
■ ■ ■ DDT du Tarn-et-Garonne

**PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES
NATURELS
MOUVEMENTS DE TERRAIN**

COMMUNE DE BRUNIQUÉL



RAPPORT DE PRÉSENTATION

Approuvé par arrêté préfectoral N°82-2023-08-07-00003 du 07 août 2023

Exécutoire le 15 septembre 2023

MAÎTRE D'OUVRAGE	DDT du Tarn-et-Garonne 2 Quai de Verdun 82000 MONTAUBAN Tél. : 05 63 22 23 24 – Fax : 05 63 22 23 23 E-mail : ddt@tarn-et-garonne.gouv.fr
AFFAIRE	Plan de Prévention des Risques Naturels Mouvements de terrain – Commune de BRUNIQUEL (82)
RÉFÉRENCE	2018/M2/82/1575
ÉMETTEUR	GINGER CEBTP – Pôle Géomatique Agence de Montpellier Parc d'activité Clément Ader – 12 Rue des Frères Lumière 34 830 JACOU Tél. : +33 (0) 4 67 87 91 15 E-mail : cebtp.montpellier@groupe-cebtp.com

TABLE DES MATIÈRES

I.	PRÉAMBULE.....	5
II.	ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET DÉLIMITATION DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS PRÉVISIBLES.....	6
II.1.	Objet du PPR.....	6
II.2.	Procédure d'élaboration du PPR.....	7
II.3.	Aire d'étude et contenu du PPR.....	8
II.4.	Opposabilité.....	9
III.	DÉLIMITATION ET CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE.....	10
III.1.	Délimitation de la zone d'étude et occupation du territoire.....	10
III.2.	Contexte géomorphologique, géologique, hydrogéologique et sismique.....	10
1.	Géomorphologie.....	10
2.	Géologie.....	11
3.	Hydrogéologie.....	22
4.	Sismique.....	23
III.3.	Contexte climatique.....	23
III.4.	Contexte hydrographique.....	23
IV.	MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE.....	25
V.	CARTOGRAPHIE INFORMATIVE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN	27
V.1.	Généralités.....	27
V.2.	Définitions.....	27
1.	Affaissements / Effondrements.....	27
2.	Éboulements / Chutes de blocs et de pierres.....	30
3.	Glissements de terrain / Coulées de boue.....	31
V.3.	Recherche historique et bibliographique.....	33
V.4.	Reconnaissance des phénomènes et cartographie informative des mouvements de terrain.....	40
1.	Description des affaissements / effondrements sur la zone d'étude.....	41
2.	Description des éboulements / chutes de blocs sur la zone d'étude.....	42
3.	Description des glissements de terrain sur la zone d'étude.....	46
VI.	CARTOGRAPHIE DES ALÉAS MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	48
VI.1.	Définition.....	48
VI.2.	Affaissements / Effondrements.....	49
1.	Principes généraux.....	49
2.	Calcul de la zone d'influence.....	49
3.	Zones d'incertitude.....	51
4.	Qualification de l'aléa.....	52
VI.3.	Éboulements / Chutes de blocs.....	53
1.	Principes généraux.....	53
2.	Méthode de la ligne d'énergie et qualification de l'aléa.....	53
3.	Modélisation trajectographique et qualification de l'aléa.....	55
VI.4.	Glissements de terrain / Coulées de boue.....	60
1.	Principes généraux.....	60
2.	Qualification de l'aléa.....	61
VI.5.	Prise en compte des ouvrages de protection.....	62

1. Généralités.....	62
2. Dispositifs de protection sur la zone d'étude.....	62
VI.6. Cartes des aléas.....	63
1. Aléa Affaissements / Effondrements.....	63
2. Aléa Éboulements / Chutes de blocs.....	64
3. Aléa Glissements de terrain / Coulées de boue.....	64
<u>VII. CARTOGRAPHIE DES ENJEUX.....</u>	<u>65</u>
<u>VIII. CARTOGRAPHIE DU ZONAGE RÉGLEMENTAIRE.....</u>	<u>66</u>
<u>IX. BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE (HORS RECHERCHE</u>	
<u>BIBLIOGRAPHIQUE) ET SITES INTERNET DE RÉFÉRENCE.....</u>	<u>68</u>
<u>X. TABLE DES ACRONYMES.....</u>	<u>69</u>

I. PRÉAMBULE

Située dans le département du Tarn-et-Garonne, **la commune de BRUNIQUEL peut, de part sa situation géologique et morphologique, être exposée à des risques de mouvements de terrain.**

Ces différents phénomènes naturels, pouvant avoir des conséquences diverses sur l'intégrité des biens et des personnes, représentent un risque reconnu comme tel par la loi N° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile et le code de l'environnement (Articles L. 562-1 à L. 563-1).

A la demande de la DDT du Tarn-et-Garonne, le **Pôle Géomatique de GINGER CEBTP** (anciennement **Pôle Cartographie et Gestion des Risques Naturels d'IMS^{RN}**) a été chargé de réaliser le Plan de Prévention des Risques Naturels – Mouvements de terrain de la commune BRUNIQUEL. Les phénomènes étudiés comprennent : les affaissements / effondrements, les éboulements / chutes de blocs et les glissements de terrain / coulées de boue.

Un arrêté de prescription relatif à l'élaboration de ce PPR (n° 82-2020-12-28-010) a été signé par la Préfète du Tarn-et-Garonne le 28 décembre 2020.

A noter que cette étude ne concerne pas les phénomènes liés aux inondations / crues torrentielles, à l'activité sismique (rupture de failles, liquéfaction, effet de site, ...) et au retrait-gonflement des argiles

II. ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET DÉLIMITATION DU PLAN DE PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS PRÉVISIBLES

Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR) ont été institués par la loi N° 87-565 du 22 juillet 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt et à la prévention des risques majeurs, abrogée par la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 relative au renforcement de la protection de l'environnement. Leur contenu et leur procédure d'élaboration ont été fixés par le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995, modifié par le décret n° 2005-3 du 4 janvier 2005.

Les PPR sont désormais réalisés en application des articles L. 562-1 à L. 562-9 du Code de l'Environnement relatifs aux plans de prévention des risques naturels prévisibles, suivant la procédure définie aux articles R. 562-1 à R. 562-11 du Code de l'Environnement.

Le mécanisme d'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles est régi par la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982. Les contrats d'assurances garantissent les assurés contre les effets des catastrophes naturelles, cette garantie étant couverte par une cotisation additionnelle à l'ensemble des contrats d'assurance dommage et à leur extension couvrant les pertes d'exploitation.

En contre partie, et pour la mise en œuvre de ces garanties, les assurés exposés à un risque ont à respecter certaines règles de prescriptions fixées par le PPR, leur non respect pouvant entraîner une suspension de la garantie dommages ou une atténuation de ses effets (augmentation de la franchise).

Les PPR, sont établis par l'État et ont valeur de servitude d'utilité publique. Ils sont opposables à tout mode d'occupation ou d'utilisation du sol. Les documents d'urbanisme (Plan d'Occupation des Sols, Plan Local d'Urbanisme) doivent respecter leur disposition et les comportent en annexe. Par ailleurs, les constructions, ouvrages, cultures et plantations existant antérieurement à la publication du PPR peuvent être soumis à l'obligation de réalisation de mesures de protection.

Ils traduisent l'exposition aux risques de la commune dans l'état actuel et sont susceptibles d'être modifiés si cette exposition devait être sensiblement modifiée à la suite de travaux de prévention de grande envergure.

Les PPR ont pour objectifs une meilleure **protection des personnes et des biens**, et une **limitation du coût pour la collectivité** de l'indemnisation systématique des dégâts engendrés par les phénomènes.

II.1. Objet du PPR

Les PPR ont pour objet, en tant que besoin (Article 66 de la loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 et article L. 562-1 du Code de l'Environnement) :

- **De délimiter des zones exposées aux risques** en fonction de leur- nature et de leur intensité. Dans ces zones, les constructions ou aménagements peuvent être interdits ou admis avec prescriptions ;
- **De délimiter des zones non directement exposées aux risques**, mais dans lesquelles toute construction ou aménagement pourrait aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux ;
- **De définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde** incombant aux collectivités publiques et aux particuliers ;
- **De définir les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions (ou ouvrages) existants** devant être prises par les propriétaires exploitants ou utilisateurs concernés.

II.2. Procédure d'élaboration du PPR

La procédure comprend plusieurs phases :

- **L'établissement des plans de prévention des risques naturels prévisibles mentionnés aux articles L. 562-1 à L. 562-9 est prescrit par arrêté du préfet.** Lorsque le périmètre mis à l'étude s'étend sur plusieurs départements, l'arrêté est pris conjointement par les préfets de ces départements et précise celui des préfets qui est chargé de conduire la procédure. *[Article R. 562-1 du Code de l'Environnement]*
- **L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles détermine le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte.** Il désigne le service déconcentré de l'État qui sera chargé d'instruire le projet.

Cet arrêté définit également les modalités de la concertation et de l'association des collectivités territoriales et des Établissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI) concernés, relatives à l'élaboration du projet.

Il est notifié aux maires des communes ainsi qu'aux présidents des collectivités territoriales et des établissements publics de coopération intercommunale compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est inclus, en tout ou partie, dans le périmètre du projet de plan.

Il est, en outre, affiché pendant un mois dans les mairies de ces communes et aux sièges de ces établissements publics et publié au recueil des actes administratifs de l'État dans le département. Mention de cet affichage est insérée dans un journal diffusé dans le département. *[Article R. 562-2 du Code de l'Environnement]*

- Le projet de plan de prévention des risques naturels prévisibles est **soumis à l'avis des conseils municipaux des communes et des organes délibérants des établissements publics de coopération intercommunale compétents** pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est couvert, en tout ou partie, par le plan.

Si le projet de plan contient des mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets ou des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde relevant de la compétence des départements et des régions, ces dispositions sont **soumises à l'avis des organes délibérants de ces collectivités territoriales**. Les **services départementaux d'incendie et de secours intéressés sont consultés** sur les mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets.

Si le projet de plan concerne des terrains agricoles ou forestiers, les dispositions relatives à ces terrains sont **soumises à l'avis de la chambre d'agriculture et du centre national de la propriété forestière**. *[Article R. 562-7 du Code de l'Environnement]*

- Le projet de plan est **soumis par le préfet à une enquête publique** dans les formes prévues par les articles R. 123-6 à R. 123-23, sous réserve des dispositions des deux alinéas qui suivent.

Les avis recueillis en application des trois premiers alinéas de l'article R. 562-7 sont consignés ou annexés aux registres d'enquête dans les conditions prévues par l'article R. 123-13.

Les maires des communes sur le territoire desquelles le plan doit s'appliquer sont entendus par le commissaire enquêteur ou par la commission d'enquête une fois consigné ou annexé aux registres d'enquête l'avis des conseils municipaux. *[Article R. 562-8 du Code de l'Environnement]*

- **A l'issue des consultations prévues aux articles R. 562-7 et R. 562-8, le plan, éventuellement modifié, est approuvé par arrêté préfectoral.** Cet arrêté fait l'objet d'une mention au recueil des actes administratifs de l'État dans le département ainsi que dans un journal diffusé dans le département. Une copie de l'arrêté est affichée pendant un mois au moins dans chaque mairie et au siège de chaque établissement public de coopération intercommunale compétent pour l'élaboration des documents d'urbanisme sur le territoire desquels le plan est applicable.

Le plan approuvé est tenu à la disposition du public dans ces mairies et aux sièges de ces établissements publics de coopération intercommunale ainsi qu'en préfecture. Cette mesure de

publicité fait l'objet d'une mention avec les publications et l'affichage prévus à l'alinéa précédent.
[Article R. 562-9 du Code de l'Environnement]

- **Le plan de prévention des risques naturels prévisibles peut être révisé** selon la procédure décrite aux articles R. 562-1 à R. 562-9.

Lorsque la révision ne porte que sur une partie du territoire couvert par le plan, seuls sont associés les collectivités territoriales et les établissements publics de coopération intercommunale concernés et les consultations, la concertation et l'enquête publique mentionnées aux articles R. 562-2, R. 562-7 et R. 562-8 sont effectuées dans les seules communes sur le territoire desquelles la révision est prescrite. [Article R. 562-10 du Code de l'Environnement]

- **Le plan de prévention des risques naturels prévisibles peut être modifié** à condition que la modification envisagée ne porte pas atteinte à l'économie générale du plan. La procédure de modification peut notamment être utilisée pour :

- a) Rectifier une erreur matérielle ;
- b) Modifier un élément mineur du règlement ou de la note de présentation ;
- c) Modifier les documents graphiques délimitant les zones mentionnées aux 1° et 2° du II de l'article L. 562-1, pour prendre en compte un changement dans les circonstances de fait.

[Article R. 562-10-1 du Code de l'Environnement]

II.3. Aire d'étude et contenu du PPR

Le périmètre du présent PPR correspond au périmètre défini par l'arrêté préfectoral de prescription. La qualification et la cartographie des aléas ainsi que la cartographie du zonage seront réalisées sur l'ensemble du territoire communal de BRUNIQUEL [Figure 1].

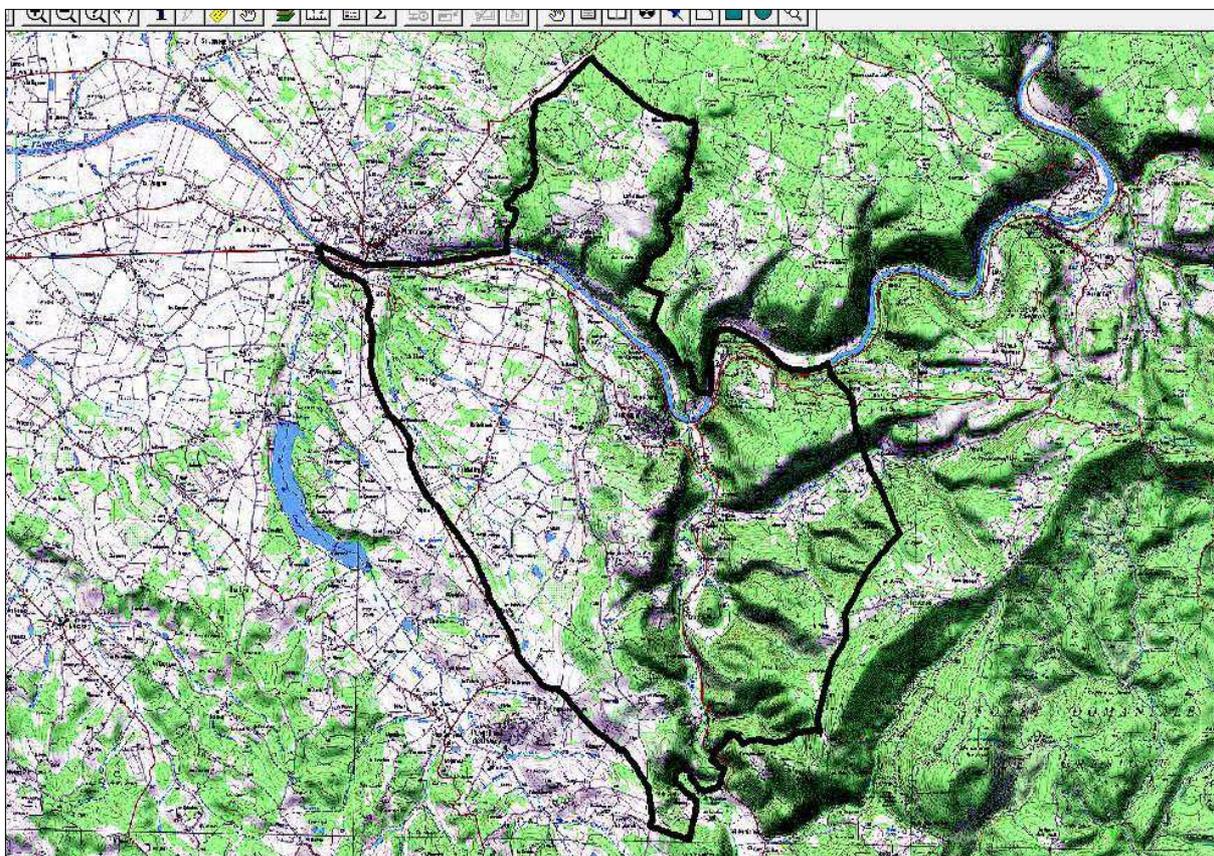


Figure 1 : Périmètre de la zone d'étude [Source : DDT 82 / IMS^{RN}]

Le dossier comprend :

1 – La **note de présentation** qui indique le secteur géographique concerné par l'étude, la nature des phénomènes naturels pris en compte et leurs conséquences possibles sur l'activité et les biens dans la commune compte tenu de l'état de connaissance.

2 – Le **plan de zonage**, document graphique délimitant :

- Les zones exposées aux risques en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru ;
- Les zones non directement exposées aux risques mais où les aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux.

Ces zones sont communément classées en :

- zones rouges : inconstructibles,
- zones bleues : constructibles sous conditions,
- zones blanches : constructibles sans contrainte spécifique.

3 – Le **règlement** qui détermine, en considérant les risques, les conditions d'occupation ou d'utilisation du sol dans les zones rouges ou bleues.

- En zone rouge : Toute construction ou implantation est en principe interdite, à l'exception de celles figurant sur la liste dérogatoire du règlement.
- En zone bleue : Le règlement de zone bleue énumère les mesures destinées à prévenir ou à atténuer les risques ; elles sont applicables aux biens et activités futures, ainsi qu'aux biens et activités existants à la date de publication du PPR. Ces mesures imposées aux biens existants peuvent être rendues obligatoires dans un délai de 5 ans (pouvant être réduit en cas d'urgence). En outre, ces travaux ne peuvent avoir un coût supérieur à 10% de la valeur vénale du bien concerné, à la date d'approbation du PPR.

4 – Une **annexe** constituée par les documents cartographiques :

- La carte informative des phénomènes naturels,
- La carte des aléas,
- La carte des enjeux.

La carte informative et la carte des aléas sont des documents destinés à expliquer le plan de zonage réglementaire. Ils ne présentent aucun caractère réglementaire et ne sont pas opposables aux tiers. En revanche, ils décrivent les phénomènes susceptibles de se manifester sur la commune et permettent de mieux appréhender la démarche qui aboutit au plan de zonage réglementaire.

II.4. Opposabilité

Le PPR est opposable aux tiers dès l'exécution de la dernière mesure de publicité de l'acte l'ayant approuvé.

Les zones bleues et rouges définies par le PPR, ainsi que les mesures et prescriptions qui s'y rattachent, valent servitudes d'utilité publique (malgré toute indication contraire du PLU s'il existe) et sont opposables à toute personne publique ou privée.

Dans les communes dotées d'un PLU, les dispositions du PPR doivent figurer en annexe de ce document. En cas de carence, le Préfet peut, après mise en demeure, les annexer d'office (article L. 126-1 du Code de l'Urbanisme).

En l'absence de POS, les prescriptions du PPR prévalent sur les dispositions des règles générales d'urbanisme ayant un caractère supplétif.

Dans tous les cas, les dispositions du PPR doivent être respectées pour la délivrance des autorisations d'utilisation du sol (permis de construire, lotissement, camping, ...).

III. DÉLIMITATION ET CONTEXTE DE LA ZONE D'ÉTUDE

III.1. Délimitation de la zone d'étude et occupation du territoire

La commune de BRUNIQUEL se situe dans l'Est du département du Tarn-et-Garonne, à 25 km de MONTAUBAN [Figure 2].

Elle s'étend sur une superficie de 33,35 km² et comptait 620 habitants en 2016 (selon le dernier recensement de l'INSEE).

Sa population se répartit entre le village et les quelques hameaux dispersés sur le territoire communal.

Les secteurs non urbanisés sont majoritairement recouverts par des espaces agricoles, des prairies et des forêts de feuillus.

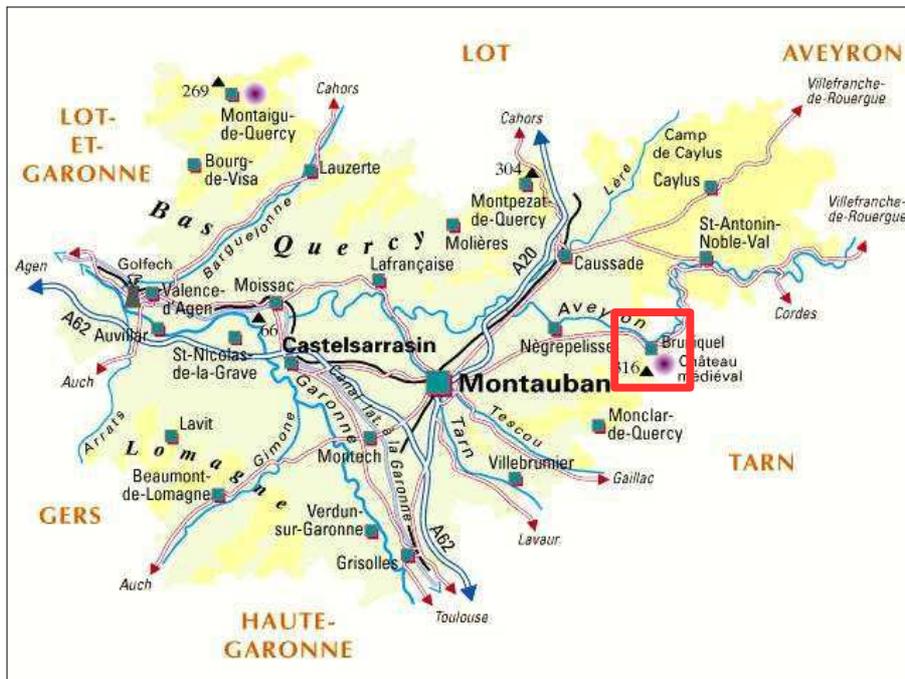


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude

III.2. Contexte géomorphologique, géologique, hydrogéologique et sismique

1. Géomorphologie

L'altitude de la commune de BRUNIQUEL varie entre 92 m NGF dans la vallée de l'Aveyron et 379 m NGF à l'Est de la Palme.

D'un point de vue géomorphologique, le territoire communal peut être décomposé en 3 entités géomorphologiques distinctes [Figure 27]:

- Des reliefs, sur la moitié Est, constitués de calcaires, dolomies et marnes Jurassique inférieur, le tout entaillé par de nombreux talwegs ;
- Un vaste plateau de terrains molassiques de l'Éocène et de l'Oligocène, sur la moitié Ouest, recouverts d'alluvions anciennes du Quaternaire . Il est également entaillé par des talwegs ;

- La vallée de l'Aveyron très encaissée dans toute sa traversée du territoire communal et laissant apparaître par endroits des dépôts alluviaux du Quaternaire, et celle de la Vère à l'encaissement moins prononcé et dont la plaine est tapissée d'alluvions du Quaternaire.

