maîtrise des eaux obligatoire (puisard interdit, obligation de raccordement aux réseaux des communes ou de mise en place de fosse étanche) pour toute construction nouvelle.
- **Réglementation des projets sur les biens et activités existants**
 - Néant.
- **Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**

- Etude de stabilité obligatoire pour les affouillements et exhaussements de sol de plus de 2 m de hauteur.
- Interdiction de toute infiltration concentrée de grandes quantités d'eau. L'établissement de seuils volumes/débits infiltrés n'est pas réalisé au sein de cette étude car cela suppose la connaissance de nombreux paramètres par formation géologique. Par défaut, il convient ainsi de maîtriser (aménagements hydrauliques) les eaux collectées, par le drainage notamment, et de les rejeter à l'aval en dehors de la zone, en pied de versant.
- **Mesures sur les biens et activités existants**
 - Maîtrise des eaux obligatoire (puisard interdit, obligation de raccordement aux réseaux des communes ou de mise en place de fosse étanche).

c) Aléa faible, zone amont

L'objectif principal de cette zone est de permettre tout aménagement à la condition de maîtriser les eaux afin de n'avoir aucune conséquence négative sur la stabilité du versant à l'aval.

- **Réglementation des projets nouveaux**
 - Maîtrise des eaux obligatoire (puisard interdit, obligation de raccordement aux réseaux des communes ou de mise en place de fosse étanche) pour toute construction nouvelle.
- **Réglementation des projets sur les biens et activités existants**
 - Néant.
- **Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**
 - Etude de stabilité obligatoire pour les affouillements et exhaussements de sol de plus de 2 m de hauteur.
 - Interdiction de toute infiltration concentrée de grandes quantités d'eau. L'établissement de seuils volumes/débits infiltrés n'est pas réalisé au sein de cette étude car cela suppose la connaissance de nombreux paramètres par formation géologique. Par défaut, il convient ainsi de maîtriser (aménagements hydrauliques) les eaux collectées, par le drainage notamment, et de les rejeter à l'aval en dehors de la zone, en pied de versant.
- **Mesures sur les biens et activités existants**
 - Maîtrise des eaux obligatoire (puisard interdit, obligation de raccordement aux réseaux des communes ou de mise en place de fosse étanche).

d) Aléa faible, zone aval

L'objectif principal de cette zone est de permettre tout aménagement à la condition de maîtriser la stabilité des terrains.

- **Réglementation des projets nouveaux**
 - Néant.
- **Réglementation des projets sur les biens et activités existants**
 - Néant.
- **Mesures de prévention, de protection et de sauvegarde**

- Les affouillements et exhaussements de sol de plus de 2 m de hauteur feront l'objet d'une adaptation au contexte géotechnique pour être stables Ils seront drainés.
- **Mesures sur les biens et activités existants**
 - Néant.

8. Conclusion et mesures complémentaires

A la demande de la Direction Départementale des Territoire de l'Aube (DDT10), le BRGM a réalisé la présente étude qui consiste à étudier l'aléa mouvement de terrain sur deux versants de la commune de Bar-sur-Aube et un versant sur la commune de Fontaine, puis à proposer des mesures réglementaires face à ces phénomènes.

Au sein du périmètre d'étude de chacune des deux communes de Bar-sur-Aube et Fontaine, les facteurs pouvant déterminer l'apparition d'un phénomène naturel ont été analysés, notamment à travers l'étude des informations locales recueillies, la géologie et la géométrie des terrains. Différents niveaux d'aléa sont rencontrés et la cartographie est rendue à l'échelle $1/10\,000$ sur fond OrthoPhoto.

Les mesures réglementaires proposées favorisent à la fois l'aménagement parcellaire et l'aménagement global, pour la gestion des eaux notamment. Les travaux à réaliser doivent être envisagés à une échelle cohérente vis-à-vis du risque. Le facteur « eau » étant prédominant dans le déclenchement de glissement nouveau ou la réactivation de phénomènes anciens, une gestion raisonnée des eaux de surface et également des eaux souterraines est nécessaire.

L'analyse des versants de Bar-sur-Aube et Fontaine a permis de mettre en évidence des couches géologiques et pentes suffisantes pour créer des phénomènes de glissement et de chutes de blocs. Sur le seul département de l'Aube, plus d'une soixantaine de commune se situe sur des pentes et des lithologies pouvant provoquer un aléa moyen voire fort de mouvements de terrain.

Cette estimation a été réalisée avec le MNT au pas de 25 m. La récupération du LIDAR sur la commune de Bar-sur-Aube a révélé des pentes supérieures à 45° pouvant aller jusqu'à 60°. Ceci laisse sous-entendre la présence d'aléa fort sur une partie des communes de l'Aube.

9. Bibliographie

Thuon Y. (2014) – Bar-sur-Aube (10) – Examen des risques de mouvements de terrain au lieu-dit « Ste Germaine ». Rapport d'expertise. Rapport BRGM/RP-63522-FR. 14 p., 8 fig.

DDTM 06, RTM 06, CETE Méditerranée (Juin 2013) - Méthode de qualification des aléas et des enjeux dans le cadre de l'élaboration des PPR mouvements de terrain et traduction réglementaire

Pannet P, Thollon O, Lechat K, Schroetter JM., coll. Branellex M., Le Roy M. (2012) – Analyse de la carte de prédisposition aux risques mouvements de terrain réalisée par la DREAL de Basse-Normandie. Tanche 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.

Marçot et Girard A. (2011) – Projet MASSA ALCOTRA n°65 (Medium And Small Size rock fall hazard Assessment) : Evaluation de l'aléa lié aux chute 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.

C. Mathon et N. Zornette (2009) - Cartographie de l'aléa mouvements de terrain. Communes de Louvières et Nogent (52). BRGM/RP-57261-FR. 49 pages, 26 illustrations, 5 annexes.

N. Zornette et A. Marre (2008) – Plan de Prévention des Risques Naturels « glissement de terrain ». Côte d'Île-de-France - Secteur vallée de la Marne portant sur 19 communes. Commande n°2. Phase 4 – Proposition de zonage réglementaire. Rapport final. BRGM/RP-56673-FR. 57 pages, 19 illustr. et 2 annexes.

Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs (2006) – Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR). Cahier de recommandations sur le contenu des PPR.

P. Dominique, A. Evans, B. LeBrun, J.L. Nédellec, Th. Winter et N. Zornette (2004) - Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles - PPR de la commune de Pringy . Troisième livret : Règlement BRGM/RP-53312-FR. 39p.

A.Beyssac et J.M. Cuinet (2003) – Mission G0-G12 (phase 1 et 2) et G52, Ville de Bar-sur-Aube, Lieu-dit « Fonatine Germaine ». Rapport Hydrogéotechnique n°C/T/03/B/068/F/081. 55 pages, 6 annexes.

Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (2000) – Les risques naturels. Guide technique pour la caractérisation et la cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain.

Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, direction de la Prévention des pollutions et des risques, sous-direction de la Prévention des risques majeurs. Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction, sous-direction de la planification stratégique (1999) – Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR). Risques de mouvements de terrain. Guide méthodologique.

Notice de la carte géologique 1/50 000 de Bar-sur-Aube (BRGM).

Sites internet :

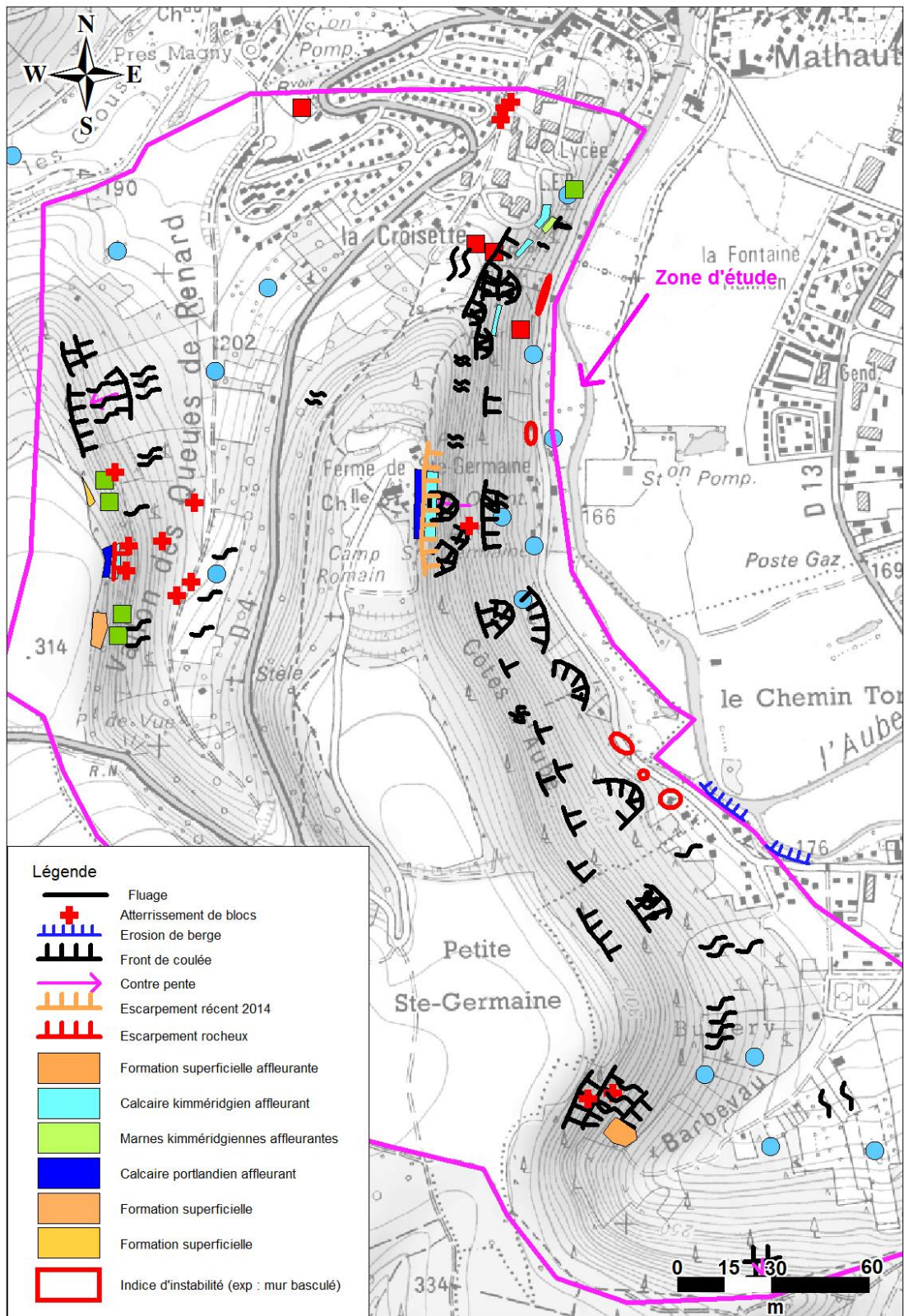
Portail de la prévention des risques majeurs : <http://www.prim.net/>

