

Cartographie de la susceptibilité aux « mouvements de terrain » dans le département du Rhône (hors Grand Lyon) - élaboration d'un document unique de porter-à-connaissance

Rapport « final »

BRGM/RP - 61114-FR
Mai 2012

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2012 XXXXX

O. Renault

Vérificateur :

Nom : GRANDJEAN Gilles

Date : 14/05/12

Signature :



Approbateur :

Nom : SIMEON Yves

Date : 25/05/2012

Signature :



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

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



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des
Territoires du Rhône



Mots clés : glissement de terrain, coulée de boue, chute de blocs, Bora, mouvement de terrain, risques naturels, cartographie, Rhône, Rhône-Alpes.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante : Renault O. - Cartographie de la susceptibilité aux « mouvements de terrain » dans le département du Rhône (hors Grand Lyon) - élaboration d'un document de porter à connaissance - Rapport final - Rapport BRGM/RP-61114-FR, 73 pages, 31 illustrations, 1 annexe, 1 carte hors-texte.

Synthèse

La Direction Départementale des Territoires a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain dans les 236 communes du département se situant hors de la zone du Grand Lyon (sauf Givors). Les phénomènes concernés sont les glissements de terrain, les coulées de boue et les chutes de blocs. L'objet de l'étude est d'élaborer un document d'orientation à destination des collectivités dans le but de réaliser des études de constructibilité.

La cartographie de la susceptibilité aux « mouvements de terrain » dans le département du Rhône (hors Grand Lyon) résulte d'une analyse multicritère réalisée sur le logiciel ARCGIS.

En ce qui concerne la susceptibilité aux glissements de terrain, l'étude s'appuie en particulier sur 92 études de constructibilité déjà réalisées par les communes. Le dépouillement de ces études combinées à la prise en compte des phénomènes passés (www.bdmvt) a permis de réaliser une cartographie de la susceptibilité à trois niveaux (fort, moyen, faible) résultant du croisement de 42 formations lithologiques (carte géologique harmonisée à 1/50 000) et de 7 classes de pente (MNT au pas de 25 m).

La cartographie des zones susceptibles d'être exposées aux coulées de boue résulte d'un modèle de drainage croisé avec la pente (MNT au pas de 25 m). Les seuils de surface drainée et de pente ont été choisis sur la base de notre expérience cartographique à grande échelle. Ceci a permis d'établir un premier niveau de susceptibilité considéré comme faible. Afin de distinguer un niveau de susceptibilité de niveau moyen, il a été choisi de distinguer les surfaces drainées comprenant une proportion minimale de vignobles dans lesquels on observe la plupart des coulées dans le département.

Bien que le phénomène soit peu représenté dans le département, une cartographie des zones susceptibles d'être concernées par des phénomènes de chutes de blocs a été réalisée ; elle résulte de l'utilisation du modèle BORA qui permet de « simuler » les propagations de blocs en 2 dimensions à partir d'une zone de départ identifiée et du MNT au pas de 25 m. Afin de disposer de toutes les zones de départ potentielles, les quelques falaises de la zone d'étude ont été numérisées sur les cartes IGN à 1/25 000. Le modèle BORA a été ensuite ajusté sur la base de notre expérience résultant de l'étude d'événements réels.

La cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain est la superposition des trois cartographies précitées ; son échelle de validité est le 1/25 000^{ème}. Il ne s'agit en aucun cas d'une carte d'aléa intégrable dans un PLU mais plutôt d'un document général permettant d'orienter des actions locales : étude de constructibilité, études d'aléa à plus grande échelle. Pour chaque phénomène et en fonction du niveau de susceptibilité, un memorandum des phénomènes éventuellement attendus et de la conduite à tenir en termes de prévention a été établi.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Cadre naturel	11
2.1. CADRE GEOGRAPHIQUE.....	11
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE.....	13
3. Etat des connaissances sur les mouvements de terrain dans le département du Rhône (hors Grand Lyon).....	19
3.1. EVENEMENTS DE REFERENCE	19
3.2. ANALYSE DES ANCIENNES CARTOGRAPHIES DU CETE DE LYON	24
3.2.1. Cartographies des zones d'aptitude à l'aménagement (1989).....	24
3.2.2. Carte des instabilités de 2009	26
3.2.3. Situation actuelle.....	28
4. Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain.....	33
4.1. METHODOLOGIE	33
4.1.1. Paramètres non retenus.....	33
4.1.2. Cas des études antérieures du CETE de Lyon.....	33
4.1.3. Paramètres pris en compte	34
4.2. ELABORATION D'UNE CARTE DEPARTEMENTALE HARMONISEE DES CLASSES LITHOLOGIQUES.....	35
4.3. DEFINITION DE CLASSES DE PENTE	42
4.4. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN	43
4.5. COMMENTAIRES SUR LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN	52
5. Cartographie de la susceptibilité aux coulées de boue.....	55
5.1. ELABORATION DU MODELE DE DRAINAGE.....	55
5.2. ELABORATION D'UNE CARTE DES PENTES.....	55
5.3. PRISE EN COMPTE D'UN PARAMETRE DE PONDERATION	56

5.4. ELABORATION D'UNE CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX COULEES DE BOUE	61
5.5. COMMENTAIRES SUR LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX COULEES DE BOUE	61
6. Cartographie de la susceptibilité aux éboulements/chutes de blocs	63
6.1. DIGITALISATION DES ZONES DE FALAISES	63
6.2. LE LOGICIEL BORA	64
6.3. LA SIMULATION	66
6.4. ELABORATION D'UNE CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX CHUTES DE BLOCS	71
6.5. COMMENTAIRES SUR LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX CHUTES DE BLOCS	71
7. Conclusion.....	73
8. Bibliographie	75
Annexe 1 Extrait de la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain à l'échelle du 1/25 000.....	77

Liste des illustrations

Illustration 1 : Cadre géographique du département du Rhône	13
Illustration 2 - Schéma structural de la région lyonnaise	14
Illustration 3 - Bloc diagramme NS de la bordure orientale du Massif Central (Source : V. Gardien)	15
Illustration 4 - Coupe schématique du fossé au niveau de Lyon (Source : N. Mongereau)	16
Illustration 5 - Carte géologique simplifiée du Rhône (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000, BRGM, 2003).....	18
Illustration 6 : Localisation des mouvements de terrain recensés dans le département du Rhône (source BDMVT)	21
Illustration 7 : Glissement en zone viticole sur la commune de Theizé – colluvions argileuses sur des calcaires « pierres dorées » (photo BRGM).....	22

Illustration 8 : Fissures de traction en amont d'un route affectant des formations argilo-caillouteuses dans quartier La Garenne sur la commune de Sain Bel (Photo BRGM)	22
Illustration 9 : Glissement superficiel sur la commune d'Oingt dans les formations du Trias (photo BRGM)	23
Illustration 9 : Zone à risque de coulées de boue et de chutes de blocs isolées – commune de Tupins et Semons (photo BRGM)	23
Illustration 11 : Confortement d'un glissement d'ampleur sur le contournement Est de Lyon – commune de Communay (photo BRGM)	24
Illustration 12 : Carte d'aptitude à l'aménagement à l'échelle du 1/50 000 réalisée par le CETE en 1989	26
Illustration 13 : Carte des instabilités réalisée par le CETE en 2009	28
Illustration 14 : carte des instabilités de 2009 et indices de mouvement de terrain répertoriés en 1989	29
Illustration 15 : Repérage des études de constructibilité réalisée par les bureaux d'études	30
Illustration 16 : Les quarante-deux classes lithologiques retenues pour l'élaboration de la carte de susceptibilité aux glissements de terrain	37
Illustration 17 : Traitement du MNT	45
Illustration 18 : Croisement lithologie/pente afin d'obtenir un niveau de susceptibilité aux glissements de terrain	49
Illustration 17 : Carte de susceptibilité aux glissements de terrain	51
Illustration 20 : Répartitions surfaciques des zones exposées aux mouvements de terrain	52
Illustration 21 : Propositions d'actions en fonction du niveau de susceptibilité aux glissements	53
Illustration 22 : Constitution d'une carte des drains à deux niveaux d'entrée	57
Illustration 23 : Elaboration de la carte de susceptibilité aux coulées de boue	59
Illustration 24 : Répartition des surfaces exposées aux coulées de boue	61
Illustration 25 : Propositions d'actions en fonction du niveau de susceptibilité aux coulées de boue	62
Illustration 26 : Paramètres utilisés par le logiciel BORA	65
Illustration 27 : Interface graphique de l'utilitaire BORA	66
Illustration 28 : Jeu de paramètres utilisés pour la simulation BORA	67
Illustration 29 : Elaboration de la carte de susceptibilité aux chutes de blocs	69
Illustration 30 : Répartition des surfaces exposées aux chutes de blocs	71
Illustration 31 : Propositions d'actions dans les zones exposées aux chutes de blocs	72

1. Introduction

Le document qui fait actuellement référence en matière de porter-à-connaissance sur les « mouvements de terrain » dans le département du Rhône (hors zone Grand Lyon) est composé de la superposition partielle de deux cartographies à l'échelle du 1/50 000 réalisées par le CETE de Lyon en 1989 (carte d'aptitude à l'aménagement) et en 2009 (carte des instabilités). Une mission confiée par la direction départementale des territoires du Rhône au BRGM – service géologique Régional Rhône-Alpes – au titre de l'appui aux administrations (rapport RP-59946-FR, mai 2011) a montré que ces deux études avaient été réalisées avec des méthodologies différentes et comportaient des disparités importantes dues au manque d'information et d'harmonisation. Ces différences ne permettent pas de constituer un document de synthèse présenté *in fine* aux services des collectivités qui l'utilisent dans le but de réaliser des études plus détaillées de constructibilité.

La Direction Départementale des Territoires a donc souhaité disposer d'un document cartographique synthétique de porter-à-connaissance plus homogène et plus exhaustif couvrant les 236 communes du département se situant hors de la zone du Grand Lyon (sauf Givors).

A cet effet, il a été décidé de traiter séparément chaque phénomène répertorié dans le département du Rhône (glissement de terrain, coulée de boue, éboulement) au sein d'un document cartographique de synthèse qui reprend en partie les travaux antérieurs du CETE de Lyon tout en s'appuyant d'avantage sur les exemples connus de mouvement de terrain (de source BDMVT par exemple) ainsi que sur les nombreuses études de constructibilité déjà réalisées par les bureaux d'études dans les zones à risques indiquées par le document départemental actuel.

2. Cadre naturel

2.1. CADRE GEOGRAPHIQUE

Le département du Rhône, qui a pour chef-lieu la ville de Lyon et pour sous-préfecture Villefranche-sur-Saône, est l'un des plus petits départements français par sa superficie : 3 214,9 km². Ce dernier est aussi l'un des plus peuplés, avec 1 708 671 habitants recensés en 2009 dont la majeure partie se situe sur le territoire du Grand Lyon.

Avec 236 communes et environ 450 000 habitants, la zone d'étude se situe - à l'exception de Givors - hors du périmètre du Grand Lyon ; elle peut-être décomposée en plusieurs secteurs géographiques distincts (Illustration 1) :

- les Monts du Beaujolais ;
- les Monts du Lyonnais ;
- la plaine de l'Est Lyonnais.

- Les Monts du Beaujolais

Le Beaujolais s'étend au nord du département sur près de 1750 km². Les lignes de crêtes sont globalement orientées nord-est – sud-ouest, le Mont Saint Rigaud en étant le point culminant à 1009 mètres. L'eau est présente un peu partout en Beaujolais, creusant ses collines. Les nombreux cours d'eau créent des reliefs de vallées jusqu'à l'Azergues qui coupe le Pays Beaujolais en deux parties bien distinctes :

- la montagne occupe la partie ouest du Beaujolais ;
- l'est du pays, au relief plus doux, constitue le royaume des vins. Les coteaux et collines descendent par paliers successifs en croupes arrondies en direction de la vallée de la Saône jusqu'à Villefranche.

Le climat y est tempéré. Les écarts importants de températures entre l'été et l'hiver sont atténués par la présence de la chaîne montagneuse du Haut-Beaujolais qui joue un rôle protecteur, tandis que la Saône joue un rôle régulateur généralement dévolu aux étendues d'eau.

- Les Monts du Lyonnais

C'est un ensemble montagneux qui s'allonge sur une quarantaine de kilomètres du nord au sud, depuis les Monts du Beaujolais, jusqu'au couloir du Gier au pied du Pilat.