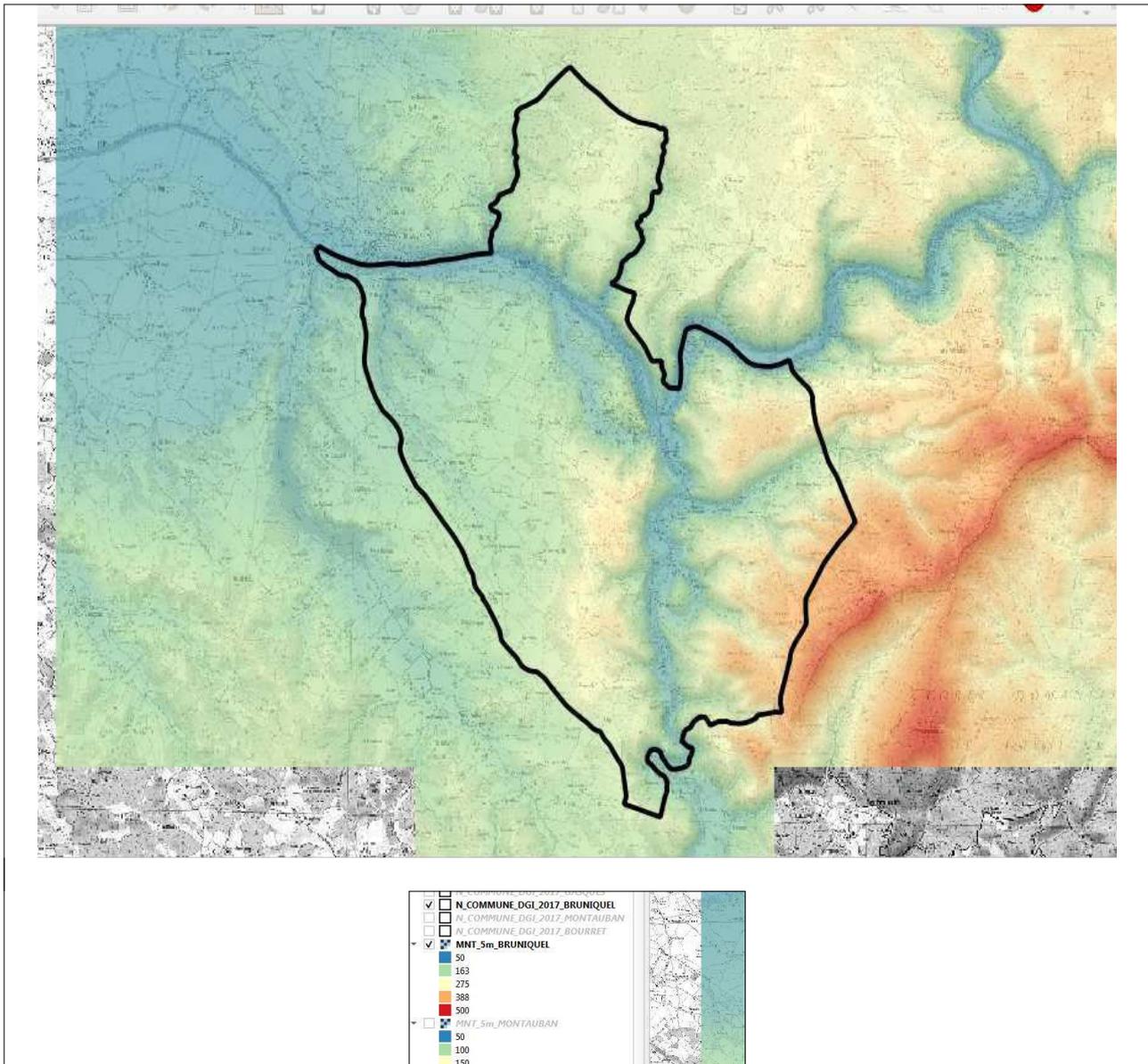


Figure 3 : Topographie de la commune de BRUNIQUEL (issue du MNT RGE-ALTI à 5 m) [Source : IMS_{RV}]

2. Géologie

La zone d'étude appartient aux causses de Limogne, constitués principalement de formations calcaires karstiques **[Figure 4]**.

Au quaternaire, plusieurs cours d'eau ont incisé le paysage, formant des vallées dont le fond est aujourd'hui recouvert d'alluvions.

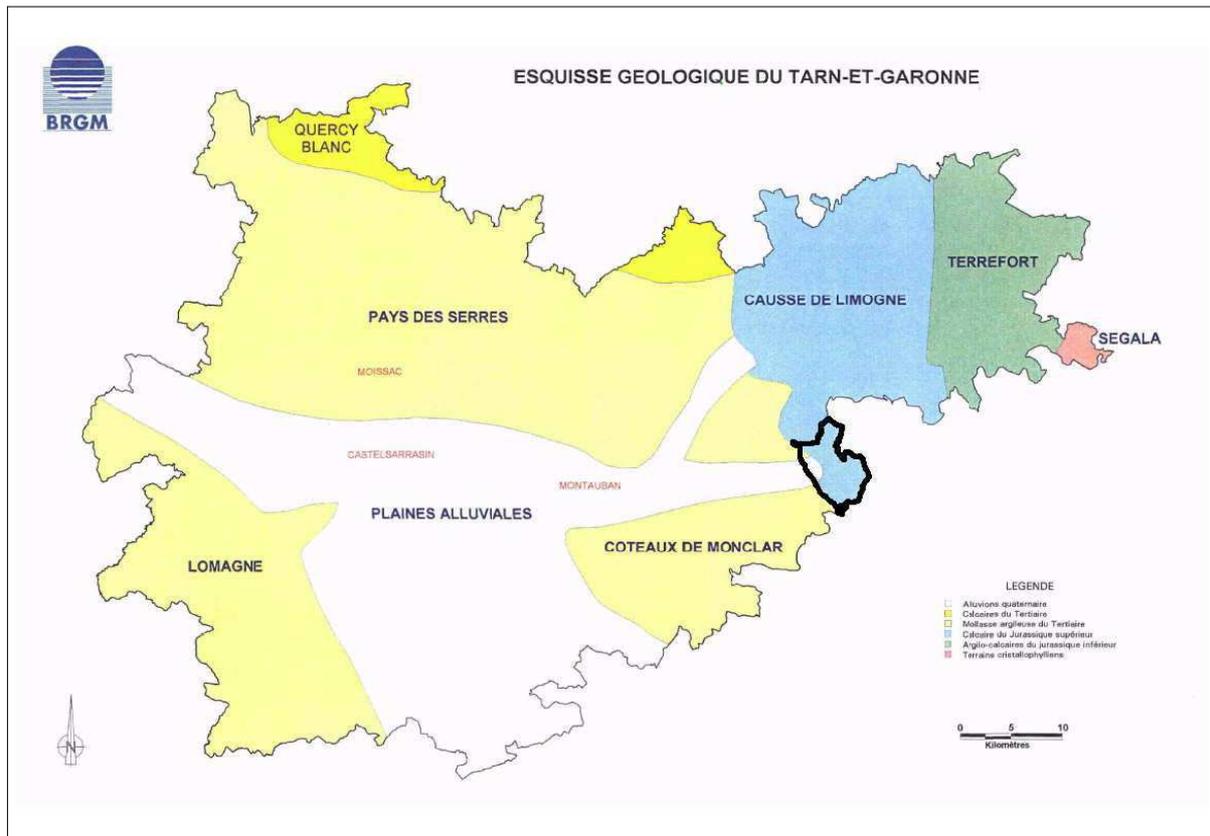


Figure 4 : Contexte géologique de la zone d'étude [Source : BRGM]

D'après la carte géologique au 1/50 000 de NÈGREPELISSE (n° 931, BRGM) et sa notice, on observe sur la zone d'étude – du plus ancien au plus récent – les formations suivantes [Figure 9]:

SECONDAIRE

t-₁M – Formation gréseuse de la Madeleine – Trias et Hettangien basal

Épaisseur : 50 m

La formation de La Madeleine sépare les formations permienes et jurassiques. La cartographie de ce contact met en évidence une discordance de la Formation de La Madeleine sur les terrains permien.

La coupe de Vaour (Magelink-Assenat, 1982,1983) localisée à proximité de la marge orientale de la carte (feuille Albi, n° 932), montre une série de grès à passées argileuses, marneuses et dolomitiques, ne dépassant pas une cinquantaine de mètres.

I₁M– Formation du Mallet : dolomies et argiles vertes – Hettangien basal

Épaisseur : environ 25 m

Reposant sur une discontinuité notée D1, des dolomies en plaquettes et des argiles vertes, forment une zone de friches plus humides, à la base de l'ensemble carbonaté du Lias inférieur. Cette formation affleure exclusivement sur le flanc nord de la Grésigne, où elle reste difficilement observable. L'épaisseur de cet ensemble, estimée d'après la largeur relative de sa bande affleurante, serait inférieure à 25 m.

C'est une alternance de bancs et de plaquettes centimétriques à décimétriques, de dolomicrites et de lits d'agiles vertes à illites (Mégelink-Assenat, 1982, 1983).

I₁C – Formation de Capdenac : brèches, cargneules et dolomies marneuses litées – Hettangien élevé

Épaisseur : 70 à 80 m

Les Formations de Capdenac et de Planioles forment l'ossature du causse liasique, séparant la forêt grésignole, du Terrefort argileux.

La coupe de Brian-de-Vère (x : 546,52 ; y : 192,50), effectuée le long de la route départementale D.664, permet d'observer les deux membres de cette formation (Cubaynes, 1986) :

- Membre des brèches et cargneules (30 à 50 m). Vers la base, la Formation de Capdenac est représentée par des cargneules et des brèches calcaréo-dolomitiques : elles correspondent à la dissolution de l'anhydrite en milieu supralittoral. En surface, ce niveau affleure mal et il est très difficile de lui donner une épaisseur : 30 à 50 m ?
- Membre des dolomies marneuses (70 à 80 m). Au-dessus, des dolomies marneuses litées sont assez souvent visibles en affleurement ; mais leur épaisseur en est aussi très incertaine. La Formation de Capdenac dans sa totalité semble avoir 70 à 80 m d'épaisseur. Son passage latéral au bassin évaporitique (dolomie, anhydrite et sel) d'Aquitaine ne faisant aucun doute, un âge allant de l'Hettangien supérieur à la base du Sinémurien semble acquis.

I₂P-C – Formation de Planioles et de Cavagnac : calcaires micritiques à microrhythmes, calcaires gréseux – Sinémurien - Lotharingien

Épaisseur : 60 m

La Formation de Planioles affleure largement sur le flanc nord-ouest de la Grésigne. Celle-ci est représentée par 55 à 60 m de calcaires micritiques, en bancs bien réglés, gris foncé, à microrhythmes. Dans la partie médiane de la formation, s'observent de remarquables stromatolites.

La limite inférieure de cette formation reste incertaine. Nous avons choisi, pour la fixer, un critère lithologique : le remplacement des dolomies par des calcaires francs. Au sommet, une surface durcie (discontinuité D3) taraudées par de nombreux terriers, constitue la limite supérieure de cette formation. Reposant sur la discontinuité D3, les calcaires gréseux de la Formation de Cavagnac, d'une épaisseur inférieure à un mètre, ont été regroupés sur la carte avec la Formation de Planioles **[Figure 5]**.

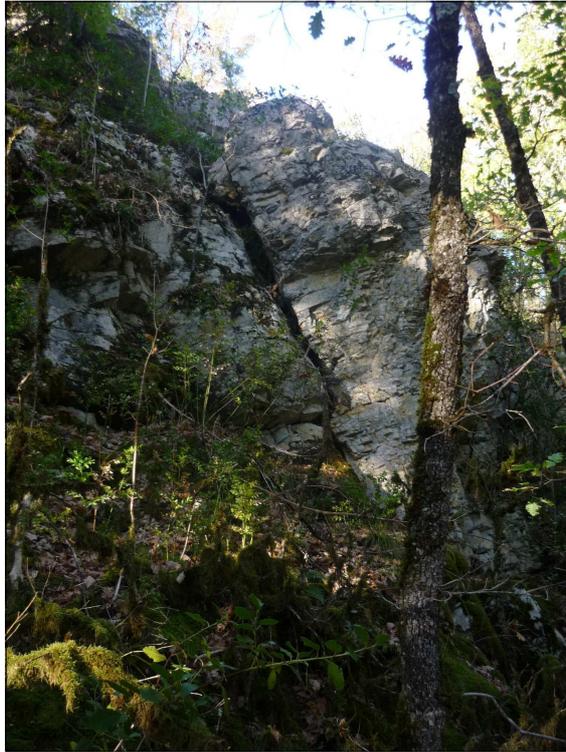


Figure 5 : Affleurement de calcaires du Lias, à l'Est du hameau de Marières [Source : IMS_{SN}]

I₃B – Formation de Brian-de-Vère : marnes et calcaires gris – Pliensbachien inférieur

Épaisseur : 55 m

La Formation de Brian-de-Vère, appuyée contre le causse liasique, forme une rupture de pente bien nette dans la topographie. Cette formation est composée, de la base vers le sommet par trois membres :

- Le Membre des calcaires argileux à *Platypleuroceras*, reposant sur la surface durcie du sommet des Calcaires de Cavagnac (discontinuité D4). Ce sont des biomicrites et des biopelmicrites, en bancs décimétriques séparés par des lits argileux centimétriques.
- Le Membre des calcaires à chailles, disposé en bancs pluridécimétriques, séparés par des couches de marnes grises feuilletées, plus fréquentes et épaisses à la base. Ce sont des biopelmicrites bioturbées, incluant de nombreuses chailles sombres décimétriques.
- Le Membre des calcaires en rangs de pavés présente une alternance rythmique de bancs calcaires décimétriques et de marnes. Les calcaires sont des biomicrites pyriteuses.

I₃V – Formation de Valeyres : argilites et marnes noires – Pliensbachien supérieur

Épaisseur : 45 à 50 m

La Formation de Valeyres dessine une étroite bande d'affleurement au Nord-Ouest de la Grésigne et dans la vallée de la Vère. Elle est constituée par 45 à 50 m d'argilites et de marnes gris-noir micacées qui affleurent mal. Elles forment le versant boisé ou herbacé des vallées. Les affleurements – de mauvaise qualité – n'offrent jamais de coupe continue et les glissements de terrains sont très fréquents.

I₃P – Formation de la « barre à Pecten » : calcaires bioclastiques gris et roux – Pliensbachien supérieur

Épaisseur : 20 à 25 m

Cet ensemble, de bancs décimétriques, dessine une petite falaise (barre à Pecten), souvent boisée, très caractéristique dans le paysage. Il forme un ressaut dans le Terrefort sur lequel se sont établis, à l'Est de Penne, les hameaux de Belaygues, de Garrissou et de Roussel. La « barre à Pecten » s'étire également vers la base de la vallée de la Vère en amont de Larroque et sur le flanc nord du vallon de Merdarié.

I₄P-L – Formations de Penne et de Lexos : « Schistes carton », calcaires, marnes et argiles noirâtres – Toarcien inférieur et supérieur

Épaisseur : 80 m

Le Toarcien forme l'ensemble des pentes le plus souvent couvert de prairies qui séparent la falaise domérienne de la corniche du causse. Les sols, généralement argileux, sont affectés de nombreux glissements de terrains. La Formation de Penne présente, de la base au sommet :

- Les « Schistes carton » (~ 3 m) ;
- Les Marnes et calcaires à Hildoceras (25 à 30 m) ;
- Les Marnes noires à Pseudogrammoceras (40 à 50 m) ;
- La Formation de Lexos (10 à 12 m) voit l'apparition des faciès carbonatés.

Sur ces marnes repose ensuite un ensemble principalement calcaire puis 2 à 3 m de calcaires argileux à lits ondulés.

j₁A – Formation d'Autoire. Membre de La Toulzanie : calcaires bioclastiques à oncolites – Aalénien

Épaisseur : 15 à 20 m

Le membre de La Toulzanie affleure vers la base de la falaise formant la corniche du Causse de Limogne dans la vallée de l'Aveyron et sur la périphérie des buttes témoins du Terrefort aux environs de Penne.

Sur la coupe de Bruniquel qui longe la D.87 (x : 546,80 ; y : 195,50), la série qui compose le membre de la Toulzanie débute à 6,5 m au-dessus de l'Assise à gryphées. Cette série se décompose de bas en haut en 5 unités (Lezin, 2000) :

- 4,5 m de calcaires bioclastiques roux ;
- 6 m de calcaires gris-bleu à oncolites et à rares brachiopodes ;
- 5 m de calcaires peltoïdes et foraminifères ;
- 5 m de dolomies microcristallines (dolomicrites) à macrocristallines (dolosparites) composées de géodes de calcite ;
- 2 m de dolosparites massives, rouges, à fantômes d'oolites et à géodes de calcite.

Une surface karstifiée (discontinuité D10) limite cet ensemble au sommet. Elle est surmontée par des calcaires oolitiques plus ou moins dolomités à stratifications obliques.

j_{2A} – Formation d'Autoire. Membres de Calvignac et de Pech-Affamat – Bajocien inférieur ?

Épaisseur : environ 40 m

Cet ensemble massif forme le 1er niveau de falaises, du confluent Aveyron-Vère à Amiel ; il affleure également sur le petit causse de Magrou, et les buttes témoins de Penne et de ses environs **[Figure 6]**.

La coupe effectuée en longeant la D. 115 au Sud-Est d'Amiel, montre de bas en haut, reposant sur des dolosparites massives à nombreuses géodes (discontinuité D10), la totalité de cet ensemble :

- Membre de Calvignac (37 m). Calcaires oolitiques localement dolomités, sparites et dolosparites ;
- Membre de Pech Affamat (3 m). Brèches, dolosparites et calcites fibroradiées.

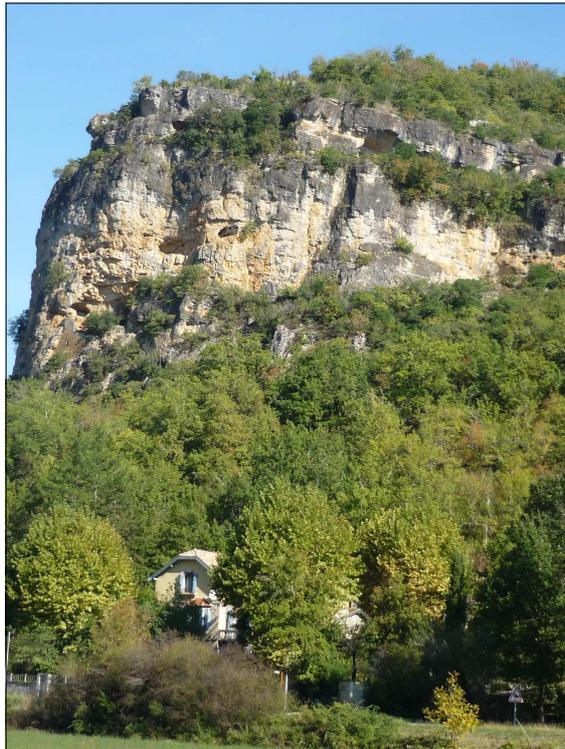


Figure 6 : Escarpement de calcaires du Jurassique, à l'Est du village de BRUNIQUEL [Source : IMS^{RV}]

j_{2-3C} – Formation de Cajarc. Membres de Larnagol, de La Bouye et de Saint-Chels – Bajocien supérieur et Bathonien

Épaisseur : 75 m

La coupe de La Brégarié (Fabre, 1971), 1 km au Nord de Penne a permis de relever la totalité de cet ensemble qui comprend de bas en haut **[Figure 7]** :

- Membre de Larnagol (10 m). Cet ensemble (Membre de Larnagol) est caractérisé par de nombreuses variations de faciès. Il comprend de la base vers le sommet : des calcaires micritiques en bancs, admettant quelques passées oolitico-graveleuses à intraclastes, organisés en nombreuses séquences décimétriques souvent tronquées par érosion. Au sommet elle est limitée par un fond durci (discontinuité D13 non cartographiée) ;
- Membre des calcaires « massifs » de La Bouye (11 m). Le Membre de Larnagol est surmonté par un ensemble de calcaires essentiellement micritiques, en dalles, séparées par des marnes à laminations

millimétriques. Elle présente des faciès micritiques à brachiopodes et échinodermes alternant avec des calcaires argileux à gastéropodes pulmonés et charophytes (Clark, 1976). Au sommet une micro-brèche à cailloux noirs clôture cet ensemble (discontinuité D14) ;

- Membre des calcaires et marnes de La Bouye (25 m). Alternances de calcaires micritiques en bancs et de laminites surmontés par quelques bancs dolomitiques ; cet ensemble est marqué au sommet par la discontinuité D15, qui limitée au seul Quercy est interprétée comme d'origine tectonique ;
- Membre de Saint-Chels (28 m). Cette unité débute par des calcaires micritiques massifs (6 m) représentant le Membre des Brèches et évaporites de Saint-Chels. Succède ensuite une alternance de calcaires micritiques en bancs (17 m) à passées à oolites ferrugineuses, à pseudomorphoses d'évaporites, surmontés par des brèches à cailloux noirs (1 m). Le sommet de cet ensemble est clôturé par des calcaires micritiques à lamines à faune et flore dulçaquicoles (4 m), à surface ravinée et oxydée, ces indices d'émersion matérialisent la discontinuité D17.



Figure 7 : Escarpement de calcaires en bancs décimétriques du Jurassique, au niveau de la carrière le long de la RD 87 (vers Pechengrel) [Source : IMS_{RN}]

j₃₋₄R – Formation de Rocamadour : membres de Marcilhac et de Cabrerets – Bathonien terminal et Callovien basal ?

Épaisseur : 100 m

La Formation de Rocamadour arme la haute falaise bordière du causse de Limogne en rive droite de l'Aveyron et le Rocher de Biouzac sur la limite septentrionale de la carte :

- Le Membre de Marcilhac (25 m) est représenté à la base par des calcaires micritiques en bancs métriques (20 m), à passées oolitico-graveleuses vers la base. Cet ensemble massif est surmonté par des calcaires dolomitiques, à pseudomorphoses d'évaporites et à stromatolites, limités par des lamines dolomitiques et parfois un fond durci attribué à la discontinuité D18 (environ 5 m). Cette discontinuité est peu marquée sur la feuille Nègrepelisse, elle est beaucoup plus nette au Nord de la vallée du Lot (feuille Saint-Géry) ;
- Le Membre de Cabrerets (80 m) est constitué par un ensemble homogène de calcaires micritiques (80 m), en bancs métriques, à joints de stratification très plats. Dans sa partie supérieure, cet ensemble est marqué par la discontinuité D18.10, bien visible dans la grande falaise du Rocher de Biouzac ; cette discontinuité est matérialisée par une surface durcie, accompagnée localement de petits accidents tectoniques synsédimentaires. Au sommet, un banc dolomitique (0,5 m), annonce le passage progressif avec l'unité sus-jacente (j₅G).

j₅G – Formation de Saint-Géry : calcaires oolitiques massifs – Oxfordien ?

Épaisseur : 90 m

Les Calcaires micritiques de Cabrerets passent progressivement à un ensemble massif. Ce sont des calcaires principalement oolitiques à passées graveleuses, bioclastiques, à ciment sparitique avec dans la partie basale quelques intercalations micritiques difficiles à séparer des calcaires micritiques sous-jacents de la Formation de Rocamadour. Un niveau dolomitique, présentant souvent de belles bioturbations, marque la discontinuité sommitale (D 18.20) qui s'observe en Quercy jusqu'au Nord de la vallée de la Dordogne. Ce faciès montre des fantômes de terriers (diamètre de 8 à 10 mm) anastomosés, à remplissage ferruginisé, s'intercalant dans les faciès bioclastiques du sommet.