Le Service public de la diffusion du droit : <http://www.legifrance.gouv.fr/>

Annexe 1

-

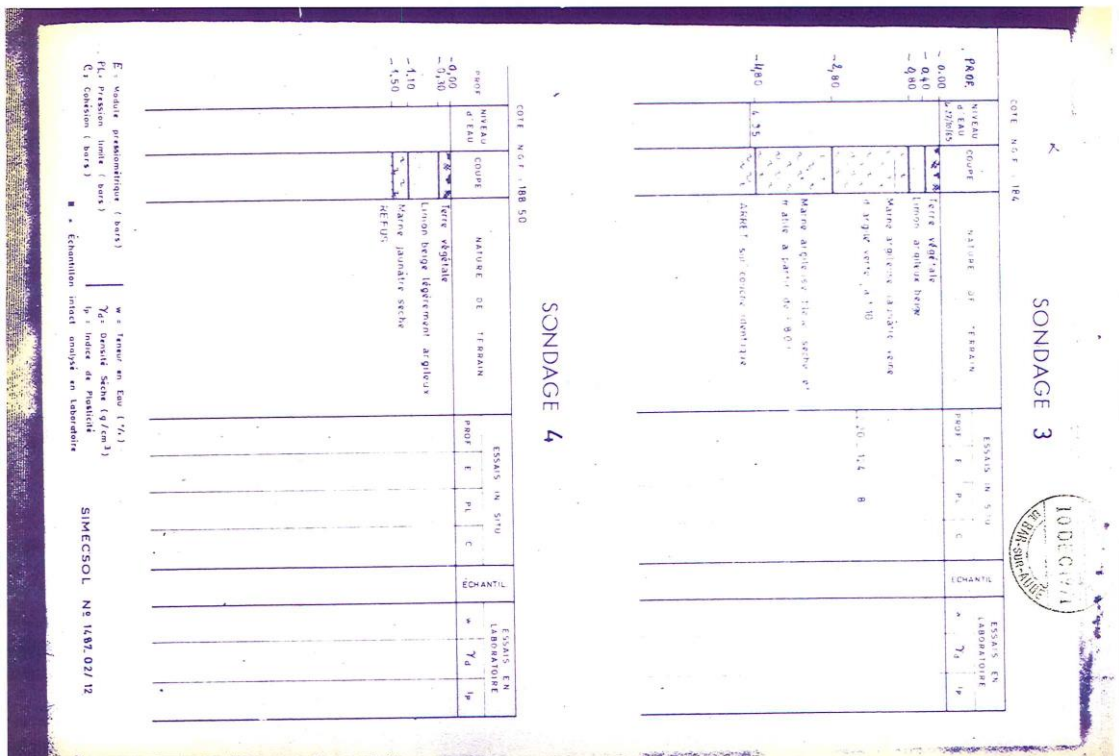
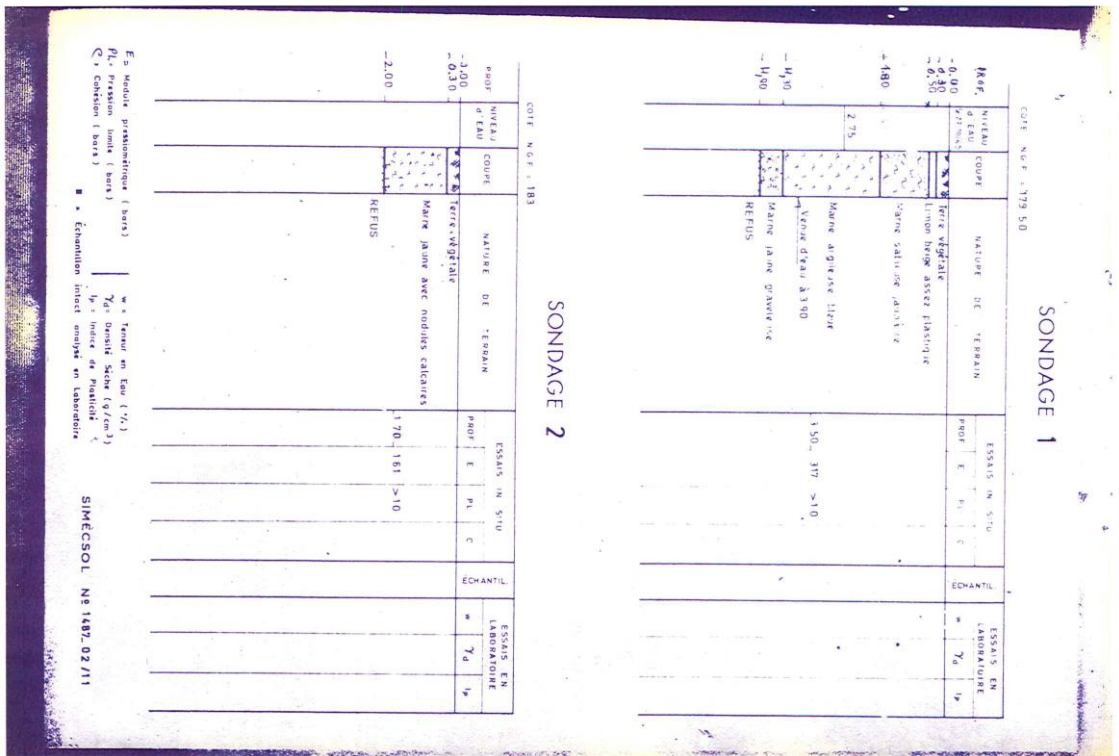
Carte informative des phénomènes naturels



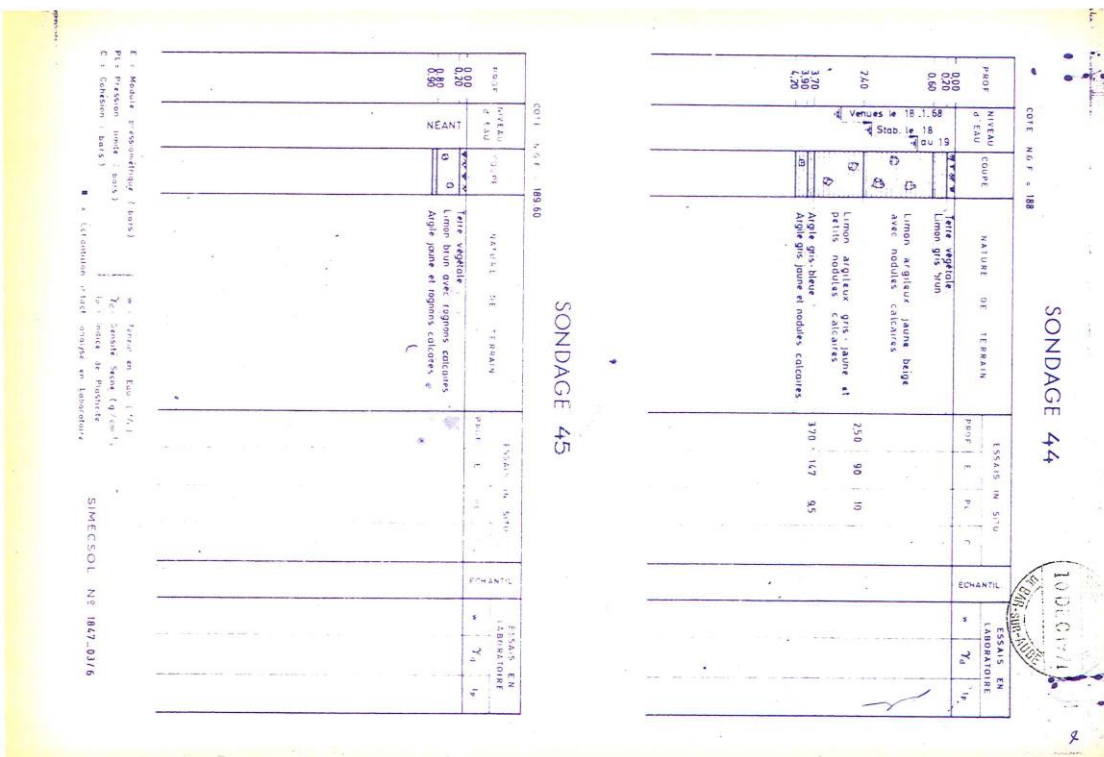
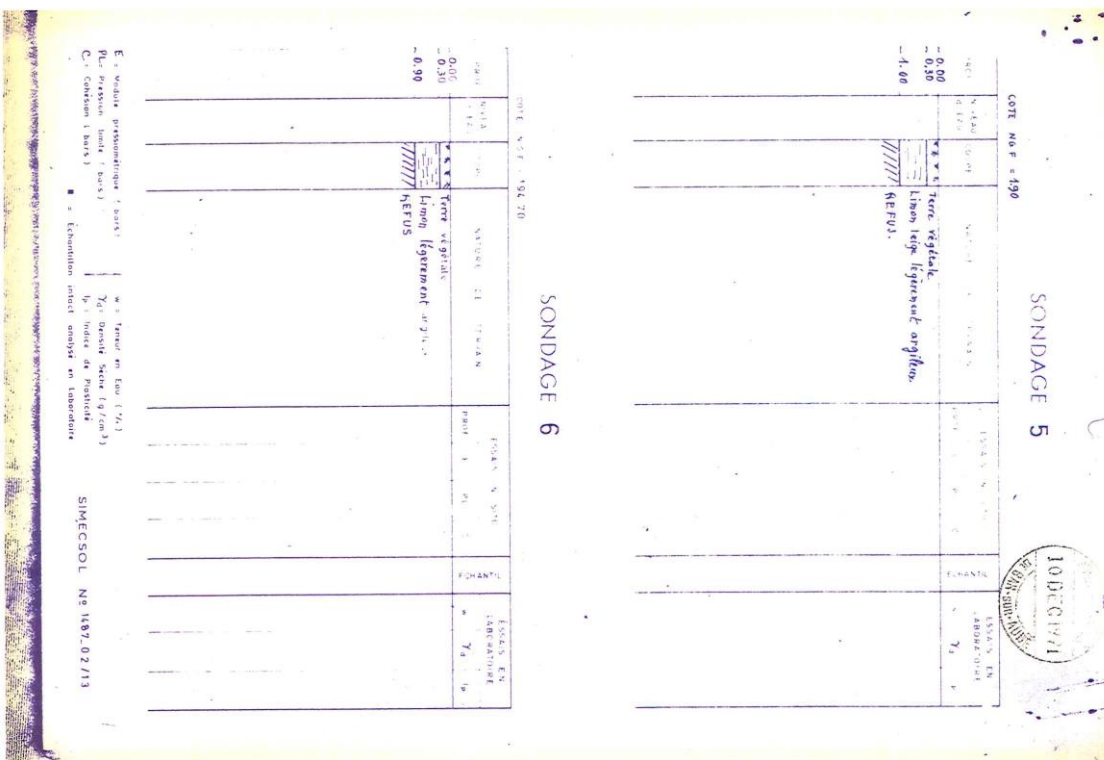
Annexe 2

