



PRÉFECTURE DE L'AVEYRON

DIRECTION DÉPARTEMENTALE DE L'ÉQUIPEMENT DE
L'AVEYRON

Service de l'Aménagement du Territoire

Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles de mouvements de terrain (glissements et chutes de masses rocheuses)

Commune de RIVIÈRE-SUR-TARN

VOLET 1 – Note de présentation

Mai 2007

Dossier n°20.12-168A.2000/20.191-7



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



**Centre d'Études
Techniques
de l'Équipement
du Sud-Ouest**

Sommaire

1. CONTEXTE.....	6
2. DOSSIER RÉGLEMENTAIRE.....	7
3. MÉTHODOLOGIE.....	8
3.1 AVANT PROPOS.....	8
3.1.1 Contenu de la carte ZERMOS.....	8
3.1.2 Objectifs.....	8
3.2 CONDITIONS D'INTERVENTION.....	8
3.2.1 Zone d'étude.....	8
3.2.2 Déroulement de l'étude.....	9
3.2.2.1 Phase 1 : diagnostic géotechnique.....	9
3.2.2.2 Phase 2 : définition de la carte des aléas.....	9
3.2.2.3 Phase 3 : identification des enjeux.....	9
3.2.2.4 Phase 4 : élaboration du zonage des risques de mouvements de terrain et du règlement du Plan de Prévention des Risques.....	9
4. ANALYSE DES DONNÉES GÉOLOGIQUES ET GÉOTECHNIQUES.....	10
4.1 CONTEXTE MORPHOLOGIQUE, GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE.....	10
4.1.1 Morphologie.....	10
4.1.2 Géologie.....	12
4.1.2.1 Généralités.....	12
4.1.2.2 Description des faciès (au niveau de la zone d'étude).....	12
4.1.3 Hydrogéologie.....	14
4.2 CARACTÉRISTIQUES GÉOTECHNIQUES.....	15
4.2.1 Sols.....	15
4.2.1.1 Marnes liasiques.....	15
4.2.1.2 Recouvrement colluvial.....	15
4.2.1.3 Conclusion.....	15
4.2.2 Roches.....	16
4.2.2.1 Falaises massives.....	16
4.2.2.2 Falaises découpées.....	16
4.2.2.3 Falaises fracturées ou désorganisées.....	17
4.2.2.4 Affleurements rocheux.....	18
4.2.2.5 Chandelles.....	18
4.2.2.6 Phénomènes géologiques marquants.....	18
5. TYPOLOGIE DES MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	19
5.1 GLISSEMENTS DE TERRAIN.....	19
5.1.1 Description des mouvements.....	19
5.1.1.1 Glissements de masse.....	19
5.1.1.2 Glissements localisés.....	20
5.1.1.3 Glissements supposés.....	21
5.1.1.4 Phénomènes de solifluxion.....	21
5.1.1.5 Instabilités superficielles.....	21
5.1.2 Mécanismes de rupture.....	22
5.1.2.1 Analyse des facteurs naturels d'instabilité relatifs aux glissements de terrain.....	22
5.1.2.2 Analyse des facteurs d'instabilité relatifs aux mouvements superficiels.....	22
5.1.2.3 Facteurs anthropiques.....	22
5.2 CHUTES DE MASSES ROCHEUSES.....	23
5.2.1 Chutes de pierres.....	23
5.2.2 Chutes de blocs et écroulis.....	23
5.3 PRINCIPES DE TRAITEMENT DES INSTABILITÉS.....	24
5.3.1 Glissements de terrain.....	25
5.3.2 Chutes de masses rocheuses.....	25
6. CARTOGRAPHIE DES PHÉNOMÈNES NATURELS.....	26
6.1 RECUEIL DES INFORMATIONS.....	26
6.1.1 Étude bibliographique.....	26
6.1.2 Travaux de Terrain.....	26

6.2 SUPPORT CARTOGRAPHIQUE.....	27
6.3 LECTURE DES CARTES INFORMATIVES DES PHÉNOMÈNES NATURELS.....	27
6.4 « LIMITES » DES CARTES INFORMATIVES.....	27
7. DÉFINITION ET CARACTÉRISATION DE L'ALÉA « MOUVEMENTS DE TERRAIN ».....	28
7.1 GLISSEMENTS DE TERRAIN (VERSANTS).....	28
7.1.1 Type d'aléa.....	28
7.1.1.1 Glissement de terrain.....	28
7.1.1.2 Instabilités de surface.....	28
7.1.1.3 Pathologies des berges des principaux cours d'eau.....	28
7.1.2 Intensité de l'aléa.....	29
7.1.3 Évaluation des niveaux d'aléa.....	29
7.1.3.1 Hiérarchisation conventionnelle.....	29
7.1.3.2 Détermination des critères de zonage.....	29
7.1.3.3 Niveau d'aléa.....	30
7.2 CHUTES DE MASSES ROCHEUSES.....	32
7.2.1 Classes d'instabilités.....	32
7.2.2 Couple « Probabilité / Délai ».....	32
7.2.2.1 Probabilité d'occurrence.....	33
7.2.2.2 Délai.....	33
7.2.2.3 Couple Probabilité / délai.....	33
7.2.3 Niveaux d'aléa.....	34
7.2.4 Qualification de l'aléa de propagation.....	34
7.2.5 Grille de qualification des aléas de rupture et de propagation.....	35
7.2.6 Détermination de l'aléa résultant.....	36
7.2.7 Sectorisation par ensembles homogènes.....	37
7.3 RÉSULTANTE DES ALÉAS LIÉS AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN ET DES ALÉAS LIÉS AUX CHUTES DE MASSES ROCHEUSES.....	37
7.4 FIABILITÉ DE LA CARTE D'ALÉA.....	37
8. IDENTIFICATION DES ENJEUX SUR LA COMMUNE DE RIVIÈRE-SUR-TARN.....	38
8.1 RAPPEL DE LA DÉMARCHE ENGAGÉE.....	38
8.2 ENJEUX RÉPERTORIÉS.....	38
8.3 PROJETS DE LA COMMUNE.....	39
9. CONCLUSION.....	40

Liste des Figures

FIGURE 1 : PÉRIMÈTRE D'ÉTUDE

FIGURE 2 : ENVIRONNEMENT GÉOMORPHOLOGIQUE

FIGURE 3 : PANORAMA DEPUIS LE VERSANT FACE À MASSEBIAU (MILLAU) - VALLÉE DE LA DOURBIE ET BASSIN DE MILLAU

FIGURE 4 : PANORAMA DEPUIS SOULACROUP (COMPEYRE) - VALLÉE DU TARN

FIGURE 5 : COMMUNE DE RIVIÈRES-SUR-TARN, PUECH DE SUÈGES (VERSANT SUD) – COUPE LITHOSTRATIGRAPHIQUE

FIGURE 6 : LOUPE DE GLISSEMENT ÉLÉMENTAIRE

FIGURE 7 : DIFFÉRENTS TYPES DE CHUTES DE MASSES ROCHEUSES

FIGURE 8 : APPRÉCIATION DE L'ALÉA DE PROPAGATION

Liste des Annexes

ANNEXE A : GLOSSAIRE

ANNEXE B : CARTE GÉOLOGIQUE

ANNEXE C : GUIDES À CARACTÈRE MÉTHODOLOGIQUE

ANNEXE D : PRINCIPES DE TRAITEMENTS DES GLISSEMENTS DE TERRAIN

1. Contexte

L'environnement géologique particulier du *Millavois*, hérité du modelage fluvial du Tarn au Quaternaire, confère aux versants et aux falaises de la région une forte sensibilité vis-à-vis des mouvements de terrain. Cette sensibilité se traduit par la manifestation **régulière** et **ubiquiste** de glissements et de chutes de masses rocheuses qui peuvent mettre en danger la sécurité des personnes et des biens.

Les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (P.P.R) ont été institués par la loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement. Les conditions d'application de ce texte sont précisées par le décret du 5 octobre 1995.

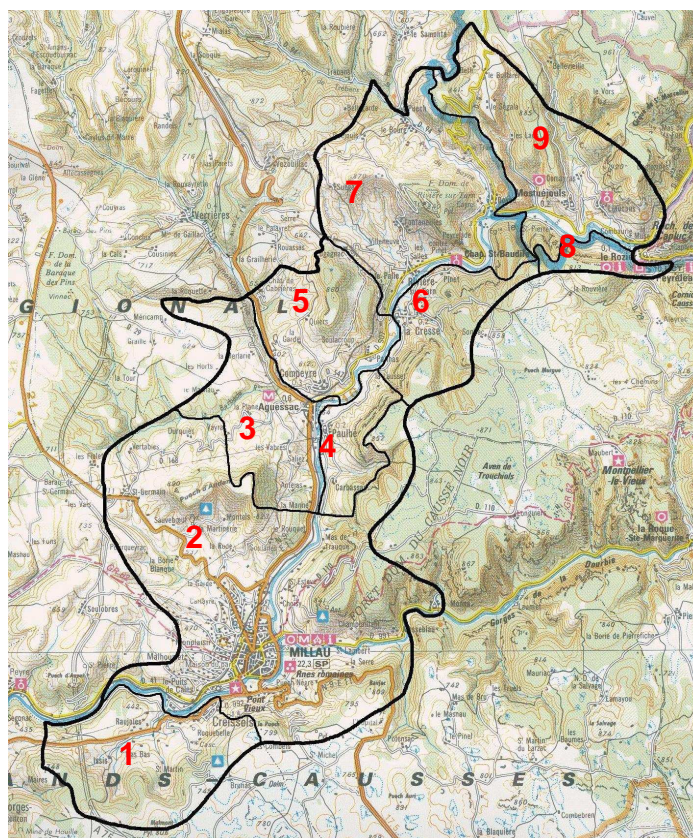
Les P.P.R. constituent un outil réglementaire de gestion de l'urbanisme et de l'espace qui a pour triple objectif :

- de délimiter les zones exposées aux risques,
- d'y réglementer l'utilisation des sols,
- d'y prescrire d'éventuelles mesures de prévention.

Afin d'assurer la gestion des risques sur le secteur du Millavois, la Préfecture de l'Aveyron a prescrit par arrêté un Plan de Prévention des Risques naturels liés aux mouvements de terrain (arrêté n° 2004-75-9 du 15 mars 2004). Les phénomènes d'instabilité concernés sont les **glissements de terrain** et les **chutes de masses rocheuses**.

Remarque : le dossier n'évalue pas les mouvements liés à l'activité sismique et volcanique, les phénomènes de tassement ou de retrait/gonflement des terrains argileux ni les effondrements au droit de cavité souterraine.

Le bassin de risque mis à l'étude correspond aux versants et falaises dominant la vallée du Tarn sur les communes suivantes :



1. Creissels,
2. Millau,
3. Aguessac,
4. Paulhe,
5. Compeyre,
6. La Cresse,
7. RIVIÈRE-SUR-TARN,
8. Peyreleau,
9. Mostuéjouls.

Figure 1 : périmètre d'étude

La Direction Départementale de l'Équipement de l'Aveyron, chargée du pilotage du dossier, a confié au Laboratoire Régional de Toulouse l'évaluation technique des risques naturels de mouvements de terrain sur le secteur précédemment défini.

2. Dossier réglementaire

Conformément à l'article 3 du décret du 5 octobre 1995 relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles, le dossier est organisé autour des trois pièces réglementaires suivantes :

1. une note de présentation,
2. des documents cartographiques dont le plan délimitant le zonage réglementaire,
3. un règlement.

La note de présentation a pour objet d'expliquer le cadre général de la procédure P.P.R, de préciser les raisons de sa prescription et de présenter la démarche méthodologique relative à l'évaluation des risques. Le bassin de risque concerné est également décrit au regard des phénomènes d'instabilité d'une part et de l'environnement géologique et géotechnique d'autre part.

Le plan de zonage, constituant la cartographie réglementaire du P.P.R, délimite les zones à risques dans lesquelles sont applicables des interdictions, des prescriptions réglementaires homogènes et des mesures de prévention de protection ou de sauvegarde. Associé au règlement, ce plan constitue le fondement de la démarche du P.P.R..

**LE PRÉSENT DOSSIER CONSTITUE LE « VOLET 1 » RELATIF À LA NOTE DE PRÉSENTATION
DE LA COMMUNE DE RIVIÈRE-SUR-TARN**

3. Méthodologie

3.1 Avant propos

En 1976, le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.) a établi une première carte d'aléas à la demande de la Direction de la Sécurité Civile du Ministère de l'Intérieur. Cette carte, baptisée *carte ZERMOS de la région de Millau - Aveyron*, s'intégrait dans le lancement d'une campagne nationale de cartographie des risques appelée plan ZERMOS.

3.1.1 Contenu de la carte ZERMOS

La zone étudiée par le B.R.G.M. intéresse la ville de Millau et s'étend sur 20 kilomètres de part et d'autre du Tarn, de Peyreleau en amont à Creissels en aval. Les communes concernées par l'étude sont (du sud au nord) :

- | | |
|--------------|-----------------------|
| - Creissels, | - Verrières, |
| - Millau, | - Rivière-sur- Tarn, |
| - Aguessac, | - Peyreleau, |
| - Paulhe, | - Le Rozier (Lozère), |
| - Compeyre, | - Mostuéjous, |
| - La Cresse, | - Séverac-le-Château. |

La carte « *région de Millau -Aveyron* » présente sur un fond de plan topographique au 1 / 25 000^{ème} :

- la lithologie des terrains affleurants,
- la nature des mouvements constatés,
- une délimitation et une hiérarchisation des zones soumises à l'aléa.

Une notice explicative décrivant la géologie locale, les différents mouvements de terrain ainsi que les critères de zonage, est jointe à la carte.

3.1.2 Objectifs

L'objectif de la carte ZERMOS (zones exposées à des risques liés à des mouvements de terrain du sol et du sous-sol) était de *fournir aux aménageurs un document permettant d'apprécier et de localiser les risques naturels liés aux mouvements de terrain.*

3.2 Conditions d'intervention

La mission confiée au Laboratoire Régional de Toulouse avait pour premier objectif de réactualiser la carte ZERMOS datant de 1976. Ce travail, constituant la base de l'évaluation des risques, devait ensuite permettre l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques « mouvements de terrain ».

3.2.1 Zone d'étude

La zone d'étude a été définie par les services de la Direction Départementale de l'Équipement de l'Aveyron. Les limites de cette zone correspondent au périmètre de la carte ZERMOS, auquel ont été enlevées les communes de Verrières, de Séverac-le-Château et du Rozier. Le village de Peyreleau et le hameau du Monna - commune de Millau - ont été rajoutés au périmètre (cf. figure 1 page 4).

3.2.2 Déroulement de l'étude

L'évaluation des risques naturels a été décomposée en quatre phases successives. Ces phases représentent les différentes étapes de l'analyse du risque géotechnique.

3.2.2.1 Phase 1 : diagnostic géotechnique

La première phase, correspondant au diagnostic géotechnique, avait pour principal objectif de localiser et d'analyser les phénomènes d'instabilité déclarés.