TERTIAIRE

e₁₋₅Gr – Conglomérats à éléments jurassique – Paléocène ? à Éocène basal

Épaisseur : supérieure à 150 m

A la périphérie du dôme de Puycelci, les conglomérats à éléments jurassiques affleurent largement. Ils occupent l'intérieur d'un paléo-couloir aux environs de Saint-Martin-d'Urbens (3 km au Nord-Ouest de Puycelci). Au Sud-Est de Puycelci, ils reposent sur une surface d'érosion, entaillant les terrains jurassiques, et inclinée en direction du Sud-Est. La coupe du Travers-de-Bousquet (3 km à l'Est de Puycelci) montre, reposant sur une surface jurassique karstifiée, des conglomérats polygéniques, à éléments centimétriques à décimétriques, de calcaires et dolomies jurassiques (Aalénien à Bathonien). La forme des éléments est hétérogène, les éléments subsphériques côtoient des éléments anguleux. La matrice argilo-silteuse, rubéfiée, à pisolites de fer et à bioturbations (traces de racines ?), représente seulement 5 à 10 % de la roche totale. Ils sont couronnés par les conglomérats à éléments permo-triasiques (e₁₋₅Gr).

g₁₋₂Gr – Conglomérats post-orogéniques de berge lacustre - Oligocène

Épaisseur : 0 à 30 m ?

Au Nord-Est de Puygaillard, la molasse admet localement de gros éléments conglomératiques. Ce sont des blocs descendus par gravité (éboulements) des reliefs formés par les conglomérats syn-orogéniques surplombant la plaine d'inondation. Ces conglomérats post-orogéniques diachrones sont intercalés entre les conglomérats syn-orogéniques (e₁₋₅Gr) et la Molasse de la Sauzière (g₁S).

g₁S – Grès de La Sauzière – Oligocène inférieur

Épaisseur : 25 à 60 m à l'affleurement

Corps de sables parfois grossiers présentant des stratifications obliques, relevant de dunes hydrauliques déposées dans des chenaux.

QUATERNAIRE

K – Remplissage des dolines et cailloutis des vallées sèches suspendues : cailloutis à matrice argilo-sableuse

Épaisseur : 1 à 10 m ?

Un ancien réseau hydrographique existe à la limite orientale du Causse de Limogne : c'est un réseau de vallées sèches, démantelé par des dolines (Clozier, 1940). Ces vallées, qui ont actuellement une évolution principalement karstique, ont un fond plat occupé par des cailloutis semblables aux remplissages de dolines. Ces cailloutis et leurs produits de dissolution, peu roulés, proviennent principalement du remaniement des grèzes ; ils comblent partiellement les vallées sèches et sont lentement soutirés en profondeur. Ce lent transport, essentiellement vertical, est à l'origine de leur notation groupée avec les remplissages de dolines qui ont une évolution identique. Les dolines (appelées localement « cloups ») sont nombreuses sur les calcaires jurassiques dominant la rive droite des gorges de l'Aveyron. Leur remplissage est constitué par des cailloutis à éléments calcaires, subanguleux émoussés, à matrice argilo-silteuse brune renfermant quelques graviers de quartz.

S_G – Grèzes (appelées localement « castines ») : cailloutis à matrice argileuse, brèches de pente

Épaisseur : jusqu'à 5 m

Les grèzes forment des accumulations importantes au pied des versants. Ce sont des éboulis cryoclastiques, généralement meubles, aux éléments anguleux et bien triés, pouvant être localement cimentés par des percolations de calcite (brèches de pente). Elles sont abondantes dans les gorges de l'Aveyron et dans les vallées sèches du causse, mais leur distribution ne permet pas de les cartographier systématiquement. Dans le cadre du lever à 1/50 000 de la feuille Nègrepelisse, nous avons cartographié seulement quelques accumulations spectaculaires de grèzes **[Figure 8]**.



Figure 8 : Grèzes du Quaternaire reposant sur des calcaires du Lias, au niveau de la carrière le long de la RD 964 (au Nord de la Gauterie) [Source : IMS_{RN}]

Fw – Alluvions de la haute terrasse : galets et argiles – Mindel ancien

Épaisseur : 3 à 6 m

Cette terrasse est polygénique et on peut y distinguer nettement deux niveaux dont le matériel se trouve en partie repris par un phénomène de colluvionnement en un glacis continu où il est parfois difficile de retrouver le talus intermédiaire. Ces alluvions ne contiennent que des galets de quartz, à l'exclusion de tout calcaire, granite ou grès. Ces galets de quartz portent une patine brune d'oxydes de fer en ce qui concerne le palier inférieur, et rouille pour le palier supérieur, témoin d'une altération de type rubéfiant.

Fx – Alluvions de la moyenne terrasse : galets à matrice argileuse et limons argileux en couverture – Riss à Mindel ?

Épaisseur : 6 à 7 m

Un talus très net de 50 m sépare cette terrasse de Fy. L'importance de la couverture limoneuse, la disparition complète des éléments calcaires, ainsi que l'altération des éléments de granites et de grès contrastent fortement avec les caractères de Fy.

Fx-C – Alluvions anciennes et colluvions associées : cailloutis à matrice argileuse, limons – Riss, Mindel ?

Épaisseur : 2 à 20 m

Cette notation regroupe des lambeaux d'alluvions anciennes situés entre 0 et 50 m au-dessus du lit majeur de l'Aveyron, ainsi que des colluvions issues des hautes terrasses (Fw) qui se bloquent sur la surface de la moyenne terrasse (Fx).

Fy – Alluvions anciennes : cailloutis à matrice argileuse, limons – Würm ancien à Riss

Épaisseur : 2 à 4 m

Ces alluvions ont une altitude relative par rapport au cours d'eau qui varie de 5 m dans la vallée du Tescou, à une dizaine de mètres dans la vallée de l'Aveyron. Dans la vallée de l'Aveyron, il s'agit de galets de socle à matrice argileuse. Dans le bassin du Tescou, où seuls des graviers hérités des molasses sont disponibles, l'argile domine.

Fy₂ – Alluvions du 1er palier de la basse terrasse : galets, graviers, sables et limons – Würm ancien

Épaisseur : 5 à 7 m

Une couverture de limons d'inondation ne montre encore que des sols bruns peu évolués. Les galets de nature voisine de ceux de Fz ne sont pas notablement altérés. Ces alluvions occupent un large couloir orienté N100°E, débutant brutalement à hauteur de Montricoux où l'on reconnaît bien la trace d'un vaste méandre.

CF – Colluvions et alluvions modernes des vallées secondaires et des ravins : cailloutis à matrice argileuse, limons – Würm récent à Holocène

Épaisseur : 2 à 4 m

Ces matériaux meubles constituent le fond plat de nombreuses vallées, souvent sèches ou à écoulement épisodique, et qui entaillent l'ensemble des formations sédimentaires de la feuille. Les dépôts détritiques sont constitués d'éléments issus de l'érosion des formations lithologiques voisines et transportés par les ruisseaux sur de courtes distances.

Fz – Alluvions de basse plaine : galets et graviers à matrice argileuse – Würm récent à Holocène

Épaisseur : 0 à 10 m

Ce niveau alluvial occupe dans la vallée de l'Aveyron des banquettes supportées par les formations jurassiques dans lesquelles la rivière s'encaisse. Souvent inondable, il domine généralement de 4 à 5 m le lit mineur. Sur l'Aveyron ces alluvions sont majoritairement composées de galets et graviers de socle avec des fragments calcaires peu émoussés. La matrice est assez argileuse.

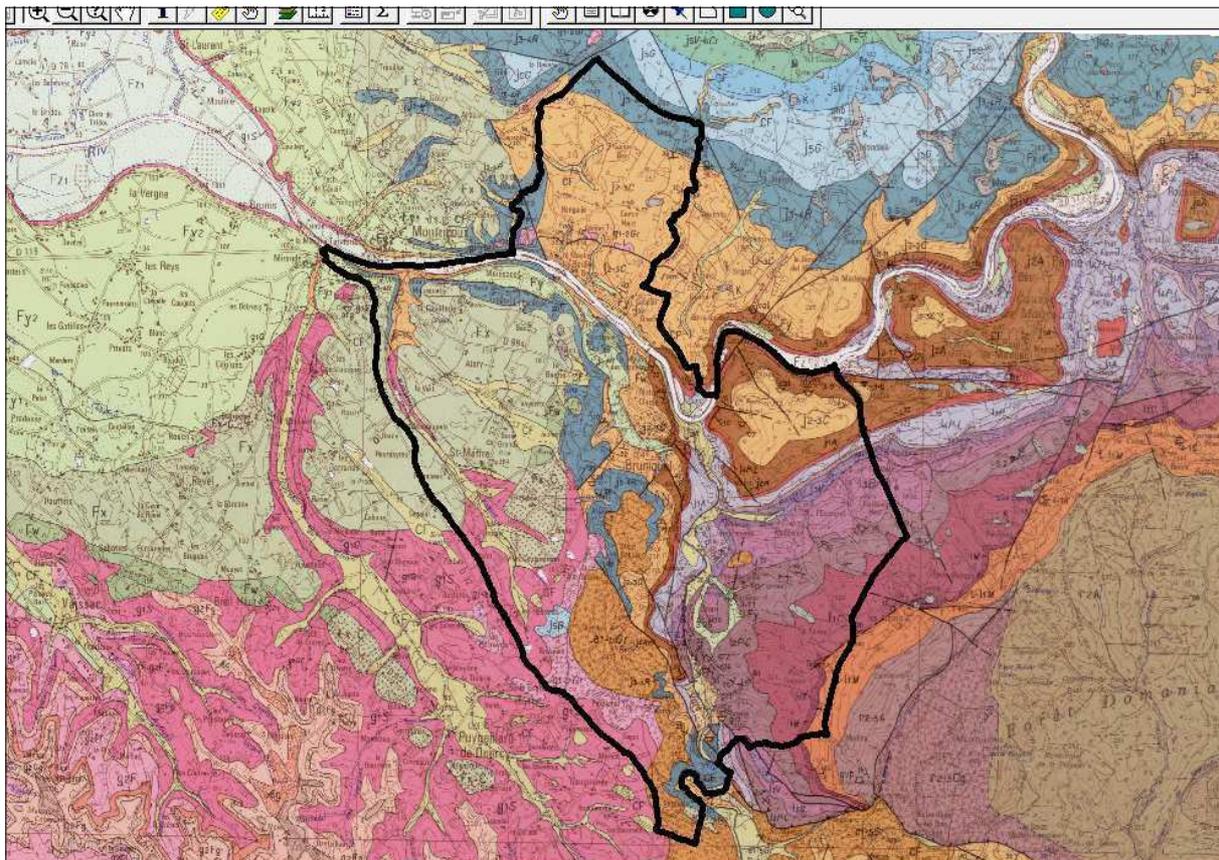


Figure 9 : Carte géologique de la commune de BRUNIQUEL [Source : BRGM]

En bordeaux : calcaires, dolomies et marnes du Lias / en brun, beige et bleu : calcaires du Jurassique moyen / en beige moucheté et violet : conglomérats et grès de l'Éocène - Oligocène / en vert clair : alluvions anciennes / en blanc : alluvions récentes

3. Hydrogéologie

D'après la notice de la carte géologique au 1/50 000 de NÈGREPELISSE (n° 931, BRGM) :

Les ressources des aquifères sont conditionnées par les facteurs principaux suivants : la pluie efficace (quantité d'eau de pluie qui ruisselle et s'infiltre dans le sol), les conditions d'alimentation aux limites de l'aquifère (relations avec les cours d'eau, avec d'autres aquifères), la porosité et la perméabilité, la fracturation des calcaires, la solubilité des roches carbonatées (karstification), la structure des corps sédimentaires, l'évolution géomorphologique des aires d'affleurement.

Dans le cadre de la feuille, ces facteurs déterminent deux catégories de réservoirs correspondant à des ensembles lithologiques. On distingue ainsi :

- des réservoirs souvent profonds à porosité de fissures et de chenaux karstiques dans les calcaires : Lias inférieur, Jurassique moyen et supérieur **[Figure 10]** ;
- des réservoirs à porosité d'interstices dans les alluvions récentes des vallées de l'Aveyron et des vallées secondaires, enfin quelques petits réservoirs localisés dans les niveaux graveleux de l'Oligocène.

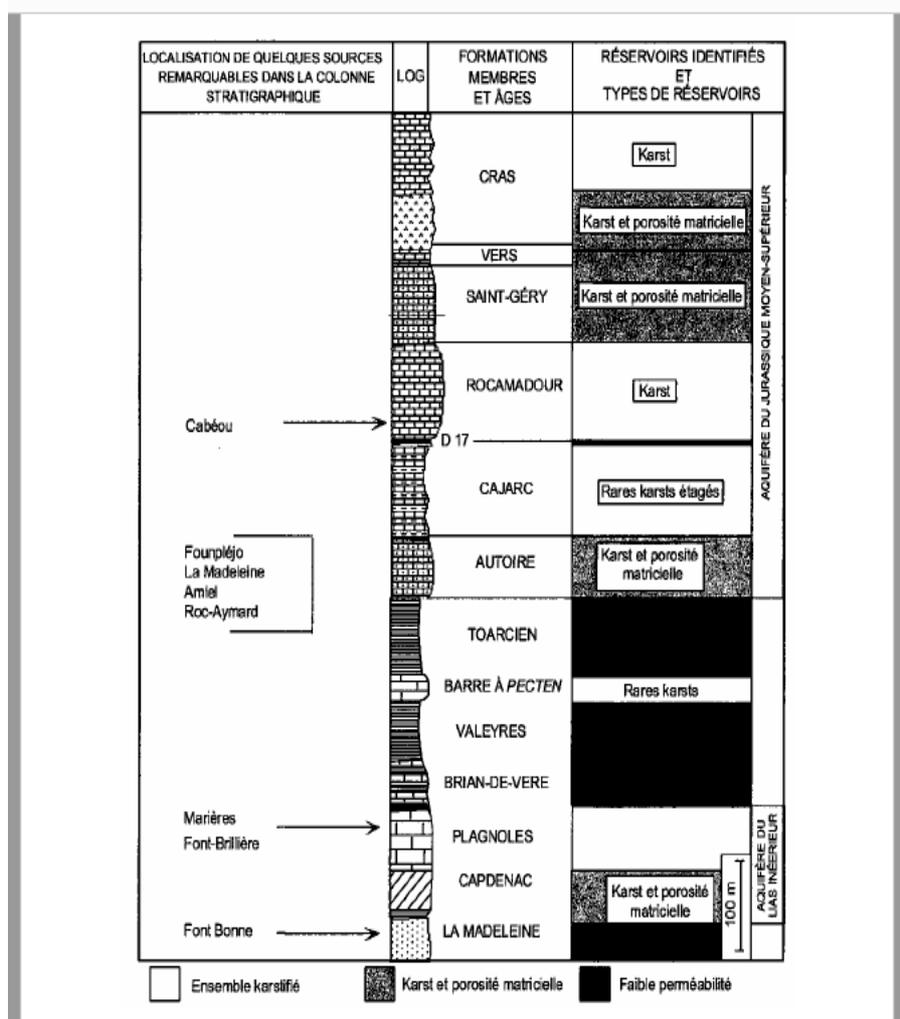


Figure 10 : Hydrogéologie du Jurassique [Source : BRGM]

4. Sismique

Comme l'ensemble du département du Tarn-et-Garonne, la commune de BRUNIQUEL est classée en **zone de sismicité très faible** (niveau 1 sur 5) sur le nouveau zonage sismique de la France (entré en vigueur le 1^{er} mai 2011).

La sismicité est un facteur d'amplification et donc d'aggravation importante des phénomènes mouvements de terrain. Cependant en raison du très faible niveau d'aléa de la commune, son influence n'a pas été prise en compte (pas de majoration des aléas).

III.3. Contexte climatique

La commune de BRUNIQUEL supporte les influences directes du bassin aquitain et de la vallée de la Garonne, tour à tour océaniques, continentales et méditerranéennes, selon les saisons.

Ainsi les étés sont chauds et généralement secs et les hivers y sont généralement doux et humides, entrecoupés de courtes périodes froides. Les précipitations, essentiellement apportées par les vents d'Ouest, se produisent surtout en hiver et au printemps, avec une pointe en Avril et en Mai. La moyenne annuelle des précipitation est d'environ 710 mm à la station de MONTAUBAN ; avec les reliefs les précipitations sur BRUNIQUEL peuvent être légèrement supérieures **[Figure 11]**.

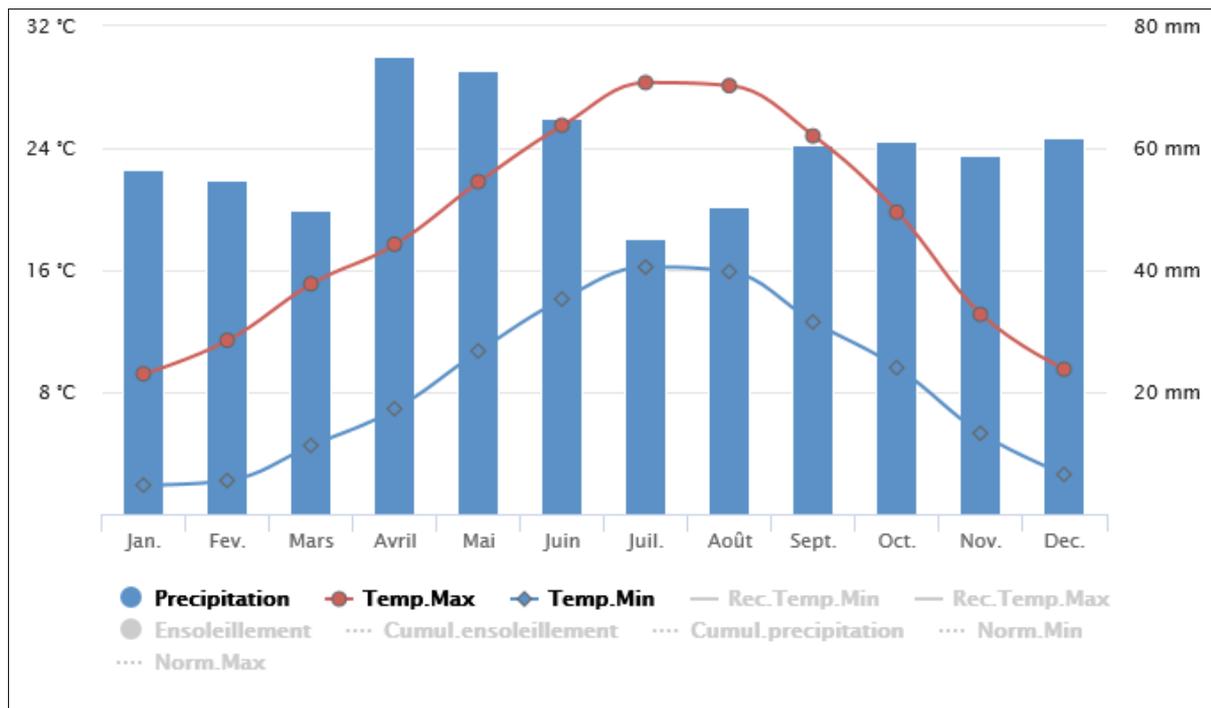


Figure 11 : Données climatiques de la station de MONTAUBAN [Source : www.meteofrance.com]

III.4. Contexte hydrographique

Le réseau hydrographique de la commune de BRUNIQUEL se développe principalement autour de l'Aveyron qui traverse le territoire communal d'Est en Ouest. Il recueille les eaux des ruisseaux de la Vère et de la Vaysse en rive gauche, et de Cabéou et d'Embarre en rive droite **[Figure 12]**.

D'autres cours d'eau moins significatifs sont également présents dont les ruisseaux de Merdarié, de Nègre-Sauve et de Ribalous.

Enfin plusieurs retenues collinaires ont par ailleurs été réalisées dans des talwegs.

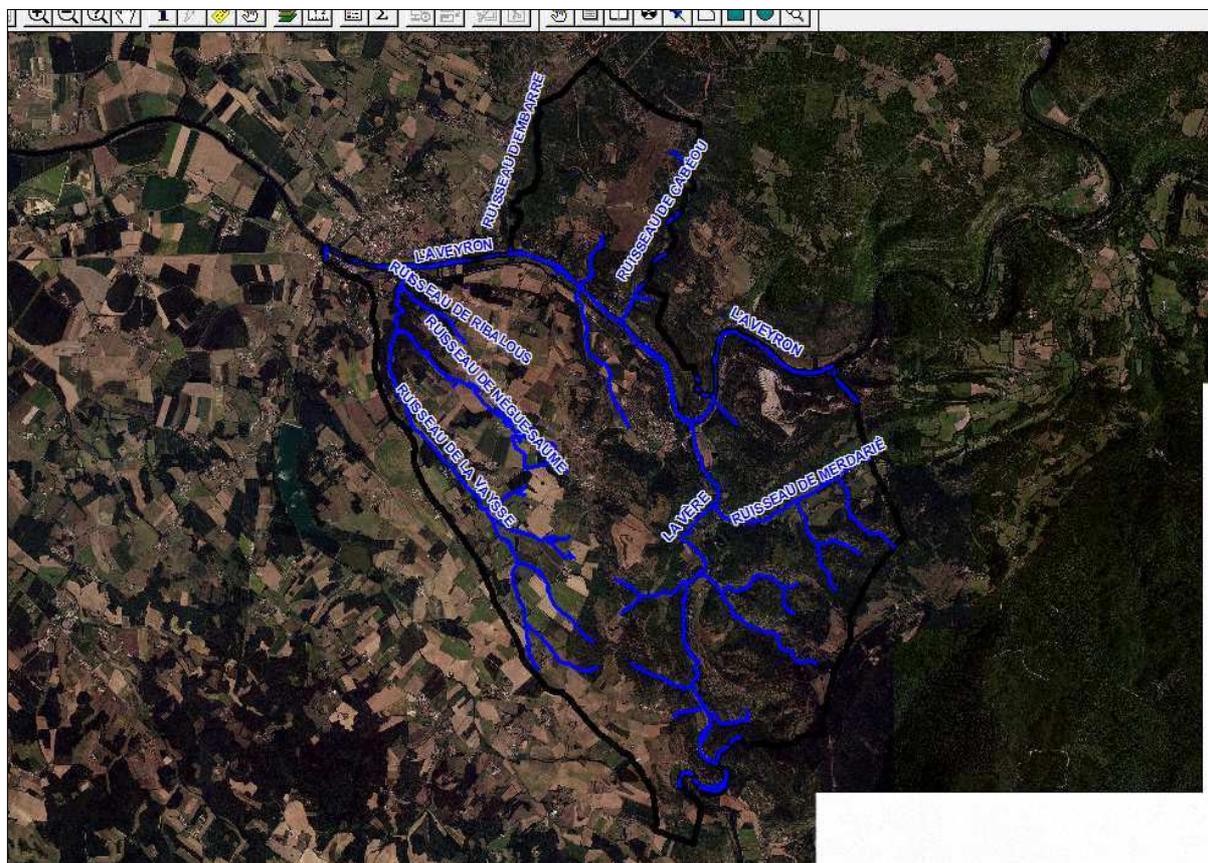


Figure 12 : Carte hydrologique de la commune de BRUNIQUEL [Source : IMS_{RV}]

IV. MÉTHODOLOGIE GÉNÉRALE

La méthodologie employée pour la réalisation de cette étude, suit les recommandations mentionnées dans le guide général et le guide Risque de mouvements de terrain (du Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer) concernant l'élaboration des PPR.