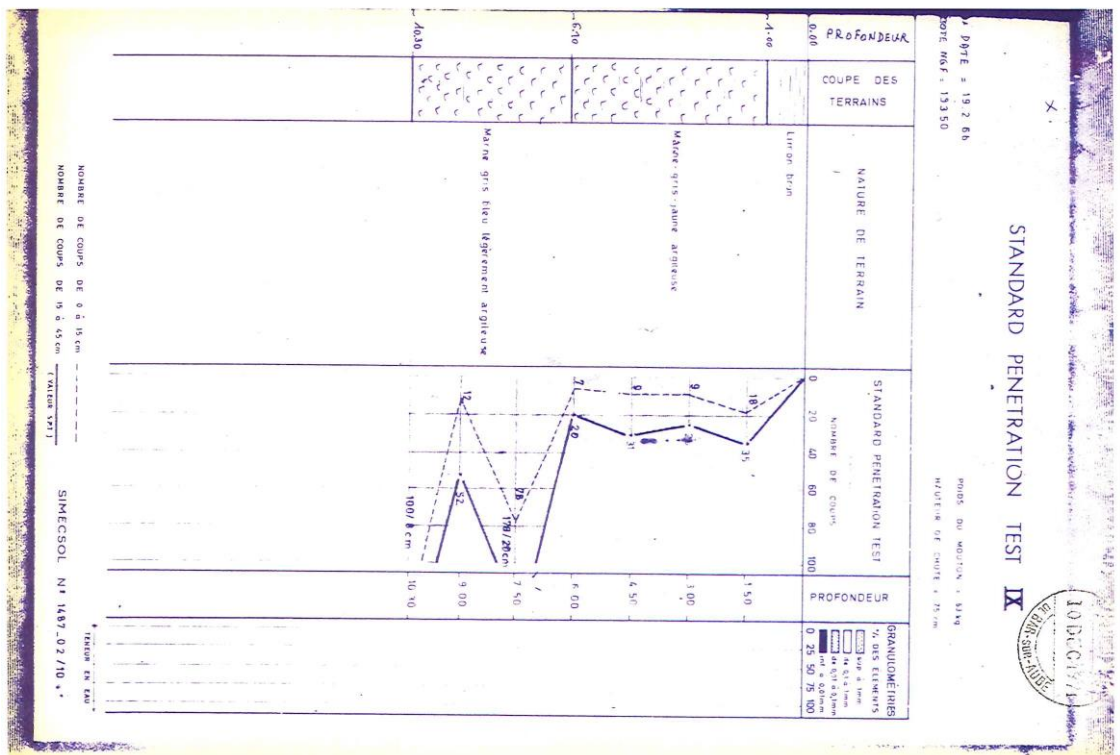
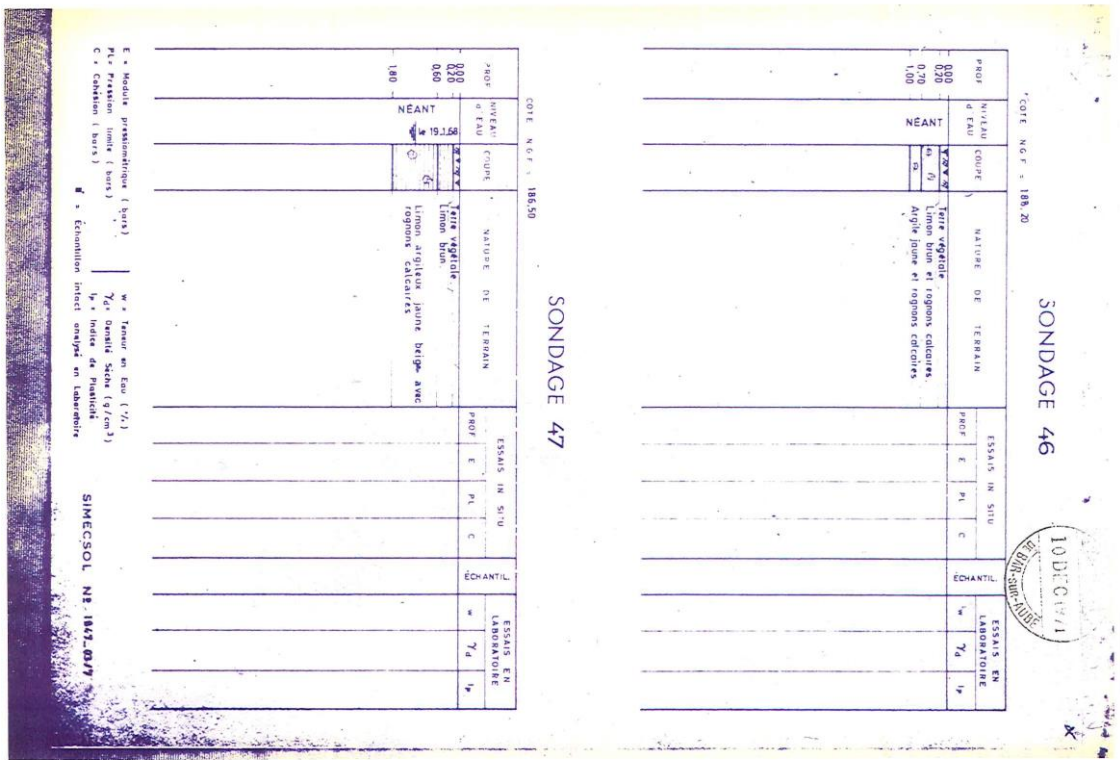
-