À cette fin, une étude bibliographique a tout d'abord été réalisée. Cette étude, menée auprès des archives départementales et de plusieurs bureaux d'études spécialisés, a permis de recenser un nombre important d'évènements. Dans un second temps, la carte ZERMOS et deux missions de photographies aériennes (missions de 1966 et de 1997) ont été analysées. Enfin, les données recueillies ont été validées par une reconnaissance de terrain.

Parallèlement aux travaux de terrain, une enquête a été engagée auprès des riverains, des communes et de l'ensemble des services concernés (Conseil Général, Préfecture, Subdivision Territoriale de l'Équipement, S.N.C.F., ...).

La synthèse des informations collectées a été retranscrite sur une carte informative des phénomènes naturels (fond de plan utilisé : carte topographique I.G.N. ; échelle : 1 / 25 000^{ème} agrandi au 1/10 000^{ème}).

En complément du diagnostic, l'étude de phase 1 a permis d'envisager des solutions préventives et des mesures de traitement des secteurs menacés (cf. page 22).

3.2.2.2 Phase 2 : définition de la carte des aléas

La connaissance du contexte géotechnique de la zone d'étude a permis de qualifier, de hiérarchiser et de délimiter les zones soumises à l'aléa « mouvements de terrain ».

La définition des aléas a conduit à l'élaboration d'une carte indiquant les limites et les niveaux d'aléas (fond de plan utilisé: carte topographique I.G.N. ; échelle : 1 / 25 000^{ème} agrandi au 1 / 10 000^{ème}). Les cartes d'aléa ont été établies sur la base des résultats de la première phase. Une comparaison des cartes ainsi établies avec la carte ZERMOS a permis un premier contrôle.

Remarque : il faut noter que certaines différences de zonage apparaissent. À chaque fois, une nouvelle visite sur le terrain a été réalisée afin de confirmer le résultat.

3.2.2.3 Phase 3 : identification des enjeux

L'identification et l'évaluation des enjeux d'ordre humain, socio-économique et environnemental, ont été réalisées conjointement par la Direction Départementale de l'Équipement, par les municipalités et par le Laboratoire. Le recueil des données nécessaires à la détermination des enjeux a été obtenu à partir d'une enquête menée auprès des élus de chaque collectivité d'une part et à partir de l'analyse des documents d'urbanisme opposables aux tiers d'autre part.

Le report des informations a été établi sur un fond de plan identique aux cartes précédentes (fond topographique I.G.N. au 1 / 25 000^{ème} agrandis au 1/10 000^{ème}).

3.2.2.4 Phase 4 : élaboration du zonage des risques de mouvements de terrain et du règlement du Plan de Prévention des Risques

Cette dernière phase avait pour double objectif de :

- délimiter, par croisement entre les aléas et les enjeux, les zones dans lesquelles sont applicables des interdictions, des prescriptions réglementaires homogènes et des mesures de prévention, de protection ou de sauvegarde,
- définir conjointement avec les services de la Direction Départementale de l'Équipement les dispositions réglementaires applicables à chaque niveau de risque.

Le zonage a été dressé sur un fond de plan identique aux cartes précédentes (fond topographique I.G.N. au 1 / 25 000^{ème} agrandis au 1 / 10 000^{ème}).

4. Analyse des données géologiques et géotechniques

Les différents travaux de reconnaissance menés dans le cadre de l'évaluation des risques de mouvements de terrains ont permis de dresser le schéma géologique et géotechnique général du secteur du *Millavois*. Ce schéma constitue la base de l'analyse et de la compréhension des phénomènes naturels d'instabilité.

4.1 Contexte morphologique, géologique et hydrogéologique

4.1.1 Morphologie

La zone d'étude est située sur la bordure sud-est du *Massif-Central*, au cœur des *Grands Causses* Jurassiques. Cette région, délimitée au sud par les *Monts de Lacaune*, à l'est par le *Rouergue* cristallin, au nord par l'*Aubrac* et à l'est par les *Cévennes*, est représentée par de vastes plateaux calcaires profondément entaillés par les cours d'eau. Le secteur du *Millavois* correspond plus particulièrement à la transition entre les Causses Majeurs orientaux (*Causse Noir* et *Causse du Larzac*) et les Causses occidentaux (*Causse Rouge* et *Causse de Massegros*).

La répartition géographique des Grands Causses est symbolisée sur la figure ci-après (d'après le guide géologique régional « *Causses Cévennes Aubrac* » publié aux éditions Masson, 1973).

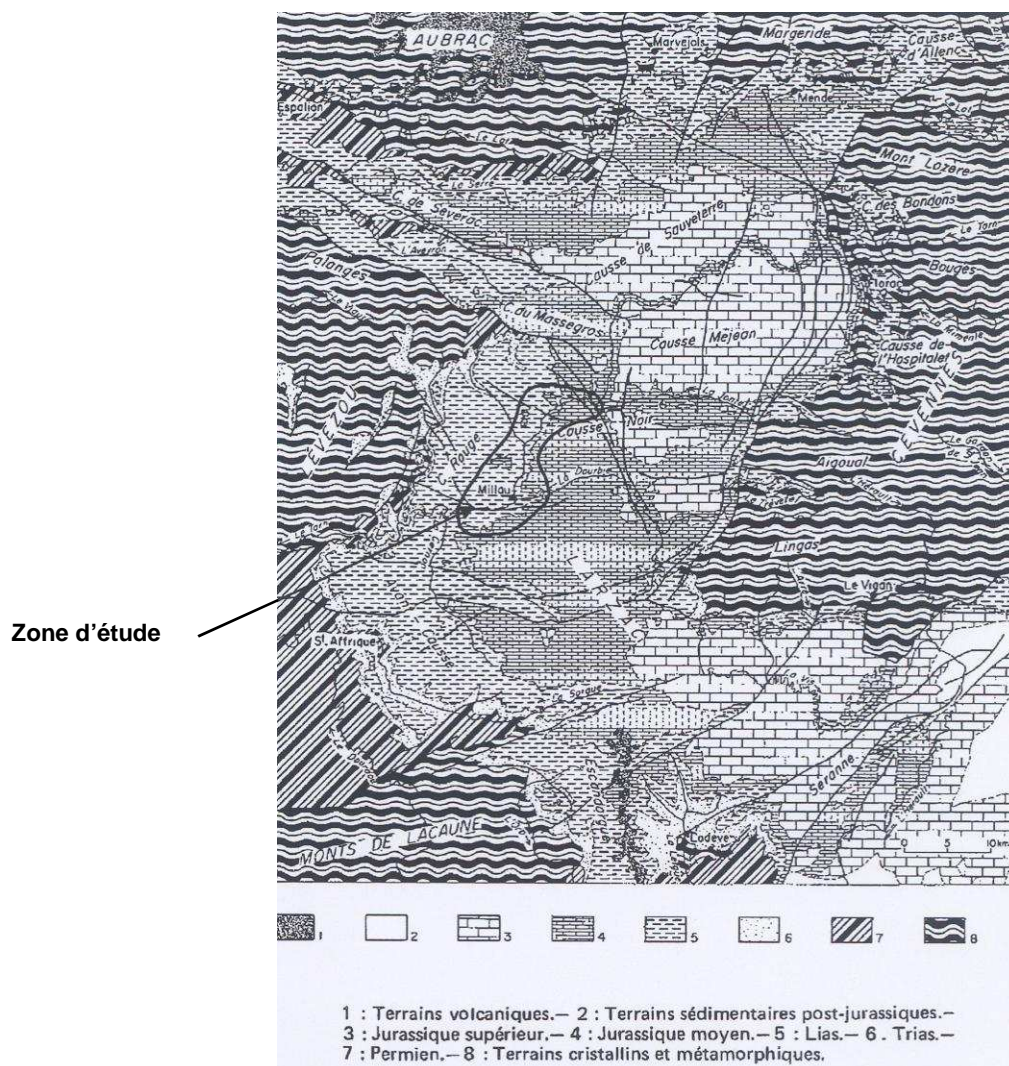


Figure 2 : environnement géomorphologique

Les différentes unités géomorphologiques représentées sur la zone d'étude s'inscrivent dans un modelé tabulaire issu de l'érosion fluviale du Tarn et de ses affluents. Ces divisions naturelles se développent du sud-est au nord-ouest. Il s'agit de :

- au sud, du *Causse du Larzac* (le plus vaste des causses majeurs),
- au sud-est, du *Causse Noir*,
- au centre, de la vallée du Tarn,
- à l'ouest, du *Causse Rouge*,
- au nord, du *Causse de Massegros*.

Les causses orientaux, culminant à environ 800 mètres NGF, dominent les vallées du Tarn et de la Dourbie (≈ 360 mètres NGF). Au centre de la zone d'étude, le réseau hydrographique forme une large dépression parsemée de buttes témoins (du sud au nord : *Puech d'andan*, *Puech de Luzergue*, *Puechs de Fontaneilles et de Suège*).

Cette dépression fait apparaître en bordure des versants marneux, dont la continuité est fréquemment perturbée par la présence de masses calcaires glissées (phénomène d'ordre tectonique). Ces masses constituent de véritables terrasses intermédiaires entre les plateaux calcaires et la vallée.

On notera enfin la présence d'un entablement horizontal de tufs quaternaires à l'est de Creissels (plateau de France).

Les photographies suivantes illustrent la morphologie du secteur étudié. Le premier cliché montre la vallée de la Dourbie et le bassin de Millau depuis Massebiau. Le second cliché montre la vallée du Tarn depuis Soulacroup (Compeyre). Ce dernier cliché illustre parfaitement la présence de masses calcaires glissées sur les flancs des massifs calcaires.

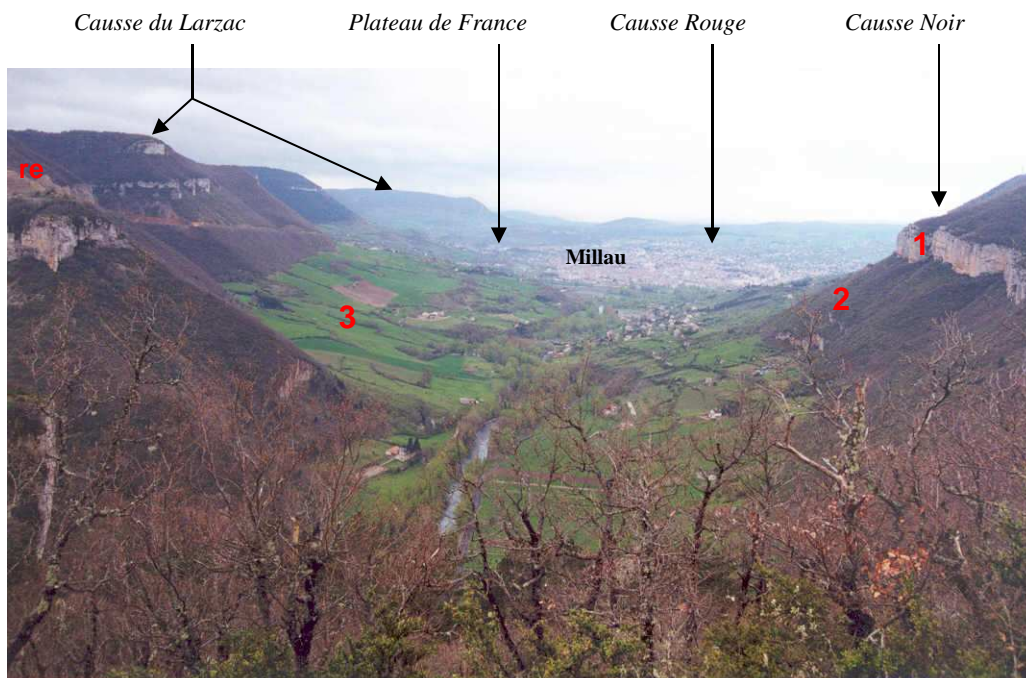


Figure 3 : panorama depuis le versant face à Massebiau (Millau) - vallée de la Dourbie et bassin de Millau
 1 : falaises calcaires ; 2 : pente d'éboulis ; 3 : versant marneux ;
 re : reculée (amphithéâtre rocheux constituant la terminaison amont d'une vallée creusée dans des couches tabulaires)

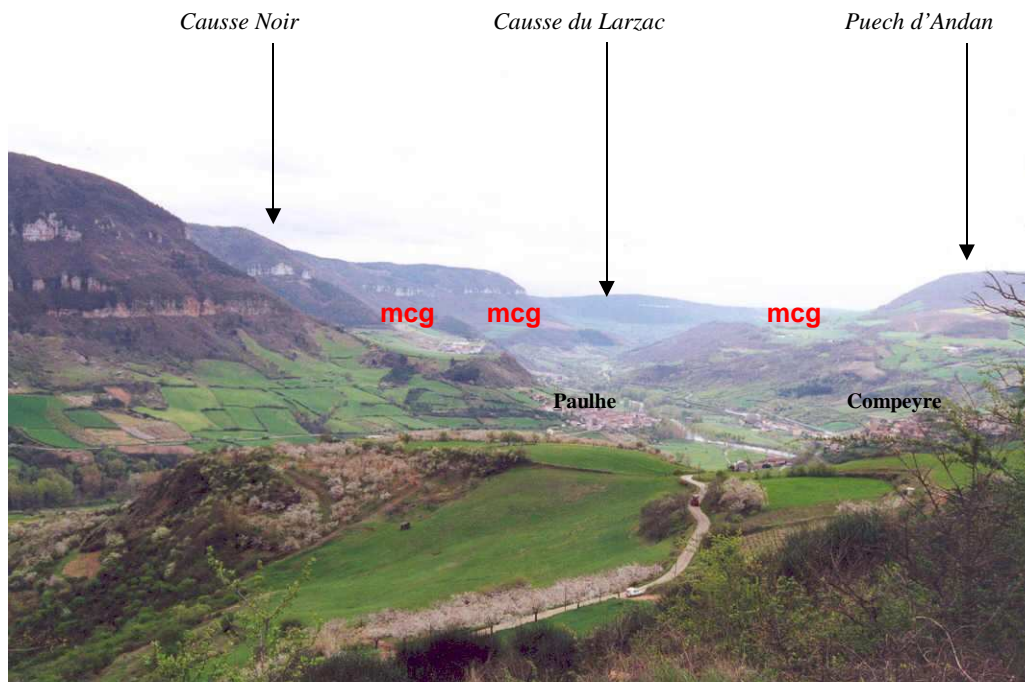


Figure 4 : panorama depuis Soulacroup (Compeyre) - vallée du Tarn
mcg : masse calcaire glissée

4.1.2 Géologie

4.1.2.1 Généralités

Deux époques géologiques sont représentées sur le secteur étudié :

- ☉ le Quaternaire, caractérisé par des formations superficielles de type alluvial ou colluvial,
- ☉ le Jurassique, caractérisé par des formations marneuses, calcaires et dolomitiques. Ces terrains correspondent au substratum régional.

Les formations superficielles constituent le recouvrement et sont en règle générale disposées sur la formation Jurassique. Le substratum est donc le plus souvent masqué à l’affleurement. D’un point de vue tectonique, les couches s’organisent dans une structure géologique simple caractérisée par un plongement vers le sud-est de l’ordre de 10°. La zone d’étude présente de plus un nombre relativement important d’accidents cassants. Les directions de failles sont diverses.