D'après ces différents guides, le zonage réglementaire d'un PPR repose sur l'estimation des risques qui dépend de l'analyse des phénomènes naturels susceptibles de se produire et de leurs conséquences possibles vis-à-vis de l'occupation des sols et de la sécurité publique.

Cette analyse comprend **3 étapes préalables au zonage réglementaire [Figure 13]** :

- Cartographie informative des phénomènes naturels ;
- Cartographie des aléas ;
- Cartographie des enjeux.

Chacune de ces étapes donne lieu à l'établissement de documents techniques et cartographiques qui, bien que non réglementaires, sont essentiels à l'élaboration et à la compréhension du PPR et doivent nécessairement y être annexés.

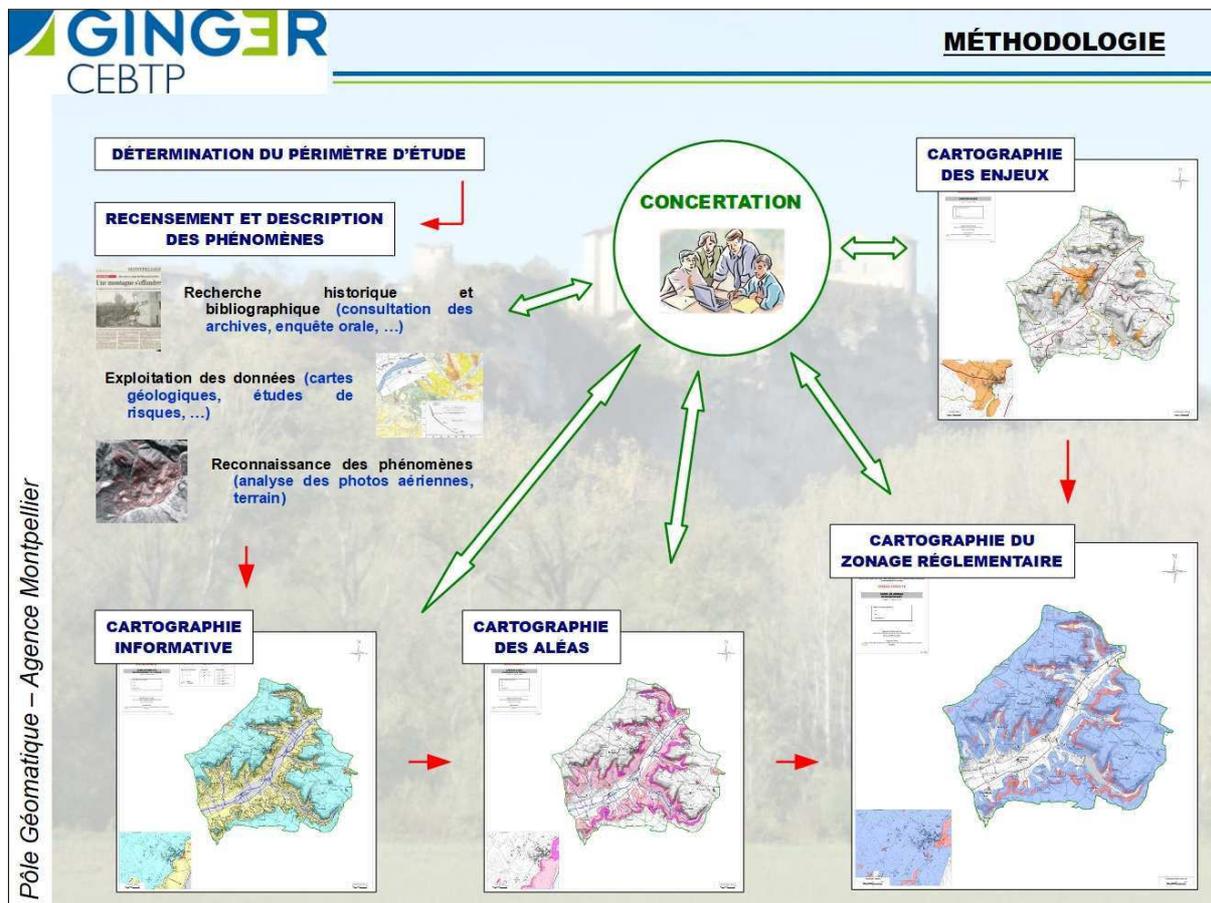


Figure 13 : Méthodologie d'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques [Source : IMS_{RN}]

La cartographie informative des phénomènes naturels est très importante car c'est d'elle que va découler la cartographie des aléas qui va ensuite servir à l'élaboration du zonage.

La démarche aboutissant à la cartographie informative des phénomènes naturels se décompose en **4 phases principales** :

1. **Recherche historique et bibliographique** concernant les événements survenus dans le passé et la connaissance antérieure du risque, par consultation des archives communales ainsi que celles des services de l'État tels la DDT ou encore d'organismes tels que le BRGM et enquête orale auprès des élus et des habitants de la commune ;
2. **Exploitation des données collectées** : cartes géologiques, études de risques, ... afin de connaître la susceptibilité de la zone d'étude aux différents phénomènes naturels ;
3. **Reconnaissance des phénomènes naturels** par analyse et interprétation des photographies aériennes, des données topographiques et étude de terrain ;
4. **Cartographie informative des phénomènes naturels** sur l'ensemble de la zone d'étude à l'échelle du 1/10 000.

V. CARTOGRAPHIE INFORMATIVE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN

V.1. Généralités

Sous le terme "mouvements de terrain" sont regroupés tous les **déplacements gravitaires de masses de terrain** sous l'effet de **sollicitations naturelles ou anthropiques**. La cinématique peut être lente ou extrêmement rapide. Dans le cadre de cette étude, 3 familles de mouvements de terrain sont traitées :

- Affaissements / Effondrements ;
- Éboulements / Chutes de blocs et de pierres ;
- Glissements de terrain / Coulées de boue.

Il convient ici de rappeler les causes de ces instabilités qui sont à rechercher dans :

- **la pesanteur** (force de gravité) qui constitue le moteur essentiel des mouvements de terrain ;
- **l'eau** qui est le premier facteur aggravant des désordres. Ainsi les conditions climatiques et notamment la pluviométrie (période de pluies intenses ou longues), et les conditions hydrologiques (circulations superficielles ou souterraines) sont à prendre en considération ;
- **la nature et la structure géologique des terrains** présents sur le site (présence d'argiles ou de marnes, accidents tectoniques, fracturations, ...) ;
- **la pente et la morphologie des versants** (présence d'escarpements, talwegs concentrant les écoulements, ...) ;
- **le couvert végétal** (racines s'insinuant dans les fractures et favorisant la déstabilisation des blocs, versant nu sensible à l'érosion, ...) ;
- **l'action anthropique** qui se manifeste de plusieurs façons et qui contribue de manière très sensible à déclencher directement des mouvements : modification de l'équilibre naturel de pentes (talutage ou déblais en pied de versant, remblaiement en tête de versant, carrières ou mines souterraines), modifications des conditions hydrogéologiques du milieu naturel (rejets d'eau dans une pente, pompages d'eau excessifs), ébranlements provoqués par les tirs à l'explosif ou vibrations dues au trafic routier, déforestation, ...

V.2. Définitions

1. *Affaissements / Effondrements*

Les affaissements / effondrements sont des mouvements de terrain consécutifs à l'évolution de cavités souterraines d'origine naturelle (karsts, poches de gypse, ...) ou anthropiques (mines, carrières, ouvrages souterrains, ...).

Cette évolution a pour origine la dégradation du toit ou des parois des cavités du fait des circulations d'eau, de surcharge en surface ou des vibrations (secousses sismiques, circulation routières, travaux, ...).

Ce phénomène peut correspondre :

- **Soit à un mouvement lent** (du fait de l'amortissement par les terrains de couverture) qui se traduit en surface par l'apparition d'une dépression topographique généralement circulaire ou ovoïdale sans présence de fissures ou de décalage en périphérie : on parle alors d'**affaissements** [*Figure 14*],

Ils ne font pas de victimes ; seul le bâti peut subir des dommages (fissuration voire ruine) du fait des efforts sur ses fondations.

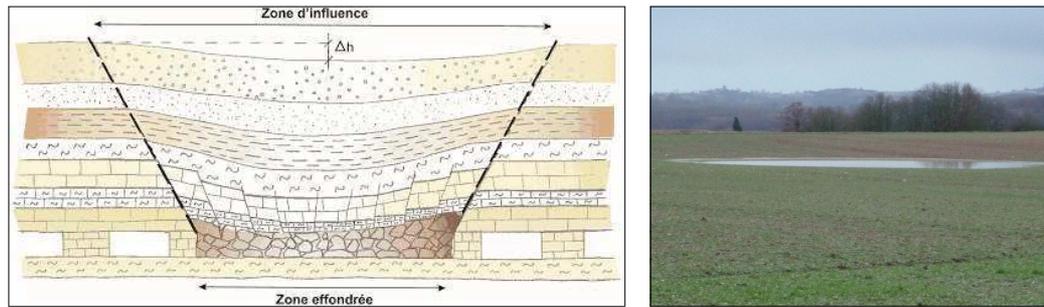


Figure 14 : Schéma conceptuel d'un affaissement [Source : BRGM] et photographie d'une doline à MONTAIGU-DE-QUERCY (Tarn-et-Garonne) [Source : IMS^{RN}]

- **Soit à un mouvement rapide (brutal)** : on parle alors d'**effondrements**.

Un **fontis** est un cratère d'effondrement, généralement circulaire, de quelques mètres de diamètre et de profondeur. Au niveau du sol, ses parois peuvent être verticales, présenter la forme d'un entonnoir ou au contraire être en dévers [Figure 15].

L'apparition d'un fontis est liée à la rupture du toit d'une cavité située à faible profondeur, de la rupture d'un pilier isolé dans une mine ou une carrière souterraines exploitées par la méthode des chambres et piliers (gisements horizontaux), ou à l'arrivée en surface d'une cloche d'effondrement remontant depuis une cavité plus profonde.

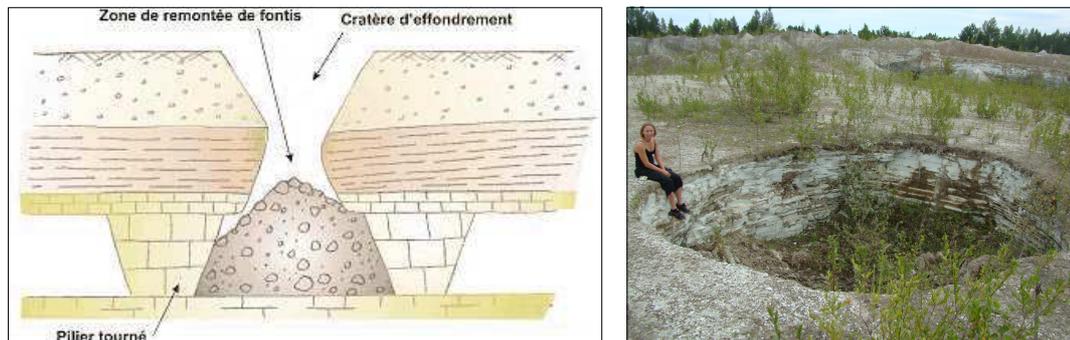


Figure 15 : Schéma conceptuel d'un fontis [Source : BRGM] et photographie d'un fontis à ROQUEFORT (Landes) [Source : IMS^{RN}]

L'apparition d'un fontis peut également être la conséquence du **débouillage** d'un karst ou d'un puits remblayé. En effet l'entraînement des matériaux de comblement d'une fissure ou d'une cavité (naturelle ou anthropique) par les circulations d'eau engendre l'apparition d'un vide en profondeur puis un trou de quelques m² en surface lorsque les terrains superficiels cèdent (sous leur propre poids ou suite à une surcharge) [Figure 16].



Figure 16 : Apparition d'un fontis à LATRESNE (Gironde) lié au débouffrage d'une fissure karstique (visible au fond derrière l'échelle) ayant entraîné les terrains superficiels [Source : Bureau des Carrières de Gironde]

Enfin la **suffosion** peut également être à l'origine de l'apparition d'un fontis. Ce phénomène affecte principalement les sables et les limons. Il correspond à un entraînement des particules les plus fines par les circulations d'eau internes. Au fur et à mesure, il ne restera qu'un squelette vacuaire constitué des éléments les plus gros.

Lors que les boyaux ainsi formés, de diamètres décimétriques, s'effondrent provoquant des désordres en surface **[Figure 17]**.

La suffosion peut avoir pour origine une fuite d'un réseau d'alimentation en eau potable ou d'assainissement.



Figure 17 : Effondrement d'une zone sous-cavée par suffosion [Source : BRGM]

L'**effondrement généralisé** (ou effondrement de masse) se caractérise par l'instabilité d'une grande partie de l'exploitation qui entraîne un **déplacement vertical soudain d'une hauteur de plusieurs mètres** dans la partie centrale, et pouvant affecter une **superficie de plusieurs hectares [Figure 18]**.

Il a pour origine la rupture en chaîne de plusieurs piliers entraînant la descente d'une partie du toit de l'exploitation.

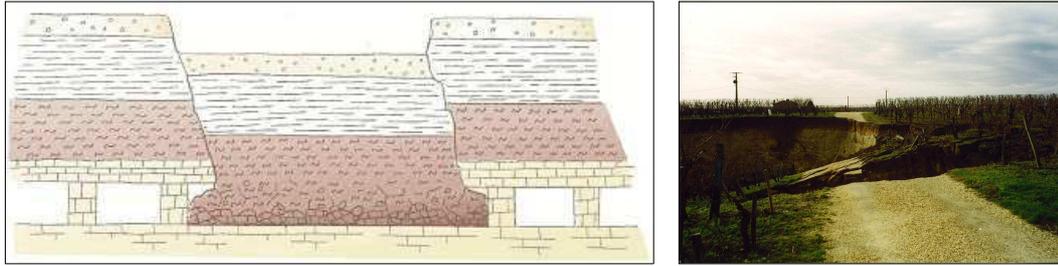


Figure 18 : Schéma conceptuel d'un effondrement généralisé [Source : BRGM] et photographie d'un effondrement généralisé à SAINT-EMILION (Gironde) [Source : CG 33]

En raison de leur brutalité et de l'étendue de la zone impactée, ce phénomène peut faire un grand nombre de victimes [Source : BRGM] :

- VIEUX-PORTS (37) - 1800 : 26 morts ;
- CHANCELADE (24) - 1885 : 13 morts ;
- PANTIN (93) - 1889 : 3 morts ;
- CLAMART-ISSY-LES-MOULINEAUX (92) - 1961: 21 morts, 36 blessés, 200 sinistrés ;
- CHAMPAGNOLE (39) - 1964 : 6 morts.

Il est à noter que le phénomène de tassement peut avoir un aspect visuel similaire aux affaissements mais il n'a pas pour origine la présence d'une cavité en profondeur.

Ces mouvements sont issus de la recompaction de matériaux meubles disposés en amas. Ils sont donc de faible ampleur, causés par leur propre poids ou par des perturbations extérieures (surcharges, nappes, ...). Les conséquences de ce phénomène sont les mêmes que celles issues du retrait-gonflement des argiles, c'est-à-dire des désordres sur les bâtiments et infrastructures (fissures, ...).

En revanche un phénomène de tassement peut apparaître au niveau des fontis non remblayés dans les règles de l'art (en mettant de côté toute évolution du remblai liée à l'entraînement des matériaux par les circulations souterraines).

2. **Éboulements / Chutes de blocs et de pierres**

L'**éboulement** est un phénomène qui **affecte les roches compétentes et fracturées**. Il se traduit par le détachement d'une portion de roche de volume quelconque depuis la masse rocheuse **[Figure 19]**. La **cinématique** est variable : par basculement, rupture de pied, glissement banc sur banc, ... ; mais dans tous les cas elle est **très rapide**.

Le **dépôt des éléments** en pied d'escarpement à forte activité prend la forme d'un **tablier** ou d'un **cône d'éboulis** dont la végétalisation dépend de la fréquence des chutes (la végétation ne pourra pousser sur une zone régulièrement atteinte).

Pour les phénomènes plus ponctuels, les seules traces visibles sont généralement les blocs immobilisés dans le versant et les trouées qu'ils ont percées dans le couvert forestier.

On différencie les éboulements d'après la taille des éléments détachés (contrainte essentiellement par le degré de fracturation de la roche) :

- **Éboulement** en masse lorsque le volume total est **supérieur à 1000 litres (1 m³)** ;
- **Chute de blocs** lorsque le volume est **compris entre 1 et 1000 litres (1 dm³ à 1 m³)** ;

- **Chute de pierres** lorsque le volume est *inférieur ou égal au litre (1 dm³)*.

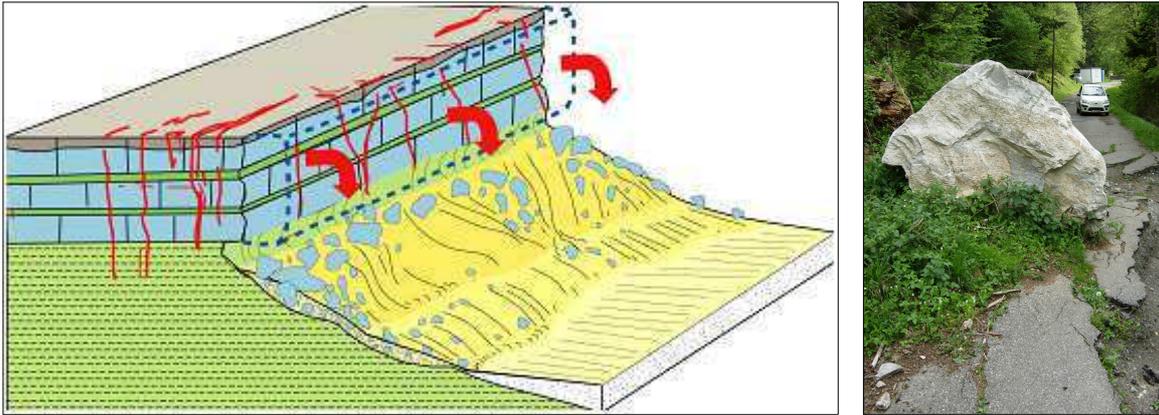


Figure 19 : Schéma conceptuel d'un éboulement et bloc éboulé à GUCHEN (Hautes-Pyrénées) [Source : [IMS_{RN}](#)]

La trajectoire des blocs suit généralement la ligne de plus grande pente mais peut varier du fait de la forme des éléments et de la topographie.

Les distances atteintes sont également fonction de ces 2 paramètres mais également de la hauteur de chute et de la taille du bloc (accumulation d'énergie cinétique), du couvert végétal et des éventuels obstacles (murs, bâtiments, ...). *A noter que certaines topographies, telles que les replats, peuvent avoir un effet de tremplin permettant à des blocs mêmes volumineux d'effectuer des bonds de plusieurs mètres de haut.*

Le facteur déclenchant principal de ce type de mouvement est la gravité, mais les phénomènes climatiques (pluies, cycles gel-dégel) jouent également un rôle important.

La présence de végétation au niveau des fractures est un phénomène aggravant.

3. Glissements de terrain / Coulées de boue

Le **glissement de terrain** est un phénomène qui **affecte**, en général, **des lithologies incompetentes** et qui **provoque le déplacement d'une masse de terrain avec rupture** (surface de cisaillement). Cette rupture peut se localiser soit au sein du même matériau (rupture circulaire), soit le long d'une discontinuité telle qu'un joint de stratification ou alors le long d'une interface entre les matériaux de couverture et le substratum **[Figure 20]**.

Dans les cas les plus développés, il se caractérise par la formation d'une **niche d'arrachement en amont** et d'un **bourrelet de pied en aval** et être limité sur les côtés par des **rampes latérales**. L'instabilité des terrains peut le plus souvent se manifester par de **légères déformations topographiques** (moutonnement, ondulations du versant) Les volumes mis en jeu sont très variables.

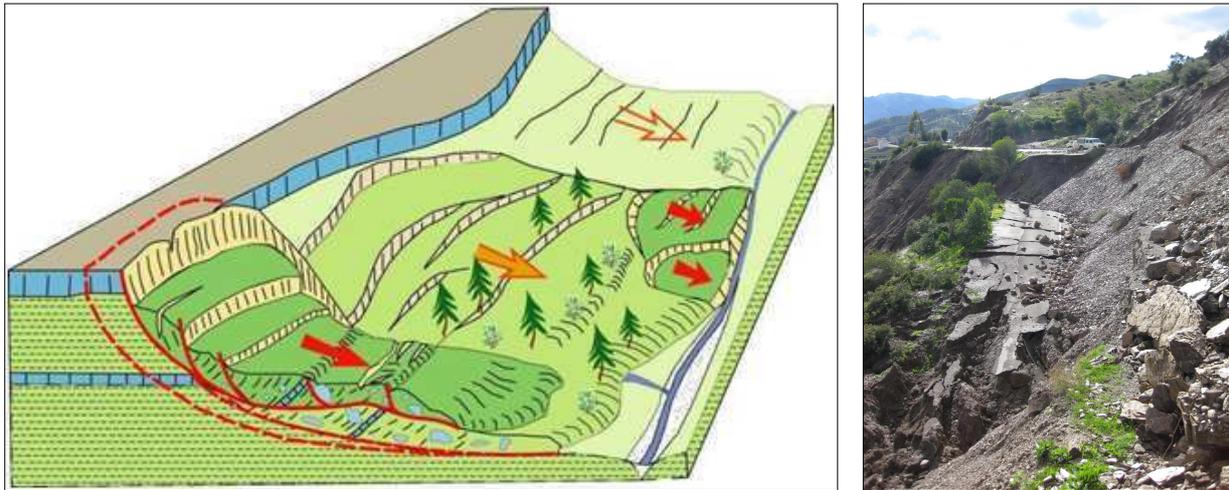


Figure 20 : Schéma conceptuel d'un glissement de terrain et glissement en bordure de l'Oued Nekor (Maroc) [Source : IMS^{RV}]

L'apparition du phénomène est étroitement liée à la **nature des matériaux** ainsi qu'à la **pente**. D'autres facteurs entre ensuite en jeu tels que les écoulements (cours d'eau en bas de versant qui favorisent l'érosion de la butée de pied et circulations internes qui « lubrifient » la surface de rupture) ou encore le **couvert végétal** susceptible de retenir et de drainer les instabilités superficielles.

Les facteurs déclenchant peuvent être naturels : fortes pluies saturant les couches instables (donc les alourdissant et augmentant la pression interstitielle), crues augmentant l'érosion en pied, séisme, ... mais également anthropiques (terrassement, modification des conditions hydrauliques, vibrations et secousses, ...).

Quand la **masse glissée se propage à grande vitesse sous forme visqueuse** avec une teneur en eau très élevée, on parle alors de **coulée de boue**.

Aussi, une coulée de boue se caractérise donc comme un glissement par une niche d'arrachement en amont. En revanche la propagation se fait généralement dans un couloir de faible largeur (au regard de la longueur de la coulée). La zone de dépôt en pied présente le plus souvent un évasement [Figure 21].



Figure 21 : Coulée de boue à LAVEYRON (Drôme) [Source : IMS^{RV}]

La coulée de boue peut également prendre naissance dans la partie aval d'un glissement de terrain.

Ce type de phénomène concerne exclusivement les formations à cohésion faible et de composition granulométrique adéquate, telles des colluvions ou des éboulis de pente reposant sur un versant constitué de marnes, d'argiles ou même de formations morainiques. Le facteur de déclenchement principal des mouvements est la pluie qui favorise le décollement de la couche superficielle. La pente (parfois aggravée par l'absence de la végétation) est un facteur de prédisposition principal.