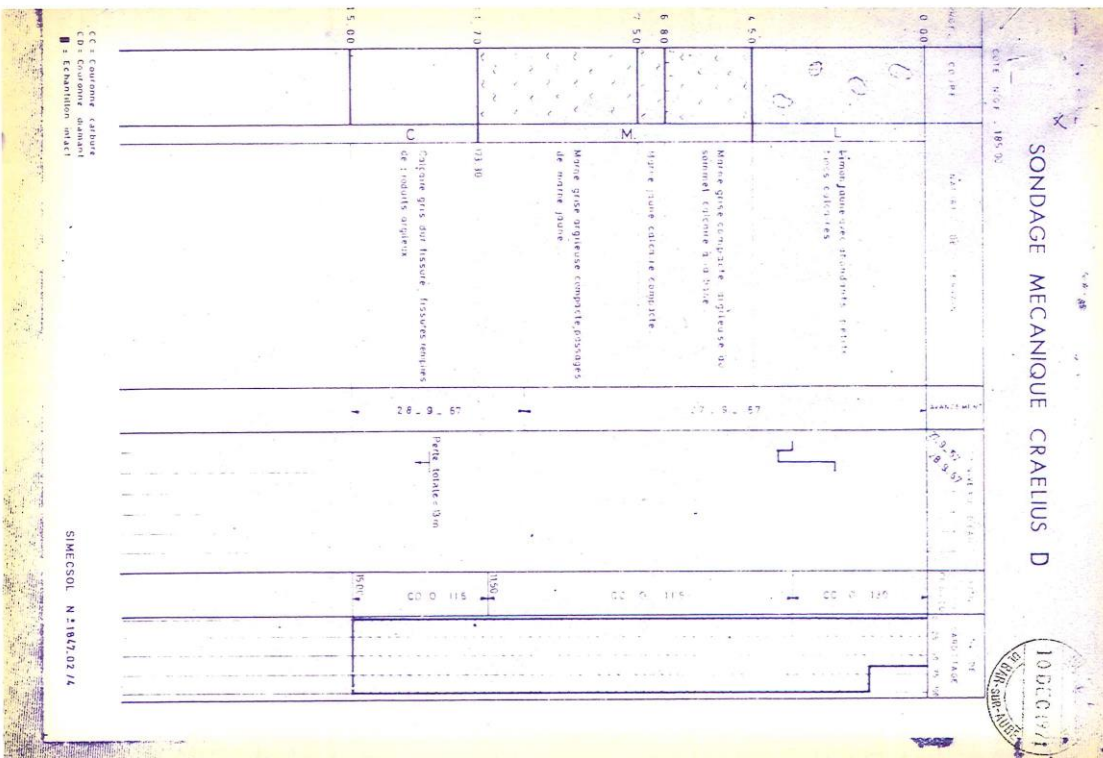
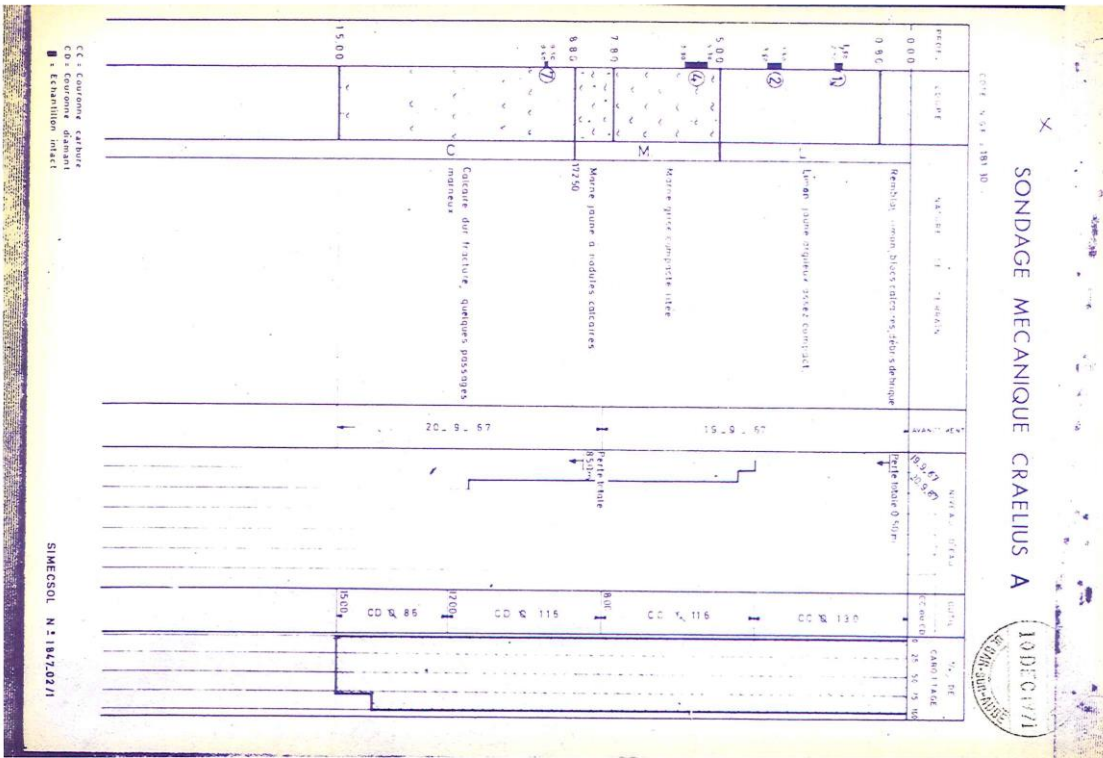
Extrait du rapport SIMECSOL de 1971