Les caractéristiques géologiques du *Millavois* sont synthétisées sur une coupe schématique présentée en fin de paragraphe (coupe redessinée d’après la carte ZERMOS). La carte géologique de la zone d’étude est jointe en annexe B.

4.1.2.2 Description des faciès (au niveau de la zone d’étude)

Le substratum régional est représenté par deux séries carbonatées encadrant une importante formation marneuse. Ces faciès appartiennent au Jurassique Inférieur et Moyen - Hettangien à Bathonien - (voir figure page suivante).

- ☉ La **série carbonatée inférieure**, affleurant uniquement à l’est de la zone d’étude (*Causse Rouge*), correspond aux étages géologiques de l’Hettangien, du Sinémurien et du Carixien :
 - l’Hettangien - I₁₋₂ - (visible sur les flancs des ravins et des vallons) est constitué d’une importante épaisseur de dolomies admettant quelques intercalations de marnes vertes,
 - le Sinémurien - I₃₋₄ - est représenté pour l’essentiel par des dolomies à sa base et par des calcaires dans sa partie supérieure. L’épaisseur de cette formation est inférieure à 60 mètres,
 - le Carixien - I₅ -, se présente sous la forme de calcaires fins plus ou moins argileux alternant avec des niveaux marneux. Au sommet de la série, les marnes deviennent prédominantes. L’épaisseur de cet étage est comprise entre 30 et 50 mètres.

- La **formation marneuse** apparaît sur l'ensemble des versants du *Millavois* et forme le « glacis » liassique. D'une puissance d'environ 250 mètres, ce système correspond aux étages du Domérien et du Toarcien.
 - le Domérien et le Toarcien - I₆ ; I₇ ; I_{8-9a} - sont formés de marnes noires feuilletées, devenant grises par altération. L'homogénéité de cette série est perturbée par un horizon de calcaires marneux finement lités, appelé communément « schistes cartons ». Cet horizon, apparaissant sur une dizaine de mètres d'épaisseur vers le tiers inférieur de la formation, marque la base du Toarcien. On notera enfin que la formation marneuse est très sensible aux phénomènes d'altération. Ainsi, les marnes présentent quasi-systématiquement une frange superficielle d'altération. Cette frange, d'épaisseur variable, est de nature argileuse.
- La **série carbonatée** supérieure constitue l'entablement des plateaux et des buttes témoins. Cette série correspond aux étages de l'Aalénien, du Bajocien et du Bathonien :
 - l'Aalénien - I_{9b} - (partiellement visible au-dessus des talus marneux) est représenté tout d'abord par des calcaires plus ou moins marneux puis par des calcaires francs,
 - le Bajocien - J_{1a}-J_{1b}- est constitué de calcaires souvent dolomités,
 - le Bathonien - J_{2a}-J_{2b} - est formé à sa base de calcaires accompagnés de quelques veines de houille et en partie supérieure de dolomies souvent pulvérulentes. Ce sont ces dolomies qui donnent les célèbres reliefs ruiniformes de Montpellier-le-Vieux.

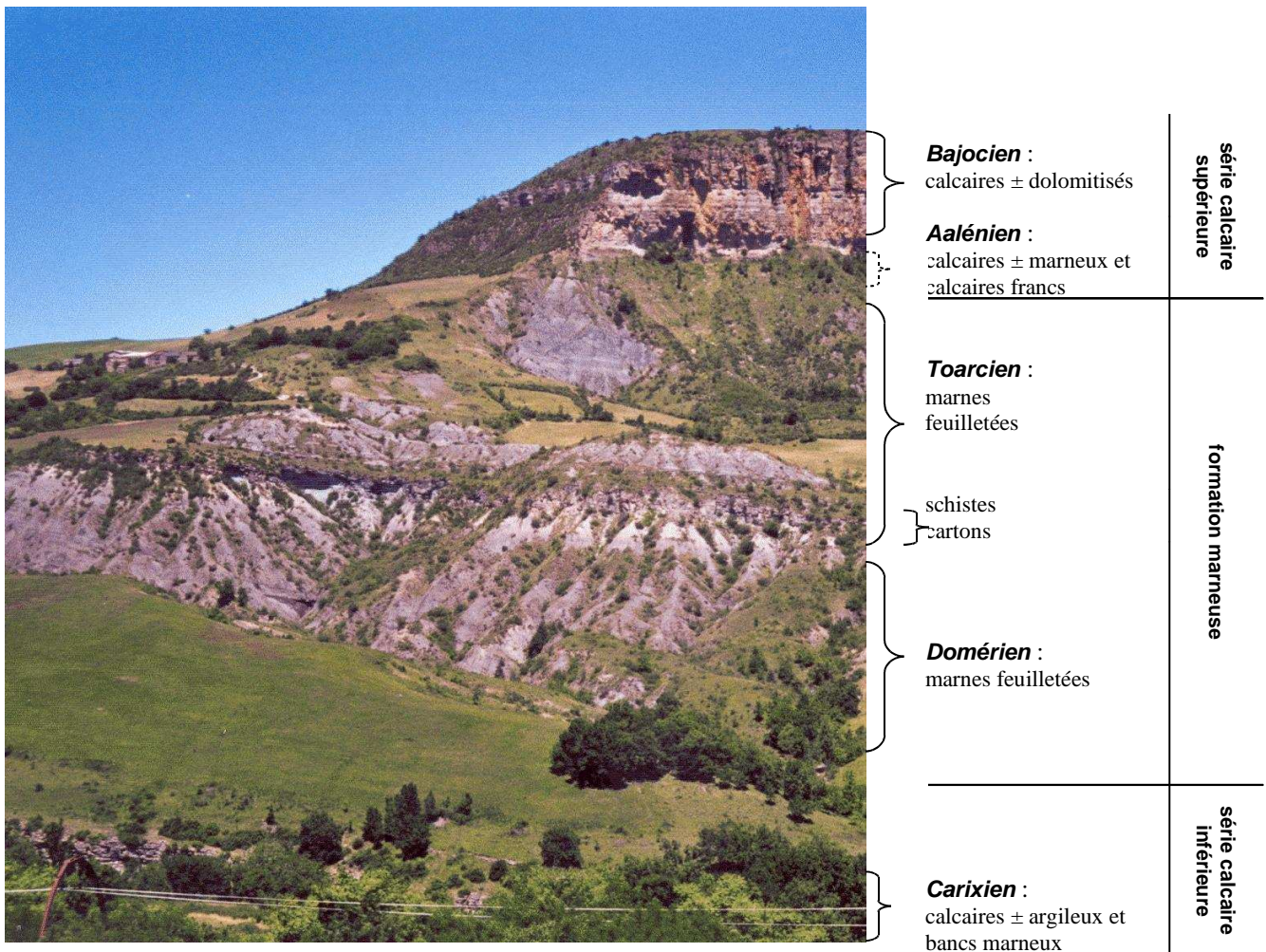


Figure 5 : commune de Rivières-sur-Tarn, Puech de Suèges (versant sud) – coupe lithostratigraphique

Le substratum est le plus souvent recouvert par des formations superficielles Quaternaires. Sur les pentes, on rencontre des dépôts dits colluviaux. Quatre types se distinguent : les apports de pente, les éboulis calcaires, les chaos de blocs et les brèches de pente. En fond de vallée et sur les micro-plateaux de la région de Creissels, on rencontre respectivement des formations alluviales et des travertins (tufs).

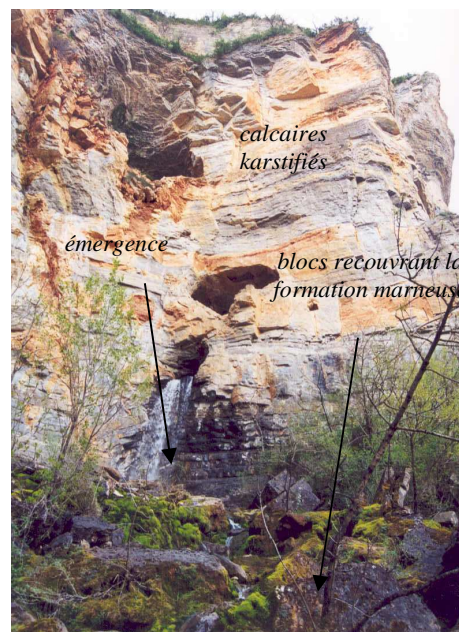
1. Les **apports de pente** sont largement représentés sur les versants. L'origine de ces matériaux est liée au démantèlement des corniches calcaires et à l'altération des marnes sous-jacentes. Les apports de pente sont donc constitués de cailloutis noyés dans une matrice argileuse. La fraction argileuse est généralement dominante et il arrive que la proportion de cailloutis soit relativement faible. Les épaisseurs de cette couche sont très variables.
2. Les **éboulis calcaires**, présent au pied des corniches, sont issus de la désagrégation des parois calcaires. La taille des éléments est fortement hétérogène (du millimètre au mètre, voire plus dans les cas particuliers). On retrouve de plus dans ces matériaux une légère pollution de limons. Les éboulis forment de larges étendues boisées caractérisées par des pentes comprises entre 35 et 45° (\approx pente d'équilibre des matériaux),
3. Les **chaos de blocs** traduisent l'écroulement en masse des corniches sus-jacentes. Les blocs, disposés de manière irrégulière, ont généralement des dimensions importantes,
4. Les **brèches de pente** proviennent de la consolidation des cailloutis calcaires par cimentation. Sur la zone d'étude, les brèches n'apparaissent que très localement,
5. Les **travertins** ou « tufs » se retrouvent uniquement dans la région de Creissels et coiffent notamment le *Plateau de France*. Il s'agit d'encroûtements calcaires résultants du dépôt de carbonates au droit de certaines émergences,
6. Les **formations alluviales**, récentes et anciennes, recouvrent le fond des vallées. Les alluvions sont principalement graveleuses (éléments de nature polygénique) et sont parfois accompagnées de passées sableuses ou silteuses. En surface, des limons d'inondation apparaissent au dessus des éléments grossiers.

4.1.3 Hydrogéologie

Les formations alluviales présentes dans les fonds des vallées du Tarn et de ses affluents constituent un premier type d'aquifère constamment alimenté par les bassins versants. Un second type d'aquifère se retrouve dans les séries carbonatées supérieures et inférieures où les circulations d'eau sont favorisées par les discontinuités des massifs (diaclasses, joints, fractures éventuellement agrandies par dissolution, système karstique, ..) :

- la série supérieure, fortement karstifiée, constitue un réservoir perché. Les émergences sourdent à la base de la formation, au contact des marnes (voir photographie ci-après),
- la série inférieure semble moins aquifère que la précédente. Le niveau de base des émergences est proche du niveau des cours d'eau qui entaillent cette formation calcaire (la source de *Fontliane* à Aguessac illustre ce phénomène).

Compte tenu de l'imperméabilité des marnes, les eaux provenant de la série calcaire supérieure s'écoulent superficiellement sur les versants. Les circulations se font préférentiellement dans les terrains de couverture et/ou à l'interface substratum / recouvrement. Les accumulations d'éboulis constituent parfois de petits aquifères ponctuels de faible extension. Les écoulements superficiels se traduisent par l'apparition de sources sur l'ensemble des versants, notamment en partie basse.



commune de Creissels, cirque de Bondoulaou - émergence à la base de la formation calcaire supérieure

4.2 Caractéristiques géotechniques

4.2.1 Sols

Le recouvrement colluvial et les marnes liasiques ont des caractéristiques mécaniques hétérogènes. En effet, ces formations sont caractérisées par une lithologie et par des paramètres intrinsèques très différents.

4.2.1.1 *Marnes liasiques*

Le substratum marneux possède en règle générale de bonnes caractéristiques mécaniques (terrains sur-consolidés). Cependant, les marnes peuvent contenir des horizons argileux de moindre cohésion et donc de plus faibles caractéristiques. Ces horizons, de forme lenticulaire ou massive, sont caractérisés par des extensions latérales limitées.

En surface, le processus d'altération du toit du substratum a entraîné la formation quasi-systématique d'une frange superficielle d'épaisseur variable (parfois plurimétrique). Cette frange, constituée de matériaux argileux souvent très plastiques (décalcification des marnes), présente de faibles caractéristiques mécaniques : cohésion proche de 0 et angle de frottement se rapprochant d'une valeur résiduelle probablement inférieure à 15°.

De plus, les circulations d'eau au contact marnes saines / marnes altérées ou plus rarement dans les marnes altérées diminuent fortement les caractéristiques mécaniques de ces sols (voir photographie suivante).

présence d'eau



marnes altérées - patine grise et orangée caractéristique

4.2.1.2 *Recouvrement colluvial*

Le recouvrement colluvial est représenté par des apports de pente, des éboulis calcaires, des chaos et des brèches de pente. Leurs caractéristiques mécaniques dépendent en grande partie de la fraction argileuse présente dans ces dépôts : plus cette fraction est importante, plus les caractéristiques des sols diminuent.

Les apports de pente, constitués de cailloutis noyés dans une matrice argileuse, possèdent donc des caractéristiques mécaniques faibles à moyennes. Les autres dépôts, de granulométrie grossière à très grossière, sont caractérisés par de meilleures caractéristiques (les brèches de pente et les chaos de blocs sont traités dans le chapitre suivant relatif aux roches).

4.2.1.3 *Conclusion*

En résumé, la frange d'altération du substratum marneux d'une part et les apports de pente d'autre part sont des terrains mécaniquement très sensibles. En terme de stabilité, ces formations sont donc fortement exposées à de potentiels mouvements de terrain.

Les éboulis calcaires et les chaos de blocs sont généralement stables mais peuvent se trouver localement en limite d'équilibre. Les rares glissements constatés dans ces terrains correspondent probablement à une mise en mouvement des marnes sous-jacentes. Le cas des brèches de pente est exposé dans le chapitre suivant.

4.2.2 Roches

Les paramètres géotechniques d'une formation géologique permettent de prévoir dans ses grands traits son comportement. Par contre, nous avons pu observer dans une même formation géologique des variations importantes de ces caractéristiques.

Ce sont ces paramètres géotechniques qui influencent le découpage des barres rocheuses et dessinent les parois des falaises. Par exemple, une falaise d'aspect massif pourra se situer aussi bien dans la formation du Bathonien inférieur (J_{2a}) que dans celle du Bajocien supérieure (J_{1b}).

Sur la zone d'étude, trois types de falaise ont été recensés (voir photographies) : les falaises massives, les falaises découpées et les falaises fracturées ou désorganisées. À ces trois types de falaises, il a été associé deux autres différenciations de massifs rocheux : les affleurements rocheux et les chandelles.



bordure du Causse du Larzac (commune de Paulhe) – aspect des falaises

4.2.2.1 Falaises massives

Elles sont présentes généralement en couronnement des plateaux et des puechs. L'allure massive est donnée par une certaine régularité de la crête. Ces falaises ont une hauteur assez réduite ; elles peuvent même parfois s'apparenter à un simple affleurement. C'est le cas par exemple des falaises supérieures du *Roc Pointu* dans la formation du Bathonien (J_{2a}), sur la commune de La Cresse, et des falaises supérieures de *Luzergue* dans le Bajocien supérieure (J_{1b}), sur la commune de Compeyre.