V.3. Recherche historique et bibliographique

Pour **acquérir ou compléter la connaissance des phénomènes naturels** sur le territoire communal, il convient d'effectuer en premier, un **recensement des événements historiques** ainsi qu'une **collecte des données et études liées aux risques** présents sur la zone d'étude ou à proximité de celle-ci (à condition que la configuration soit similaire).

Le recueil des informations a été réalisé notamment auprès des organismes suivants :

- DDT 82,
- BRGM (BD-Cavités, BD-MVT et Banque de données du Sous-Sol),
- Mairie de BRUNIQUEL,
- ...

Une recherche sur internet a également été effectuée pour compléter le recueil.

A l'issue de la collecte des données historiques, 1 seul événement historique correspondant à des mouvements de terrain a été recensé sur la commune de BRUNIQUEL **[Tableau 1]**. Cet événement est noté dans la BD-MVT du BRGM (fiche n° 116000076) mais il n'est ni daté, ni localisé, ni renseigné précisément, et correspond juste au recensement effectué en 1994 dans le cadre de l'Inventaire des mouvements de terrain du BRGM *[Rapport n° R 38666, Novembre 1995]*.

Par ailleurs, la commune a fait l'objet de 12 arrêtés de catastrophe naturelle **[Tableau 2]**. Ceux faisant référence à des coulées de boue associées aux inondations, correspondent probablement à des phénomènes de crues torrentielles avec un important transport solide ; ces arrêtés concernent le plus souvent des événements impactant une vaste région (non limités au territoire communal) donc sans forcément des dégâts sur la commune. Les arrêtés faisant référence à des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols correspondent au phénomène de retrait-gonflement des argiles, non pris en compte dans cette étude.

Le recueil bibliographique est constitué de cartes (Scan25 et BD-Ortho de l'IGN, géologie du BRGM, ...), de données SIG (RGE-ALTI à 5 m et à 1m de l'IGN, cadastre, ...), de rapports d'études, ...

Au total, 5 documents ayant un rapport avec les mouvements de terrain ont été récupérés et analysés **[Tableau 3]**. Une description du document le plus récent a été réalisée ci-après.

29 cavités souterraines sont recensées dans la BD-Cavités du BRGM.

Le plan de la grande grotte de Mayrières, dressé par le Service de Spéléologie de la Société de Sciences Naturelles de Montauban en 1953, a également été récupéré de la Banque du Sous-Sol du BRGM (BSS). Il a été géoréférencé et saisi (vectorisé) sous SIG afin d'être exploité **[Figure 22]**.

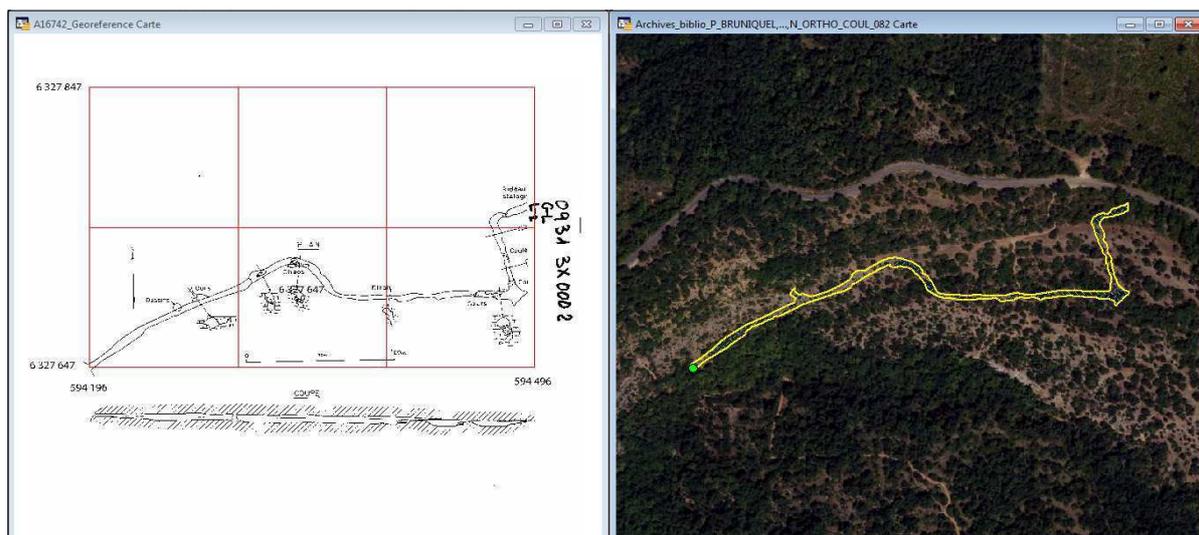


Figure 22 : Saisie sous SIG du plan de la grande grotte de Mayrières préalablement géoréférencé [Source : IMS_{RN}]

IDENTIFIANT	DATE	LOCALISATION	PHÉNOMÈNE	VICTIME(S)	DÉGÂT(S)	PERTURBATION(S)	DESCRIPTION (CAUSES, VICTIMES, DÉGÂTS, ...)	SOURCE
Evt_MvT_01	Avant 1994	Inconnue					Effondrement.	BRGM (BD-MVT - Fiche n° 11600076)

Tableau 1 : Liste des événements historiques, correspondant à des mouvements de terrain, recensés sur la commune de BRUNIQUEL (en jaune : événements localisés) [Source : IMS^{RM}]

TYPE DE CATASTROPHE	CODE NATIONAL CATNAT	DÉBUT LE	FIN LE	ARRÊTÉ DU	SUR LE JO DU
Tempête	82PREF19820027	06/11/1982	10/11/1982	18/11/1982	19/11/1982
Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	82PREF19920008	01/05/1989	31/12/1990	14/01/1992	05/02/1992
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	82PREF19980027	01/01/1992	31/12/1997	22/10/1998	13/11/1998
Inondations et coulées de boue	82PREF19950015	25/02/1995	26/02/1995	18/07/1995	03/08/1995
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	82PREF20000035	01/01/1998	31/12/1998	27/12/2000	29/12/2000
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	82PREF19990081	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	82PREF20020027	01/01/1999	30/09/2000	17/12/2002	08/01/2003
Inondations et coulées de boue	82PREF20030008	04/02/2003	04/02/2003	30/04/2003	22/05/2003
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	82PREF20050137	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005

TYPE DE CATASTROPHE	CODE NATIONAL CATNAT	DÉBUT LE	FIN LE	ARRÊTÉ DU	SUR LE JO DU
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	82PREF20080091	01/01/2006	31/03/2006	18/04/2008	23/04/2008
Inondations et coulées de boue	82PREF20070042	15/08/2007	15/08/2007	22/11/2007	25/11/2007
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	82PREF20190075	01/01/2017	30/06/2017	18/09/2018	20/10/2018

Tableau 2 : Liste des arrêtés de catastrophe naturelle pris sur la commune de BRUNIQUEL [Source : www.georisques.gouv.fr]

ÉTUDE	TYPLOGIE	RÉF.	AUTEUR	ÉCHELLE DU DOCUMENT	PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS	FORMAT DE LA DONNÉE	MAÎTRE D'OUVRAGE
INVENTAIRE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN DU TARN-ET-GARONNE <i>Novembre 1995</i>	Rapport	R 38666	BRGM ASTRUC J.G. et MONGE O.		Affaissements / Effondrements Coulées de boue Éboulements / Chutes de blocs Érosion de berges Glissements de terrain	PDF (document numérisé)	Ministère de l'Industrie Ministère de l'Environnement

ÉTUDE	TYPLOGIE	RÉF.	AUTEUR	ÉCHELLE DU DOCUMENT	PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS	FORMAT DE LA DONNÉE	MAÎTRE D'OUVRAGE
<p>Inventaire pour la cartographie des mouvements de terrain du Tarn-et-Garonne</p> <p><i>Janvier 1997</i></p>	Rapport	R 39059	<p>BRGM</p> <p>ASTRUC J.G., MONGE O. et TILLOLOY F.</p>		<p>Affaissements / Effondrements</p> <p>Coulées de boue</p> <p>Éboulements / Chutes de blocs</p> <p>Érosion de berges</p> <p>Glissements de terrain</p>	PDF (document numérisé)	<p>Ministère de l'Industrie, de la Poste et des Télécommunications</p> <p>Ministère de l'Environnement</p>
<p>Cartographie des risques du département du Tarn-et-Garonne</p> <p>Phénomènes et principaux enjeux</p> <p>VOLUME I</p> <p><i>Décembre 1997</i></p>	Rapport	R 39775	<p>BRGM</p> <p>ASTRUC J.G., MONGE O. et TILLOLOY F.</p>		<p>Affaissements / Effondrements</p> <p>Coulées de boue</p> <p>Éboulements / Chutes de blocs</p> <p>Érosion de berges</p> <p>Glissements de terrain</p> <p>Inondations</p>	PDF (document numérisé)	<p>Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie</p> <p>Ministère de l'Environnement</p>
<p>Inventaire des cavités souterraines du département du Tarn-et-Garonne</p> <p>Rapport final</p> <p><i>Novembre 2006</i></p>	Rapport	BRGM/RP-55135-FR	<p>BRGM</p> <p>BOUROULLEC I. et LAGOIN R.</p>		<p>Affaissements / Effondrements</p>	PDF	<p>Ministère de l'Écologie et du Développement Durable</p>

ÉTUDE	TYPLOGIE	RÉF.	AUTEUR	ÉCHELLE DU DOCUMENT	PHÉNOMÈNES ÉTUDIÉS	FORMAT DE LA DONNÉE	MAÎTRE D'OUVRAGE
Atlas départemental des mouvements de terrain du Tarn-et-Garonne <i>Mai 2012</i>	Rapport	20-31-012-2010/20-013	Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse RUCQUOI S.		Affaissements / Effondrements Coulées de boue Éboulements / Chutes de blocs Glissements de terrain	PDF	DREAL Midi-Pyrénées

Tableau 3 : Liste des documents, relatifs aux mouvements de terrain, recensés sur la commune de BRUNIQUEL [Source : IMS_{RN}]

Atlas départemental des mouvements de terrain du Tarn-et-Garonne

- *Réf. : 20-31-012-2010/20-013*
- *Auteur(s) : RUCQUOI S.*
- *Organisme / Société : Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse*
- *Date de parution : Mai 2012*

Ce document, réalisé à la demande de la DREAL Midi-Pyrénées, s’inscrit « dans la continuité de l’inventaire des mouvements de terrain du BRGM (1995) » et « constitue une actualisation du premier atlas réalisé par le Laboratoire de Toulouse en 2004 ».

L’atlas présente les cartographies départementales, au 1/100 000, de la susceptibilité aux glissements de terrain, coulées de boue, éboulements et effondrement de cavités naturelles. La susceptibilité de chaque phénomène est calculée par modélisation à partir de données SIG telles que la lithologie, la pente, l’occupation des sols, ... **[Figure 23]**

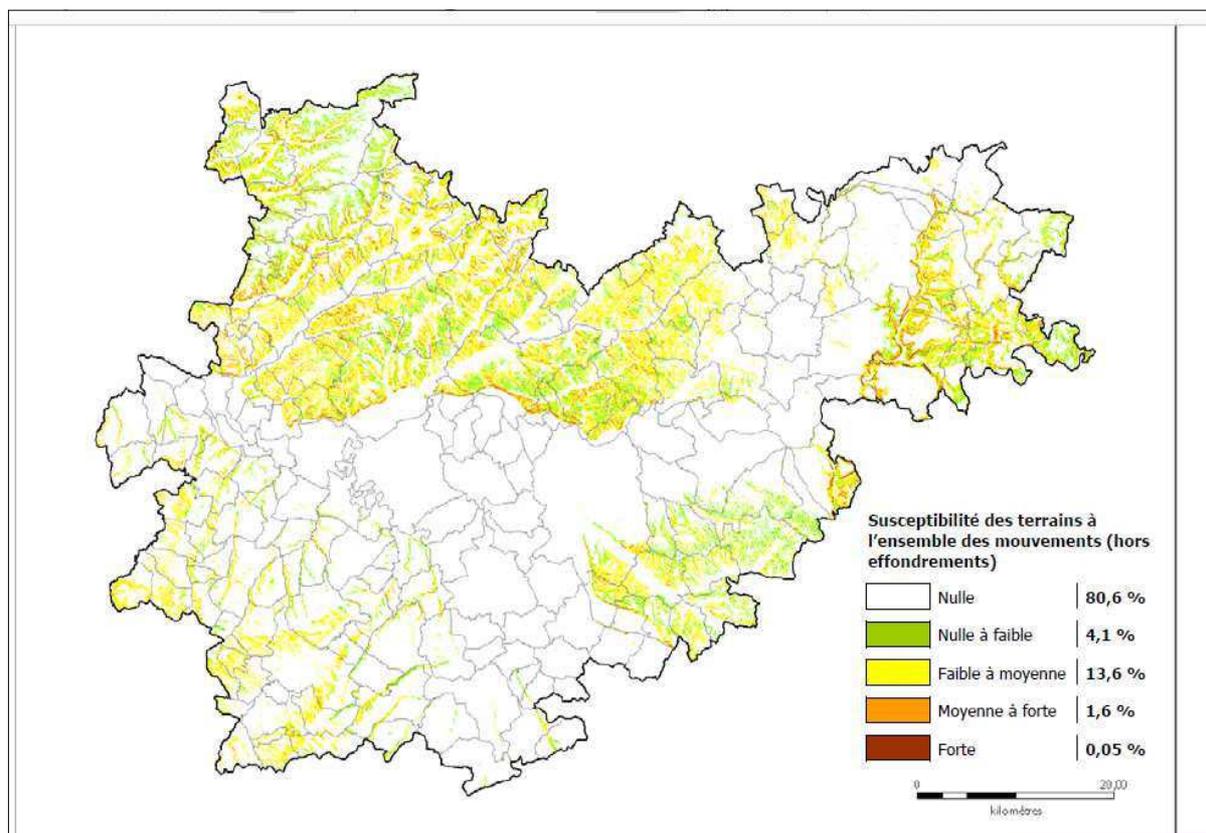


Figure 23 : Carte de susceptibilité à l’ensemble des mouvements (hors effondrements) [Source : Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Toulouse]

D’après ce document, la commune de BRUNIQUEL est exposée aux risques de coulées de boue, d’éboulements, d’effondrements de cavités naturelles et de glissements de terrain.

V.4. Reconnaissance des phénomènes et cartographie informative des mouvements de terrain

Les données obtenues précédemment ont été dans la mesure du possible **vérifiées, confirmées et complétées par l'analyse de photographies aériennes et par l'examen sur le terrain** des traces résultant d'événements anciens ainsi que par l'observation des indices actuels dans le cas des phénomènes évolutifs.

L'analyse des données recueillies combinée aux observations de terrain a permis d'**établir la typologie des phénomènes susceptibles de se produire**, et surtout d'**identifier les configurations (lithologie, pente, hydrologie, ...) favorables à leur déclenchement**. Ces données constituent par ailleurs, une étape fondamentale d'une démarche d'expertise permettant de faciliter la prise en compte de ces phénomènes dans toute la commune, dans un cadre de prévention des risques naturels.

Une journée de terrain à 2 ingénieurs (23 octobre 2018), a permis d'une part, la vérification et la confirmation ou la correction des informations recueillies et cartographiées au bureau, et d'autre part la détection d'autres indices peu ou pas visibles sur orthophotos :

- les désordres sur les constructions et la voirie (fissuration, affaissements, ...),
- les sources, écoulements et zones humides,
- les escarpements et blocs éboulés de taille réduite ou masqués par la végétation et le degré de fracturation des affleurements rocheux,
- les ouvrages de protection existants, ...

Le trajet effectué lors de la session de terrain a fait l'objet d'un suivi GPS **[Figure 24]**.

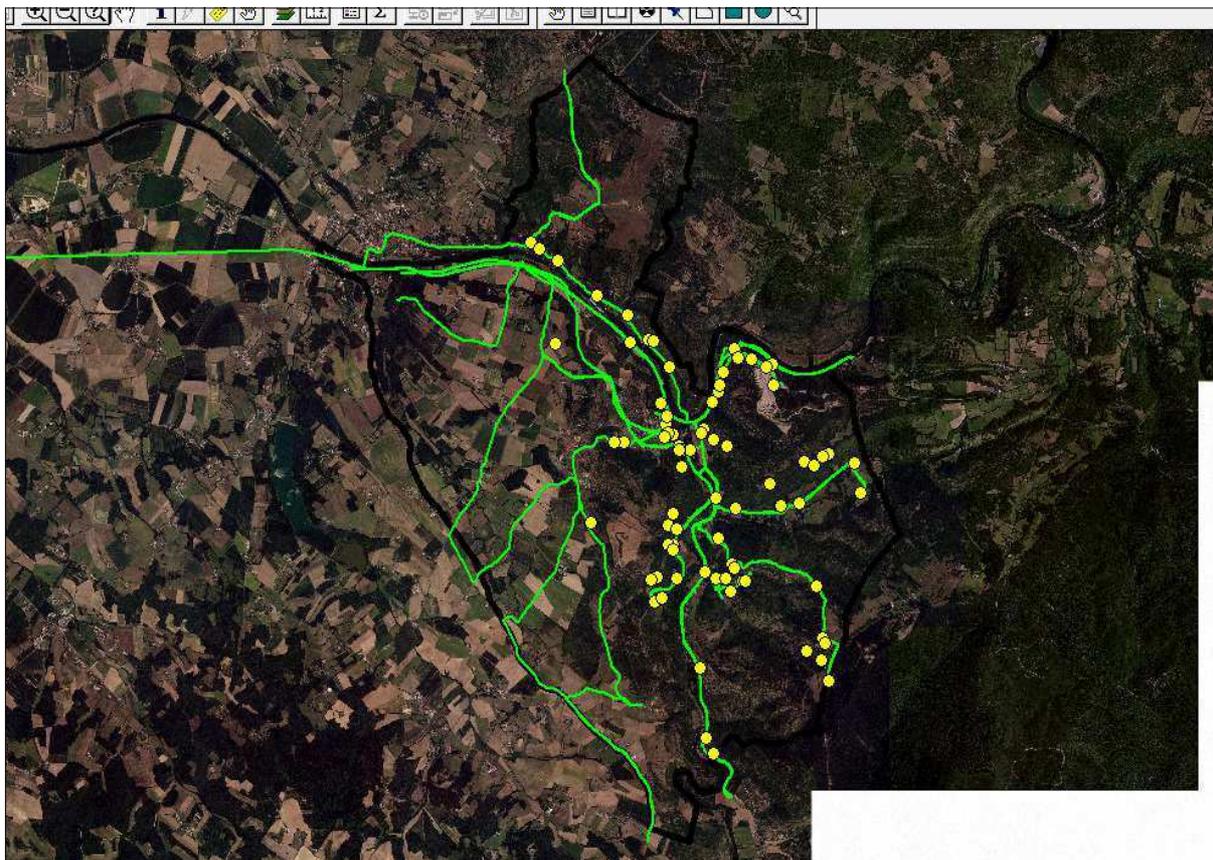


Figure 24 : Suivi GPS (tracé vert) et principales observations (points jaunes) de la session de terrain sur la commune de BRUNIQUÉL [Source : IMS_{RV}]

L'ensemble des données analysées et des observations de terrain a été affiché sur la **Carte informative des mouvements de terrain**.

[Voir « Carte informative des mouvements de terrain » au 1/10 000 et au 1/5 000]

1. Description des affaissements / effondrements sur la zone d'étude

La cartographie de ce phénomène difficile à appréhender se base sur les simples critères de prédisposition naturels de la zone d'étude à ces phénomènes et sur les éventuels indices géomorphologiques.

Les calcaires et dolomies du Jurassique présentent une karstification importante comme l'atteste les cavités visibles au niveau de plusieurs affleurements **[Figure 25]**. L'évolution de ces cavités entraîne des désordres en surface comme en témoignent les quelques dolines (affaissements) mentionnées par le BRGM et visibles sur les données topographiques et sur le terrain **[Figure 26]**.



Figure 25 : Cavités karstiques visibles sur l'escarpement de calcaires du Bajocien inférieur, en face du village de BRUNIQUEL (à gauche) et grotte dans les calcaires du Sinémurien – Lotharingien, au Nord-Est de Marières [Source : IMS^{RN}]



Figure 26 : Doline au niveau de Filliech [Source : IMS_{RN}]

Une grande partie du territoire communal est donc exposé au phénomène d'affaissement / effondrement.

2. Description des éboulements / chutes de blocs sur la zone d'étude

De nombreux escarpements ou pointements rocheux calcaires sont présents sur le territoire communal.

Les plus importants sont situés à la confluence entre la vallée encaissée de l'Aveyron et celle de la Vère. Ils atteignent une cinquantaine de mètres de hauteur **[Figure 27]**.

Les autres escarpements sont plus discontinus et parfois masqués sur les orthophotographies aériennes et peu visibles sur le terrain mais clairement identifiables sur le MNT issu du RGE-ALTI à 1m de l'IGN **[Figure 28]**.

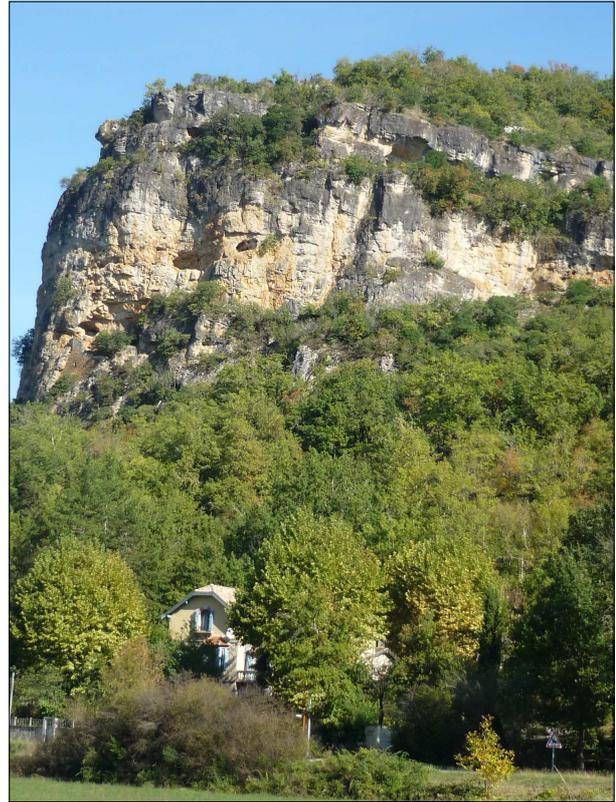


Figure 27 : Grands escarpements calcaires de part et d'autre de la confluence entre la Vère et l'Aveyron
[Source : IMS_{RV}]

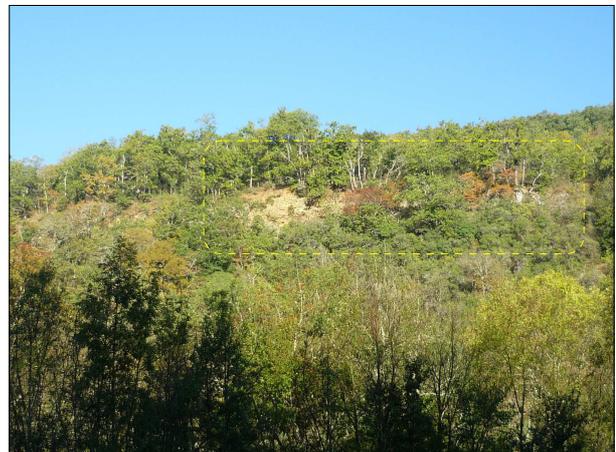


Figure 28 : Escarpements discontinus au Nord de Belbèze (à gauche) et peu visibles sur le versant Nord de la vallée du ruisseau de la Merdarié (à droite) [Source : IMS_{RV}]

Une grande diversité de désordres a pu être observée sur les escarpements et talus rocheux du fait de la stratification et de la fracturation : dièdres, écailles, surplombs, ... Des zones non patinées attestant de ruptures récentes sont visibles **[Figure 29 à Figure 31]**.