Cartographie de l'aléa glissement de terrain et chute de blocs rocheux. Versants des communes de Fontaine et Bar-Sur-Aube (10)







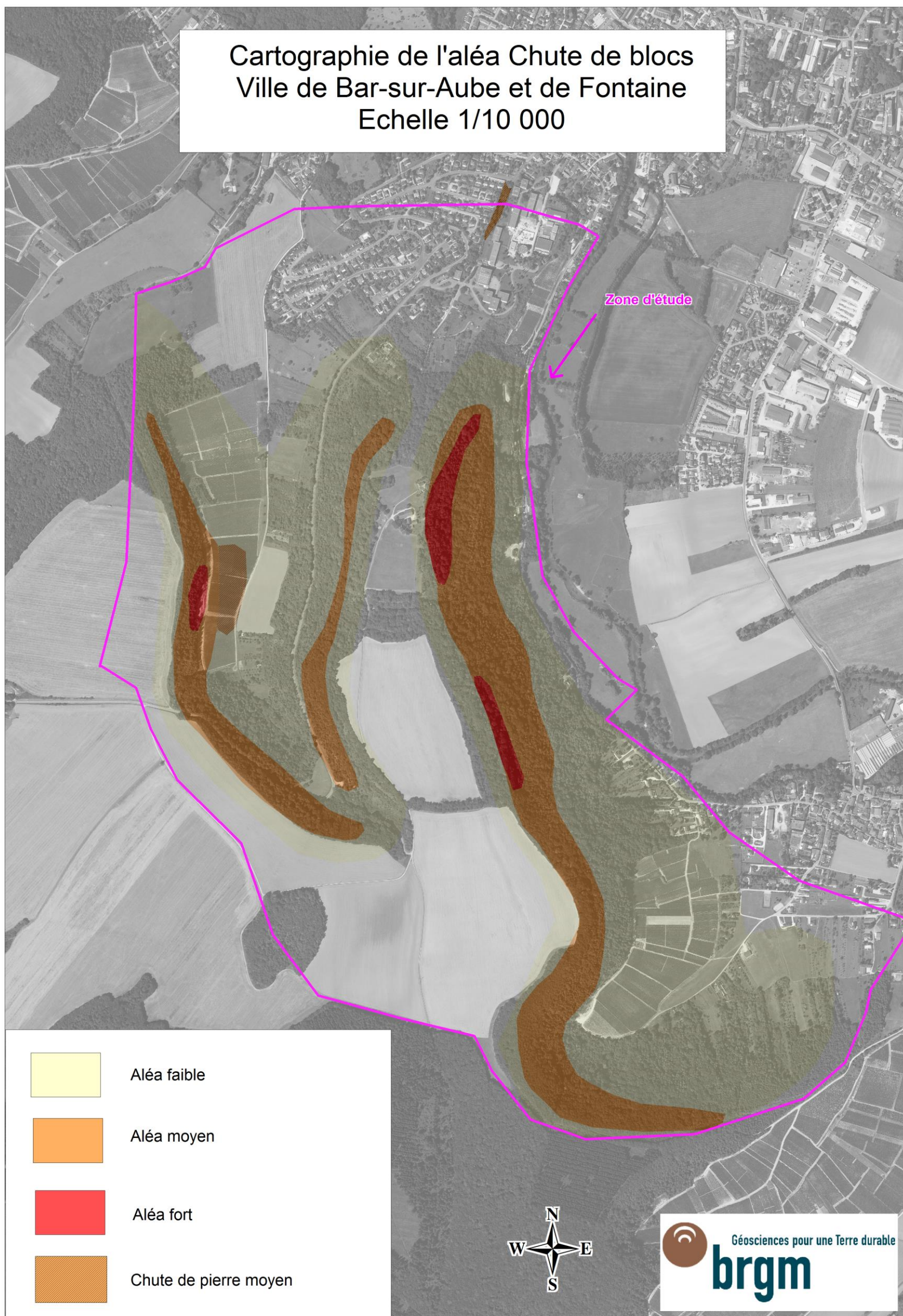
Annexe 3

-

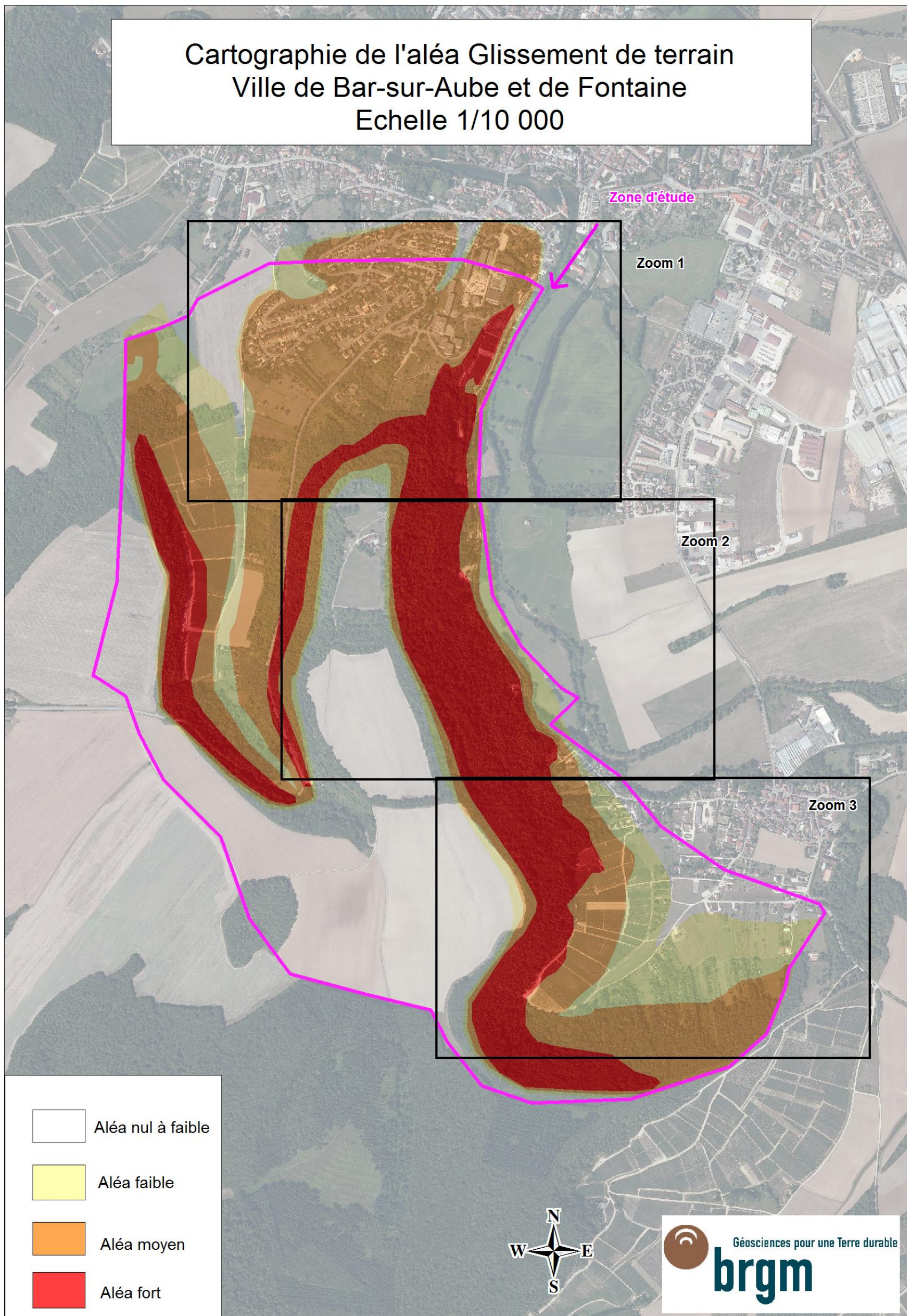
Cartographie de l'aléa « mouvement de terrain »