De part leur situation, les parois de ces falaises ont été vues de loin. On distingue néanmoins la stratigraphie sub-horizontale constituée de bancs réguliers dont les joints peuvent s'être détériorés par l'altération superficielle. Peu diaclasées, les parois ne comportent pas de surplombs importants ni de masses fortement sous cavées. Elles présentent une découpe verticale délimitant de grands compartiments. Sur ces grandes masses découpées, il n'a pas été relevé de cicatrices récentes.

Sous ces falaises, la densité du couvert végétal sur les éboulis ne permet pas de distinguer de potentiels couloirs actifs.

4.2.2.2 Falaises découpées

Elles se développent essentiellement dans les formations du Bajocien inférieur (J_{1a}) et supérieur (J_{1b}) mais aussi du Bathonien supérieur (J_{2b}). C'est l'aspect « carié » des calcaires dolomitiques qui s'imposent dans ce deuxième type de falaise (cliché 6). Le démantèlement des crêtes, la fissuration et les diaclases verticales, ainsi que l'ouverture des joints de stratification provoquent des découpages du rocher engendrant des instabilités potentielles. Ces instabilités se présentent sous des formes variées : écailles, blocs, ensembles de panneaux, chandelles, compartiments et dièdres de dimensions diverses pouvant atteindre plusieurs centaines de mètre cubes.

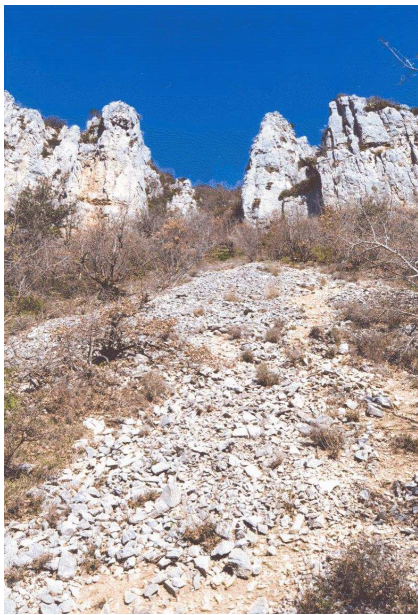
De plus, les parois de ces falaises peuvent nourrir, en éboulis actifs, des couloirs sur les versants.



falaises découpées – aspect carié



falaises découpées – dièdres et compartiments



falaises découpées – couloir d'éboulis actifs



falaises découpées – grande écaille

4.2.2.3 *Falaises fracturées ou désorganisées*

Elles sont situées essentiellement dans les zones de tufs et localisées sur la commune de Creissels (plateau de France notamment). Les parois et les crêtes, très irrégulières, présentent des masses très découpées, de forme arrondie. Leur agencement, souvent anarchique, engendre des instabilités de conglomérat de blocs. Des cavités et des surplombs accentuent le caractère désorganisé de ces falaises.



falaises désorganisées – tufs (plateau de France)

4.2.2.4 *Affleurements rocheux*

Cette classification recense:

- les pointements et bancs rocheux affleurant sur les versants et ayant une apparence bréchique, par exemple, ceux rencontrés sur la rive droite du Tarn, à la sortie de Millau, en bordure de la R.D. 1 dans la formation du Sinémurien (I₃₋₄),
- les brèches de pente et les chaos de blocs visibles sur les fronts des anciens glissements,
- les talus routiers terrassés dans le rocher.

Les affleurements dans les niveaux bréchiques sont de forme très irrégulière et s'apparentent à un conglomérat de masses plus ou moins cohérents (cailloutis et blocs dans une matrice argileuse). Très sensibles à l'érosion, leur stabilité peut être mise en cause lors de travaux de terrassement (par exemple).

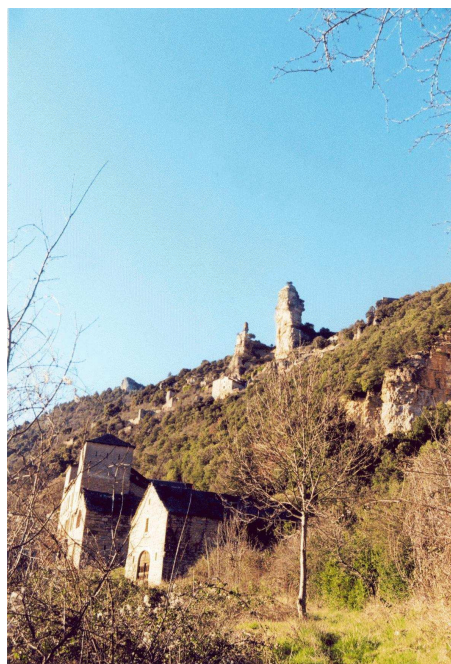
Les instabilités pour l'ensemble des affleurements varient des chutes pierres (talus routiers) aux chutes de blocs de plusieurs mètres cubes.

4.2.2.5 *Chandelles*

Souvent isolées des barres rocheuses, elles appartiennent néanmoins aux ensembles des falaises découpées (cliché 13). Elles ont été distinguées en raison de leur plus grande vulnérabilité (toutes les faces sont exposées aux intempéries). En plus des décollements d'écaillage, de part leur forme en colonne, elles peuvent subir un basculement ou une rupture de pied.



affleurement rocheux – brèche de pente et blocs déstabilisés



chandelles

4.2.2.6 *Phénomènes géologiques marquants*

La direction des failles donnée par la carte géologique, ainsi que les limites des anciens glissements de masse figurant sur la carte ZERMOS ont été reportées sur les cartes informatives des phénomènes naturels « roche ».

Ces phénomènes, dont les limites n'ont pas été redéfinies lors des reconnaissances de terrain, apportent une certaine explication aux anomalies observées sur le site (zones de cassures et de fissuration à proximité des failles; présence quasi-systématique de chaos de blocs plus ou moins bien cimentés et de brèche de pente sur le front des anciens glissements).

5. Typologie des mouvements de terrain

Les mouvements de terrain correspondent au déplacement gravitaire de masses déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (ou anthropiques). Les instabilités recouvrent des formes très diverses qui résultent de la multiplicité des mécanismes de ruptures, eux-mêmes liés à la complexité des comportements géotechniques des matériaux sollicités.

Dans le présent rapport, l'expression « mouvements de terrain » regroupe la famille des glissements de terrain (au sens large) et la famille des chutes de masses rocheuses. Ces familles concernent respectivement les versants marneux et les falaises calcaires.

En règle générale, les glissements de terrain sont caractérisés par des vitesses de déplacement lentes (il arrive toutefois que certains glissements se déclenchent de manière brutale). A l'inverse, les chutes de masses rocheuses se traduisent par des vitesses élevées à très élevées. Compte tenu de leur diversité, les mouvements ont été classés en fonction de leur nature et de leur intensité. La terminologie utilisée respecte les recommandations des guides relatifs à l'évaluation des risques de mouvements de terrain (cf. annexe C).

5.1 Glissements de terrain

Cinq familles se distinguent :

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|
| 1. les glissements de masse, | 4. les phénomènes de solifluxion, |
| 2. les glissements localisés, | 5. les instabilités superficielles. |
| 3. les glissements supposés, | |

5.1.1 Description des mouvements

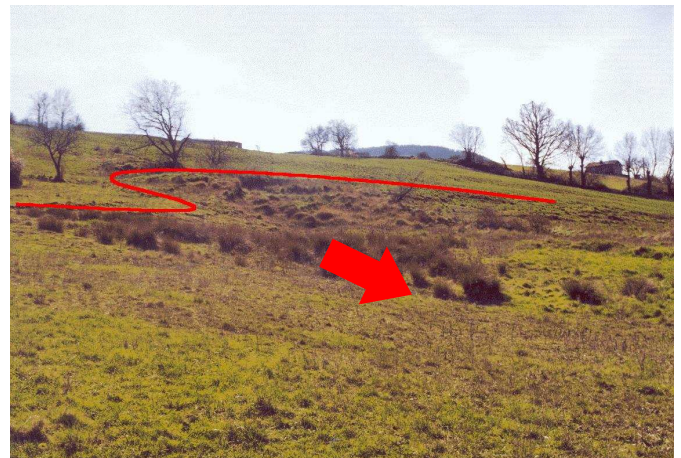
5.1.1.1 *Glissements de masse*

Il s'agit de mouvements rotationnels, intéressant les marnes et les formations de pente (épaisseur plurimétrique, supérieure à 10 mètres). Les surfaces de rupture sont en règle générale circulaires (glissement simple), mais il peut arriver qu'elles soient non circulaires (glissement complexe). Les grands mouvements constatés sont soit des glissements « en escaliers », soit des glissements composés (masse glissée décomposée en une combinaison d'éléments plans et d'éléments courbes).

Les masses glissées peuvent être actives, inactives ou à l'état d'équilibre limite. Sur la zone d'étude, la majorité des grands glissements rencontrés semblent stabilisée. Les clichés suivants représentent différents types de glissements de masse. Leurs conditions d'équilibre sont décrites dans le commentaire des photographies.



ancien grand glissement affecté par des mouvements secondaires (les Combes-Hautes, Millau)



grand glissement actuel, actif (en contrebas du Mas de Recouly, Millau)

5.1.1.2 Glissements localisés

Les glissements localisés sont les phénomènes les plus répandus sur la zone d'étude. Ces mouvements apparaissent sous deux formes : les loupes de glissement et les glissements plans.

Les **loupes de glissement** (voir schéma suivant) intéressent les formations de pente à dominante argileuse (substratum marneux altéré et apports de pente). Les épaisseurs de terrain mises en mouvement sont plurimétriques (inférieures à 10 mètres). Les surfaces de rupture sont généralement circulaires (loupe élémentaire). Les cicatrices de ces mouvements - escarpement et bourrelet frontal - sont nettement visibles (cliché 16).

Les **glissements plans** se manifestent dans des terrains fortement argileux (marnes altérées, colluvions très argileuses). Ces mouvements intéressent des tranches de terrains inférieures à deux mètres (cliché 17). Les pentes concernées sont moyennes (inférieures à 20°).

Comme précédemment, les glissements localisés peuvent être actifs, inactifs ou à l'état d'équilibre limite. En ce qui concerne les glissements plans, seuls les mouvements actuels ont été constatés compte tenu du caractère superficiel du phénomène.

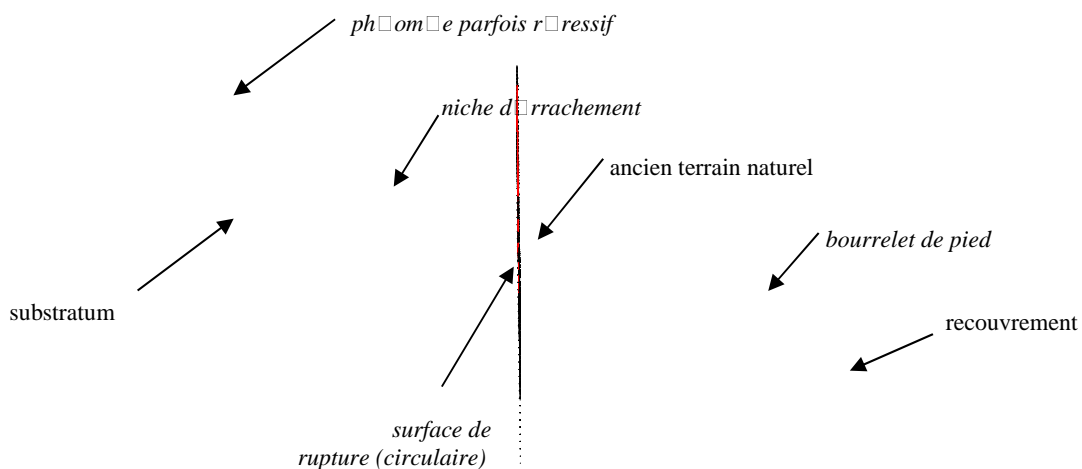


Figure 6 : loupe de glissement élémentaire



loupe de glissement récente
(Luganac, Compeyre)



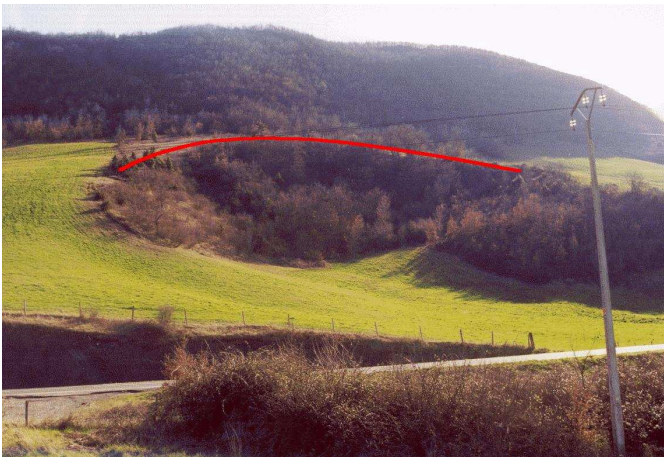
glissement plan - plaque glissée nettement visible
(Lausset Basse, La Cresse)

5.1.1.3 *Glissements supposés*

Cette catégorie traduit la présence supposée d'un ancien glissement (de masse ou localisé) d'après la morphologie des versants ou d'après les cicatrices potentielles d'un mouvement mal défini (dépression topographique pouvant correspondre à un escarpement, bombement pouvant signifier un bourrelet frontal, ...). Dans tous les cas, le mouvement supposé est, s'il existe, stabilisé.

5.1.1.4 *Phénomènes de solifluxion*

Les phénomènes de solifluxion correspondent aux déformations de la couverture argileuse sous l'effet de la gravité. Ils traduisent l'écoulement lent et visqueux d'un sol gorgé d'eau sur une pente. Les plans de glissement sont généralement situés à l'interface substratum sain / recouvrement (apports de pente ou frange d'altération). La superficie des sols glissés peut atteindre plusieurs centaines de mètre carré. Ces déformations se traduisent par des figures morphologiques caractéristiques, tel que les moutonnements.



glissement de masse supposé
(R.D. 992, Creissels)



moutonnements
(versant nord du Puech de Fayssel, Creissels)

5.1.1.5 *Instabilités superficielles*

Les instabilités superficielles concernent uniquement les terrains de surface et plus particulièrement la couverture végétale. En règle générale, ces phénomènes sont provoqués par l'action érosive de l'eau (écoulements superficiels, ruissellement, cours d'eau temporaires ou permanents, ...). En conséquence, les zones les plus sensibles sont les thalwegs, les flancs abrupts et les berges des cours d'eau. Dans chaque cas, l'érosion de surface se manifeste respectivement sous la forme de coulées boueuses, de ravines (cliché suivant) et enfin de pathologies de berges (sape, affouillement, effondrement ou glissement).



ravinement ou « bad land »
(versant sud du Puech de Suège, Rivière-sur-Tarn)

5.1.2 Mécanismes de rupture

La manifestation d'un glissement de terrain (au sens large) traduit un contexte géotechnique défavorable. Les principaux facteurs intervenant dans la stabilité des pentes sont :

- la présence d'eau (nappe, circulations d'eau ponctuelles...),
- les caractéristiques mécaniques des terrains (cohésion, angle de frottement, densité),
- la géométrie des terrains (épaisseur du recouvrement notamment),
- la pente des versants.