Figure 29 : Écaille désolidarisé en sommet de l'escarpement le long de la RD 115, au Nord du château
[Source : IMS_{RV}]

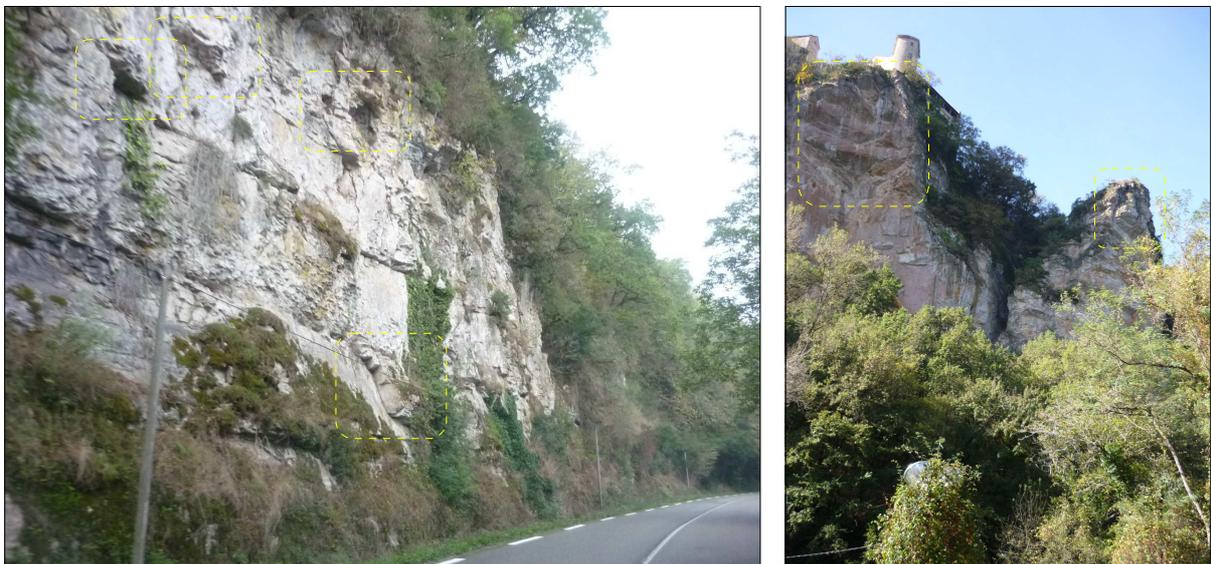


Figure 30 : Escarpements présentant de nombreux surplombs le long de la RD 115 à l'Est de Saint-Pierre (à gauche) et sous le château (à droite) [Source : IMS_{RV}]



Figure 31 : Escarpements présentant de nombreuses traces de ruptures (en ocre) le long de la RD 115, à l'Est de Nidauzel [Source : IMS_{RN}]

A l'exception de ceux en bordure de l'Aveyron, les escarpements présentent de grands tabliers d'éboulis végétalisés [Figure 32 et Figure 33]. Des blocs de taille métrique à plurimétrique ont été observés par endroits [Figure 34].



Figure 32 : Grand escarpement calcaire et tablier d'éboulis végétalisé en pied à la confluence entre la Vère et l'Aveyron [Source : IMS_{RN}]



Figure 33 : Affleurement permettant d'observer les éléments anguleux (de taille centimétrique à décimétrique) d'un tablier d'éboulis, en pied d'un petit escarpement entre Pradalas et Borio [Source : IMS_{RN}]



Figure 34 : Bloc éboulé en pied de versant dans la vallée de la Vère, au Nord de Belbèze [Source : IMS_{RN}]

Le phénomène sera également présent dans les carrières anciennes ou en exploitation. Sur ces dernières, les chutes de blocs ne sont pas significatives puisque fortement liées à l'activité humaine, la fracturation et les ruptures du massif étant accentuées par les vibrations provoquées par les engins et les tirs de mines.

Comme le montrent les observations effectuées, le phénomène d'éboulements / chutes de blocs est présent sur le territoire communal.

3. Description des glissements de terrain sur la zone d'étude

Sur le territoire communal, le phénomène est très peu visible. On peut considérer que les terrains marneux (comme les formations du Toarcien) et ceux présentant une cohésion faible (comme les grèzes du

Quaternaire) seront susceptibles de voir apparaître des glissements de terrain à condition de présenter des pentes suffisantes (supérieur à 15°) et éventuellement des circulations d'eau. Ceux-ci seront généralement superficiels.

Par ailleurs, le phénomène peut apparaître dans les formations marno-calcaires, donc présentant de meilleures caractéristiques mécaniques, mais dont le pendage est conforme à la pente. Les bancs étant orientés dans le même sens que le versant, leur dégradation et leur délitement se traduiront par des mouvements gravitaires appelés glissements bancs-sur-bancs. Le glissement des terrains d'altération superficiel sera également facilité par cette configuration, du fait des circulations d'eau souterraines, notamment au niveau de l'interface frange d'altération / rocher sain.

En dehors de ces secteurs, le rocher subaffleurant et/ou l'absence de pente assure la stabilité des terrains.

Globalement la cinématique de ces mouvements est lente mais elle peut subir une accélération à la faveur d'épisodes pluvieux intenses.

Dans les zones les plus actives, les instabilités peuvent se traduire également par l'endommagement des constructions et infrastructures (fissuration) du fait de la déformation de leurs fondations ou soubassements (effort en traction).

L'apparition de fissures sur les bâtiments peut également avoir pour cause le retrait-gonflement des argiles, cependant lorsque les constructions sont situées sur des terrains avec une pente suffisante, un phénomène de glissement de terrain (éventuellement accompagné de retrait-gonflement) est à suspecter.

VI. CARTOGRAPHIE DES ALÉAS MOUVEMENTS DE TERRAIN

VI.1. Définition

De façon générale, l'**aléa** peut être défini comme la **probabilité d'apparition** d'un **phénomène de nature et d'intensité données** sur un **territoire donné**, dans une **période de référence donnée**.

Cette définition comporte donc les éléments suivants :

- La **référence à un ou plusieurs phénomènes bien définis et d'une intensité donnée** : cette dernière sera estimée la plupart du temps en fonction de la possibilité de mettre en œuvre une parade technique pour s'en prémunir et du coût de sa réalisation. Ces paramètres seront évalués à l'aide des caractéristiques des phénomènes répertoriés.
- Une **composante spatiale** : un aléa donné s'exerce sur une zone donnée, qu'il faut délimiter. Des difficultés peuvent surgir dans le cas de phénomènes pouvant affecter des zones au-delà de leur limites visibles : exemple de la régression vers l'amont de certains glissements de terrain ou la propagation vers l'aval des chutes de blocs.
- Une **composante temporelle** : c'est la probabilité plus ou moins grande d'occurrence temporelle du phénomène. Vis-à-vis des inondations l'événement de référence est d'après le guide PPR « la plus forte crue connue et, dans le cas où celle-ci serait plus faible qu'une crue de fréquence centennale, cette dernière ». Pour les mouvements de terrain, la complexité du milieu naturel géologique et son évolution ne permettent pas de quantifier la probabilité d'occurrence : la seule voie actuellement opérationnelle consiste en une approche plus qualitative, dite de prédisposition du site à un type de phénomène donné.

Ainsi la cartographie des aléas Mouvements de terrain s'appuiera sur l'analyse :

- de la **probabilité d'occurrence** : prédisposition que présente un site à être affecté par un phénomène,
- et de l'**intensité** : ampleur des désordres, impacts ou nuisances susceptibles de résulter du phénomène redouté.

VI.2. Affaissements / Effondrements

1. Principes généraux

L'aléa Affaissements / Effondrements est issu du **croisement entre la probabilité d'occurrence et l'intensité**. La probabilité d'occurrence est elle-même issue de la combinaison entre la **prédisposition à la rupture** et la **présomption de vides**.

L'analyse des données historiques (si existantes), géologiques et topographiques (Scan25 et RGE-ALTI à 1 m de l'IGN) et des données du BRGM (BD-Cavités) permet d'apprécier ces critères, notamment les formations sensibles.

2. Calcul de la zone d'influence

La cartographie de l'aléa concerne toujours les terrains de surface. Une attention particulière doit donc être portée à la notion de « zone d'influence » qui regroupe à la fois l'incertitude spécifique :

- à la délimitation de l'emprise géographique de la zone d'aléa. Elle correspond aux variations de précisions dans le positionnement des cavités souterraines par rapport à la surface. Cette incertitude est généralement faible au regard de l'échelle de rendu de la cartographie ;
- et à l'extension latérale possible des désordres. Elle correspond à l'élargissement en surface de la zone impactée lors d'affaissements / effondrements de cavités souterraines.

L'expérience montre en effet que les instabilités ne se limitent pas à l'aplomb strict des cavités : l'angle de rupture des terrains de recouvrement dépend étroitement de leur nature.

Ainsi plus un terrain est cohérent (roche), plus l'angle de rupture est proche de la verticale. A l'inverse, des boulants comme les terrains de couverture (colluvions, alluvions, ...) peuvent présenter des angles de rupture voisins de 45° [Figure 35].

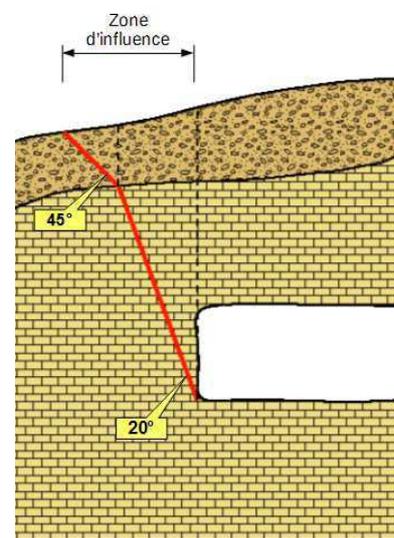


Figure 35 : Calcul de la zone d'influence [Source : IMS_{RN}]

Les zones d'influence ont été calculées sous SIG, pour les galeries karstiques ou minières dont les plans étaient disponibles, à l'aide du MNT (RGE-ALTI 5 m de l'IGN). Les altitudes des galeries (considérées comme sub-horizontales) ont été estimées à partir de l'altitude de leurs entrées.

Ainsi le rayon de la zone d'influence est égale à :

$$ZI = \tan(\alpha^\circ) \times \text{Epaisseur terrain}$$

Avec

$$\alpha = 20^\circ \text{ pour les terrains cohérents (roche)}$$

$$\alpha = 45^\circ \text{ pour les terrains bouillants (colluvions, alluvions)}$$

$$\text{Epaisseur terrain} = (\text{Alti MNT} - \text{Alti Sol Carrière})$$

La largeur de la zone d'influence augmente donc avec l'épaisseur des terrains au dessus de la galerie / carrière. Ainsi les emprises de ces zones (et donc de l'aléa) à l'aplomb d'une galerie débouchant sur le coteau auront une forme de goutte d'eau (s'élargissant en direction de l'amont) [Figure 36].

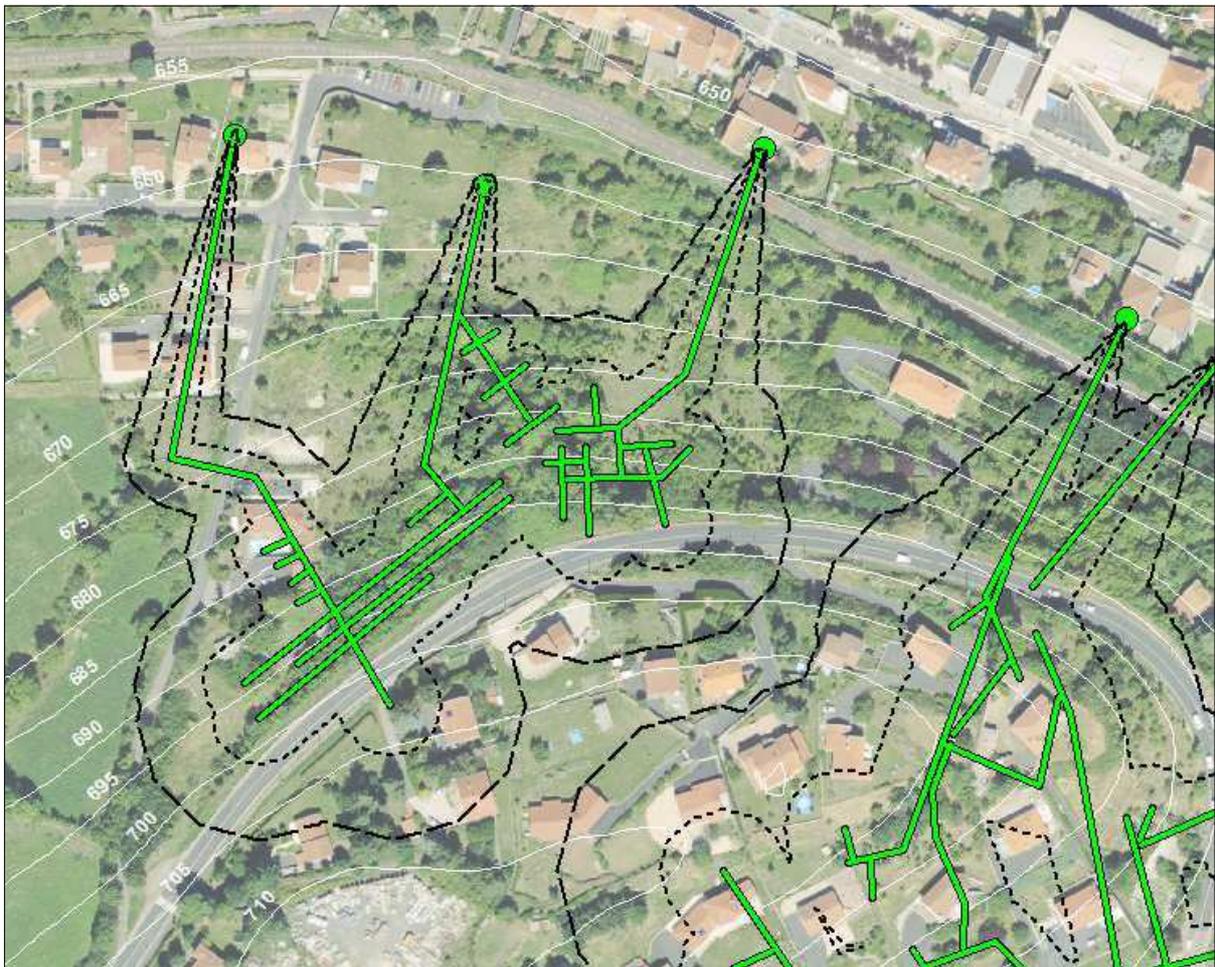


Figure 36 : Exemple de calcul des enveloppes des zones d'influence à 20° (tirets courts) et à 45° (tirets longs) autour des galeries (en vert) sur la commune d'ESPALY-ST-MARCEL (Haute-Loire) [Source : IMS^{RV}]

Dans les secteurs purement rocheux dont l'épaisseur de terrains de couverture (meubles) est faible, seule la zone d'influence avec un angle de 20° est cartographiée.

3. Zones d'incertitude

Autour des cavités dont l'extension en sous-sol est inconnue (pas de plans de galeries), des zones d'incertitude de 50 m de rayon ont été cartographiées.

Concernant une cavité dont l'extension est inconnue, sa zone d'incertitude sera :

- soit centrée sur la cavité si elle est située en zone plane ou à faible pente ou si il s'agit d'un puits,
- soit tangente à la cavité et orientée vers l'amont du versant en suivant la ligne de plus grande pente **[Figure 37]**.

Ce zonage permet d'anticiper d'hypothétiques galeries dont l'extension se ferait dans toutes les directions, dans le premier cas, ou dans une seul direction (vers le versant) dans le second.

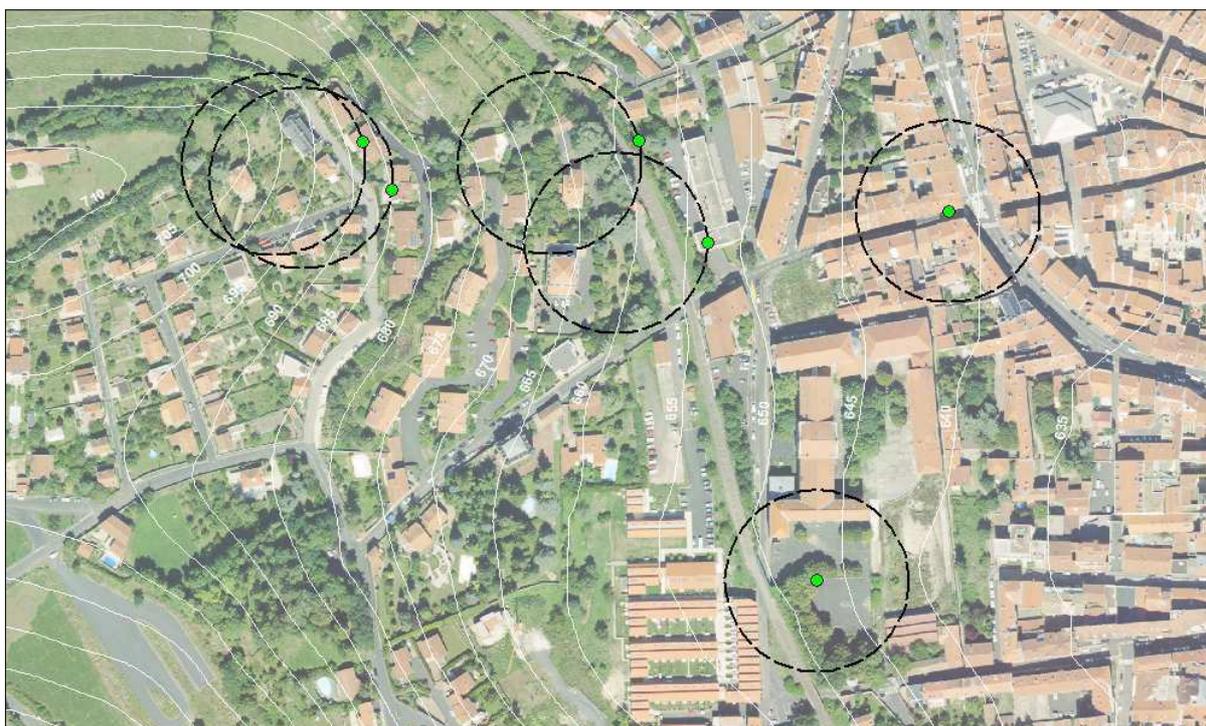


Figure 37 : Exemple de localisation des zones d'incertitude (pointillés) des cavités / puits (points verts) dont l'extension est inconnue sur la commune du PUY-EN-VELAY (Haute-Loire) [Source : IMS^{RV}]

Cette distance de 50 m est couramment employée dans les PPR ayant attrait aux affaissements / effondrements.

4. Qualification de l'aléa

L'aléa Affaissements / Effondrements est qualifié grâce à la grille suivante [Tableau 4] :

ALÉA	INDICE	CRITÈRES
FORT	F3	<ul style="list-style-type: none"> Emprise d'un effondrement historique ou d'un gouffre Zone d'influence à 20° (calculée sous SIG en fonction de l'épaisseur des terrains) autour d'une galerie connue
MOYEN	F2	<ul style="list-style-type: none"> Zone de 25 m de rayon autour d'une zone d'aléa Fort (F3) liée à un effondrement historique, à un gouffre ou à une galerie connue Doline (entourée d'une bande de 10 m de large) Zone de remplissage karstique cartographiée par le BRGM (entourée d'une bande de 10 m de large) Zone de 50 m de rayon à partir de l'entrée d'une cavité à flanc de versant et d'extension inconnue Zone de 50 m de rayon autour de l'entrée d'une cavité en zone plane et d'extension inconnue
FAIBLE	F1	<ul style="list-style-type: none"> Zone avec présence d'un substratum karstifiable

Tableau 4 : Grille de qualification de l'aléa Affaissements / Effondrements [Source : IMS_{RN}]

VI.3. Éboulements / Chutes de blocs

1. Principes généraux

L'aléa Éboulements / Chutes de blocs est défini par le **croisement entre la probabilité d'occurrence et l'intensité des phénomènes**.

L'analyse historique et bibliographique (quand elle existe pour ce phénomène) mais surtout les relevés de terrain permettent d'évaluer ces 2 critères.

Ainsi la fréquence des éboulements / chutes de blocs et la probabilité d'atteinte est déduite de l'observation de la densité des cônes et tabliers d'éboulis, de la présence de blocs isolés et de la topographie (pentes, présence de couloirs, de replats, d'obstacles, ... pouvant aggraver ou atténuer le phénomène ou faire dévier les trajectoires de propagation).

L'intensité est déduite de l'observation de la taille des blocs éboulés (plus un bloc est important, plus son énergie à l'impact sera élevée) mais également des sources (escarpements) qui permet d'estimer les volumes pouvant être mises en jeu, par l'analyse de la stratification et de la fracturation.

2. Méthode de la ligne d'énergie et qualification de l'aléa

La méthode de la ligne d'énergie a également été utilisée pour cette étude ; il s'agit d'un **outil complémentaire d'aide à l'analyse « à dire d'expert »** pour la qualification de la probabilité d'occurrence notamment dans les secteurs difficilement observables (impossible à atteindre ou à cause de la couverture végétale) ou sans historique connu.

La méthode de la ligne d'énergie s'applique aux falaises et escarpements présentant des traces de départ et/ou avec la présence de blocs dans le versant considéré. Ce modèle dit statistique permet d'estimer à partir d'une zone de départ la localisation du point d'arrêt maximal probable d'un projectile. Il repose sur un principe simple : "un bloc ne peut progresser sur une pente que si celle-ci est suffisamment raide".

Ainsi, si la pente est supérieure à un angle limite β , le bloc accélère, sinon il ralentit. Un bloc peut aller d'une zone de départ A jusqu'à B, point d'intersection du relief avec une ligne imaginaire partant de la zone de départ et formant un angle β avec l'horizontale. Cette ligne est appelée ligne d'énergie.

A partir du profil en long de la pente et connaissant l'angle β , il est déterminé le point maximal probable qu'atteindra tout projectile qui se détachera de la zone de départ. Compte tenu de la possibilité de déviation des trajectoires des blocs, ils peuvent progresser dans un cône de propagation, qui a une pente β .

Depuis sa formalisation, ce principe a fait l'objet de nombreuses études. Ainsi différentes valeurs « seuil » de l'angle β ont été définies permettant de qualifier la probabilité d'occurrence le long du versant **[Figure 38]**.