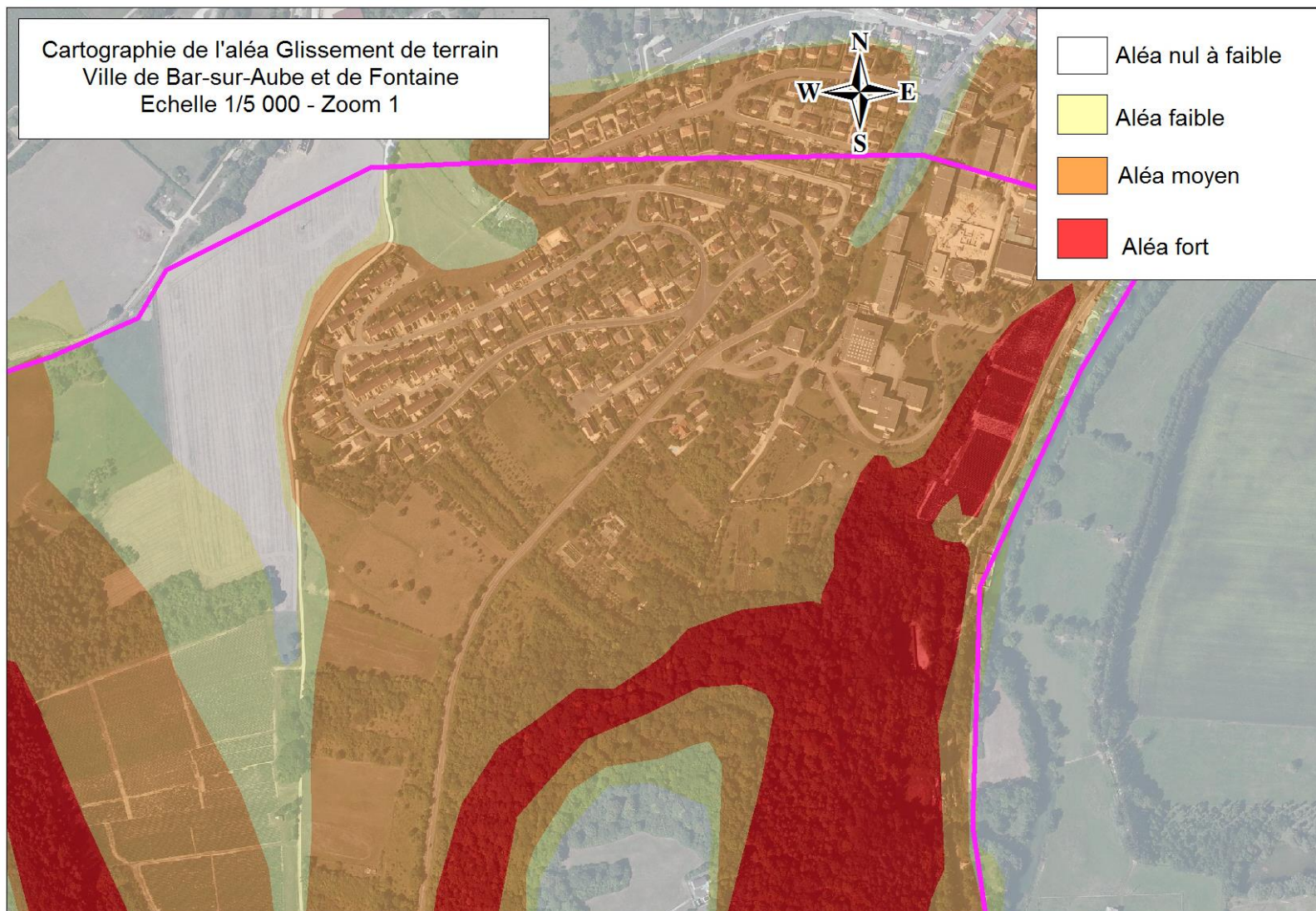
Phénomènes « chute de blocs »