De plus, les agents d'érosion mécaniques (ruissellement des eaux de surface, érosion fluviale) et chimiques (phénomène d'altération des terrains superficiels) constituent un facteur aggravant.

Ces éléments représentent l'essentiel des facteurs d'instabilité sur la zone d'étude.

5.1.2.1 Analyse des facteurs naturels d'instabilité relatifs aux glissements de terrain

L'eau est un facteur déterminant dans le processus de mise en mouvement, par ameublissement et dégradation mécanique des terrains. Sa présence constitue donc un élément défavorable à la stabilité d'une pente. De surcroît, c'est souvent ce facteur qui assure le déclenchement des glissements (après de fortes précipitations par exemple).

Les **caractéristiques mécaniques** des terrains sont étroitement liées à leur nature (argiles, marnes...), à leur histoire (mise en mouvement antérieure) et à la présence d'eau (l'eau pouvant faire chuter les caractéristiques des sols). Plus ces caractéristiques sont faibles, plus les terrains sont vulnérables.

L'épaisseur du recouvrement intervient dans la stabilité des pentes car la masse des glissements constitue un élément moteur essentiel (mouvement gravitaire). En conséquence, pour un même matériau, plus l'épaisseur des terrains de couverture est importante, plus les conditions d'équilibre des versants sont précaires.

Enfin, la **pente** est un facteur capital dans l'équilibre d'un versant. D'après l'observation des phénomènes d'instabilité sur le secteur du *Millavois*, il apparaît que :

- les pentes inférieures à 10° sont stables,
- de 10 à 20°, la stabilité semble fonction de la nature du recouvrement et de la présence d'eau,
- au delà de 20°, les versants peuvent être considérés comme très sensibles.

5.1.2.2 Analyse des facteurs d'instabilité relatifs aux mouvements superficiels

L'enlèvement du couvert végétal peut conduire au creusement de profondes ravines sur les versants à forte pente sous l'effet du ruissellement et des écoulements de surface. Les particules « arrachées » sont entraînées vers les thalwegs qui drainent l'ensemble des ravines. Une importante concentration de matériaux peut conduire au déclenchement de coulées boueuses. Ce phénomène accidentel n'a cependant pas été observé sur la zone d'étude.

Sur les berges du Tarn et de la Dourbie, l'action érosive de l'eau peut entraîner l'apparition d'effondrements localisés. Ces pathologies se manifestent préférentiellement au pied des rives concaves (extrados), là où les effets hydrodynamiques sont les plus défavorables.

5.1.2.3 Facteurs anthropiques

L'action de l'homme peut perturber l'équilibre du milieu naturel. Les principales modifications pouvant déclencher un mouvement de terrain sont :

- le reprofilage des pentes (talutage en pied de versants = suppression de la butée ; remblaiement en tête = surcharge) ; les glissements de la Glacière à Millau (1994), de la Manne sur la R.N. 9 (1978) ou de l'usine Hemer à Paulhe (1969) illustrent entre autre les dégâts causés par le terrassement d'un pied de versant,
- le changement des conditions hydrogéologiques naturelles (perturbations des écoulements, apports d'eau par rejet,...).

D'autres actions, telles que la déforestation ou le surpâturage, peuvent favoriser les phénomènes d'instabilités.

5.2 Chutes de masses rocheuses

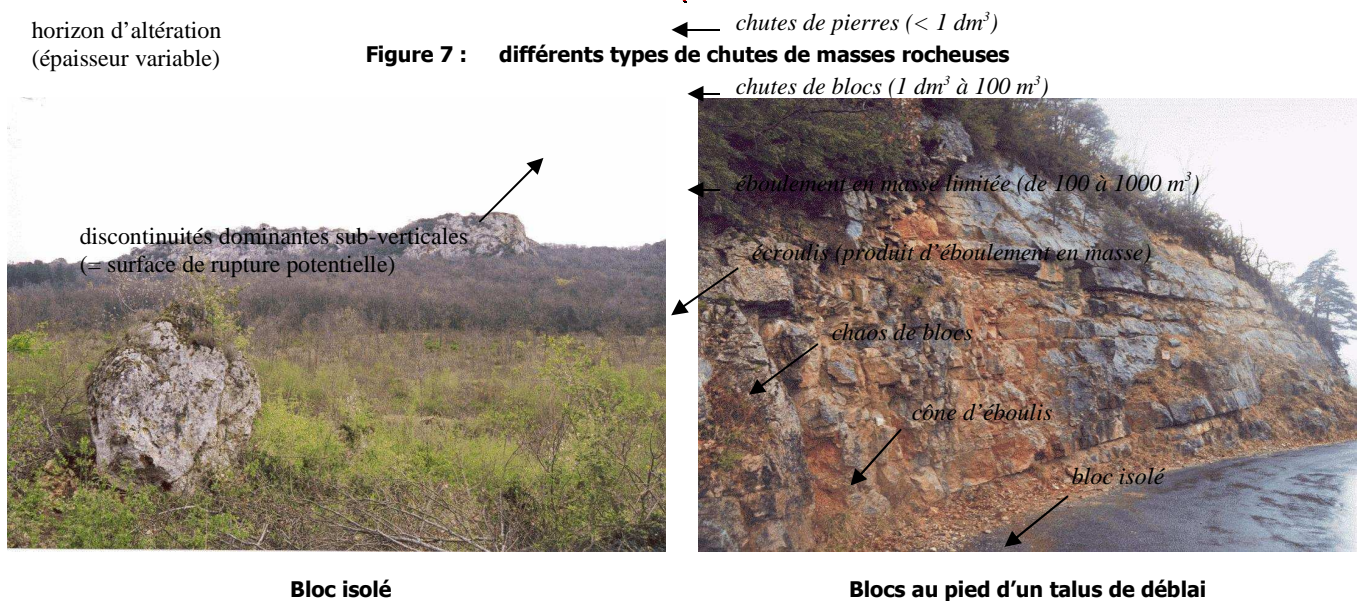
Dans le domaine rocheux, les masses prédécoupées, par des systèmes de discontinuités, ainsi que l'altération superficielle donnent lieu à des instabilités de mécanismes variés : les chutes de pierres, les chutes de blocs et les « écoulis » de grosses masses (voir schéma ci-dessous).

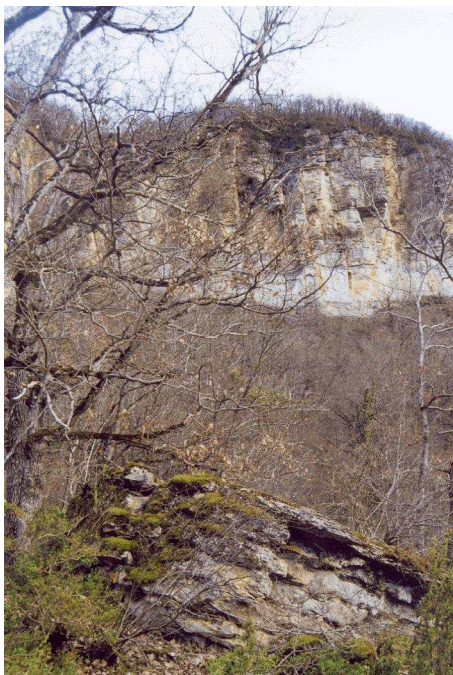
5.2.1 Chutes de pierres

Les chutes de pierres, phénomènes cycliques provoqués par une « desquamation » des parois, nourrissent des zones d'éboulis actifs ou vifs dans les thalwegs et sur la pente des versants. Ces zones d'épandage pouvant être, elles-mêmes, non stabilisées et soumises à l'érosion. Les chutes de pierres peuvent aussi se déclarer depuis les talus rocheux en bordure de route et se propager sur la chaussée. En période pluvieuse, ces chutes sont plus fréquentes (cliché 21).

5.2.2 Chutes de blocs et écoulis

Les chutes de blocs et les écoulis de grosses masses, phénomènes à occurrence unique, qui sont identifiés en pied des falaises, dans les thalwegs et sur les versants. Les blocs peuvent être isolés en étant issus de détachements très localisés (cliché 22). Ils peuvent aussi, dans la zone d'épandage, s'être rassembler dans un enchevêtrement formant chaos (cliché 23). Les « écoulis » de grosses masses, concernent des panneaux entiers voire des compartiments effondrés ayant partiellement conservé leur structure d'origine (cliché 24). Enfin, on notera que les cicatrices observées sur les falaises sources peuvent déterminer les zones de départ. Une direction probable de propagation peut alors être estimée.





écroulis ayant conservé sa structure originelle

5.3 Principes de traitement des instabilités

La diversité des phénomènes naturels, associés à un contexte géotechnique particulier, ne permet pas de définir un traitement spécifique à tel ou tel type d'instabilité. Ainsi, les principes de traitement des mouvements de terrain sont abordés dans ce paragraphe de manière très générale.

La définition d'un dispositif de stabilisation doit prendre en compte :

- les caractéristiques géomécaniques et structurales des matériaux en jeu,
- les conditions hydrogéologiques permanentes et accidentelles,
- le contexte morphologique du secteur,
- les données géométriques et cinématiques des masses en mouvement,
- la vulnérabilité du site.

Pour un secteur donné, le choix d'une technique de confortation dépend des contraintes techniques, économiques et parfois environnementales. En fonction des objectifs souhaités, les techniques peuvent conduire soit à une stabilisation définitive du mouvement soit à un ralentissement du mécanisme. Lorsque la mise en œuvre d'une technique semble économiquement ou techniquement très difficile, il est possible de mettre en place un système de surveillance afin de suivre de manière préventive l'évolution du phénomène.

5.3.1 Glissements de terrain

En matière de glissements de terrain, les solutions confortatives relèvent de trois principales familles : les terrassements, les drainages et les renforcements.

- les **terrassements** ont pour effet de modifier l'équilibre naturel des terrains par le biais de différentes actions :
 - le rééquilibrage des masses (allègement en tête de glissement ou mise en œuvre d'une butée de pied),
 - le reprofilage de la pente instable,
 - la substitution totale ou partielle de la masse glissée (éperons, bêche, masque, ...),
- les **drainages** ont pour objectif d'augmenter la résistance des matériaux en réduisant la pression interstitielle des sols. Cette action nécessite :
 - la non alimentation en eau du site instable (drainage de surface, collecte amont, ...),
 - l'évacuation des eaux présentes dans le massif en mouvement ou le rabattement de la nappe sous la surface de rupture (tranchées drainantes, drains sub-horizontaux, ...),
- les **renforcements** ont pour effet de réduire ou d'arrêter les déformations grâce à l'introduction de structures résistantes. Ces structures peuvent être de la forme :
 - ouvrage de soutènement, souples ou rigides,
 - parois clouées ou ancrées,
 - clouage par des barres ou des pieux.

Les principales techniques de stabilisation des glissements de terrain sont présentées en annexe D dans un tableau synthétique [tableau extrait du guide technique relatif à la stabilisation des glissements de terrain édité par le L.C.P.C. (1998)].

5.3.2 Chutes de masses rocheuses

Classement des parades :

- **Classe A** : parades actives, elles visent à la stabilisation des masses ou rocher en place :
 - ce sont essentiellement des ancrages passifs de différents diamètres, (rarement des contreforts) qui sont mis en place sur des blocs, écailles ou dièdres après une reconnaissance des sollicitations auxquelles ils doivent résister,
 - ce type de parade est utilisé ponctuellement sur des instabilités bien identifiées,
 - leur mise en place peut être réalisée par méthode traditionnelle, depuis le sol, ou acrobatique sur les parois des falaises,
 - dans cette catégorie on peut classer les grillages plaqués pour fixer et « emmailloter » les masses enjeu.
- **Classe B** : parades passives, écrans destinés à constituer un obstacle sur la trajectoire des blocs. Divers types de parades peuvent être recensés :
 - les écrans grillagés pour des blocs < 20 dm³ posés en amont de la zone à protéger,
 - les merlons de terre avec chambre d'éboulis tassés posés en amont de la zone à protéger,
 - les filets métalliques posés sur le versant pour intercepter les trajectoires,
 - les grillages pendus posés sur les parois pour canaliser les trajectoires.

Les parades de classe B permettent de traiter des falaises présentant des risques de chutes sur des surfaces très étendues. De plus, ces dispositifs nécessitent des moyens importants et des études trajectographiques pour optimiser leur emplacement.

6. Cartographie des phénomènes naturels

La localisation et l'analyse des phénomènes naturels constituent la première étape de l'évaluation des risques naturels liés aux mouvements de terrain. Cette étape s'est traduite par l'élaboration d'une carte informative repérant l'ensemble des instabilités relevées sur le terrain. La carte informative des phénomènes naturels, ou carte de constat, correspond donc à un état des lieux objectif du périmètre d'étude à une date donnée.

6.1 Recueil des informations

6.1.1 Étude bibliographique

L'étude bibliographique, constituant la première phase du diagnostic géotechnique, a utilisé les sources d'information suivantes :

- Direction Départementale de l'Équipement de l'Aveyron :
 - Service de l'Aménagement et des Équipements Communaux - S.A.E.C. - (M. *Burzala*),
 - Subdivision territoriale de Millau (M. *Uhmman*),
- Préfecture de l'Aveyron :
 - Service de protection civile (M. *Capelle*),
- Conseil Général de l'Aveyron :
 - Service d'assistance technique du suivi des eaux - SATESE - (M. *Loire*),
 - Service Départemental des Archives (M. *Petit*),
 - Centre de Secours Principal de Millau,
- Société Nationale des Chemins de Fer (S.N.C.F.) :
 - District de Millau (M. *Pagès*),
- Municipalités de Creissels, Aguessac, Paulhe, Compeyre, La Cresse, Rivières-sur- Tarn, Peyreleau et Mostuéjols,
- Municipalité de Millau :
 - Services Techniques (M. *Ficat*),
- Bureau d'études géotechniques :
 - FONDASOL (M. *Bernard*),
 - GEOBILAN (M. *Rucquoi*),
- Réseau scientifique des Laboratoires des Ponts et Chaussées (L.P.C.) :
 - Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (M. *Long*),
 - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand, Unité Sols-Roches (M. *Livet*),
 - Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées d'Aix en Provence, Unité Mécanique des Sols (M. *Bescon*).

On notera que les archives départementales relatives aux phénomènes d'ordre rocheux sont inexistantes. Par conséquent, il ne nous a pas été possible de dresser un historique des événements. Cette absence laisse toutefois supposer que des phénomènes de forte intensité ou majeurs ne se sont pas produits récemment dans le périmètre d'étude.

6.1.2 Travaux de Terrain

Au préalable des travaux de terrain, une analyse diachronique de deux missions de photographies aériennes (1966 et 1997) a été effectuée. Les données obtenues ont été vérifiées et confirmées par l'examen sur le terrain des traces d'anciens mouvements ou par l'observation d'indices actuels. Parallèlement à ces travaux, une enquête a été menée auprès des riverains. Les témoignages oraux ainsi recueillis ont constitué la plus précieuse source d'information sur les événements passés et actuels.

6.2 Support cartographique

Les phénomènes observés ont été retranscrits sur un fond de plan topographique I.G.N. à l'échelle du 1 / 10 000^{ème} (agrandissement du 1 / 25 000^{ème}). Afin de faciliter la lisibilité de la carte, un fond de plan monochrome a été utilisé. Enfin, chaque commune a fait l'objet d'une carte spécifique aux pathologies de versants (carte « sol ») et aux pathologies de falaises (carte « roche »).