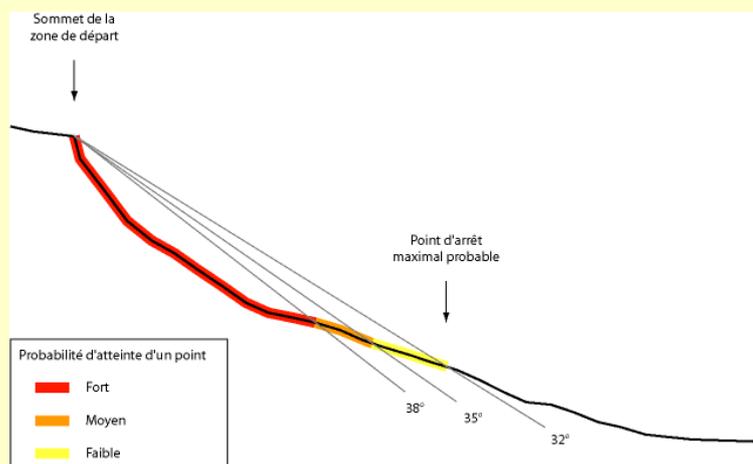


Figure 38 : Schéma de principe de la ligne d'énergie avec valeurs « seuil » [Source : DDT / IMS_{rw}]

La **Figure 39** ci-après illustre le rendu cartographique de la méthode des lignes d'énergie.

Cette modélisation « brute » est ensuite affinée au regard des observations de terrain et du retour d'expérience dans des contextes similaires.

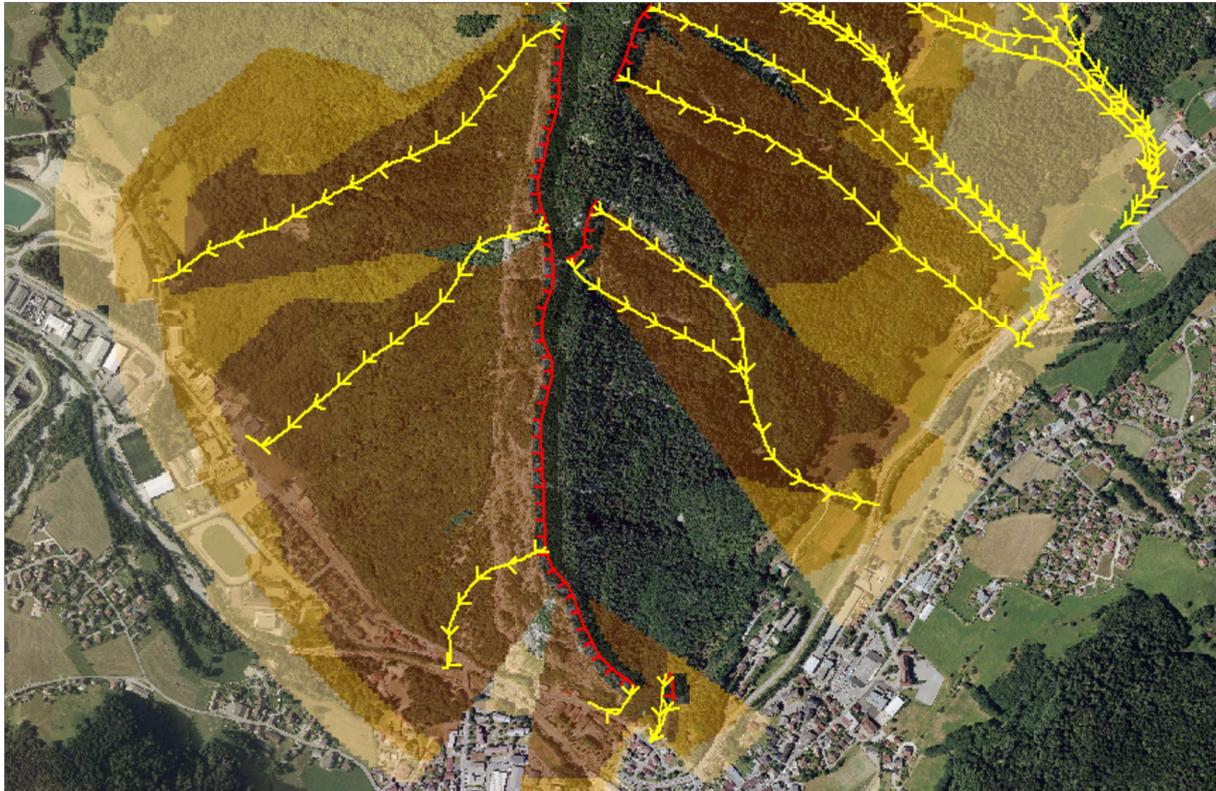


Figure 39 : Méthode des lignes d'énergie appliquée sur la commune de THÔNES (Haute-Savoie) [Source : [IMS_{RN}](#)]

Zones marron à beige : surfaces délimitées par les angles 38°, 35° et 32° / lignes rouges : escarpements / lignes jaunes : lignes de plus grande pente (trajectoires approximatives des masses éboulées)

Comme indiqué plus haut, l'intensité correspond aux volumes type, issus des zones potentiellement instables, pouvant se propager dans le versant (volume après fragmentation) [**Tableau 5**].

INTENSITÉ	CRITÈRES
TRÈS ÉLEVÉE	<ul style="list-style-type: none"> Le volume unitaire pouvant se propager dans le versant dépasse la dizaine de m³ et s'étend sur la totalité du versant (pas d'arrêt dans le versant, atteinte du point bas du versant).
ÉLEVÉE	<ul style="list-style-type: none"> Le volume unitaire pouvant se propager dans le versant est supérieur ou égal à 1 m³ 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 m³.
MODÉRÉE	<ul style="list-style-type: none"> Le volume unitaire pouvant se propager dans le versant est inférieur à 1 m³ 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 1 m³.
FAIBLE	<ul style="list-style-type: none"> La zone concernée est la zone d'arrêt des blocs de volume inférieur à 1 m³.

Tableau 5 : Échelle de gradation de l'intensité pour l'aléa Éboulements / Chutes de blocs [Source : DDT]

Le croisement de ces paramètres permet d'obtenir l'aléa en tout point du versant **[Tableau 6]**.

PROBABILITÉ D'OCCURRENCE	INTENSITÉ		
	ÉLEVÉE & TRÈS ÉLEVÉE	MODÉRÉE	FAIBLE
FORTE	FORT P3	FORT P3	FORT P3
MOYENNE	FORT P3	FORT P3	MOYEN P2
FAIBLE	FORT P3	MOYEN P2	FAIBLE P1

Tableau 6 : Grille de qualification de l'aléa Éboulements / Chutes de blocs [Source : DDT]

3. Modélisation trajectographique et qualification de l'aléa

Au niveau de l'intersection entre les vallées de l'Aveyron et de la Vère, là où sont présents des escarpements conséquents avec des enjeux en pieds (constructions et routes), une modélisation trajectographique 3D a été réalisée avec le logiciel Rockyfor3D ® développé par Ecorisq (association Franco-Suisse : IRSTEA et l'EPFL).

Elle est basée sur un MNT avec une résolution de 1 m issu du RGE-ALTI de l'IGN (LIDAR).

Sur l'emprise de la zone modélisée, les sols ont été classés en 5 types par analyse des pentes et grâce aux observations de terrain **[Figure 40]**. A chaque classe correspond :

- un coefficient de restitution normal (R_n), qui correspond à la capacité du terrain à absorber l'énergie d'impact. Autrement dit il permet de voir à quel point un bloc peut rebondir sur le terrain ;
- une rugosité qui correspond aux hauteurs d'obstacles pour 70, 20 et 10 % de la surface du terrain.

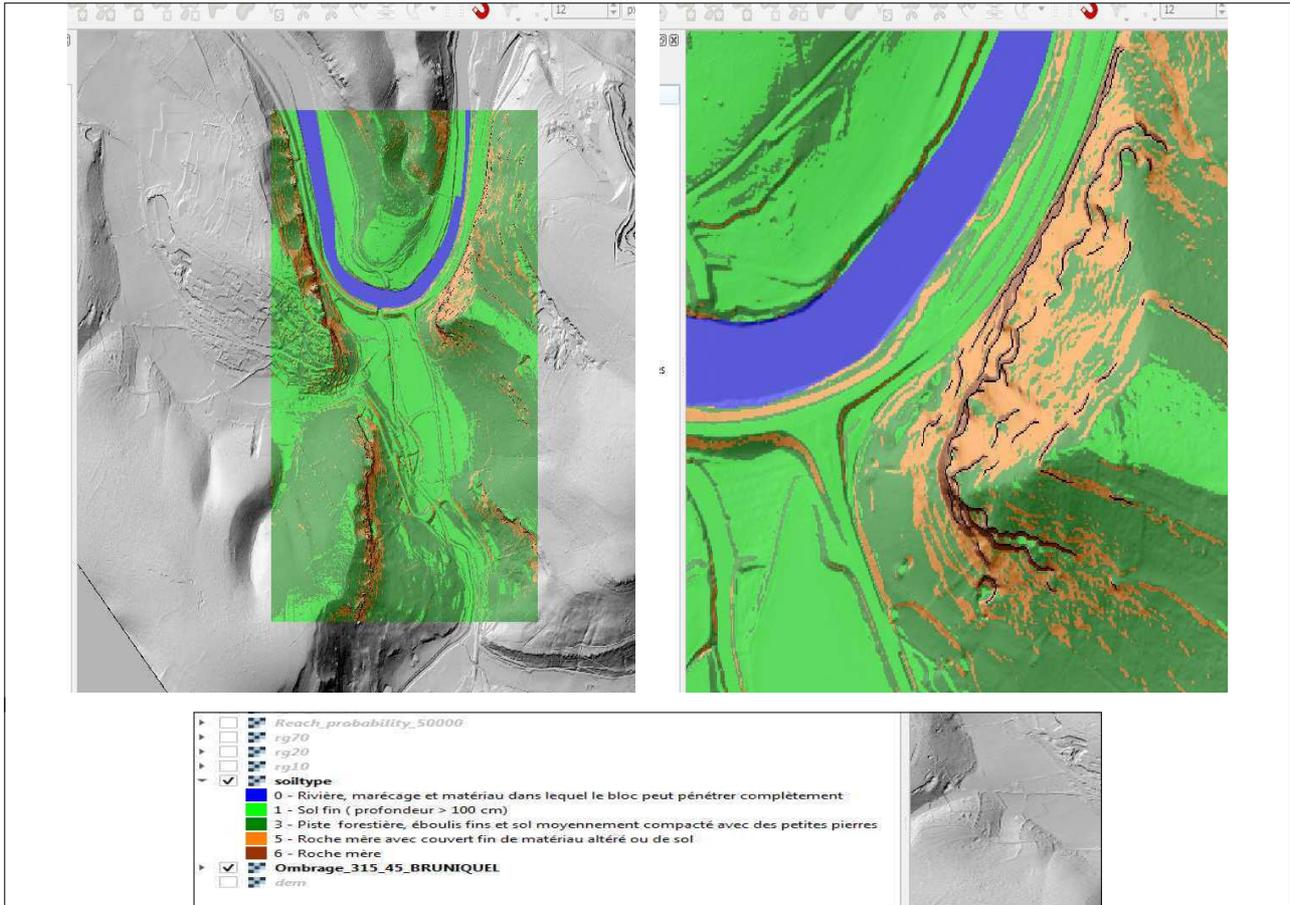


Figure 40 : Emprise de la zone modélisée avec classification des types de sol [Source : IMS_{RN}]
Les lignes noires correspondent aux zones de départ (escarpements).

Au regard de la stratification et de la fracturation des escarpements calcaires, la modélisation a été effectuée avec des blocs de 0,5 à 1,5 m³ et une masse volumique de 2500 kg/m³.

Sur chaque pixel (1 x 1 m) identifié comme zone de départ 1000 blocs ont été lancés ; soit un total de 6 023 000 simulations trajectographiques. L'analyse a été effectuée sans tenir compte de la forêt et du bâti [Figure 41].

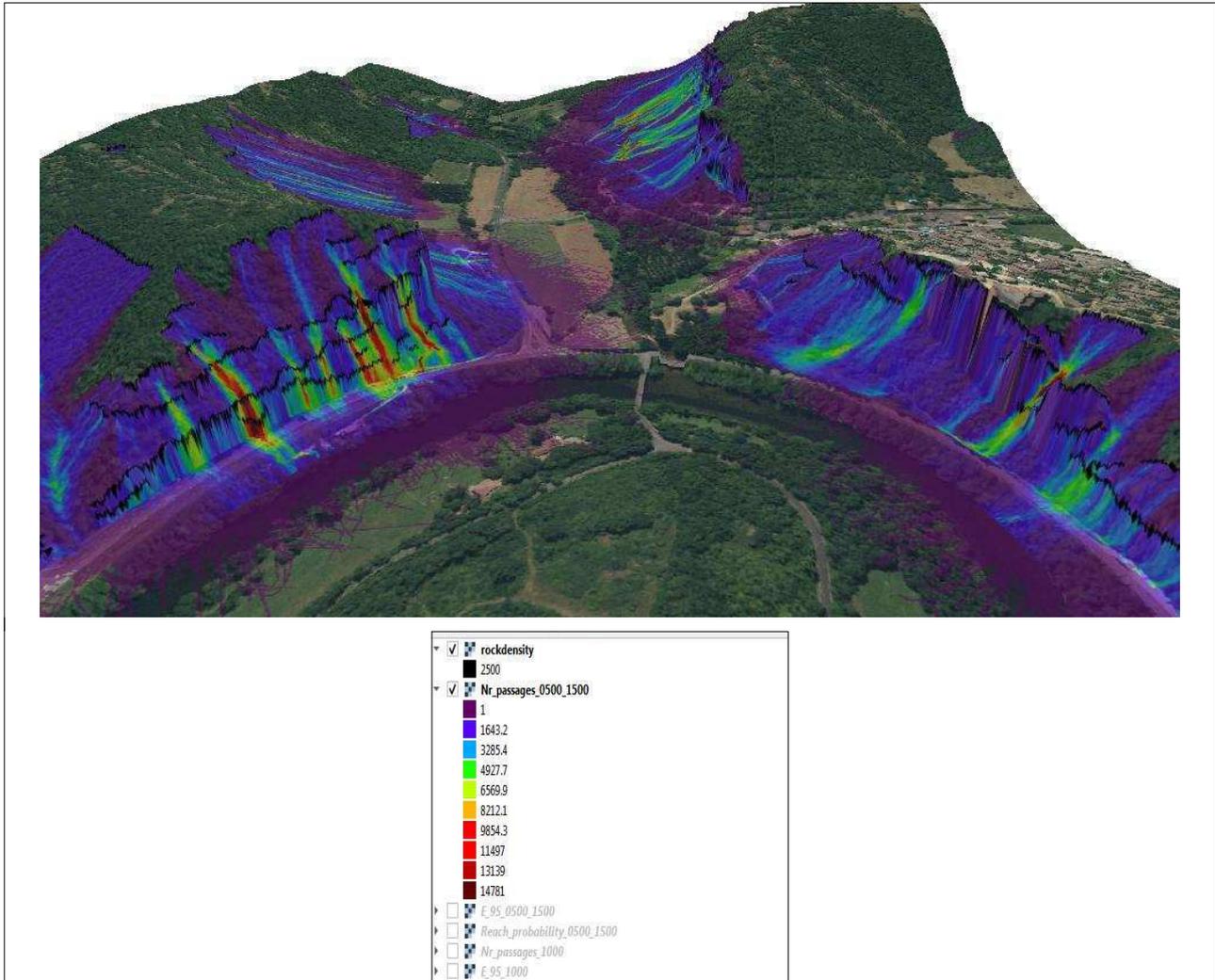


Figure 41 : Résultats trajectographiques (nombre de passages) [Source : IMS_{RN}]

Les lignes noires correspondent aux zones de départ (escarpements).

En chaque point du versant ont été calculées :

- l'énergie en kJ (correspondant au 95^{ième} percentile, ce qui permet d'éliminer les valeurs extrêmes du modèle) **[Figure 42]** ;
- et la probabilité d'atteinte (correspondant au nombre de blocs traversant le pixel sur le nombre de trajectoires calculées) **[Figure 43]** selon les classes suivantes :
 - Négligeable : inférieure à 0,11 % (soit moins de 1 bloc pour 1000), ce qui correspond aux valeurs extrêmes du modèle ;
 - Faible : entre 0,11 et 0,2 % (soit entre 1 et 2 blocs pour 1000) ;
 - Moyenne : entre 0,2 et 0,5 % (soit entre 2 et 5 blocs pour 1000) ;
 - Forte : supérieure à 0,5 % (soit plus de 5 blocs pour 1000).

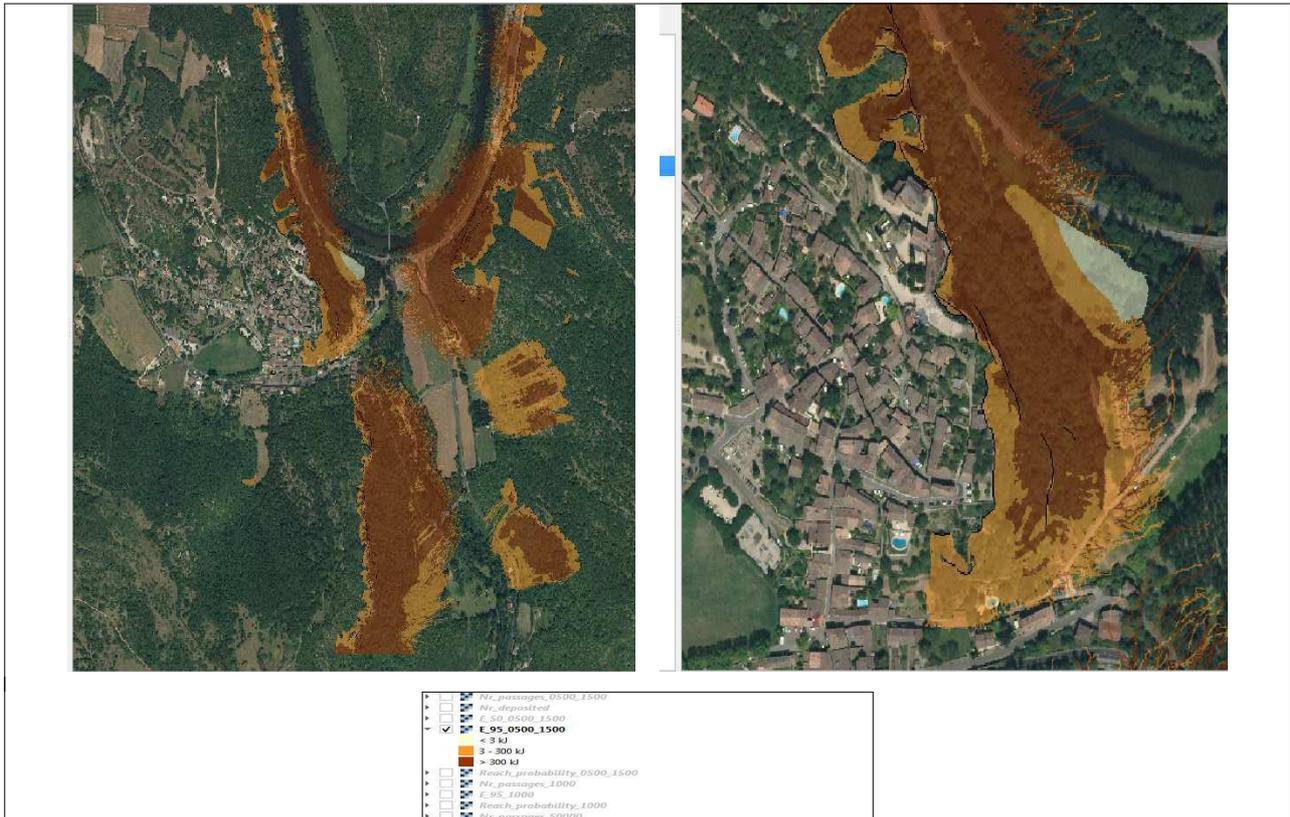


Figure 42 : 95^{ème} percentile des énergies simulées par cellule [Source : IMS_{RN}]
Les lignes noires correspondent aux zones de départ (escarpements).

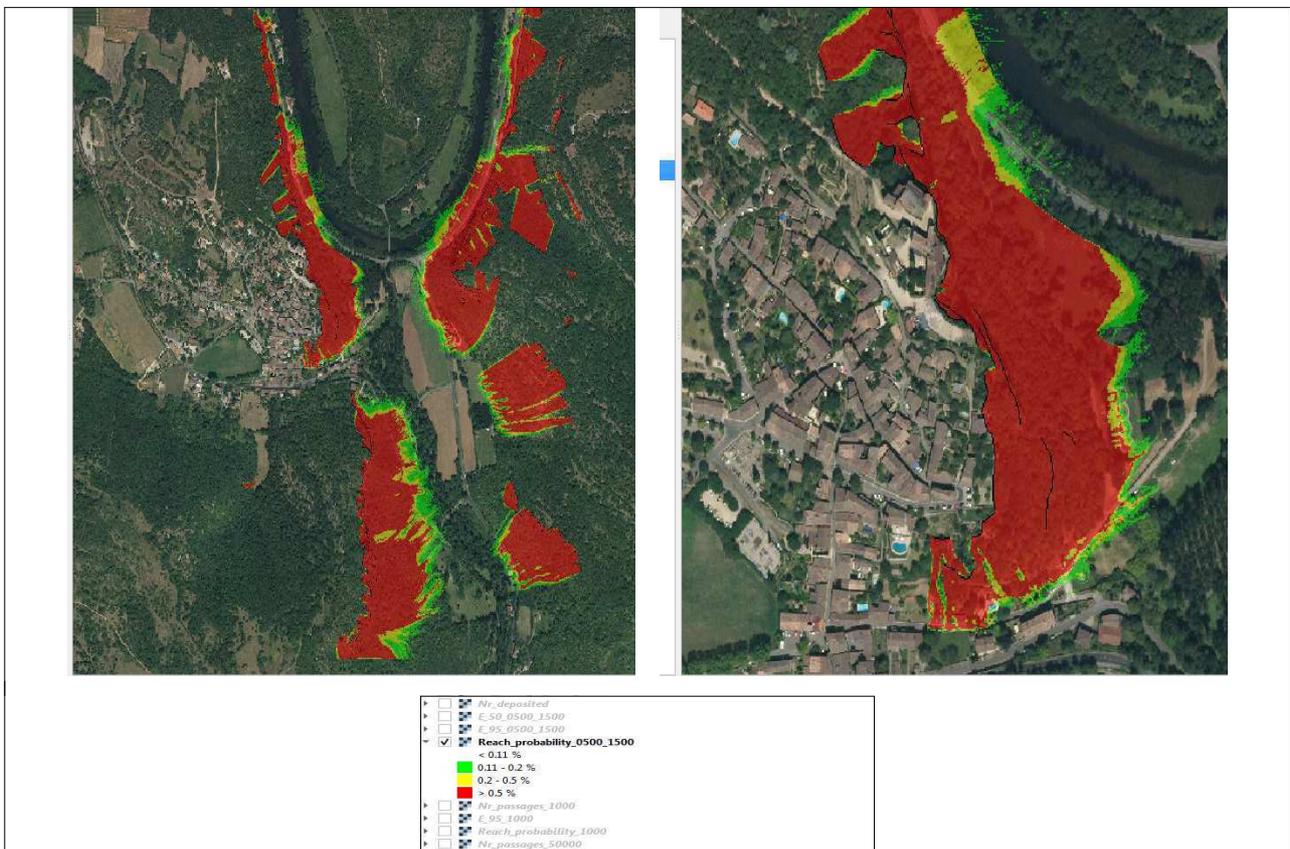


Figure 43 : Probabilité d'atteinte simulée par cellule [Source : IMS_{RN}]
Les lignes noires correspondent aux zones de départ (escarpements).