Du sud-ouest au nord-est court une ligne de crête continue, formée de la chaîne de Riverie qui culmine à 934 mètres au Signal de Saint-André. C'est une véritable barrière montagneuse, à peine échancrée par de rares cols. La retombée de la montagne sur le plateau lyonnais est profondément incisée par le réseau hydrographique : les vallées se réduisent à des entailles étroites. Les hautes surfaces très érodées développent un moutonnement de collines juxtaposées au milieu duquel s'ouvre un large bassin drainé. Les eaux d'infiltration sourdent à flanc de versant en une multitude de petites sources qui entretiennent une humidité persistante dans les fonds de cuvettes mal drainées.

Le climat est montagnard avec des hivers froids et neigeux. Les nombreux petits lacs aménagés par les agriculteurs au creux des vallons à des fins d'irrigation, rappellent qu'un déficit pluviométrique est toujours à craindre au début de la saison chaude.

- **La plaine de l'Est Lyonnais**

La plaine de l'Est Lyonnais constitue la terminaison du Bas-Dauphiné et correspond à un éventail d'anciennes vallées remplies par d'importantes nappes fluvio-glaciaires enserrant des collines et des plateaux d'origine morainique sur une ossature molassique miocène. Les reliefs sont faibles et il y a peu d'eau en surface. En effet, le seul cours d'eau du périmètre, issu des collines molassiques du Bas Dauphiné, est l'Ozon. Il mesure 21 km de long et rejoint le Rhône au sud de Lyon. Le sous-sol de l'Est Lyonnais est jalonné de nombreuses nappes phréatiques de grandes dimensions et bonne qualité. Le climat de la plaine lyonnaise est tempéré et ensoleillé. Grâce au Rhône, fleuve qui joue un rôle régulateur, les écarts de températures sont faibles.

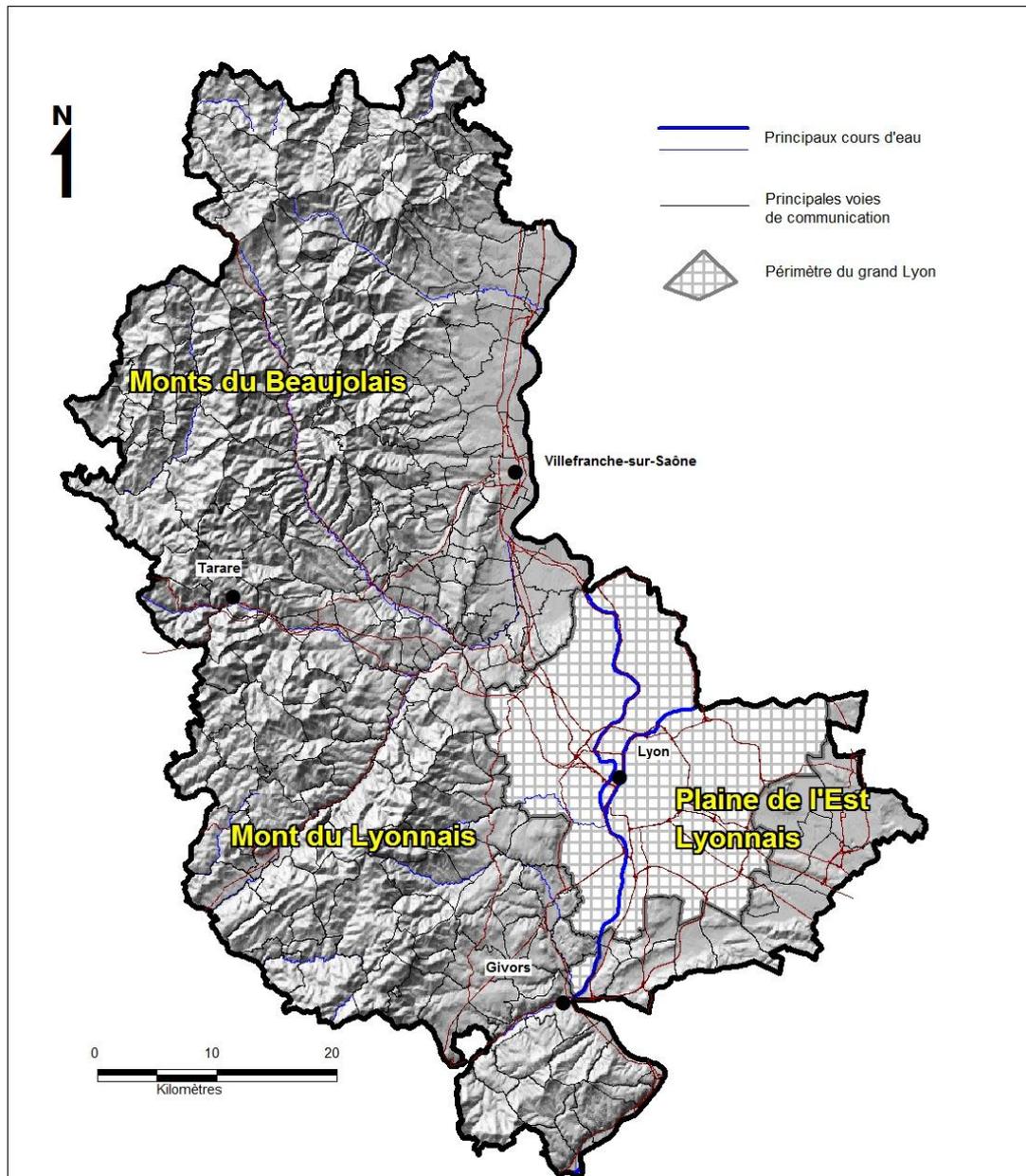


Illustration 1 : Cadre géographique du département du Rhône

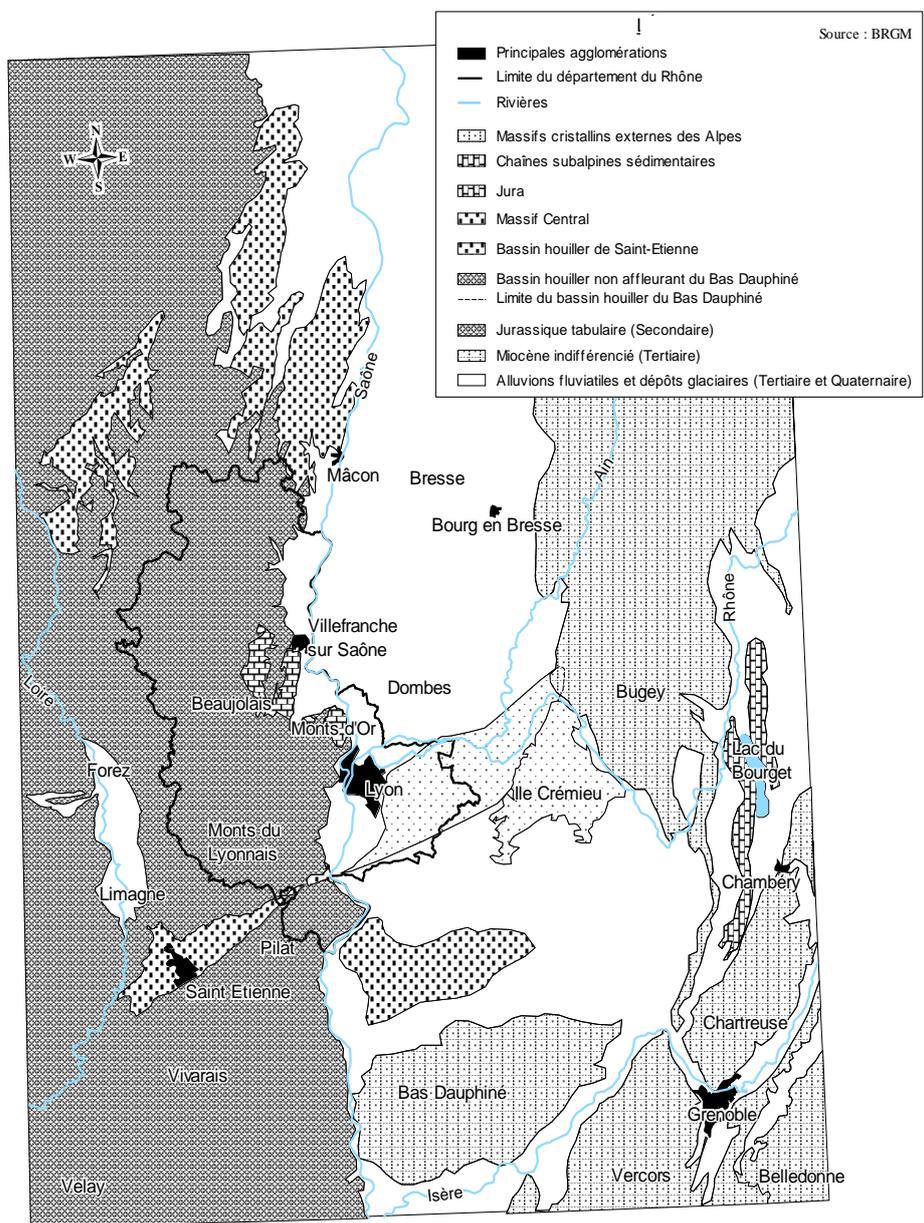
2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUE

Sur la carte géologique simplifiée de la région Lyonnaise à l'échelle 1/1 000 000 (Illustration 2), on distingue quatre grandes unités géomorphologiques bien individualisées :

- la retombée orientale du Massif Central ;
- la dépression médiane ;

Cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain dans le département du Rhône (hors Grand Lyon)

- le Jura ;
- les Alpes.



Source :
BRGM

Illustration 2 - Carte géologique simplifiée
(d'après les cartes géologiques de Lyon et Châlon au 1/250 000)

- La bordure orientale du Massif Central

Le Massif Central est le témoin d'une ancienne chaîne de montagne qui s'est formée lors de l'orogénèse hercynienne, à la fin de l'ère primaire.

Dans le département du Rhône, on observe du nord au sud deux unités tectoniques et métamorphiques différentes (Illustration 3) :

- l'unité de la Brévenne : vestige d'une ancienne croûte océanique apparue dans le socle gneissique anté-dévonien. La structure actuelle est composée de plis isoclinaux déversés vers le socle des Monts du Lyonnais au sud-est ;
- la série des Monts du Lyonnais où affleure le socle cristallophyllien.

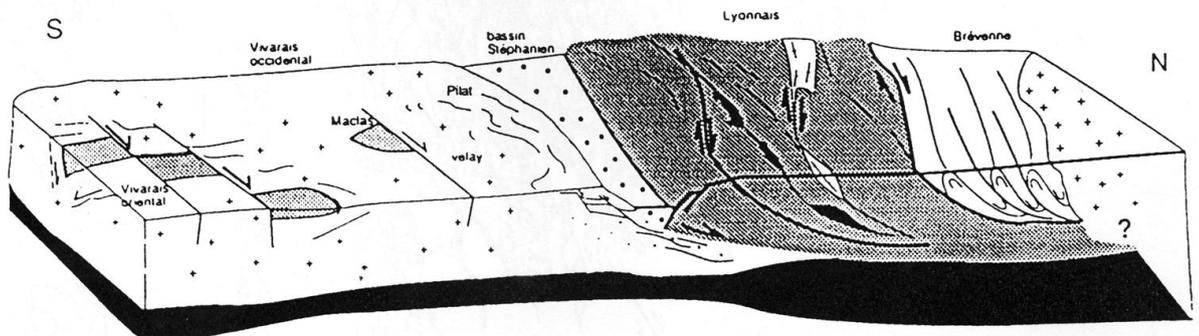


Illustration 3 - Bloc diagramme NS de la bordure orientale du Massif Central (Source : V. Gardien)

Cette chaîne, dite varisque, a ensuite été presque totalement émergée durant l'ère secondaire. Le socle a été soumis à l'érosion qui l'a transformée en une vaste pénéplaine. La mer envahit les bassins, déposant des sédiments gréseux au Trias, puis des alternances de marnes et calcaires au Jurassique. Des buttes témoins de cette période sont visibles au nord-ouest de Lyon (Mont d'Or et Monts du Bas-Beaujolais).

Ce massif aplani a été ensuite relevé et fracturé au Tertiaire par le contrecoup de l'orogénèse alpine.