La carte informative des phénomènes naturels est jointe dans le volet 2 du présent dossier.

6.3 Lecture des cartes informatives des phénomènes naturels

Les cartes informatives permettent de localiser et d'identifier les glissements de terrain et les chutes de masses rocheuses. Ces phénomènes sont représentés par un symbole ou un contour.

En plus des phénomènes naturels d'instabilité, les cartes font apparaître :

dans le domaine des sols,

- les instabilités d'origine anthropique (glissement traité ou non, affaissement de chaussée, talus de déblai instable),
- les indices morphologiques suspects (zone caractérisée par une stabilité douteuse),
- les indices hydrogéologiques (sources, signes d'humidité),
- les pathologies sur voiries (fissures, talus ayant subi un traitement apparent),

dans le domaine des roches,

- la description des falaises sources (aspect structural et géométrique, lithologie particulière),
- les phénomènes géologiques marquants (accident, limite des masses calcaires glissées).

6.4 « Limites » des cartes informatives

Il convient tout d'abord de signaler que les cartes informatives des phénomènes naturels ne constituent pas un recensement exhaustif des phénomènes d'instabilité.

De surcroît, la précision du diagnostic s'est heurtée à divers problèmes :

- accessibilité réduite entraînant une progression difficile voire impossible,
- couvert végétal parfois très dense,
- zone clôturée,
- ...

La retranscription cartographique a elle aussi rencontrée des difficultés :

- représentation schématique des phénomènes (échelle des symboles exagérée),
- positionnement des instabilités parfois approximatif (absence de repère, ...).

7. Définition et caractérisation de l'aléa « mouvements de terrain »

Le mot « aléa » vient du latin *alea* qui signifie « coup de dés ». De façon générale, ce terme peut être défini comme la probabilité de manifestation d'un phénomène donné sur un territoire donné, dans une période de référence donnée.

La qualification de l'aléa fait donc intervenir les éléments suivant :

- ☉ la référence à un phénomène caractérisant l'instabilité (nature, intensité, activité...),
- ☉ une composante spatiale correspondant à la délimitation de l'aléa,
- ☉ dans le cas de l'aléa « chutes de masses rocheuses », une composante temporelle introduisant les notions de probabilité d'occurrence et de délai,
- ☉ dans le cas de l'aléa « glissements de terrain », une composante qualitative caractérisant la prédisposition d'un site à un phénomène donné.

Compte tenu de cette approche différente, le présent chapitre traite séparément les aléas « glissements de terrain » et les aléas « chutes de masses rocheuses ».

7.1 Glissements de terrain (versants)

7.1.1 Type d'aléa

Les différents phénomènes pris en considération dans la qualification de l'aléa « glissements de terrain » sur le secteur du *Millavois* sont les suivants.

7.1.1.1 *Glissement de terrain*

Ce phénomène regroupe l'ensemble des mouvements de terrains profonds ou superficiels concernant les terrains dits « tendres » (sols meubles, sols raides et roches à dominante argileuse caractérisées par une faible cohésion). Sur le secteur du *Millavois*, les glissements de terrains ont été classés en fonction de leur intensité (cf. paragraphe suivant).

- **glissement de masse** : mouvement circulaire intéressant des épaisseurs de terrains supérieures à 10 mètres,
- **glissement localisé** : loupe de glissement (rupture généralement circulaire) concernant des épaisseurs de terrain plurimétriques, inférieures à 10 mètres.

7.1.1.2 *Instabilités de surface*

Les instabilités de surface correspondent aux :

- **coulées boueuses**,
- **moutonnements** (solifluxion),
- **instabilités de la couverture végétale** ($e < 1$ mètre),
- phénomènes de **ravinement**.

7.1.1.3 *Pathologies des berges des principaux cours d'eau*

Les pathologies de berges sont représentées par les :

- **glissements**,
- **affouillements, sape, éboulements**.

7.1.2 Intensité de l'aléa

L'évaluation des aléas a pris en compte la notion d'intensité des glissements de terrain. En effet, celle-ci traduit leur l'importance, leur gravité vis-à-vis des vies humaines ou leur dommageabilité vis-à-vis des constructions. Trois degrés d'intensité ont été définis (faible, moyen et fort). Ces degrés correspondent à des capacités croissantes de créer des préjudices.

Le tableau ci-dessous présente une classification des phénomènes d'instabilité suivant leur intensité.

Intensité	Phénomènes	Mesures de prévention
<i>Élevée</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ glissement de masse (glissement profond) ▪ glissement de berges 	Difficiles techniquement ou très coûteuses (dépassant largement le cadre de la parcelle)
<i>Modérée</i>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ glissement localisé ▪ pathologies de berges 	Coûteuses et dépassant le cadre de la parcelle (généralement à maîtrise d'ouvrage collective)
<i>Faible</i>	<ul style="list-style-type: none"> · solifluxion (moutonnements) · érosion de surface 	D'un coût modéré et ne dépassant pas le cadre de la parcelle (généralement à maîtrise d'ouvrage individuelle)

7.1.3 Évaluation des niveaux d'aléa

7.1.3.1 Hiérarchisation conventionnelle

Les différents degrés d'aléas définis dans le cadre du zonage correspondent à la hiérarchisation propre aux Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (P.P.R.). En conséquence, le zonage fait apparaître cinq niveaux distincts :

Aléa nul	Aléa très faible	Aléa faible	Aléa moyen	Aléa fort
----------	------------------	-------------	------------	-----------

7.1.3.2 Détermination des critères de zonage

L'évaluation des aléas s'est basée sur :

- l'analyse des mouvements constatés, considérés comme phénomènes de référence,
- les caractéristiques géologiques et géomécaniques des terrains de surface,
- les données topographiques (pente),
- le contexte morphologique,
- le contexte hydrogéologique.

La quantification de l'aléa n'a donc pas pris en compte le couvert végétal ni la présence d'éventuels dispositifs confortatifs ou drainants ayant été mis en œuvre pour stabiliser une zone (efficacité des dispositifs non évaluée).

La description des cinq critères de base est présentée dans le tableau page suivante.

En ce qui concerne les glissements de terrain, il est très difficile, voire impossible, de quantifier l'occurrence. Ainsi, la composante temporelle a été substituée par une approche plus qualitative de l'aléa. Cette approche consiste à apprécier la « prédisposition » d'un site à un phénomène en fonction de l'environnement géotechnique (morphologie ; nature, géométrie et caractéristiques mécaniques des terrains de surface ; présence d'eau, ...)

Mouvements observés	<p>Ce facteur concerne les zones affectées par des mouvements actifs ou présentant des indices d'ancien glissement à présent stabilisé (supposition)</p> <p>Phénomènes de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> → glissements de terrain → instabilités superficielles → instabilités de berges <p>l'intensité de ces phénomènes a de plus été appréciée</p>
Géologie / géomécanique	<p>Les observations géologiques ont permis de distinguer les sols meubles et raides (colluvions argileuses et caillouteuses), les roches tendres (marnes saines et altérées) et les roches calcaires</p>
Topographie	<p>Suivant leur pente, les versants sont plus ou moins concernés par les mouvements de terrain</p> <p>Classification des versants à partir de leur pente moyenne :</p> <ul style="list-style-type: none"> → < 10° : pente faible → 10° à 20° : pente moyenne → 20° : pente forte
Morphologie	<p>Une situation géomorphologique défavorable peut conférer à un secteur une exposition à un phénomène d'instabilité</p> <p>Indices morphologiques de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> → caractéristiques géomorphologiques générales de la zone d'étude (modèle tabulaire) → zones d'épandage de matériaux → thalwegs actifs → relief accidenté, remanié
Hydrogéologie	<p>La présence d'eau est un facteur essentiel dans l'équilibre d'un versant</p> <p>Indices hydrogéologiques de référence :</p> <ul style="list-style-type: none"> → émergences → humidité en surface

7.1.3.3 Niveau d'aléa

La carte d'aléas fait apparaître des zones instables et des zones potentiellement instables. Le niveau d'aléa dépend






☞ dans le cas où des phénomènes d'instabilité ont été constatés (**zone instable**) :

- de l'intensité et de l'activité du mouvement (appréciées sur la base des observations visuelles),
- des indices hydrogéologiques relevés.

☞ dans le cas où il n'existe pas d'indices de mouvement (**zone potentiellement instable**) :

- du contexte géologique, apprécié à partir des observations de terrains, de la carte géologique au 1 / 50 000^{ème} (feuilles Millau n° 935 et Saint-Beauzély n° 909) et des indications fournies par la carte ZERMOS (région de Millau, Aveyron),
- des indices morphologiques, appréciés à partir des reconnaissances de terrain et de l'analyse des photographies aériennes (campagnes de 1966 et de 1997),
- des indices hydrogéologiques relevés sur le terrain,
- de la pente du versant déterminée à partir de la carte I.G.N. au 1 / 25 000^{ème} (cartes topographiques n° 2540E, 25400, 2541E et 25410).

Ces éléments sont représentés synthétiquement sur la grille ci-après suivant la hiérarchisation des aléas proposée en début de chapitre.

Niveaux d'aléa	Critères	Représentation
<p>↻ Aléa considéré comme nul</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zone stable, ne présentant pas de signes d'instabilité et située dans un environnement géomorphologique favorable 	
<p>↻ Aléa très faible</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zone supposée stable, caractérisée par une situation géomorphologique favorable, ne présentant pas de signes d'instabilité mais restant sensible aux interventions d'origine anthropique <p><i>Cas 1 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> terrains cohérents supposés sub-affleurants { pente comprise entre 10 et 20° <p><i>Cas 2 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> terrains non cohérents { pente inférieure à 10° 	
<p>↻ Aléa faible</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zone incertaine dont la stabilité est difficilement appréciable - Zone actuellement stable, ne présentant pas de signes d'instabilité mais restant exposée à de potentiels mouvements de terrain <p><i>Cas 1 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> terrains peu cohérents supposés sub-affleurants { pente supérieure à 10° ou pente comprise entre 10 et 20° avec présence d'eau <p><i>Cas 2 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> terrains non cohérents { pente comprise entre 10 et 20° sans présence d'eau 	
<p>↻ Aléa moyen</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zone instable affectée par des mouvements de terrain de faible intensité - Zone en équilibre limite déjà glissée (mouvement supposé stabilisé) - Zone actuellement stable, ne présentant pas de signes d'instabilité mais restant exposée à de potentiels mouvements de terrain <p><i>Cas 1 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> terrains peu cohérents { pente supérieure à 20° avec présence d'eau <p><i>Cas 2 :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> terrains non cohérents { pente supérieure à 20° ou pente supérieure à 10° avec présence d'eau 	
<p>↻ Aléa fort</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Zone instable affectée par des mouvements d'intensité modérée à élevée - Zone instable affectée par des mouvements de faible intensité avec indices morphologiques et/ou hydrogéologiques défavorables 	

7.2 Chutes de masses rocheuses

L'ensemble des massifs rocheux du bassin d'étude a été nommé « **falaises sources** ». Ce terme désigne les escarpements qui sont à l'origine de l'**aléa de rupture** et par conséquent, le point de départ du processus de propagation définissant l'**aléa résultant**.

La qualification de l'aléa de rupture fait intervenir deux composantes : la **classe d'instabilité** et le couple **probabilité / délai**.

7.2.1 Classes d'instabilités

On définit par classe un type d'instabilité caractérisé par le volume des matériaux mis en jeu lors de la phase d'éroulement et le volume unitaire des blocs produits. Les classes sont déterminées conformément à la grille suivante.

- **Intensité faible :**
 - **chutes de pierres (cp)**, concernant des volumes unitaires inférieurs à 1 décimètre cube (1 dm³).
- **Intensité modérée :**
 - **chutes de blocs (cbx)**, concernant des éléments isolés d'un volume variant de quelques fractions de mètre cube à plusieurs mètres cubes. Dans le cas de formations massives, il peut s'agir de blocs dépassant la centaine de mètres cubes (m³).
- **Intensité élevée :**
 - **éboulements en masse limitée (ebl)**, le volume total étant inférieur à quelques centaines de m³,
 - **éboulements en masses (ebm)**, le volume total pouvant atteindre et dépasser le millier de m³,
 - **éboulements en grandes masses (ebgm)**, concernant des phénomènes exceptionnels et complexes mettant en cause des masses considérables.

7.2.2 Couple « Probabilité / Délai »

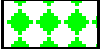
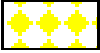

La probabilité / délai se définit comme une variable à deux dimensions :

- La **probabilité** d'occurrence de chute dans le délai considéré, induite par les facteurs déterminant le phénomène. L'échelle utilisée s'étale entre le très faible et le très élevé.
- Le **délai** à l'intérieur duquel le phénomène a une probabilité considérée de se produire. La durée des périodes va de l'imminent au long terme.

La durée des périodes considérées dans l'échelle des délais est définie en tenant compte du rythme d'activité des phénomènes d'évolution naturelle (cycles saisonniers notamment) et des délais caractéristiques des programmes de sécurisation.

Le délai à long terme caractérise la dérive maximale pour laquelle l'aléa est qualifiable. Un aléa est classé « non qualifiable » lorsque aucun élément ne permet de le qualifier dans le long terme. Il est considéré comme relevant de phénomène exceptionnel d'ordre géologique ou accidentel.

7.2.2.1 Probabilité d'occurrence

Niveau d'aléa	Facteurs	Occurrence	Représentation
Très faible (tf)	<i>Aucun des facteurs déterminants n'est formellement reconnu sur le site</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Occurrence du phénomène exceptionnelle – Non occurrence du phénomène normale 	
Faible (f)	<i>Les facteurs déterminants reconnus sur le site sont diffus, mal circonscrits, mais présentent des analogies avec des zones d'aléa moyen</i>	<ul style="list-style-type: none"> – La non occurrence du phénomène est plus envisageable que son occurrence 	
Moyen (m)	<i>Tous les facteurs déterminants, sauf un, sont reconnus sur le site. Le facteur non répertorié peut apparaître dans le temps</i>	<ul style="list-style-type: none"> – L'occurrence du phénomène est équivalente à sa non occurrence 	
Fort (e)	<i>Tous les facteurs déterminants sont reconnus sur le site</i>	<ul style="list-style-type: none"> – L'occurrence du phénomène est plus envisageable que sa non occurrence 	
Très fort (te)	<i>Tous les facteurs déterminants sont reconnus sur le site. L'intensité des facteurs est forte</i>	<ul style="list-style-type: none"> – Non-occurrence du phénomène exceptionnelle – Occurrence du phénomène normale 	

7.2.2.2 Délai

Le délai à l'intérieur duquel le phénomène a une probabilité de se produire :

Long terme	lt	Supérieur à trente ans, de l'ordre du siècle
Moyen terme	mt	De l'ordre de trente ans
Court terme	ct	De l'ordre de dix ans
Très court terme	tct	De l'ordre de deux ans
imminent	i	Le délai est suffisamment court pour imposer des mesures de sécurité immédiates

7.2.2.3 Couple Probabilité / délai

La matrice **probabilité / délai** est définie sous la forme suivante :

Délai	i (imminent)	tct (très court terme)	ct (court terme)	mt (moyen terme)	lt (long terme)	>lt
té (très élevé)					X	<i>non qualifiable</i>
é (élevé)				X		
m (modéré)			X			
f (faible)						
tf (très faible)						

La matrice est définie en qualifiant l'aléa à partir de la probabilité la plus élevée significative d'une part et en qualifiant l'aléa à partir du délai répertorié le plus court significatif d'autre part.