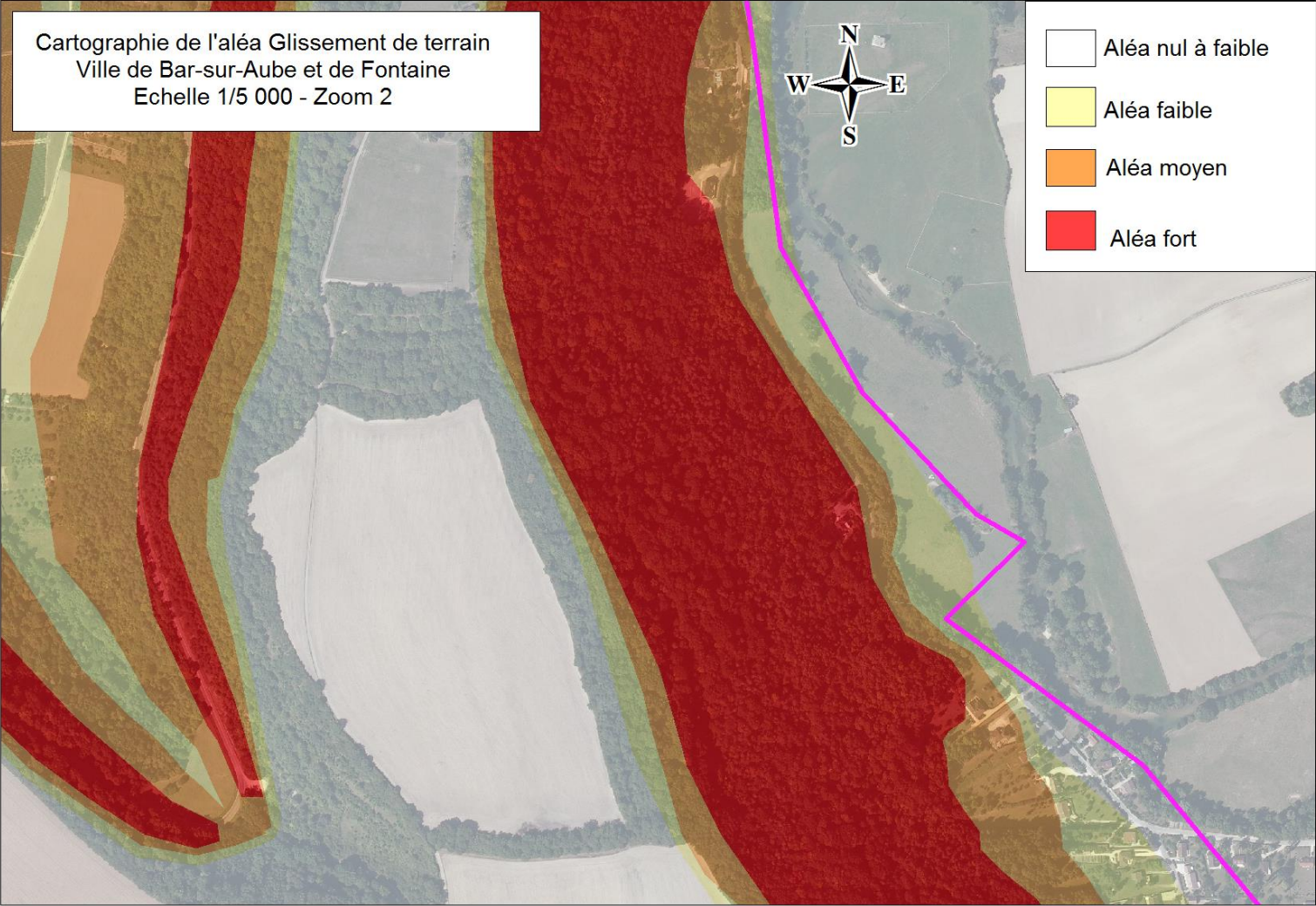
Phénomènes « glissement de terrain »

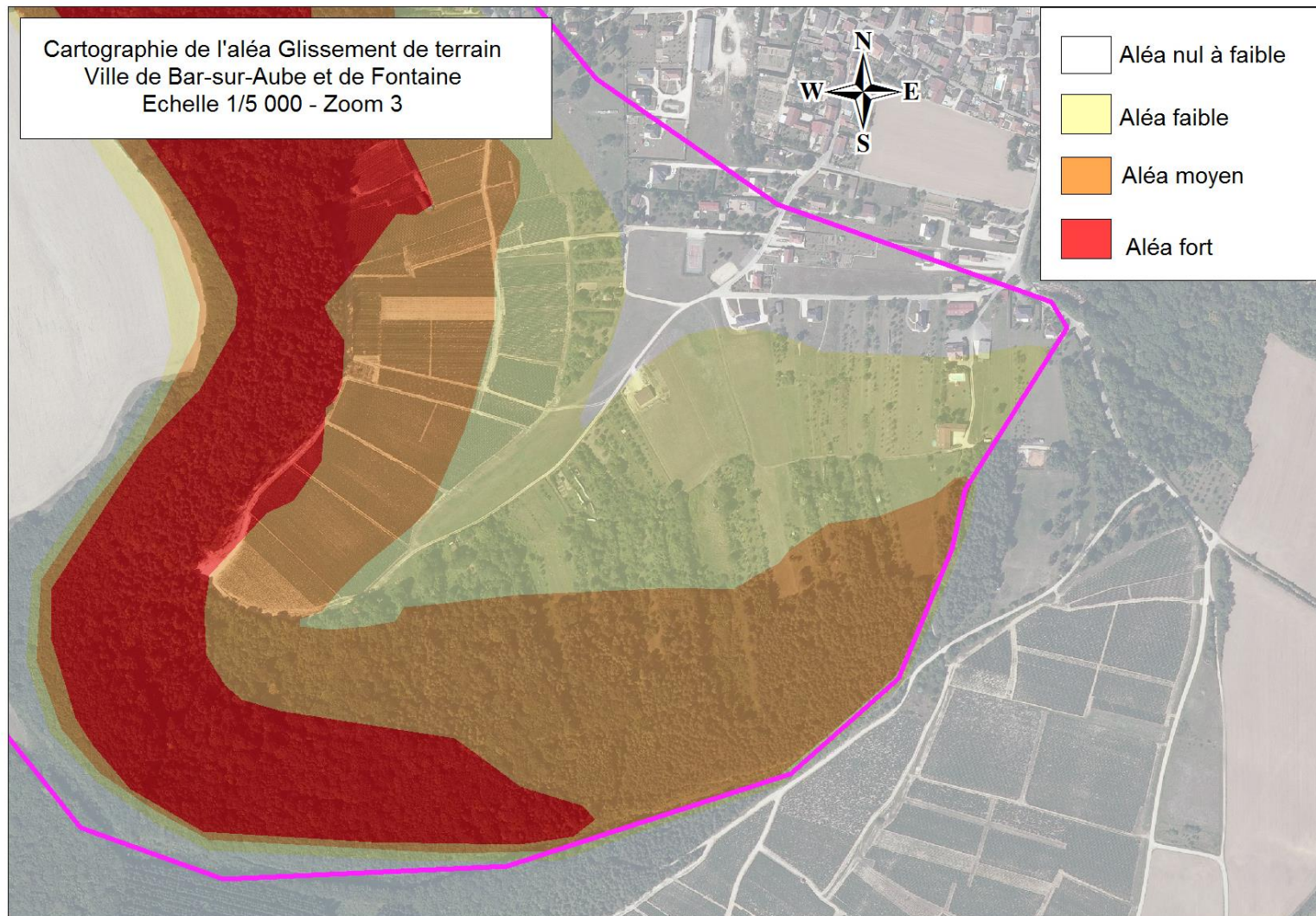


Cartographie de l'aléa Glissement de terrain Ville de Bar-sur-Aube et de Fontaine Echelle 1/10 000











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

Direction Régionale Champagne-Ardenne
Pôle technologique Henri Farman
12, rue Clément Ader, BP 137
51685 – Reims Cedex 2 – France
Tél. : 03 26 84 47 70