- La dépression médiane

Ce fossé est rectiligne dans son ensemble, mais plus complexe dans le détail. En effet, la bordure ouest est limitée par une succession de failles en escalier (Illustration 4), plus ou moins nombreuses et d'orientation mixte (principalement rhodanienne, mais également hercynienne). La bordure orientale correspond au massif du Jura chevauchant cette dépression en masquant les failles en escalier sous-jacentes. Au

sud du Jura, la couverture des chaînes subalpines forme une transition régulière, sans interruption due à de grandes fractures.

L'histoire du bassin peut être divisée en trois parties principales :

- les terrains antérieurs à la réalisation du fossé ;
- les séries de comblement du fossé ;
- les dépôts quaternaires.

Les terrains antérieurs à la réalisation du fossé constituent le socle dans lequel s'est creusé le bassin d'effondrement. Ils sont présents très près de la surface. Ces terrains ont été métamorphisés et plissés au cours des orogénèses successives.

- Le comblement du fossé s'étale du Crétacé supérieur à l'Éocène.

A l'Oligocène, la dépression nord-sud qui longe le rebord oriental du Massif Central s'enfonce (phénomène géologique de subsidence) à la suite des premiers mouvements alpins et des grandes fractures méridiennes qui vont progressivement lui donner la structure d'un fossé d'effondrement. On assiste alors à un basculement du remplissage et on retrouve un collecteur nord-sud, sorte de Pré-Rhône, qui longe le Massif Central. La fin du cycle est marquée par un arrêt de la subsidence et un comblement qui s'achève par des dépôts continentaux selon une surface plane tandis que la chaîne alpine a fini de se mettre en place.

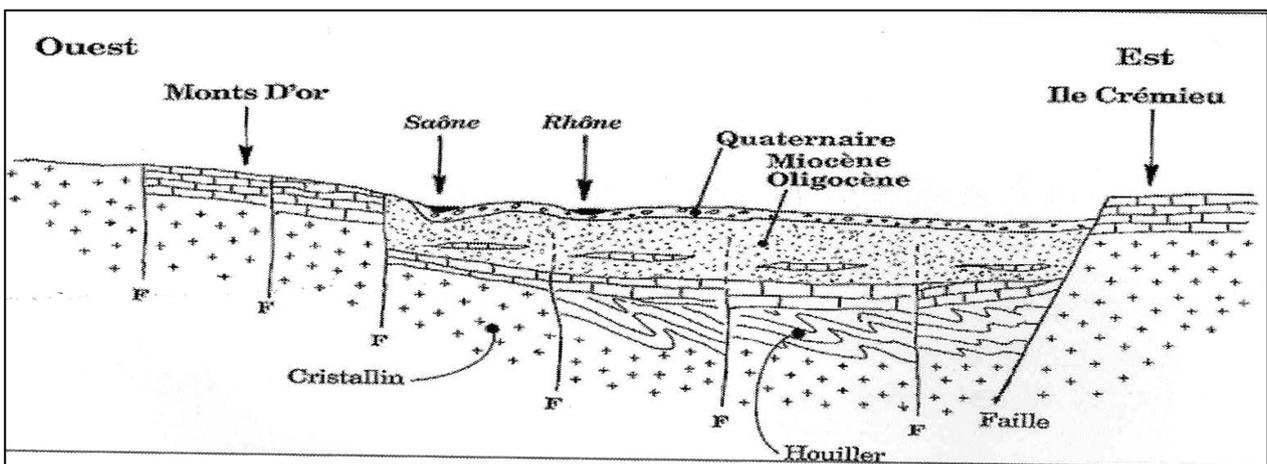


Illustration 4 - Coupe schématique du fossé au niveau de Lyon (Source : N. Mongereau)

Le début du Quaternaire est marqué par une phase d'érosion intense. Au cours des quatre grandes glaciations de cette période (Günz, Mindel, Riss et Würm), les glaciers

alpines se sont avancés jusqu'au Massif Central. L'épaisseur de ces glaces a d'ailleurs atteint 90 mètres à Lyon. Ils ont laissé sur les reliefs préexistants des dépôts morainiques d'épaisseurs variables. A l'aval du front maximum glaciaire, et au cours des stades successifs de retrait, se sont mis en place des dépôts fluvio-glaciaires.

Un extrait de la carte géologique à 1/1 000 000 pour le département du Rhône est donné sur l'illustration n°5.

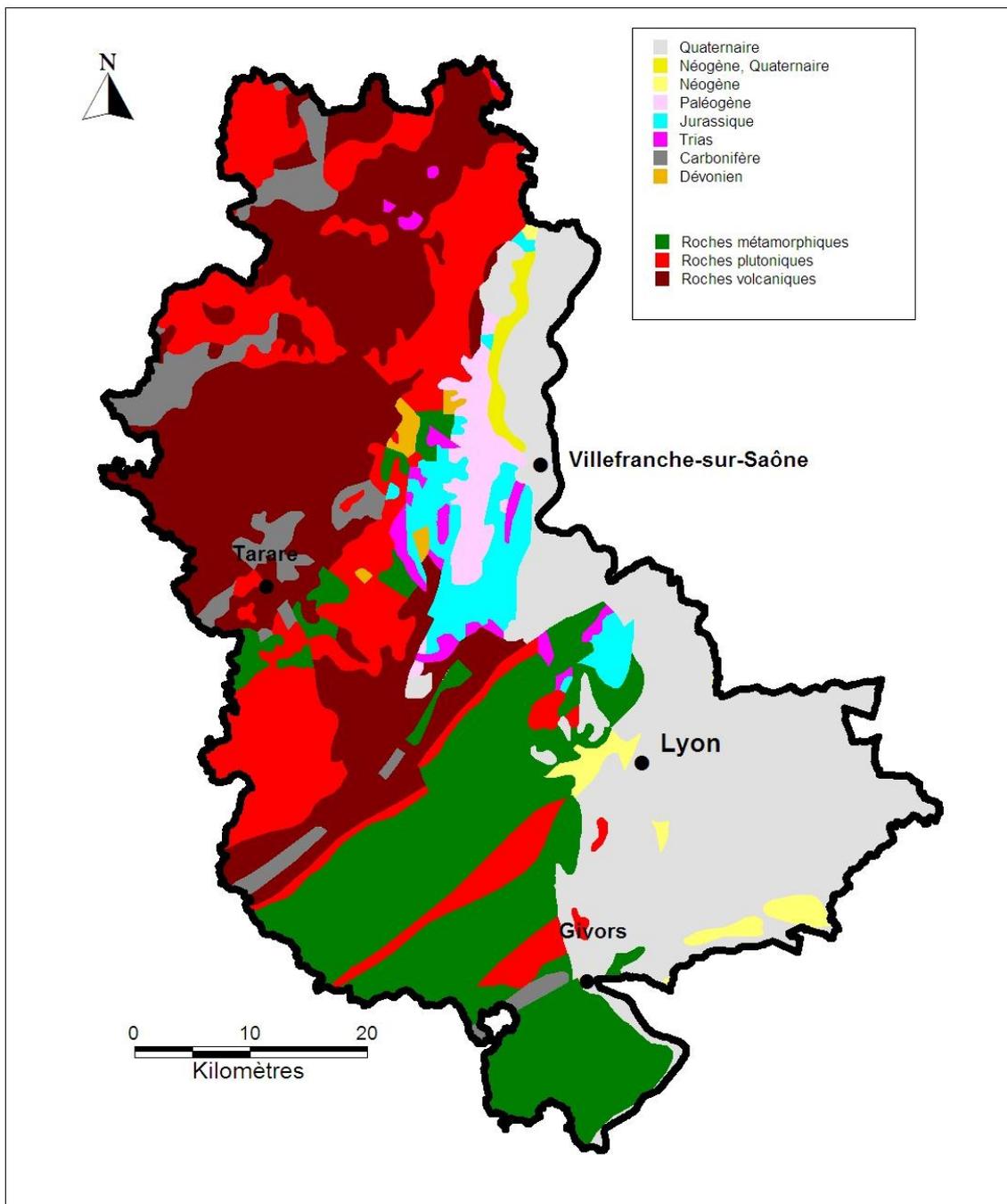


Illustration 5 - Carte géologique simplifiée du Rhône (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000, BRGM, 2003)

3. Etat des connaissances sur les mouvements de terrain dans le département du Rhône (hors Grand Lyon)

3.1. EVENEMENTS DE REFERENCE

De par sa géographie vallonnée et sa géologie variée, le département du Rhône est propice à l'existence de mouvements de terrain gravitaires. L'inventaire départemental réalisé par le BRGM (2005) a permis d'avoir une meilleure connaissance contextuelle des phénomènes (localisation, contexte géologique et géomorphologique, ampleur, facteurs déclenchants).

Par ailleurs, la Direction Départementale des Territoires a confié au BRGM, 92 études de constructibilité et cartes d'aléa réalisées sur l'ensemble du territoire du Rhône, en dehors du périmètre du Grand Lyon. Ces études sont en général réalisées par des bureaux d'études géotechniques ; elles se présentent, soit sous la forme de diagnostics ponctuels de constructibilité couvrant plusieurs secteurs de la commune, ou plus rarement, sous la forme de cartes d'aléa à l'échelle du 1/10 000 voire supérieure. En général, un diagnostic ponctuel de constructibilité comprend une visite de terrain éventuellement assorti d'une fouille à la pelle ou de sondages au pénétromètre dynamique. Cependant, les méthodes d'investigation peuvent varier d'un bureau d'études à l'autre. Une seule et même étude de constructibilité peut couvrir jusqu'à 20 secteurs distincts au sein d'une même commune.

Les cartes d'aléa sont réalisées selon les critères traditionnels d'élaboration conformément aux dispositions du guide technique du LCPC – Ministère de l'environnement. Elles contiennent en général une description des événements de référence.

La consultation de ces documents a permis de collecter de nouveaux mouvements de terrain ne figurant pas dans la base de données nationale. On dispose ainsi d'une base de données que l'on peut considérer comme assez exhaustive et représentative des mouvements de terrain au sein de la zone d'étude. Le tableau ci-après fournit un dénombrement des phénomènes recensés dans la zone d'étude en fonction de leur provenance et pour les typologies suivantes : glissements de terrain, éboulements/chutes de blocs et coulées de boue.

Source de l'information	Glissements de terrain	Chutes de blocs, éboulements	Coulées de boue	Total
www.bdmvt.net	36	13	13	62
Etudes de constructibilité, cartes d'aléa	23	0	0	23
Total	59	13	13	85

On dénombre ainsi 85 mouvements de terrain dans la zone d'étude dont 59 glissements, 13 chutes de blocs et 13 coulées de boue. Il est logique de constater que les glissements de terrain constituent le principal aléa au sein de la zone d'étude. En effet, les reliefs du département sont anciens et très érodés donc peu propices à l'existence d'aplomb rocheux.

Les glissements sont présents surtout au sein des formations géologiques du Bas-Beaujolais sédimentaire et plus particulièrement au sein des formations argileuses du Jurassique et du Paléogène. Les glissements sont souvent d'ampleur moyenne mais peuvent dans certains cas intéresser des superficies relativement étendues. Une couverture d'alluvions anciennes ou de limons peut dans certains cas, masquer le substratum argileux sensible aux glissements. Toutes les pentes peuvent être concernées, certains glissements actifs ayant été observés dans les pentes inférieures à 10°.

Le plus gros glissement du département intéresse plusieurs centaines de milliers de m³ ; il concerne un déblai de terrassement sur le contournement Est de Lyon sur la commune de Communay. D'importants moyens de confortement ont été mis en œuvre afin de le stabiliser (tirants, drains).

Les terrains micaschisteux dont la pente est supérieure à 15/20°, sont également assez sensibles. C'est la confrontation de ce type de terrain avec l'urbanisme dans la vallée du Rhône et du Gier, qui peut, dans certains cas, poser des problèmes.

A contrario, les roches plutoniques et volcaniques ainsi que certaines roches métamorphiques (hors micaschistes) qui intéressent la majeure partie de la zone d'étude (Monts du Lyonnais et du Beaujolais) comptent très peu de glissements naturels. Cela est dû à l'ancienneté de ces roches et à leurs produits d'altération qui sont souvent peu argileux. Cette situation n'exclut cependant pas des phénomènes de reptation au sein de zones hydromorphes, en particulier dans les zones concaves et les thalwegs. La limite de constructibilité fixée par les bureaux d'étude dans ces terrains se situe souvent autour de 20° du fait des contraintes liées au terrassement et à la surcharge.