A noter que les résultats de la modélisation trajectographique présentent des artefacts au niveau de l'Aveyron. En effet, il est impossible des blocs traversent le cours d'eau. Bien évidemment ces trajectoires ne sont pas prises en compte.

L'aléa a été ensuite obtenu par croisement entre l'énergie et la probabilité d'atteinte [Tableau 7 et Figure 44]. Enfin la cartographie de l'aléa est effectuée à la main afin de lisser les résultats.

PROBABILITÉ D'ATTEINTE \ ÉNERGIE	ÉNERGIE		
	FORTE (E > 300 kJ)	MOYENNE (30 kJ < E < 300 kJ)	FAIBLE (E < 30 kJ)
FORTE (> 0,5%)	FORT P3	FORT P3	MOYEN P2
MOYENNE (ENTRE 0,2 ET 0,5%)	FORT P3	MOYEN P2	MOYEN P2
FAIBLE (ENTRE 0,11 ET 0,2%)	FORT P3	MOYEN P2	FAIBLE P1
NÉGLIGEABLE (< 0,11%)	NÉGLIGEABLE	NÉGLIGEABLE	NÉGLIGEABLE

Tableau 7 : Grille de qualification de l'aléa Éboulements / Chutes de blocs issue de modélisation trajectographique [Source : RTM 74]



Figure 44 : Extrait du croisement brute entre l'énergie et la probabilité d'atteinte issues de la modélisation trajectographique [Source : IMS_{RV}]

VI.4. Glissements de terrain / Coulées de boue

1. Principes généraux

L'aléa Glissements de terrain / Coulées de boue est issu du **croisement entre la probabilité d'occurrence et l'intensité.**

La probabilité d'occurrence correspond à la prédisposition d'un site à être affecté par un phénomène. Elle est principalement issue de l'analyse croisée entre :

- la lithologie : certaines formations sont plus sensibles que d'autres aux glissements de terrain, c'est notamment le cas des formations marneuses ou des formations présentant une cohésion faible ;
- la pente : plus la pente est importante, plus la probabilité d'apparition de glissements de terrain est importante.

La cartographie des pentes a été calculée sous SIG grâce aux données topographiques de l'IGN (RGE-ALTI à 5 m de l'IGN) **[Figure 45]**.

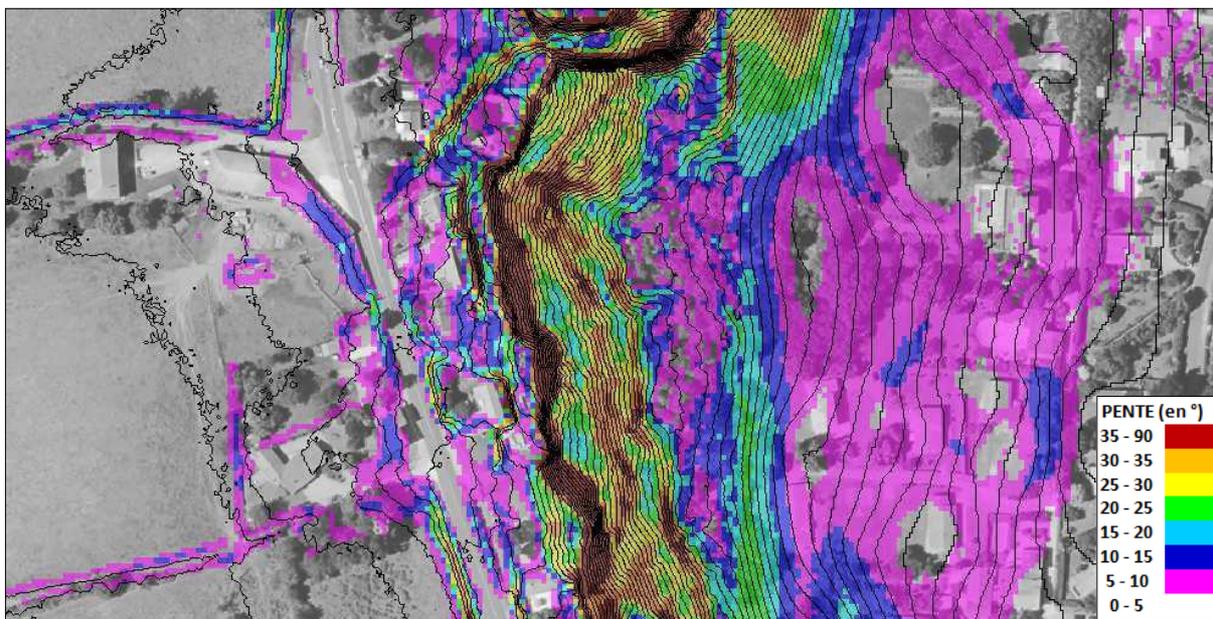


Figure 45 : Exemple de cartographie des pentes sur la commune de LATRESNE (Gironde) [Source : IMS^{RV}]

L'analyse des événements historiques ainsi que les observations de terrain (écoulements, désordres, ...) ont permis d'améliorer la connaissance des mécanismes de déclenchement sur la zone d'étude.

2. Qualification de l'aléa

L'aléa Glissements de terrain / Coulées de boue est qualifié grâce à la grille suivante [Tableau 8] :

ALÉA	INDICE	CRITÈRES
FORT	G3	<ul style="list-style-type: none"> Glissements et/ou coulées de boue actifs dans <u>toutes pentes</u> avec <u>nombreux indices de mouvements</u> (niches d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, rétention d'eau dans les contre-pentes, traces d'humidité) et dégâts au bâti et/ou aux axes de communications Zones de terrain meuble, peu cohérent et de fortes pentes présentant des traces d'instabilités nombreuses Auréole de sécurité autour de ces glissements et/ou coulées de boue Zone d'épandage des coulées de boue Glissements anciens ayant entraîné de fortes perturbations du terrain Berges des torrents encaissés qui peuvent être le lieu d'instabilités de terrain lors des crues
MOYEN	G2	<ul style="list-style-type: none"> Situation géologique identique à celle d'un glissement actif et dans les <u>pent</u>es fortes à moyennes (35° à 15°) avec <u>peu d'indices de mouvement</u> (indices estompés) Topographie <u>légèrement déformée</u> (mamelonnée liée à du fluage) Glissements et/ou coulées de boue <u>fossiles</u> dans les <u>pent</u>es fortes à moyennes (35° à 15°) Glissement actif dans les pentes faibles (< 15° ou inférieure à l'angle de frottement interne des matériaux ϕ du terrain instable) avec pressions artésiennes <p><i>Ces zones présentent une probabilité moyenne d'apparition de glissement de faible ampleur, mais qui peut devenir forte sous l'action anthropique (surcharge, route, terrassement).</i></p>
FAIBLE	G1	<ul style="list-style-type: none"> Glissements fossiles dans les pentes faibles (< 15° ou inférieure à l'angle de frottement interne des matériaux du terrain instable) Glissements potentiels (pas d'indice de mouvement) dans les pentes moyennes à faibles (à titre indicatif : 20 à 5°) dont l'aménagement (terrassement, surcharge...) risque d'entraîner des désordres compte tenu de la nature géologique du site.

Tableau 8 : Grille de qualification de l'aléa Glissements de terrain / Coulées de boue [Source : DDT]

VI.5. Prise en compte des ouvrages de protection

1. Généralités

Les ouvrages de protection ont vocation à réduire l'exposition des personnes et des biens contre les événements naturels dont les intensités sont inférieures ou égales à l'événement pour lequel ils ont été dimensionnés. Ce sont, par exemple :

- pour les avalanches : ouvrages paravalanches (tourne, digue, ...), râteliers, ... ;
- pour les inondations : digues, casiers, barrages écrêteurs de crues, reprofilages topographiques, ... ;
- pour les chutes de blocs : merlons, filets, ancrages, ... ;
- pour les glissements de terrain déclarés d'ampleur maîtrisable : systèmes de drainage, remodelages de la pente, confortement de sol (murs de soutènement, parois clouées, ...), ...

En règle générale, l'efficacité des ouvrages, même les mieux conçus et réalisés, ne peut être garantie à long terme, notamment :

- Si leur maintenance et leur gestion dans la durée ne sont pas assurées par un maître d'ouvrage clairement désigné ;
- En cas de survenance d'un événement supérieur au phénomène de référence utilisé pour le dimensionnement.

Les ouvrages de protection ont pour objectif de réduire l'exposition des enjeux existants. La présence de tels ouvrages ne doit donc pas conduire à augmenter la vulnérabilité dans les zones protégées.

Aussi, conformément aux directives nationales pour l'élaboration des PPRN [Cf Guide général PPRN 2016], les ouvrages de protection existant ne sont pas pris en compte pour la qualification de l'aléa.

Dans les zones où des ouvrages de protection ont été réalisés, les aléas sont donc qualifiés pour une situation théorique dans laquelle ces ouvrages n'existent pas. Une définition de la situation théorique retenue pour la qualification de l'aléa est proposée pour les divers sites concernés.

Les éventuels effets aggravants d'une rupture des digues, de la destruction des seuils ou des ouvrages de correction torrentielle active pourront être identifiés et éventuellement pris en compte pour la qualification de l'aléa. Les facteurs aggravants effectivement pris en compte et les modalités de cette prise en compte sont décrits dans cette note de présentation.

2. Dispositifs de protection sur la zone d'étude

Sur la commune de BRUNIQUEL, il n'existe par d'ouvrage de protection à proprement parlé. Seul un espace dégagé le long de la RD 115, entre les intersections avec la RD 1, bordé par un muret maçonné peut faire office de piège à blocs [Figure 46]. Cependant cette parade passive n'est efficace que pour des éléments de faibles dimensions.



Figure 46 : « Piège à blocs » le long de la RD 115 [Source : IMS_{rw}]

VI.6. Cartes des aléas

La définition des aléas a conduit à l'élaboration de cartes indiquant les limites et les niveaux d'aléas sur l'ensemble du territoire communal.

La cartographie des zones d'aléa prend en compte une zone d'influence des mouvements de terrain, comprenant la limite de l'expansion du phénomène en amont et en aval (régression, épandage, ...) et l'extension latérale dans le cas des affaissements / effondrements.

Dans la majorité des cas, l'évolution des phénomènes naturels est continue, la transition entre les divers degrés d'aléa est donc théoriquement linéaire. Lorsque les conditions naturelles – notamment la topographie – n'imposent pas de variations particulières, les zones d'aléas fort, moyen et faible sont "emboîtées" ; cela traduit la décroissance de l'activité et/ou de la probabilité du phénomène avec l'éloignement. Cette gradation est théorique, et elle n'est pas toujours représentée, notamment du fait des contraintes d'échelle et de dessin.

1. Aléa Affaissements / Effondrements

L'aléa Affaissements / Effondrements est présent sur une grande partie du territoire communal avec un niveau Faible (F1) en raison d'un substratum constitué de calcaires et dolomies du Jurassique karstifiés. Sur la partie Est de la commune, la zone a été agrandie de 150 m pour tenir compte du pendage du substratum karstifié ; ce dernier passant sous des terrains non sensibles au phénomène.

Les secteurs présentant des dolines et/ou des remplissages karstiques, donc des affaissements reconnus, ont été classés en aléa Moyen (F2). Il en est de même pour les zones d'incertitude de 50 m de rayon à partir ou autour des cavités de la commune (dont les extensions sont inconnues). Une auréole de 25 m de largeur a également été définie en aléa Moyen (F2) autour de la zone d'influence de la Grande Grotte de Mayrières.

Enfin la zone d'influence (calculée avec un angle de 20°) issue du tracé de la Grande Grotte de Mayrières a été cartographiée en aléa Fort (F3).

[Voir « Carte de l'aléa Affaissements / Effondrements » au 1/10 000 et au 1/5 000]

2. Aléa Éboulements / Chutes de blocs

L'aléa Éboulements / Chutes de blocs et de pierres se retrouve uniquement en bordure du plateau là où les calcaires affleurent sous la forme d'escarpements pouvant être importants. Les volumes mis en jeu peuvent être importants (supérieurs au m³) comme en témoignent les observations effectuées sur le terrain (stratigraphie, fracturation, blocs, ...).

La quasi-totalité des zones d'atteinte (calculées par la méthode des lignes d'énergie ou issues de la modélisation trajectrographique) a été cartographiée en aléa Fort (P3). Des secteurs en aval ont été cartographiés en aléas Moyen (P2) et Faibles (P1) ; ils correspondent à des zones avec des probabilités d'atteinte plus faibles et/ou avec une dissipation de l'énergie des blocs (fins de trajectoires).

Les carrières en activité n'ont pas fait l'objet d'une cartographie de l'aléa.

[Voir « Carte de l'aléa Éboulements / Chutes de blocs » au 1/10 000 et au 1/5 000]

3. Aléa Glissements de terrain / Coulées de boue

L'aléa Glissements de terrain se retrouve sur les versants marneux et gréseux avec un niveau Faible (G1). Il a également été cartographié sur les versants marno-calcaires au Sud de la vallée du ruisseau de Merdarié et sur le versant Ouest de la butte à côté de Brian de Vère.

Seuls 2 secteurs ont été cartographiés en aléa Moyen (G2) :

- le premier à l'Ouest de Brian de Vère : le versant présentant une morphologie compatible avec un ancien glissement (zone d'arrachement / replat / bourrelet en pied) ;
- le second au Sud de Moncéry : le talweg présente des déformations topographiques sans doute liées aux circulations d'eau préférentielles.

Aucun aléa Coulées de boue de grande ampleur n'a été mis en évidence.

[Voir « Carte de l'aléa Glissements de terrain » au 1/10 000 et au 1/5 000]

VII. CARTOGRAPHIE DES ENJEUX

Dans la continuité des autres documents graphiques du PPR (carte de localisation des phénomènes naturels, carte des aléas), la cartographie des enjeux a été réalisée sur l'ensemble du territoire communal.

Celle-ci a été élaborée à partir des documents d'urbanisme disponibles actuellement, en l'occurrence le Plan Local d'Urbanisme, et fait apparaître l'occupation actuelle et projetée des sols :

- grandes unités naturelles ou agricoles ;
- zones urbanisées actuelles et futures à l'échelle de la commune.

Ont également été repérés sur la carte, des enjeux linéaires qui représentent les grands axes de communication (routes, voies ferrées, ...) et les principaux réseaux de transport d'énergie ou de fluides dont l'endommagement peut provoquer des perturbations.

Enfin sont représentés les enjeux ponctuels tels que :

- sensibles : enjeux de service public
 - établissements de santé (clinique, hôpital, maison de retraite, ...) ;
 - établissements scolaires et de loisirs ;
 - établissements Recevant du Public (ERP) ;
 - ...
- stratégiques : enjeux d'équipements publics et stratégiques
 - Mairie ;
 - services de secours (pompier, gendarmerie, ...) ;
 - infrastructures du réseau d'Alimentation en Eau Potable (station de pompage, réservoir, STEP, ...) ;
 - infrastructures du réseau de distribution d'électricité (pylône, transformateur, ...) ;
 - infrastructures du réseau de distribution de gaz ;
 - infrastructures du réseau de communication (antenne, ...) ;
 - ...
- économiques / touristiques / patrimoniaux : site industriel, musées, monuments, ...

[Voir « Carte des enjeux » au 1/10 000 et au 1/5 000]

VIII. CARTOGRAPHIE DU ZONAGE RÉGLEMENTAIRE

Il s'agit à ce stade de définir les contraintes applicables sur le territoire de la commune de BRUNIQUEL.

C'est le croisement entre les aléas Mouvements de terrain et les enjeux qui détermine le zonage réglementaire.

Il est établi sur fond Scan25 © IGN au 1/10 000 et sur fond cadastral au 1/5 000, et définit des zones inconstructibles et constructibles soumises ou non à prescriptions. Les mesures réglementaires applicables dans chaque zone sont détaillées dans le règlement du PPR.

En réglementant l'occupation et l'utilisation des sols, la carte de zonage réglementaire (et son règlement) a pour finalité une **meilleure protection des biens et des personnes** et une **limitation du coût pour la collectivité** de l'indemnisation systématique des dégâts engendrés par les phénomènes.

Conformément à la doctrine nationale, la DDT du Tarn-et-Garonne a défini des critères de croisement entre aléas et enjeux pour aboutir au zonage réglementaire [**Tableau 9**] :

- En zone naturelle ou agricole : le principe de précaution prévaut pour éviter le développement urbain dans les zones à aléas. Ainsi tous les secteurs en aléas Moyen et Fort ont été traduits en zones inconstructibles¹ (rouges) appelés ZONES D'INTERDICTION ;
- En zone urbanisée ou d'urbanisation future : la réglementation est plus souple afin de tenir compte de l'habitat existant et des projets d'extension future de la commune. Ainsi, les zones d'aléas Moyen ont été traduites en zones constructibles¹ sous conditions (bleues) appelés ZONES DE PRESCRIPTIONS.

		ENJEUX	
		Secteurs naturels ou agricoles	Secteurs urbanisés ou d'urbanisation future
ALÉA	Fort	ZONE D'INTERDICTION Zone rouge	ZONE D'INTERDICTION Zone rouge
	Moyen		ZONE DE PRESCRIPTIONS Zone bleue
	Faible	ZONE DE PRESCRIPTIONS Zone bleue	ZONE DE PRESCRIPTIONS Zone bleue
	Nul à inexistant en l'état actuel des connaissances	ZONE D'AUTORISATION Zone blanche	ZONE D'AUTORISATION Zone blanche

Tableau 9 : Traduction des aléas et des enjeux en zonage réglementaire [Source : DDT 82 / GINGER CEBTP]

¹ Remarque : les termes "constructibles" et "inconstructibles" sont réducteurs au regard du contenu de l'article 40.1 de la loi N° 87-565 du 22 juillet 1987. Il paraît néanmoins judicieux de porter l'accent sur l'aspect essentiel de l'urbanisation : la construction. Il n'empêche que les autres types d'occupation du sol soient prises en compte. Ainsi, dans une zone rouge (inconstructible) certains aménagements, exploitation, ... pourront être autorisés. Inversement, dans une zone bleue (constructible sous condition) certains aménagements, exploitations, ... pourront être interdits.

Ainsi 3 types de zones sont définies :

- **ZONE D'AUTORISATION (blanche), constructible au regard du PPR** (sous réserve d'autres réglementations du sol, et notamment le PLU)

Zone où l'aléa est considéré comme nul ou négligeable, et sans enjeux particuliers au regard de la prévention des risques. Il n'est donc pas nécessaire de réglementer ces zones. Cette zone blanche est à distinguer de la partie de la commune située en dehors du périmètre de zonage PPR, apparaissant également en blanc sur la carte réglementaire.

- **ZONE DE PRESCRIPTIONS (bleue), constructible sous conditions** (sous réserve d'autres réglementations du sol, et notamment le PLU)

Zone où l'aléa est Faible ou Moyen répondant aux critères suivants :

- zone d'aléa Faible, quel que soit l'enjeu existant ou futur, où la construction est possible moyennant le respect de certaines prescriptions ;
- zone déjà urbanisée ou d'urbanisation future, exposée à un aléa Moyen, mais où la construction reste possible moyennant certaines prescriptions, généralement plus contraignantes que pour les zones exposées à un aléa Faible. Certaines occupations du sol peuvent être limitées.

- **ZONE D'INTERDICTION (rouge), inconstructible** (sauf quelques exceptions)

Zone exposée à un risque suffisamment fort pour ne pas justifier de protections, soit qu'elle soit irréalisable, soit qu'elle soit trop coûteuse vis à vis du(des) bien(s) à protéger, soit que l'urbanisation de la zone ne soit pas souhaitable compte tenu des risques directement ou potentiellement aggravés sur d'autres zones.

On y trouve ainsi :

- toutes les zones d'aléa Fort ;
- les secteurs naturels ou agricoles exposés à un aléa Moyen.

A noter que lorsque 2 aléas liés à des phénomènes différents se superposent, le zonage réglementaire le plus fort prédomine pour la détermination des contraintes. Si les zonages présentent le même niveau de contrainte (même couleur) alors les dispositions spécifiques aux 2 phénomènes s'appliquent.

[Voir « Carte du zonage réglementaire » au 1/10 000 et au 1/5 000]

IX. BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE (HORS RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE) ET SITES INTERNET DE RÉFÉRENCE

Guides méthodologiques

- Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) : Guide général – Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer / Ministère du Logement et de l'Habitat durable – Décembre 2016
- Plan de prévention des risques naturels (PPR) : Cavités souterraines abandonnées : Guide méthodologique – INERIS – 2012
- Plans de prévention des risques naturels (PPR) : Risques de mouvements de terrain : Guide méthodologique – Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement / Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement – 1999

Documents communaux

- Plan Local d'Urbanisme (PLU) de BRUNIQUEL – Approuvé le 29/02/2008

Sites internet

- www.georisques.gouv.fr
- www.brgm.fr
- www.infoterre.brgm.fr
- Google Earth

X. TABLE DES ACRONYMES

BD-CAVITES	Base nationale des cavités souterraines du BRGM
BD-MVT	Base nationale des mouvements de terrain du BRGM
BD ORTHO®	Base de données orthophotographiques de l'IGN
BD TOPO®	Base de données topographiques de l'IGN
BRGM	Bureau de recherche géologiques et minières
BSS	Banque du sous-sol du BRGM
CATNAT	Catastrophe naturelle
CEREMA	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement
CETE	Centre d'études techniques de l'équipement
COVADIS	Commission de validation des données pour l'information spatialisée
DDRM	Dossier départemental des risques majeurs
DDT / DDTM	Direction départementale des territoires / Direction départementale des territoires et de la mer
DICRIM	Dossier d'information communal sur les risques majeurs
DREAL	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
EPCI	Établissement public de coopération intercommunale
GASPAR	Gestion assistée des procédures administratives relatives aux risques naturels et technologiques
GPS	Global Positioning System (système de positionnement par satellites)
LCPC	Laboratoire central des ponts et chaussées
IAL	Information des acquéreurs et des locataires
IGN	Institut national de l'information géographique et forestière
INERIS	Institut national de l'environnement industriel et des risques
MNT	Modèle numérique de terrain
NGF	Nivellement général de la France
ONF	Office national des forêts
PAC	Porter à connaissance
PADD	Plan d'aménagement et de développement durable
PCI	Plan cadastral informatisé
PCS	Plan communal de sauvegarde
PER	Plan d'exposition aux risques
PLU	Plan local d'urbanisme
PLUI	Plan local d'urbanisme intercommunal
POS	Plan d'occupation des sols
PPRN	Plan de prévention des risques naturels
RGE ALTI®	Données altimétriques du référentiel à grande échelle de l'IGN
RTM	Restauration des terrains en montagne
SCAN 25®	Images cartographiques numériques géoréférencées au 1/25 000 de l'IGN
SIG	Système d'information géographique
TIM	Transmission des informations aux maires
ZERMOS	Zones exposées aux risques liés aux mouvements du sol et du sous-sol