Exemple :

repérage	classe	probabilité /délai
falaise x	cbx ($2m^3$)	$m/ct - é/mt - té/lt$

Le premier élément (m/ct), détermine la probabilité / délai la plus significative (probabilité la plus élevée pour le délai le plus court) et ce, à partir des différents facteurs observables à l'origine de l'instabilité. Pour simplifier, ou lorsque les autres termes ne sont pas qualifiables, c'est le premier terme qui sera indiqué sur les cartes (m/ct pour cet exemple). Les autres éléments de la matrice probabilité / délai indiquent la dérive maximale pour laquelle l'aléa « chutes de masses rocheuses » est qualifiable.

7.2.3 Niveaux d'aléa

Le niveau d'aléa est défini par sa qualification **probabilité / délai** en prenant pour élément déterminant la **probabilité**. Pour la cartographie, c'est donc la probabilité et sa couleur correspondante qui illustre le niveau d'aléa. La classe d'instabilité y est associée.

La notion de délai apporté à la qualification de l'aléa impose de bien considérer la date à laquelle l'étude a été réalisée. En effet, dans le temps, une réévaluation de ce délai peut être nécessaire surtout pour le moyen et long terme.

7.2.4 Qualification de l'aléa de propagation

Dans le domaine rocheux, la qualification de l'aléa de rupture n'est qu'une première étape pour caractériser le phénomène « éboulement rocheux ». Si la crête de falaise peut constituer la limite supérieure de la zone d'influence du phénomène, il est nécessaire d'apprécier la limite inférieure sur les versants.

L'aléa de propagation s'étudie par une approche qualitative en prenant en compte les critères relatifs aux conditions de départ, aux données topographiques du versant sur lequel se propagent les éboulis et, éventuellement, les caractéristiques des zones d'épandage.

Cette approche s'appuie sur les observations de terrains :

- conditions de départ (hauteur, cinématique...),
- caractéristiques des pentes inférieures (pentes, déviations latérales, nature des terrains, rebonds...),
- présence d'obstacles (couvert végétal, contre pentes naturelles, présence d'éboulis...),
- fragmentation de la roche (volume global de l'éboulement, blocométrie prévisionnelle, forme des blocs...).

La probabilité et la limite de propagation de l'éboulement jusqu'à un objectif sont à apprécier à partir de la connaissance des critères précédents.

La probabilité peut être nulle, très faible, faible, modérée, élevée ou très élevée, et la limite estimée pourra s'étendre, du pied du massif rocheux jusqu'à une partie ou sur la totalité du versant (voire au delà dans certains cas). Pour la cartographie des aléas, c'est la limite de propagation estimée qui a été prise en compte.

Enfin, pour des enjeux sensibles et si la limite de l'aléa de propagation ne peut être qualifiée avec précision, une étude trajectographique* par simulation numérique peut alors être réalisée.

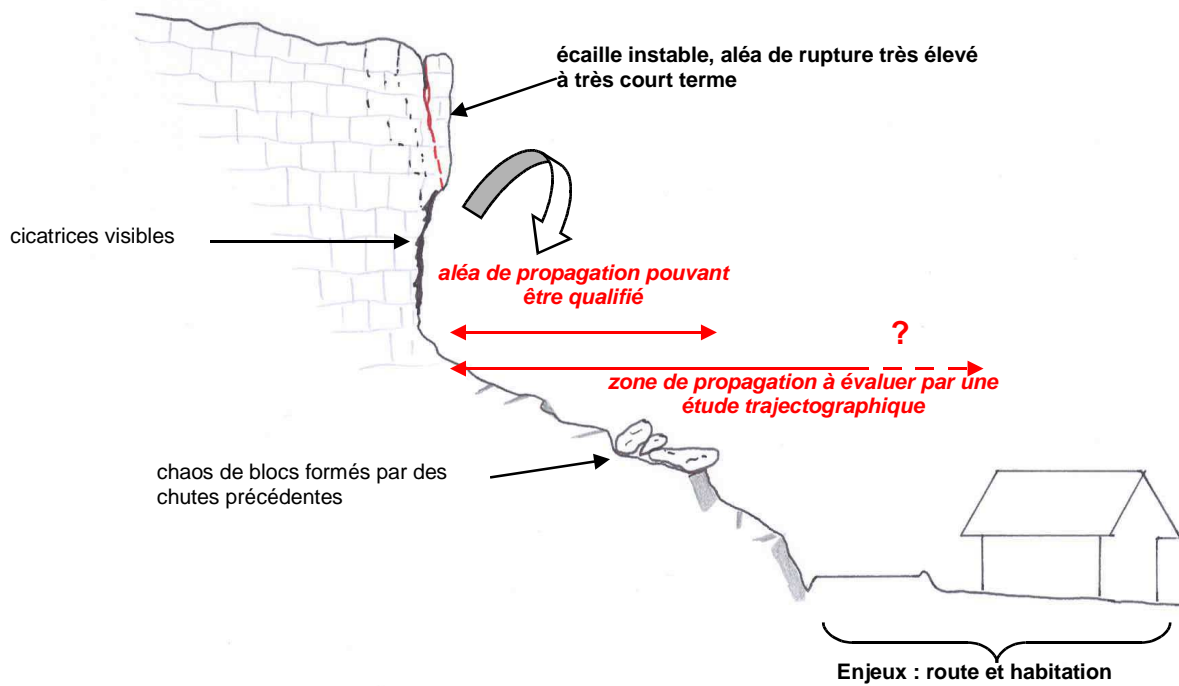


Figure 8 : appréciation de l'aléa de propagation

7.2.5 Grille de qualification des aléas de rupture et de propagation

La grille page suivante (avec un exemple de renseignement pour chaque rubrique) est destinée à recenser tous les facteurs caractérisant une classe et/ou un type d'instabilité :

- facteurs intrinsèques de la masse rocheuse instable (géomorphologie, géologie...),
- facteurs aggravants concernant son environnement immédiat et sa zone d'influence (végétation, action de l'eau...).

Cette grille permet de lister, dans un ordre logique, tous les facteurs permettant de qualifier l'aléa de rupture en termes de probabilité et de délai. Sont ainsi décrits l'instabilité elle-même, la fracturation à l'origine de l'instabilité, les facteurs aggravants, les processus d'évolution et les mécanismes de rupture. Une rubrique complémentaire concerne la propagation des masses rocheuses dans le versant.

GRILLE DE QUALIFICATION DE L'ALEA
(exemple de renseignement par rubrique)

Commune X

Falaise Y

1. Description générale des instabilités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nature du matériau ▪ type d'instabilité ▪ dimensions / volume ▪ position sur la falaise 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>calcaires et dolomies (Sinémurien J2b)</i> ➔ <i>écailles, dièdres et panneaux</i> ➔ <i>500 m³</i> ➔ <i>en partie supérieure</i>
2. Fracturation origine des instabilités	<ul style="list-style-type: none"> ▪ description des discontinuités 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>petits bancs sub-horizontaux</i> ➔ <i>fissures verticales défavorables</i> ➔ <i>fissures biaises défavorables</i>
3. Facteurs aggravants	<ul style="list-style-type: none"> ▪ présence de végétation : <ul style="list-style-type: none"> - dans la discontinuité - sur le pourtour 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ / ➔ <i>absence de végétation</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ présence d'eau : <ul style="list-style-type: none"> - écoulement - suintement 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>pas d'indice</i> ➔ <i>traces suspectes</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ présence de cicatrices anciennes dans la discontinuité 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>rupture de dièdre en pied de l'ordre de 400 à 500 m³</i>
4. Stabilité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ processus d'évolution <ul style="list-style-type: none"> - identification - agents d'évolution - indices d'évolution 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ / ➔ <i>infiltrations d'eau et gélifraction</i> ➔ <i>ouverture des fissures</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ mécanisme de rupture 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>rupture dièdre + mise en surplomb</i> ➔ <i>rupture et chute du surplomb</i>
5. Qualification de l'aléa de rupture		f – It (niveau faible à long terme)
6. Propagation	<ul style="list-style-type: none"> • données topographiques en aval <ul style="list-style-type: none"> - pente du versant 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>pente moyenne de 30° avec chemin forestier à 50 mètres en pied</i>
	<ul style="list-style-type: none"> • couverture du versant 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>arbuste</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ nature du substrat 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>colluvions sur rocher sain à altéré</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ fragmentation (volume) 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>faible (volume de 200 m³ estimé)</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ traces d'éboulements anciens 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>blocs sur versant (50 à 100 m³)</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ trajectoire <ul style="list-style-type: none"> - direction - obstacles - présence de replats, fosses... 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>ligne de plus grande pente</i> ➔ <i>chaos de blocs</i>
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ probabilité de propagation 	<ul style="list-style-type: none"> ➔ <i>faible jusqu'à la maison</i>

7.2.6 Détermination de l'aléa résultant

De l'association de l'aléa de rupture avec l'aléa de propagation, découle un aléa qualifié de résultant. En fonction de la localisation des enjeux, il concrétisera le risque.

L'aléa résultant constitue la cartographie des aléas liés aux éboulements rocheux en déterminant :

- la limite supérieure de la zone matérialisée par la crête des massifs rocheux étudiés,
- la limite inférieure de la zone égale à la limite de propagation estimée.

A l'intérieur de la zone, c'est l'aléa de rupture qui détermine le niveau d'aléa de l'ensemble de la zone.

7.2.7 Sectorisation par ensembles homogènes

Des zones homogènes comportant des mouvements prévisibles de nature très proche ont été identifiées sur les secteurs d'étude. Pour chaque zone ainsi définie, un secteur « référence » a été étudié plus spécifiquement afin de permettre l'établissement d'une unique grille de qualification de l'aléa propre à ce secteur.

Si un même secteur est soumis à deux aléas – rupture et propagation –, de niveaux différents (faible, modéré ou élevé), la carte représente l'aléa résultant le plus défavorable. Dans certains cas, si l'aléa de niveau inférieur peut apporter une information particulière, une « fenêtre » peut l'indiquer ponctuellement sur la carte.

7.3 Résultante des aléas liés aux glissements de terrain et des aléas liés aux chutes de masses rocheuses

La superposition des zones d'influence propre aux glissements de terrain et la propagation de masses rocheuses a permis d'élaborer une carte résultante. Cette carte, document définitif de l'évaluation, indique le niveau d'aléa et sa qualification dans les domaines des sols et des roches.

La carte d'aléa a été dressée sur un fond de plan topographique I.G.N. au 1 / 25 000^{ème} agrandi au 1 / 10 000^{ème}. Ce document est joint dans le volet 2 du présent dossier.

7.4 Fiabilité de la carte d'aléa

La définition des critères de cartographie des aléas dépend fondamentalement des **hypothèses géotechniques choisies**. Ces paramètres sont très variables en fonction des situations. Par conséquent, la caractérisation des aléas a pris en compte des hypothèses « moyennes ». La cartographie finale a été validée par les **observations de terrain**.

La qualité de la cartographie et de l'évaluation en général dépend de la précision des levés géologiques, du recensement le plus complet possible des phénomènes naturels d'instabilité (reconnaissance de terrain, recherche d'archives...) et de l'échelle du fond de plan utilisé. Dans le présent dossier, la qualification de l'aléa « géotechnique » s'est principalement basée sur des **critères qualitatifs liés à l'observation des mouvements et à la connaissance de la géologie locale**.

Pour prendre en compte les incertitudes relatives à la connaissance géologique, les zones douteuses ou mal connues ont été classées dans un niveau d'aléa en limite supérieure. Par conséquent, dans les zones concernées par un enjeu majeur, la qualification pourra éventuellement être affinée au moyen **d'études géotechniques détaillées** qui sortent du cadre de l'élaboration d'un P.P.R.. Les conclusions de ces études pourront amener à une nouvelle qualification de l'aléa.

8. Identification des enjeux sur la commune de Rivière-sur-Tarn

Dans un bassin de risques, les enjeux représentent les personnes, les biens, les activités, les moyens, le patrimoine, ..., présents et à venir, susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel et d'en subir les préjudices ou les dommages.

Les principaux enjeux correspondent aux :

- Espaces urbanisés ou à vocation d'urbanisation :
 - centre urbain et zone d'habitation dense,
 - zone d'habitat dispersé,
 - zone d'activité,
 - zone d'extension.
- Infrastructure et équipement de services et de secours :
 - voies de circulation,
 - établissements recevant du public,
 - infrastructure sportive et de loisirs,
 - équipements sensibles.
- Espaces naturels, agricoles ou forestiers.

La localisation et l'identification des enjeux d'ordre humain, socio-économique et environnemental constituent la troisième étape de l'évaluation des risques naturels dans le cadre d'un projet de P.P.R..

8.1 Rappel de la démarche engagée

Une des préoccupations essentielles dans l'élaboration d'un PPR consiste à apprécier les modes d'occupation et d'utilisation du territoire communal.

Cette démarche a pour double objectif :

- d'identifier d'un point de vue qualitatif des enjeux existants et futurs,
- d'orienter les prescriptions réglementaires et les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde.

Le recueil des données nécessaires à la détermination des enjeux a été obtenu à partir :

- d'une enquête menée auprès des responsables de la commune,
- de l'interprétation des documents d'urbanisme existants et opposables à la date de l'enquête.

8.2 Enjeux répertoriés

Les enjeux répertoriés sur la commune de Rivière-sur-Tarn sont synthétisés sur une carte jointe dans le volet 2 du dossier (fond de plan I.G.N. au 1 / 10 000^{ème}, identique aux cartes précédentes).

On notera que de nombreuses habitations, regroupées ou dispersées sur l'ensemble du territoire communal, sont exposées à un aléa « mouvements de terrain » très faible à faible. Cependant, aucune habitation n'est concernée par la zone d'aléa moyen ou fort.

8.3 Projets de la commune

Les principaux projets à court ou moyen terme de la commune ont été précisés par les responsables de la commune lors d'une réunion de travail relative à la définition des enjeux (réunion tenue le 28 janvier 2003). Il s'agit de :

- Projets urbanistiques :
 - *non précisés.*

- Projets d'infrastructures :
 - projet d'aménagement de la de la R.D. 94 (route du Bourg) et de la R.D. 907 au niveau de la traversée de Rivières-sur-Tarn,
 - projet d'aménagement du chemin menant au château de Peyrelade (nouveau tracé envisagé).

- Projets sociaux :
 - projet éventuel de construction d'une nouvelle mairie à proximité de l'actuelle salle des fêtes de Rivières-sur-Tarn.

- ⊖ Projets culturels et sportifs :
 - *non précisés.*

9. Conclusion

Les deux premières phases de l'évaluation des risques naturels de mouvements de terrains dans le cadre de l'élaboration du P.P.R. ont consisté à :

- établir un diagnostic géotechnique de la zone d'étude,
- qualifier sur la base du précédent diagnostic les aléas liés aux glissements de terrains et aux chutes de masses rocheuses.