Les chutes de blocs peu nombreuses du fait de la morphologie du département, sont très peu représentées dans la zone d'étude. Elles intéressent principalement les carrières ainsi que quelques talus de déblais routiers. La rive droite du Rhône au sud de Givors est l'objet de quelques chutes de blocs issues de pointements rocheux naturels présents dans les pentes les plus raides.

Les coulées de boue intéressent surtout les zones viticoles du Bas-Beaujolais. Ces coulées ne concernant pas spécifiquement les sols sensibles aux glissements, il semble qu'il s'agisse davantage de coulées hyperconcentrées dues à l'érosion de sols à nu. Le dénombrement des phénomènes issu de la BDMVT n'est probablement pas exhaustif car la plupart sont situés sur la même commune (Pommiers). Une étude mise à disposition par la DDT du Rhône permet de mieux apprécier l'origine et la répartition du phénomène au sein des zones viticoles du Beaujolais.

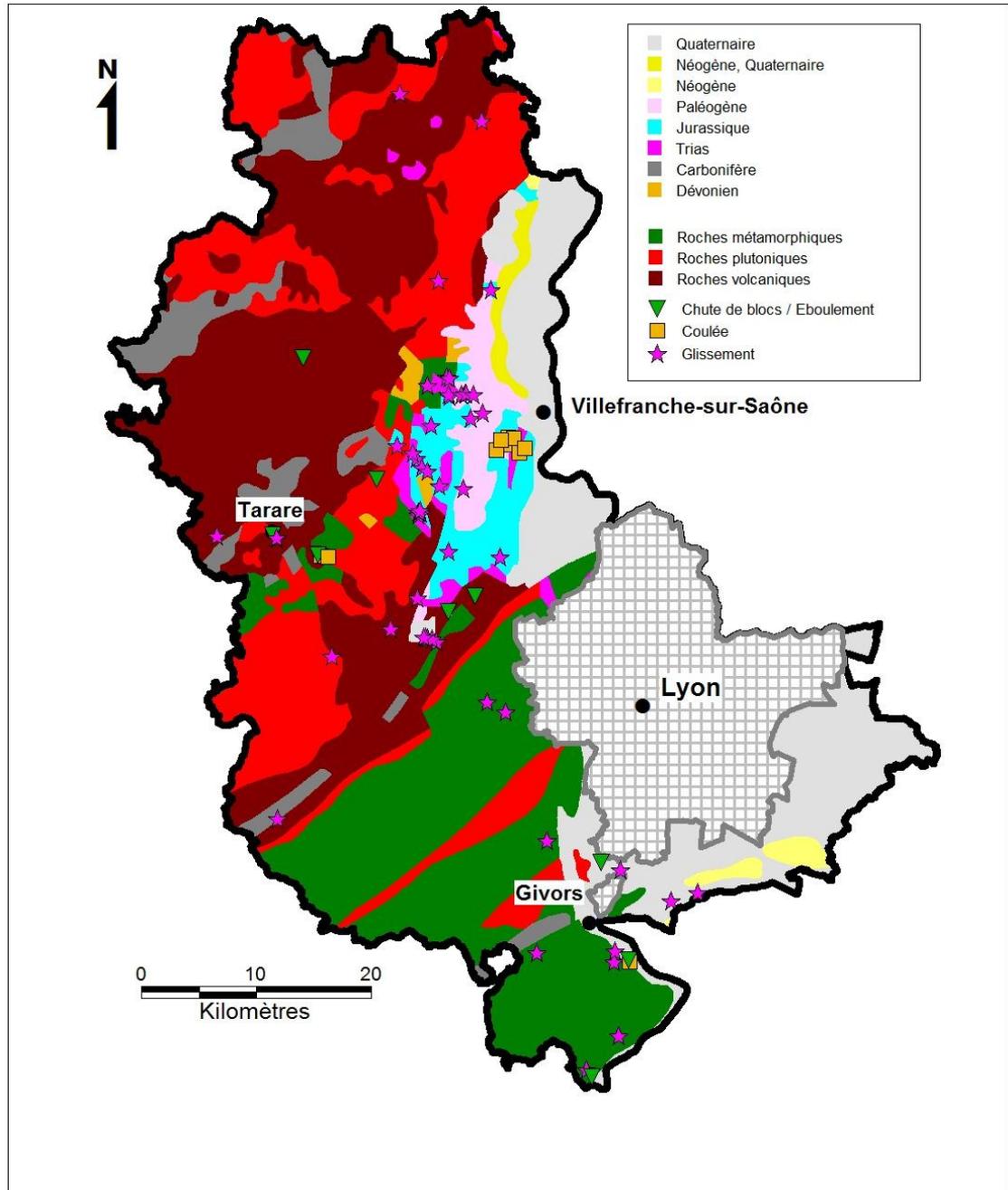


Illustration 6 : Localisation des mouvements de terrain recensés dans le département du Rhône (source BDMVT)



Illustration 7 : Glissement en zone viticole sur la commune de Theizé – colluvions argileuses sur des calcaires « pierres dorées » (photo BRGM)



Illustration 8 : Fissures de traction en amont d'un route affectant des formations argilo-caillouteuses dans quartier La Garenne sur la commune de Sain Bel (Photo BRGM)



Illustration 9 : Glissement superficiel sur la commune d'Oingt dans les formations du Trias (photo BRGM)



Illustration 10 : Zone à risque de coulées de boue et de chutes de blocs isolées – commune de Tupins et Semons (photo BRGM)



Illustration 11 : Confortement d'un glissement d'ampleur sur le contournement Est de Lyon – commune de Communay (photo BRGM)

3.2. ANALYSE DES ANCIENNES CARTOGRAPHIES DU CETE DE LYON

La politique de la Direction Départementale des Territoires du Rhône en matière de prévention des risques de mouvements de terrain est de fournir aux communes une cartographie des zones susceptibles aux mouvements de terrain afin d'y réaliser des études de constructibilité. Deux cartes ont aujourd'hui été réalisées par le CETE de Lyon. Les chapitres suivants synthétisent leur mode d'élaboration.

3.2.1. Cartographies des zones d'aptitude à l'aménagement (1989)

Afin d'orienter les choix des terrains à aménager, le CETE de Lyon a réalisé en 1989 à la demande de la DDE, une première cartographie départementale des instabilités et des aptitudes à l'aménagement dans le département du Rhône. Le travail était basé sur :

1. Une enquête auprès des subdivisions, consultation des dossiers archivés à la DDE et du service des mines ;

2. Une consultation et une interprétation de photos aériennes ;
3. Des reconnaissances de terrain.

Ce travail a permis de réaliser une carte des indices de mouvements de terrain puis un document cartographique résultant de ce travail a été produit à l'échelle du 1/50 000 (Cf. Illustration 12). Il s'agit d'un document indicatif, non opposable aux tiers, non utilisable pour des aménagements définitifs. Plusieurs zones ont été définies :

- Une zone blanche où les aménagements ne nécessitent pas de conditions particulières ; elle concerne les pentes sans indices d'instabilités et inférieures à 6°.
- Une zone bleu-clair où les aménagements nécessitent des précautions modérées (études légères) ; elle concerne les pentes faibles (6 à 12°) avec indices modérés d'instabilité avérée ou potentielle.
- Une zone bleu foncé où les aménagements nécessitent des dispositions particulières (étude géotechnique) ; cette zone concerne des secteurs situés dans des formations argileuses avec une pente moyenne (12 à 27°) et indice visible de mouvement de terrain en photographie aérienne et sur le terrain, les zones concernées par la présence de micaschistes avec une pente faible (6 à 12°), les zones de coulée boueuse avec une pente moyenne, les zones de pente forte dans les formations non argileuses (hors micaschistes) et les zones de talus avec blocs désolidarisés.
- Zone rouge où les aménagements sont déconseillés, voire à proscrire, ou nécessitant des études très poussées : zone d'affaissement minier ou zone de glissement de terrain dans les micaschistes dont les pentes sont fortes à moyennes (supérieures à 12°).

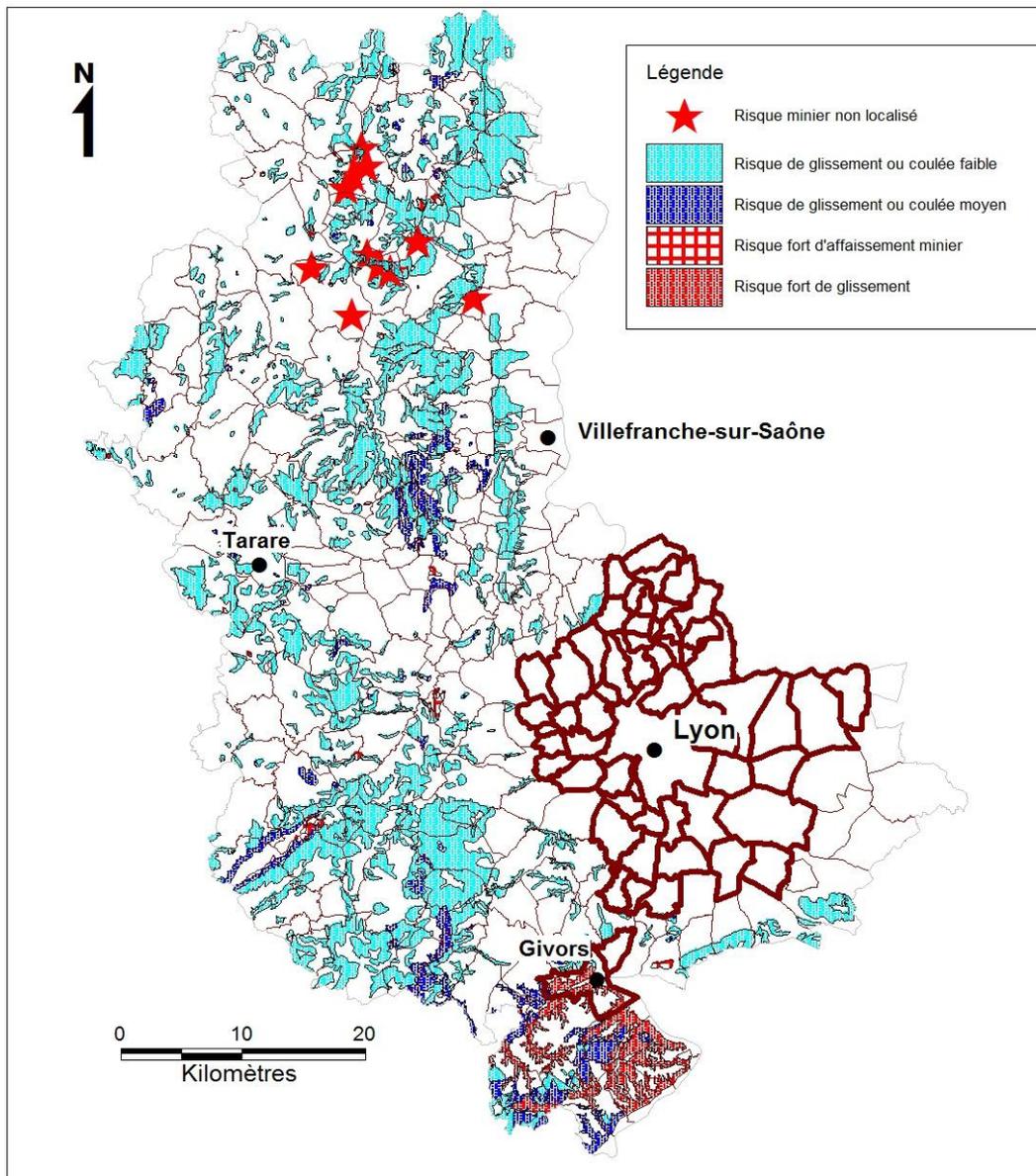


Illustration 12 : Carte d'aptitude à l'aménagement à l'échelle du 1/50 000 réalisée par le CETE en 1989

3.2.2. Carte des instabilités de 2009

La cartographie de 1989 étant jugée insuffisante par les services instructeurs (données incomplètes, échelle imprécise), la DDT a confié au CETE de Lyon en 2009, la charge de la réviser. Le CETE a procédé au croisement du MNT de l'IGN au pas de 25 m avec la carte géologique harmonisée au 1/50 000 du département du Rhône réalisée par le BRGM en 2008.

Le croisement de 21 classes lithologiques établies par regroupement des formations de la carte géologique harmonisée avec six classes de pentes a permis de définir 4 niveaux d'instabilité (Cf. Illustration 13) :

- très faible : pour les formations meubles de nature argileuse (pente $\leq 6^\circ$), pour les formations marneuses, sablo-graveleuses (pente $\leq 11^\circ$), pour les formations cristallines feuilletées, les grès, les calcaires et les formations limoneuses (pente $\leq 26^\circ$), pour les conglomérats (pente $\leq 34^\circ$) et pour les formations cristallines et volcaniques (pente $\leq 45^\circ$).
- faible : pour les formations meubles de nature argileuse ($6^\circ < \text{pente} \leq 11^\circ$), pour les formations marneuses, sablo-graveleuses et limoneuses ($11 < \text{pente} \leq 26^\circ$), pour les formations cristallines feuilletées, les grès, les calcaires et les formations limoneuses ($26 < \text{pente} \leq 34^\circ$), pour les conglomérats (pente $> 34^\circ$) et pour les formations cristallines et volcaniques (pente $> 45^\circ$).
- moyen : pour les formations meubles de nature argileuse ($11^\circ < \text{pente} \leq 26^\circ$), pour les formations marneuses, sablo-graveleuses et limoneuses ($26 < \text{pente} \leq 34^\circ$), pour les formations cristallines feuilletées, les grès et les calcaires ($34 < \text{pente} \leq 45^\circ$) et pour les formations limoneuses (pente $> 34^\circ$).
- fort : pour les formations meubles de nature argileuse (pente $> 26^\circ$), pour les formations marneuses, sablo-graveleuses et limoneuses (pente $> 34^\circ$) et pour les formations cristallines feuilletées, les grès et les calcaires (pente $> 45^\circ$).

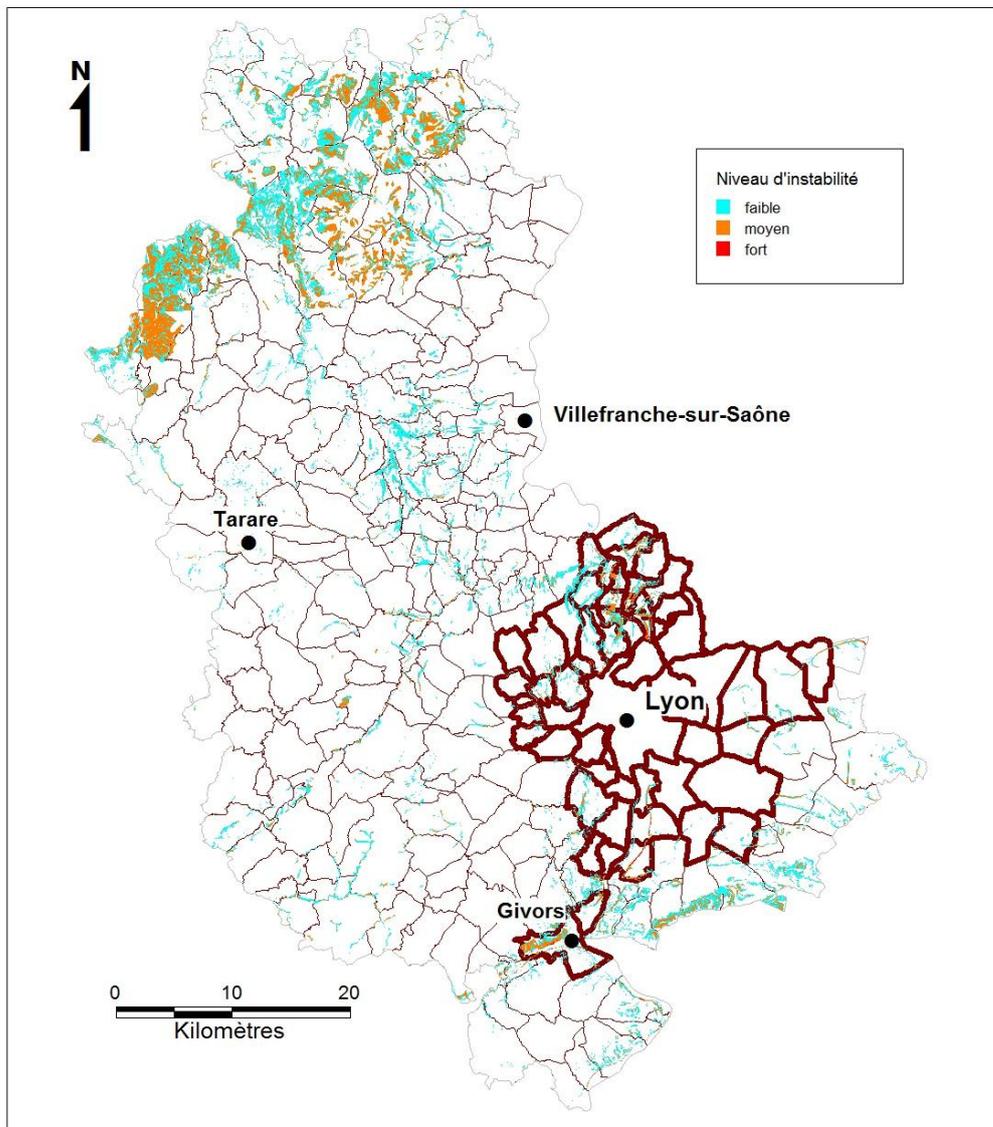


Illustration 13 : Carte des instabilités réalisée par le CETE en 2009

3.2.3. Situation actuelle

La différence de méthodologie entre l'étude de 1989 et celle de 2009 a produit de grands écarts entre les deux études :

- nette diminution des surfaces concernées par le risque de mouvement de terrain, notamment en contexte de pente faible et moyenne dans le domaine cristallin (massif du Pilat, Monts du Lyonnais)
- augmentation des surfaces concernées par le risque dans le secteur du Haut-Beaujolais ; ceci est notamment dû au fait que dans ce secteur, les formations

superficielles présentes sur le socle ont été représentées sur certaines feuilles géologiques plus récentes, ce qui n'est pas le cas dans le reste du département ;

- d'une façon générale : augmentation des surfaces concernées par un niveau de « risque » moyen.

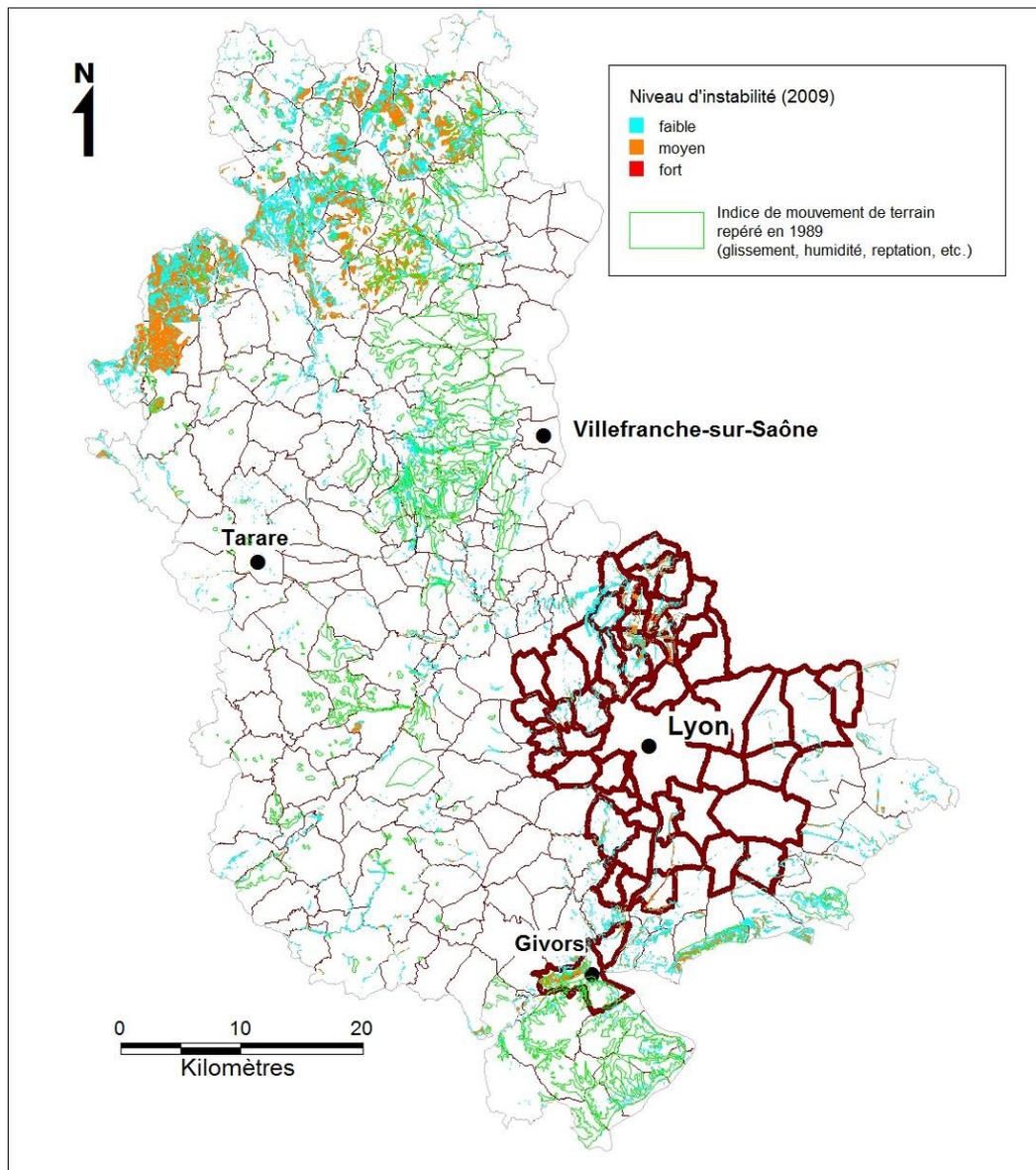


Illustration 14 : carte des instabilités de 2009 et indices de mouvement de terrain répertoriés en 1989

Le CETE considère que la carte de 2009 apporte un degré de précision supérieur par rapport à la cartographie de 1989 du fait d'une plus grande rigueur dans le croisement

de la géologie et de la pente. Toutefois, compte tenu du caractère très théorique de la carte de 2009, le CETE propose de la compléter par la carte des indices de mouvement de terrain réalisée dans le cadre de la réalisation de la carte d'aptitude à l'aménagement de 1989 (Cf. Illustration 14). Cette carte contient les indices morphologiques de mouvement de terrain repérés par photo-interprétation et lors des visites de terrain réalisées à l'époque.

Parallèlement, le CETE de Lyon a répertorié dans ses données SIG les zones déjà concernées par des études de constructibilité (issues en général de bureaux d'études) concernant une partie des communes ou plusieurs parcelles. Ces études à caractère géotechnique représentent en général le niveau de connaissance le plus détaillé sur les risques de mouvement de terrain. Actuellement, 92 études sont recensées dans la base de données de la DDT. Elles permettent de statuer sur la constructibilité de telle ou telle zone (Cf. Illustration 15).