L'examen de carte ZERMOS (carte dressée par le B.R.G.M. en 1976), la connaissance des événements historiques passés (étude bibliographique et enquête de terrain) et l'observation des phénomènes d'instabilité actuels (prospection *in situ*) ont permis d'établir un diagnostic géotechnique des versants et des falaises du Millavois.

Ce diagnostic a révélé la sensibilité géomécanique d'une part des sols argileux ou argilo-caillouteux recouvrant les versants et d'autre part des affleurements rocheux découpés, cariés ou peu cohérents (brèches, tufs).

Les informations recueillies ont été retranscrites sur un fond de plan topographique I.G.N. au 1 / 25 000^{ème} agrandi au 1 / 10 000^{ème} représentant de manière objective la localisation et la description des phénomènes observés. Par conséquent, la carte informative des phénomènes naturels ne constitue pas un recensement exhaustif des instabilités.

La connaissance du contexte géotechnique de la zone d'étude a permis de définir et de caractériser les aléas liés aux mouvements de terrains. L'approche des glissements de terrain (au sens large) et des chutes de masses rocheuses étant différente, la qualification des aléas a fait intervenir dans le premier cas une composante qualitative caractérisant la prédisposition d'un site à un phénomène donné et dans le second cas une composante temporelle introduisant les notions de probabilité d'occurrence et de délai.

La qualification des aléas a respecté la hiérarchisation conventionnelle propre aux Plans de Prévention des Risques. Ainsi, cinq niveaux ont été représentés : les aléas forts, moyens, faibles, très faibles et nuls.

Les aléas forts correspondent aux zones instables, les aléas moyen représentent les zones potentiellement instables, les aléas faibles correspondent aux zones actuellement stables mais restant exposées à d'éventuels mouvements, les aléas très faibles traduisent les zones supposées stables et les aléas nuls représentent les zones stables.

La délimitation et la graduation des zones soumises à l'aléa « mouvements de terrain » apparaissent sur une carte regroupant les aléas liés aux glissements de terrain et les aléas liés aux chutes de masses rocheuses. Cette carte résultante a été dressée sur un fond de plan identique à celui utilisé pour la représentation des phénomènes naturels, c'est à dire un fond topographique I.G.N. agrandi au 1/ 10 000^{ème}.

Enfin, il convient de souligner que l'évaluation des aléas liés aux mouvements de terrain est avant tout une approche globale menée à l'échelle du bassin de risque. Cette étude ne doit donc en aucun cas être considérée comme une étude géotechnique spécifique, même si les résultats des reconnaissances de terrains permettent une précision à l'échelle pluri-parcellaire.

La troisième phase de l'étude a consisté à identifier et à localiser les principaux enjeux de la commune d'ordre humain, socio-économique et environnemental. Cette analyse s'est basée sur une enquête menée auprès des responsables de la commune et sur l'interprétation des documents d'urbanisme opposables (à la date de l'enquête). Un fond de plan identique aux précédents (I.G.N. agrandi au 1/10 000^{ème}) a été utilisé pour le report des informations.

ANNEXES

ANNEXE A : Glossaire

ANNEXE B : Carte Géologique

ANNEXE C : Guides à caractère méthodologique

ANNEXE D : Principes de traitements des glissements de terrain

ANNEXE A : Glossaire

Affleurement	Partie d'une formation géologique visible en surface
Aléa	Le mot « aléa » vient du latin <i>alea</i> qui signifie « coup de dés ». De façon générale, ce terme peut être défini comme la probabilité de manifestation d'un phénomène naturel donné, sur un territoire donné, dans une période de référence donnée <i>Termes spécifiques au domaine rocheux :</i> Aléa de rupture : même définition que la précédente Aléa de propagation : recouvre toute la problématique de la zone couverte par le cheminement des blocs issus de la rupture Aléa résultant : correspond à la résultante des aléas de rupture et de propagation
Aquifère	Terrain poreux et perméable contenant une nappe d'eau souterraine
Anthropique	Dû à l'intervention de l'homme
Bassin de risque	Secteur géographique concerné par la présence de risques naturels dans lequel s'inscrit le ou les périmètres d'étude du P.P.R.
Caractéristiques géomécaniques	Ensemble des propriétés mécaniques caractérisant un sol ou une roche. Les principaux paramètres géomécaniques correspondent à la cohésion, à l'angle de frottement et à la densité du matériau
Cinématique	Dans le cas d'un mouvement de terrain, paramètre caractérisant la vitesse (ou soudaineté) de la rupture : rupture rapide, lente, progressive, ... avec ou sans signes prémonitoires
Chaos de blocs	Enchevêtrement et amas de blocs détachés des massifs calcaires
Colluvions	Sol constitué de dépôts de pente relativement fins ayant subi un faible transport
Couple « probabilité /délai »	Dans le cadre de la qualification des aléas d'éboulement rocheux, notions qualitatives indissociables ayant pour objet de caractériser la probabilité d'occurrence d'un phénomène d'instabilité dans un délai donné
Diaclase	Cassure naturelle plus ou moins plane d'un massif rocheux sans déplacement des parties séparées
Diagenèse	Ensemble des processus conduisant à la transformation d'un dépôt sédimentaire en roche sédimentaire « solide »
Discontinuités	Ensemble des cassures ou interruptions délimitant des masses rocheuses
Éluvions	Sols d'altération en place ayant subi un lessivage
Enjeux	Dans le bassin de risques, personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, ..., présents et à venir, susceptibles d'être affectés par un phénomènes naturels et d'en subir les préjudices ou les dommages
Épandage	Dans le cas d'une coulée de boue, étalement et entassement des matériaux glissés en pied de versant
Escarpeement	Versant à forte pente, vestige de l'érosion fluviale, assurant la transition entre les coteaux molassiques et les plaines alluviales
Extrados	Surface extérieure convexe d'un méandre (contraire : intrados)
Faciès	Catégorie dans laquelle une roche peut être rangée en fonction de sa composition, de sa structure, de son origine, ...

Formations superficielles	Terme général désignant les dépôts récents (d'origine alluviale, colluviale, morainique,...) recouvrant sur des épaisseurs variables le substratum
Fractures	Cassure naturelle avec ou sans déplacement séparant deux compartiments rocheux
Géomorphologie	Étude descriptive et explicative des formes du relief
Géotechnique	Ensemble des applications des connaissances concernant les propriétés des sols, des roches et des ensembles géologiques, notamment en vue de la construction de routes, d'ouvrages d'art, de bâtiments...
Intensité	Expression de la violence ou de l'importance d'un phénomène d'instabilité, mesurée à partir de paramètres physiques (volume de matériaux mis en jeu, dynamique, ...). L'intensité des mouvements de terrain permet de plus d'évaluer leur dommageabilité vis-à-vis des constructions et leur gravité vis-à-vis des vies humaines
Interface	Surface séparant deux milieux (ou formations géologiques) caractérisés par des propriétés physiques différentes
Interfluve	Surface comprise entre deux thalwegs voisins et comprenant deux versants appartenant à deux vallées différentes
Lithologie	Nature de la roche constitutive d'un massif géologique
Molasses	Roches sédimentaires composées de faciès argileux, marneux, gréseux, sableux, parfois calcaire voire conglomératiques. Ces terrains sont issus du démantèlement de la chaîne pyrénéenne au <i>Stampien</i> (-30 millions d'années) et constituent dans la région la Formation Molassique
Nappe phréatique	Nappe d'eau souterraine libre, peu profonde et accessible aux puits habituels
Nappe captive	Nappe d'eau souterraine « emprisonnée » entre deux couches de terrains imperméables
Occurrence Orogenèse	Circonstance fortuite Processus de déformation de l'écorce terrestre conduisant à la formation de relief et notamment de chaîne montagneuse
Pendage	Inclinaison des couches géologiques par rapport au plan horizontal
Phénomène d'instabilité	Mouvement de terrain, potentiel ou avéré, correspondant au déplacement gravitaire de masses déstabilisées sous l'effet de sollicitations naturelles (ou anthropique) représenté par les glissements de terrain, les phénomènes de solifluxion, les coulées boueuses et les chutes de masses rocheuses (chutes de pierres et de blocs, éboulement de masse)
Photo-interprétation	Méthode permettant d'apprécier, entre-autre, l'environnement géologique et géomorphologique d'un territoire à partir de photographies aériennes (les photographies sont observées par couple au moyen d'un stéréoscope ce qui permet d'obtenir une vision en relief de la zone étudiée)
Risque naturel	Le risque naturel se caractérise comme la confrontation d'un aléa (probabilité de manifestation d'un phénomène donné) et d'un enjeu (présence de biens, d'activités et/ou de personnes). La délimitation des zones exposées aux risques, fondée sur un critère de constructibilité et de sécurité, s'effectue donc à partir du « croisement » d'une carte d'aléas et d'une carte d'enjeux. Conventionnellement, trois niveaux de risque se distinguent dans un P.P.R. : le risque considéré comme nul (couleur blanche), le risque moyen (couleur bleue) et le risque fort (couleur rouge)
Solifluxions	Sur un versant, déformation de la couverture sous l'effet de la gravité. Ces phénomènes traduisent un déplacement lent sur une pente de sols généralement argileux et gorgés d'eau
Structurale	Étude des caractéristiques tectoniques d'un ensemble de terrains ou d'un massif (déformation, accidents marquants, faille, réseau de diaclases, ...)

Subsidence	Enfoncement progressif, sur une période assez longue, du fond d'un bassin sédimentaire
Substratum	Vaste ensemble de terrains « anciens » sur lesquels reposent des formations superficielles plus récentes
Thalweg	Ligne reliant les points bas du fond d'une vallée ou d'un vallon
Trajectographie	Étude de la propagation d'un bloc à partir d'une modélisation de la falaise et du versant sous-jacent
Vulnérabilité	Au sens large, exprime le niveau de conséquence prévisible d'un phénomène naturel d'instabilité sur un enjeu en prenant en compte le caractère de danger pour les vies humaines. Le nombre et le temps de séjour des personnes dans la zone exposée caractérisent donc la vulnérabilité d'un bien

ANNEXE B : Carte Géologique

Extrait de la carte géologique au 1 / 50 000^{ème} du B.R.G.M., feuille « Saint-Beauzély »

ANNEXE C : Guides à caractère méthodologique

- Plan de Prévention des Risques naturels prévisibles
Guide général
MATE / MELT
La Documentation Française – 1997
- Plan de Prévention des Risques naturels (P.P.R.)
Risques mouvements de terrain
Guide méthodologique
MATE / MELT
La Documentation Française – 1999
- Plan de Prévention des Risques naturels (P.P.R.)
Recueil des démarches d'information et de communication lors de l'élaboration des P.P.R.
MATE – Juillet 2000
- Collection Environnement – Les risques naturels
Caractérisation et cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain
MATE / LCPC – 2000
- Collection Environnement – Les risques naturels
Évaluation des aléas liés aux cavités souterraines
MATE / LCPC – 2002
- Collection Environnement – Les risques naturels
L'utilisation de la photo-interprétation dans l'établissement des PPR liés aux mouvements de terrain
MATE / LCPC – 1999
- Collection Environnement – Les risques naturels
Parades contre les instabilités rocheuses
MATE / LCPC – 2001
- Textes relatifs à la prévention des risques majeurs
Recueil des textes fondateurs – 1^{ère} édition, janvier 2001
MATE – 2001
- Jurisprudence, prévention des risques naturels
Jurisprudence commentée – 1^{ère} édition, juillet 2000
MATE – 2000
- Les documents – Risques majeurs
Guide juridique de la prévention des risques majeurs
M.E.D.D.

ANNEXE D : Principes de traitements des glissements de terrain

Les principales techniques de stabilisation des glissements de terrain sont présentées ci-dessous dans un tableau synthétique [tableau extrait du **guide technique relatif à la stabilisation des glissements de terrain** édité par le L.C.P.C. en 1998].

	Principe de stabilisation	Moyens techniques	Méthode de dimensionnement	F final	Contraintes d'utilisation
Butée de pied	Rééquilibrage des masses	Remblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1,20 à 1,30	- accès et emprises nécessaires - présence d'un horizon résistant à faible profondeur - assurer la stabilité en aval
Allègement en tête	Rééquilibrage des masses	Déblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1,20	- accès et emprises nécessaires - assurer la stabilité en amont
Purge totale	Le massif est stable après la purge	Déblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1,50	- s'applique à de petits volumes - protection de la surface mise à nu - assurer la stabilité en amont
Reprofilage	Adoucissement de la pente	Déblai	Calcul de stabilité avec la géométrie modifiée	1,20	- accès et emprises nécessaires - terrassements importants
Substitution totale	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai, remblai	Calcul de stabilité avec les caractéristiques du matériau de substitution	1,50	- terrassements importants - ancrer sous la surface de rupture - travail par plots
Substitution partielle : bêche, contrefort, éperon, masque	Apport de matériau de meilleure résistance	Déblai, remblai	Calcul de stabilité avec les caractéristiques du matériau initial et de celui de substitution	1,20	- ancrer sous la surface de rupture - travail par plots - gérer le drainage
Substitution en tête, matériau allégé	Diminution du moment moteur	Déblai, polystyrène, matériau alvéolaire	Calcul de stabilité avec les caractéristiques de poids du matériau allégé	1,20	- terrassements réduits - protection du matériau allégé - gérer les circulations d'eau
Collecte et canalisation des eaux de surface	Limiter les pressions interstitielles	Cunettes, drains agricoles	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1,30	- implique une surface supérieure à celle du glissement - entretien indispensable
Tranchées drainantes	Diminuer les pressions interstitielles	Trancheuse, haveuse, pelle	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1,30	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - entretien indispensable
Drains subhorizontaux	Diminuer les pressions interstitielles	Drains plastiques, moyens de forage	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1,30	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - vérification du rabattement - entretien indispensable
Drainages profonds	Diminuer les pressions interstitielles	Drains verticaux, puits, galeries	Calcul de stabilité avec le champ de pressions interstitielles estimé après drainage	1,30	- connaissance préliminaire du réseau d'écoulement - entretien indispensable
Soutènements	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Ouvrages fixes	Murs fixes : calcul de la longueur de massif mis en butée.	1,50	- ancrer l'ouvrage sous le niveau de la rupture
		Ouvrages souples	murs souples : calcul de stabilité en tenant compte de la résistance du mur	1,20	- gérer la circulation des eaux derrière l'ouvrage
Tirants d'ancrage	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Torons, barres	Calcul de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des tirants (F = 1,5)	1,20	- problème des déplacements de sol (phases de chantier et en service) - associer un bon drainage
Clous	Apporter un effort stabilisateur perpendiculaire à la surface de rupture	Barres, tubes, micropieux	Calcul de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des clous (F = 1,5)	1,20 à 1,30	- technicité importante - estimation correcte des interactions sol/inclusions - associer un bon drainage
Pieux	Apporter un effort stabilisateur horizontal	Pieux bétons, profilés H, palplanches	Calcul de stabilité en introduisant les efforts stabilisateurs, calcul à la rupture des pieux (F = 1,5)	1,10 à 1,20	- technicité importante - estimation correcte des interactions sol/inclusions - associer un bon drainage