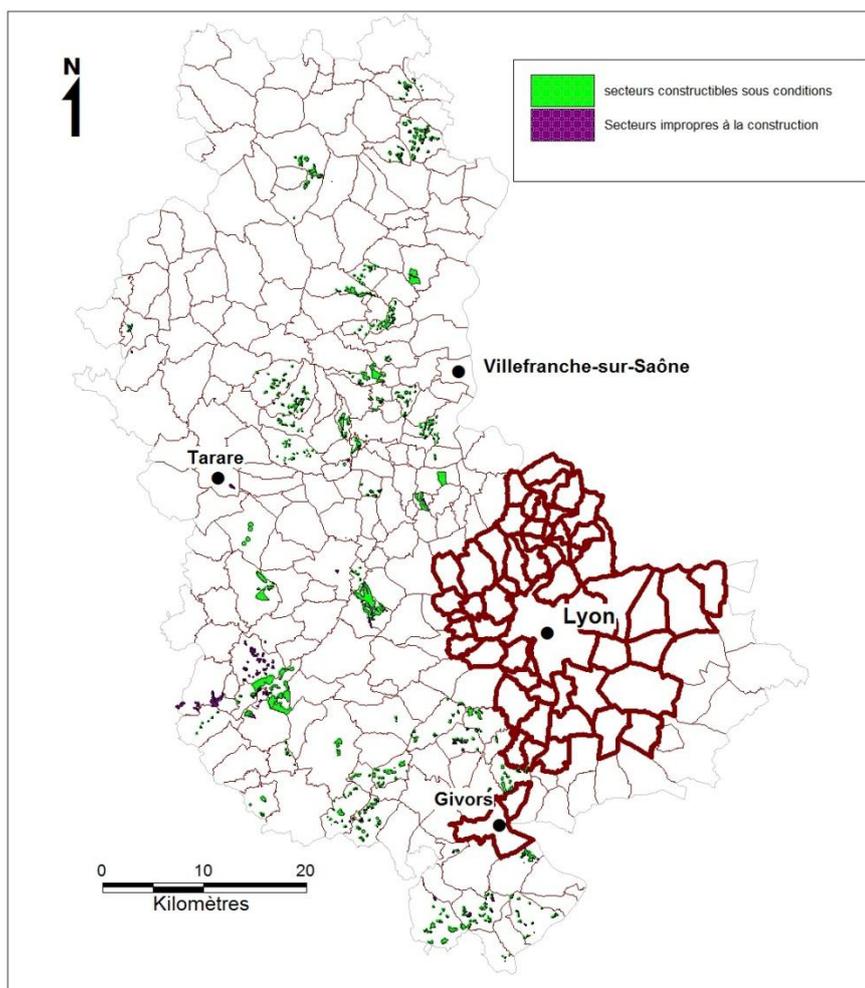


Illustration 15 : Repérage des études de constructibilité réalisée par les bureaux d'études

Face à la diversité des situations rencontrées, le CETE a proposé dans son étude de 2009 l'adoption d'un logigramme qui permet de présenter la problématique des risques de mouvement de terrain dans le département. Il consiste à associer la « carte des indices de 1989 + carte des instabilités de 2009 » (Cf. Illustration 14). Si cette carte révèle des zones sensibles sur une commune, la DDT attire l'attention du Maire et lui indique l'intérêt de réaliser une étude géotechnique de détail. Si celle-ci existe déjà, son existence est simplement rappelée au Maire. Si l'association « carte des indices de 1989 + carte des instabilités de 2009 » ne révèle pas de zones sensibles, le CETE invite la DDT à consulter la carte des pentes en raison du fait que les formations superficielles ne sont pas représentées sur certaines cartes géologiques à 1/50 000. En fonction d'un critère de pente laissé à l'appréciation de la DDT, celle-ci alerte ou non le Maire sur la nécessité de faire une étude.

4. Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain

4.1. METHODOLOGIE

4.1.1. Paramètres non retenus

La cartographie des zones de glissement potentielles est obtenue par combinaison des cartes de répartition spatiale de différents facteurs susceptibles de participer à l'instabilité des terrains. Etant donnée l'étendue du site d'étude, il n'était évidemment pas possible de prendre en compte :

- certains facteurs de prédisposition naturels comme la présence d'eau souterraine, dont on ne dispose pas de cartographie utilisable à l'échelle départementale au regard de l'objectif fixé ;
- les facteurs de prédisposition d'origine anthropique comme l'influence de travaux de terrassement ou l'utilisation des sols (forêts ou prairie). En effet, l'influence de travaux de terrassement sur un glissement de terrain se juge souvent au cas par cas. Le rôle de la végétation est quant à lui difficile à quantifier à cette échelle (ce rôle est sans doute minime en ce qui concerne les glissements profonds) ;
- les facteurs de déclenchements externes comme la pluviométrie dont il n'est pas prouvé, en France métropolitaine, qu'elle module à long terme la fréquence et la répartition spatiale des mouvements de terrain.

4.1.2. Cas des études antérieures du CETE de Lyon

Carte des indices - 1989

Dans un premier temps, il a été envisagé d'utiliser la carte des indices de mouvements de terrain repérés par le CETE en 1989 à l'aide de photos aériennes et de reconnaissances de terrain. Cependant, au gré de nos propres investigations, la localisation de ces indices est apparue très vite inadaptée car ne correspondant pas à des mouvements de terrains réels ou supposés. D'autre part, quand la zone d'indices inclut effectivement un glissement de terrain au sein de son périmètre, ce dernier est dans la majorité des cas sujet à discussion car il ne s'appuie pas toujours sur une limite physique cohérente ou des indices identifiables sur le terrain. Par opposition, des secteurs comportant un contexte litho-morphologique similaire à la zone d'indice peuvent se retrouver exclus du périmètre de risque pour une raison inconnue, probablement liée à la méthode qui n'est pas systématique. Pour ces raisons, il a été

choisi de ne pas utiliser la carte des indices de 1989 même si en principe, tous les mouvements de terrain qui ont servi à établir cette carte, ont, eux, bien été pris en compte.

Carte des instabilités de 2009

Cette carte résulte d'une approche purement experte de la susceptibilité aux glissements de tel ou tel couple litho-stratigraphique, sans prise en compte des études de constructibilité et des événements de référence. Les paramètres retenus dans cette étude étant de notre point de vue, discutables (Cf. rapport RP-59946-FR), nous avons choisi de ne pas en tenir compte.

4.1.3. Paramètres pris en compte

Notre démarche est dite heuristique car basée sur l'expérience et les phénomènes de référence. La caractérisation et l'évaluation des critères visant à déterminer la susceptibilité au glissement sont établies à partir d'une démarche d'expert basée sur :

- la connaissance des phénomènes régionaux et sur l'analyse des événements passés et actuels ;
- Les informations contenues dans les 92 études de constructibilité et carte d'aléa à petite échelle qui ont concerné plusieurs centaines de sites différents dans des contextes litho-morphologiques variés. L'examen de ces études a permis de compléter la base de données sur les mouvements de terrain et d'autre part, de déterminer pour chaque formation, en absence de mouvement de terrain déclaré, les limites de pente habituellement considérées comme constructibles par les géotechniciens

Les deux paramètres croisés ont donc été :

- la géologie, dont on a vu au § précédent qu'elle conditionne directement la fréquence et l'intensité des instabilités ; c'est pourquoi, il est important d'établir des classes géologiques aussi distinctes que possible ;
- la pente ; la consultation des études de sol et la reconnaissance de terrain de la plupart des sites de glissement a permis de définir, pour chaque formation géologique, les contextes de pente favorables au déclenchement de ces mouvements. Le rôle de ce paramètre est toutefois à pondérer car d'une part, le MNT disponible (pas de 25 m) ne reflète pas toujours les conditions réelles de déclenchement du mouvement. D'autre part, la raideur de la pente n'est pas systématiquement un facteur aggravant, certaines formations, étant favorables à l'apparition de glissements dans des pentes faibles ($\leq 10^\circ$).

Pour effectuer le traitement des données, nous avons utilisé le logiciel ARCGIS qui permet de croiser des données géologiques avec des classes de pentes au format raster. Les fichiers ont ensuite été retranscrits au format vecteur MAPINFO qui est le logiciel utilisé par la DDT du Rhône.

4.2. ELABORATION D'UNE CARTE DEPARTEMENTALE HARMONISEE DES CLASSES LITHOLOGIQUES

Afin de disposer d'une information géologique pertinente au regard de l'objectif visé, nous avons exploité la carte géologique harmonisée à 1/50 000 du département du Rhône.

Cette carte décrit les 173 formations géologiques couvrant l'ensemble du département. Il n'était bien entendu pas possible ni pertinent de conserver en l'état autant de détail et ces formations ont donc fait l'objet, en fonction de leur description lithologique et/ou de leur échelle stratigraphique, d'un regroupement en classes lithologiques jugées homogènes à l'échelle départementale car susceptibles de refléter un comportement géotechnique similaire. Nous avons choisi de conserver un grand nombre de formations (42) de façon à conserver la possibilité de différencier ces formations du point de vue de leur comportement géotechnique.

Il ne s'agit pas d'un travail automatique car plusieurs formations ont fait l'objet, pour les besoins de l'étude, d'un redécoupage afin d'améliorer la pertinence du rendu final. Cela concerne surtout les formations meubles (colluvions, alluvions anciennes, altérites, etc.) recouvrant des formations jugées sensibles comme les marnes du Trias, du Jurassique et de l'Oligocène.

Il est à noter que certaines formations sont identiques aux formations argileuses utilisées pour la réalisation de la carte d'aléa retrait-gonflement du Rhône.

A l'exception des formations géologiques intrinsèquement meubles (argiles de l'Oligocène, alluvions fluviatiles, etc.), ce sont en général les formations superficielles, résultant de l'altération d'une formation « mère » plus ou moins rocheuse qui sont impliquées dans les glissements de terrain. Or, ces formations dites « superficielles » d'altération du substratum ont été diversement prises en compte sur les cartes géologiques à 1/50 000^{ème} en fonction de l'époque à laquelle lesdites cartes ont été réalisées et de la sensibilité des géologues-cartographes qui élaboraient souvent des cartes de substratum. Dans la classification présentée ci-après, qui résulte uniquement des données des différentes cartes géologiques, on trouvera donc des formations meubles – superficielles ou non – classées en fonction de leur degré d'argilosité et des formations plus ou moins « indurées » qui sont aussi susceptibles de produire des glissements dans le cas assez courant où la couverture d'altération n'est pas signalée sur la carte géologique. Bien évidemment, la nature du substratum et notamment sa capacité à produire ou non des argiles d'altération conditionne directement les choix effectués dans la classification lithologique.

Au final, la liste des 42 classes lithologiques (Illustration 16) retenues est la suivante :

- Alluvions fluviatiles récentes à actuelles : Elles regroupent des terrains variés constitués de sables, de galets et d'argiles charriés au cours de l'ère

quaternaire par le Rhône, la Saône, le Gier, l'Azergues et leurs multiples affluents.

- Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum indifférencié : Il s'agit d'alluvions anciennes composées d'un mélange de galets, d'argiles et de sables apportés durant les périodes de glaciation du Quaternaire. Ces formations reposent sur un substratum a priori non argileux.
- Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène : Il s'agit d'alluvions anciennes composées d'un mélange de galets, d'argiles et de sables apportés durant les périodes de glaciation du Quaternaire. Ces formations reposent sur un substratum potentiellement argileux et a priori favorable aux instabilités de terrain.
- Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur : il s'agit d'une alternance d'argiles, de schistes et de grès, avec couches de houille et niveaux de conglomérats présents dans le bassin houiller de Sainte-Foy-l'Argentière. L'épaisseur totale de la formation est supérieure à 600 m et pourrait même localement dépasser 1000 m.
- Brèches, schistes noirs et grès du Stéphaniens : ce sont des terrains houillers comportant des brèches à gros blocs anguleux, des schistes noirs et des grès plus ou moins grossiers. L'épaisseur de la formation peut dépasser 1000 m.
- Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur : il s'agit d'un calcaire marneux compact grisâtre ou jaunâtre (40 à 100 m) séparé par des interlits marneux. Au-dessus des calcaires, on observe souvent un niveau de marnes ou de calcaire argileux (1 à 2 m).
- Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique : Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), il s'agit d'un calcaire oolithique blanc (épais de 50 à 60 m) aussi appelé « Pierre de Lucenay » lorsqu'elle était exploitée en carrière. Les fractures dans le calcaire peuvent être remplies par de l'argile sidérolithique et/ou ces calcaires peuvent être recouverts par de l'argile d'altération.
- Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien : Les calcaires de l'Aalénien largement utilisés en Beaujolais pour la construction, sont devenus célèbres pour leur teinte caractéristique en « pierres dorées ». Cependant, l'examen des notices de cartes révèle que l'Aalénien peut comporter quelques passées marneuses susceptibles de produire des argiles par altération.
- Calcaires lités de l'Oxfordien : ce sont des calcaires fins blancs, à débit en plaquettes.

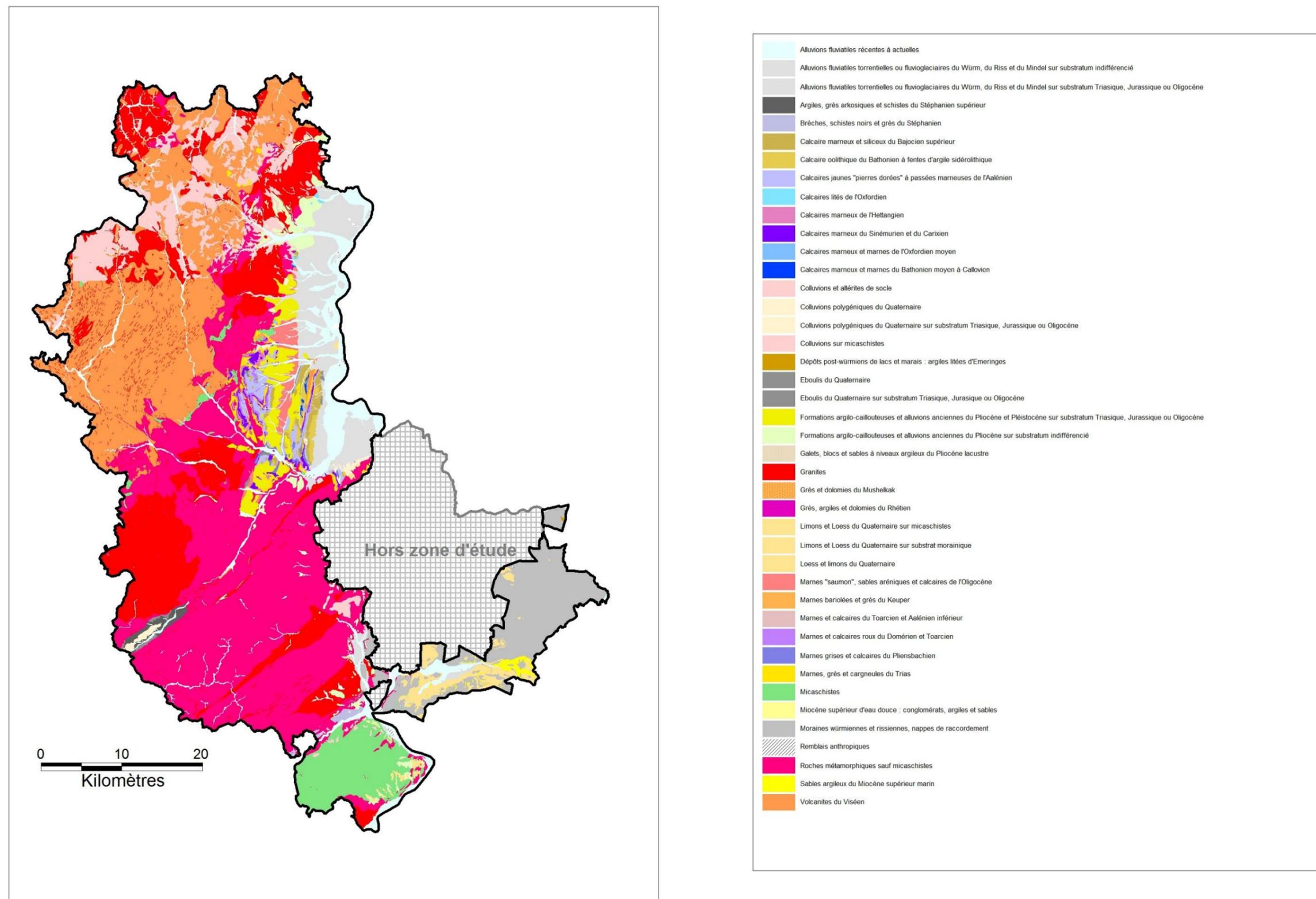


Illustration 16 : Les quarante-deux classes lithologiques retenues pour l'élaboration de la carte de susceptibilité aux glissements de terrain

- Calcaires marneux de l'Hettangien : Ce faciès d'une vingtaine de mètres d'épaisseur montre d'assez grandes disparités lithologiques d'une feuille à l'autre. Il s'agit de marnes ocreuses et de calcaires plus ou moins marneux en épaisseur relative variable. Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), les marnes peuvent être absentes.
- Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien : Même s'il existe quelques différences entre les différentes feuilles géologiques couvrant le Beaujolais, ce sont en général 20 à 30 m de calcaires à grains de quartz et de calcaires à gryphées contenant des passages marneux au niveau du Carixien.
- Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen : Cette formation n'est représentée que sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674) où il s'agit d'un calcaire marneux gris bleuté et de marnes. Dans le sondage de Saint-Trivier, l'épaisseur de cette formation est de 113 m.
- Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen à Callovien : sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674). Il s'agit d'une série complexe de calcaires marneux et de marnes à teinte beige ou rose plus ou moins foncé avec localement des bancs lenticulaires à oolithes ferrugineuses. Dans le sondage de Saint-Trivier, l'épaisseur de cette formation est de 111 m et correspond à des argiles grises à intercalations de calcaire glauconieux.
- Colluvions et altérites de socle : cette couche contient toutes les altérations et colluvions de roches volcaniques, plutoniques et métamorphiques signalées sur les cartes géologiques. La nature lithologique de la formation est variable, parfois sableuse (cas d'un « gore » propre), souvent sablo-argileuse voire carrément argileuse (altération des gneiss).
- Colluvions polygéniques du Quaternaire : Il s'agit de formations de remaniement, en général peu épaisses (quelques mètres), issues du démantèlement de formations diverses. Elles se distinguent par leur hétérogénéité lithologique : cailloutis, sables, argiles en mélange. Les colluvions exclusivement issues du socle métamorphique ne figurent pas dans cette couche. De cette façon, les colluvions figurant dans cette sélection sont principalement d'origine calcaire ou de formations en mélange (colluvions d'alluvions anciennes et colluvions de socle).
- Colluvions polygéniques du Quaternaire sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène : Il s'agit de formations de remaniement, en général peu épaisses (quelques mètres), issues du démantèlement de formations marneuses ou marno-calcaire du Trias, du Jurassique moyen et de l'Oligocène. Ces formations sensibles ont fait l'objet d'un découpage spécifique afin de les différencier.

- Colluvions sur micaschistes : il a été décidé de traiter spécifiquement cette formation en raison de la relative sensibilité des micaschistes aux phénomènes de glissements.
- Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes : Il s'agit principalement d'un affleurement argilo-limoneux d'origine lacustre de moins d'un mètre de haut sur quelques mètres de large à la sortie nord-est du village d'Emeringes (Beaujeu – 649).
- Eboulis du Quaternaire : ils apparaissent sous la forme d'un manteau discontinu, parfois épais et soliflué, de terre argileuse, de loess et limons enrobant des fragments de calcaire ou des galets de toute nature sur les versants et à leur pied. Le substratum ne présente pas de sensibilité particulière aux phénomènes de glissements.
- Eboulis du Quaternaire sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène : Au contraire de la formation précédente, le substratum présente un caractère argileux prépondérant, favorable aux glissements.
- Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène sur substratum indifférencié : ce sont des formations hétérogènes constituées de sables, de galets et d'argile en proportion très variable. Ces alluvions reposent sur un substratum indifférencié ou jugé non sensible aux phénomènes de glissement.
- Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène : Il s'agit de la formation précédente avec une proportion en argile jugée plus élevée du fait de la présence d'un substratum présentant un caractère marneux ou argileux.
- Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre : Sur la carte d'Amplepuis (673), cette formation correspond à des galets et blocailles siliceuses dans une matrice de sable quartzo-feldspathique, entrecoupés de niveaux argileux ou silteux de quelques décimètres d'épaisseur.
- Granites : cette couche contient toutes les zones pour lesquelles le substratum est de nature plutonique (granite, diorite, microdiorite, etc.)
- Grès et dolomies du Muschelkak : Il s'agit d'un banc de dolomie rose de 4 à 8 m d'épaisseur dont les niveaux inférieurs sont constitués de grès.
- Grès, argiles et dolomies du Rhétien : formation très hétérogène composée de dolomies, de carneules, d'argiles, de grès, de calcaire gréseux et de schistes gréseux. L'épaisseur de l'ensemble atteint 20 à 50 m sur la feuille de Macon (625).

- Limons et Loess du Quaternaire : ce sont des formations résultant du démantèlement d'une formation rocheuse ou d'apports éoliens. Cette couche contient tout ce qui se rattache à la catégorie des limons au sens géotechnique du terme, de part une granulométrie spécifique.
- Limons et Loess du Quaternaire sur micaschistes : idem que précédemment sur substrat de micaschistes.
- Limons et Loess du Quaternaire sur substrat morainique : idem que précédemment sur substrat morainique.
- Marnes "saumon", sables aréniques et calcaires de l'Oligocène : il s'agit de dépôts conglomératiques constitués de blocs de calcaires, d'arkoses triasiques et de quelques galets de roches cristallines locales très altérées, le tout dans une matrice sablo-argileuse relativement compacte. Dans le sud du département (Amplepuis - 673, Villefranche-sur-Saône - 674), le faciès conglomératique/bréchiq est mêlé à des lambeaux de marnes « saumon ».
- Marnes bariolées et grès du Keuper : Cette formation argileuse n'est présente que sur la carte d'Amplepuis (673) où elle est constituée :
 - de 10 m de marnes sèches versicolores, en général lie-de-vin et verte ;
 - puis de grès en « chou-fleur » à ciment carbonaté avec des passées conglomératiques (épaisseur non précisée).
- Marnes et calcaires du Toarcien et Aalénien inférieur : formation d'une dizaine de mètres d'épaisseur à dominantes de marnes entrecoupés d'interlits plus calcaire.
- Marnes et calcaires roux du Domérien et Toarcien : cette formation est très majoritairement marneuse. Le Domérien est représenté par un calcaire très souvent masqué (épaisseur évaluée à une dizaine de mètres) et des marnes grises (plus de 50 m). Le Toarcien correspond à 5 à 10 m de marnes avec des bancs de calcaire marneux.
- Marnes grises et calcaires du Pliensbachien : Le Pliensbachien inférieur est décrit comme un calcaire argileux à grain fin en bancs décimétriques séparés par des marnes d'égale épaisseur. L'épaisseur de la série varie entre 3 et 7 m. Le Pliensbachien supérieur (ou Domérien) correspond à une épaisse série de marnes gris-bleu (50-90 m) puis à une alternance de bancs calcaire de 20 à 30 cm et de niveaux marneux sur une épaisseur de 5 m.
- Marnes, grès et cargneules du Trias : ce sont des grès voire des cargneules ou des calcaires dolomitiques alternant avec des niveaux de marnes. L'épaisseur de la couche est très variable suivant les secteurs de quelques mètres à plus de 50 m.

- Micaschistes : Ils affleurent principalement dans la région de Givors et en rive droite du Rhône au sud de cette ville.
- Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables : En bordure occidentale du bassin (Lyon), c'est le caractère argileux qui domine. Les formations argilo-sableuses du Miocène se retrouvent sur les versants de la Croix-Rousse et de Fourvière. Tout au long de la côtière de Dombes, cette formation argileuse est fréquemment entrecoupée ou surmontée de sables et correspondrait au Pliocène inférieur (dit de faciès Bressan).
- Moraines würmiennes et rissiennes, nappes de raccordement : Ces formations sont issues du démantèlement des Alpes par les glaciers qui ont recouvert la région de Lyon durant les grandes glaciations du Würm, Riss et Mindel. On distingue en général deux faciès : la moraine argileuse (argile à blocs) et la moraine caillouteuse. Les épaisseurs sont très variables et peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres.
- Remblais, dépôts anthropiques : sous ce terme, on a regroupé tous les matériaux de terrassement d'origine humaine à savoir les remblais, les dépôts divers, les décharges et les déblais de mine.
- Roches métamorphiques sauf micaschistes : ce sont toutes les roches métamorphiques (gneiss, leptynites, métagrauwackes, etc.) rattachées au complexe métamorphique des Mont du Lyonnais, aux séries d'Affoux et du Pilat. Ces roches sont signalées sans altération particulière en surface. Il va de soi que cette appréciation peut varier d'une carte géologique à l'autre en fonction de la sensibilité du cartographe ou de l'époque à laquelle la carte a été réalisée.
- Sables argileux du Miocène supérieur marin : Sur la carte de Givors (722), ce sont des sables granitiques peu argileux. Sur la carte de Bourgoin-Jallieu (723), la formation correspond à des sables fins micacés et calcaires (molasse) à niveaux argileux et à galets.
- Métavolcanites : il s'agit principalement des métavolcanites (tufs, dolérite, etc.) de la série du Beaujolais, des tufs anthracifères, de Montagny, de Joux et de St Marcel l'Eclairé.

4.3. DEFINITION DE CLASSES DE PENTE

Le Modèle Numérique de Terrain utilisé est celui de l'IGN. C'est un MNT au format raster (maillage) au pas de 25 mètres qui couvre la totalité du département du Rhône.

Le premier travail a consisté à établir une carte régionale des pentes sur le logiciel ARCGIS puis à effectuer un reclassement de celles-ci selon des valeurs adaptées à l'analyse de la susceptibilité au glissement de terrain.

Les pentes ont ainsi été définies en 7 classes (0 à 5°, 5 à 10°, 10 à 15°, 15 à 20°, 20 à 25°, 25 à 30° et plus de 30°).

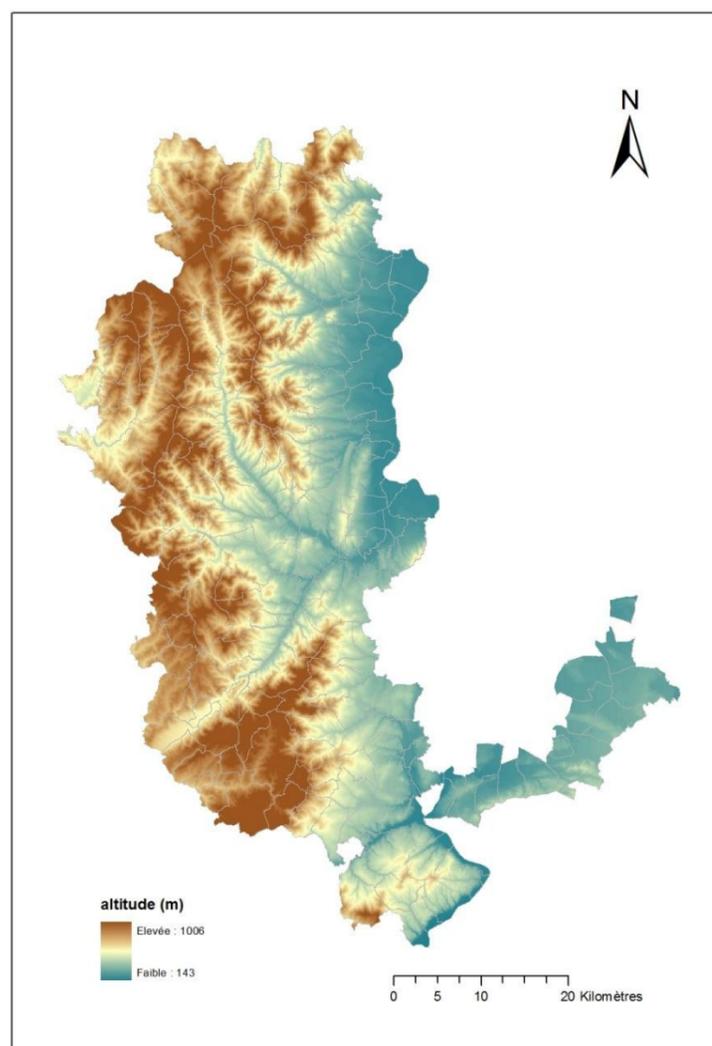
4.4. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

La susceptibilité aux glissements de terrain est obtenue en croisant les 42 classes lithologiques avec les 7 classes de pente.

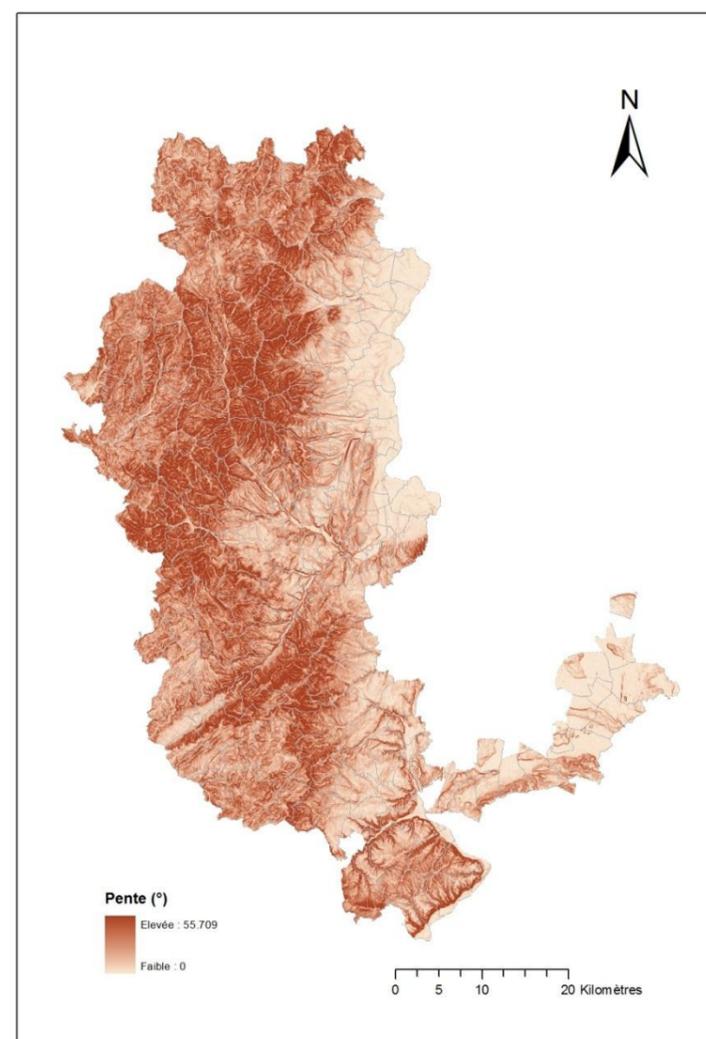
On obtient ainsi 294 couples lithologie/pente auxquels on attribue un niveau de susceptibilité aux glissements de terrain qui est fonction à la fois de la fréquence des événements dans tel ou tel contexte (d'après la BDVMT et les études de constructibilité), des limites de constructibilité en terme de pente définies par les géotechniciens dans les études, mais aussi d'une analyse à dire d' « expert ».

L'analyse à dire d'expert représente l'expérience « terrain » du géologue. Dans le cas présent, elle est essentiellement basée sur l'inspection des différents sites de glissement qui dans leur ensemble ont été visités. Cette expertise s'appuie également sur les expertises réalisées par le BRGM en région Rhône-Alpes (souvent en situation de crise) ainsi que sur divers rapports (étude de constructibilité, cartes d'aléas) mis à notre disposition par les services de l'Etat. Ces différentes données ont permis d'attribuer une note de susceptibilité à chaque couple litho-morphologique.

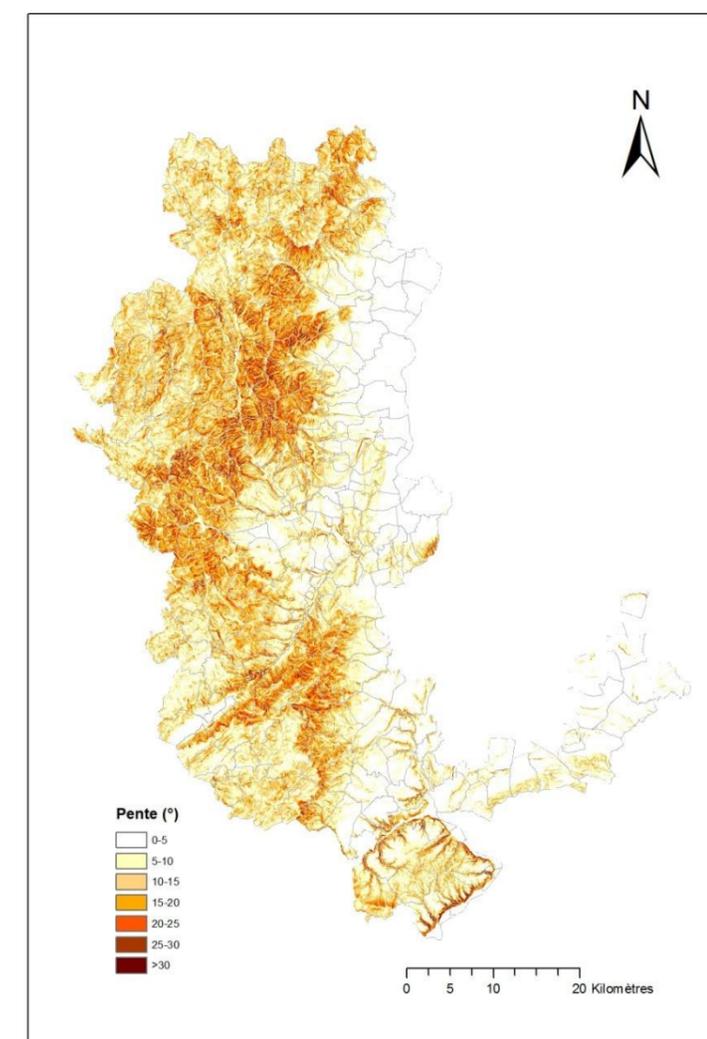
- Note 0 : susceptibilité très faible à nulle
- Note (1) : susceptibilité faible
- Note (2) : susceptibilité moyenne
- Note (3) : susceptibilité forte



MNT au pas de 25 m



Carte des pentes



Carte des pentes reclassées

Illustration 17 : Traitement du MNT

Quelques points fondamentaux ont permis de caler l'attribution des notes de susceptibilité :

- D'une manière générale, à la lecture des rapports, il est rare que le géotechnicien s'engage sur la constructibilité d'une parcelle au-delà de 20° de pente. Cette limite peut atteindre 25° dans les granites par exemple. En effet, au-delà de cette limite de pente, les contraintes en termes de terrassement sont importantes et potentiellement source de désordres induits s'ils sont mal exécutés.
- Les formations de socle (hors micaschistes) et les métavolcanites qui concernent la majeure partie de la zone d'étude sont à l'origine de très peu de glissement de terrain y compris dans les secteurs où les colluvions/altérites sont présentes. Il y a peu de mouvements naturels et de mouvements induits. On observe cependant des phénomènes de reptation dans les zones hydromorphes. A priori, ces phénomènes sont d'ampleur faible.
- Les formations du Trias, du Jurassique moyen et de l'Oligocène présentes en Bas-Beaujolais sont à l'origine de la plupart des glissements de terrain observés dans le Rhône. Cela concerne en particulier les formations majoritairement argileuses ainsi que les colluvions, alluvions anciennes reposant sur ces formations. Dans certains cas, on observe des glissements de terrain dans des pentes inférieures à 10°.
- Les micaschistes présents dans la région de Givors sont à l'origine de glissements mais surtout dans des pentes relativement soutenues (>15°) ;
- Contrairement aux études précédentes, toutes les formations géologiques du Rhône ont été traitées comme étant potentiellement susceptibles de glisser. En effet, la carte géologique ne représentant pas systématiquement la couverture altéritique ou les colluvions présentes en surface, il est important de prendre en compte forfaitairement que ces formations sont potentiellement présentes sur les formations réputées indurées (calcaires, granites, gneiss, etc.).

Numéro	Formation	Pente 0-5°	Pente 5-10°	Pente 10-15°	Pente 15-20°	Pente 20-25°	Pente 25-30°	Pente >30°
1	Alluvions fluviales récentes à actuelles	0	1	2	2	3	3	3
2	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum indifférencié	0	1	2	2	3	3	3
3	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène	0	2	2	2	3	3	3
4	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur	0	1	2	2	3	3	3
5	Brèches, schistes noirs et grès du Stéphaniens	0	0	1	2	3	3	3
6	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	0	0	1	2	2	3	3
7	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	0	0	1	2	2	3	3
8	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	0	0	1	2	2	3	3
9	Calcaires lités de l'Oxfordien	0	0	1	2	2	3	3
10	Calcaires marneux de l'Hettangien	0	1	2	2	3	3	3
11	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	0	1	2	2	3	3	3
12	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	0	1	2	2	3	3	3
13	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen à Callovien	0	1	2	2	3	3	3
14	Colluvions et altérites de socle	0	1	2	2	2	3	3
15	Colluvions polygéniques du Quaternaire	0	1	2	2	3	3	3
16	Colluvions polygéniques du Quaternaire sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène	0	2	2	2	3	3	3
17	Colluvions sur micaschistes	0	1	2	2	3	3	3
18	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	0	1	2	2	3	3	3
19	Eboulis du Quaternaire	0	1	2	2	3	3	3
20	Eboulis du Quaternaire sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène	0	2	2	2	3	3	3
21	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène	0	2	2	2	3	3	3
22	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène sur substratum indifférencié	0	1	2	2	3	3	3
23	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	0	0	1	2	3	3	3
24	Granites	0	0	1	1	2	3	3
25	Grès et dolomies du Mushelk	0	0	1	1	2	3	3
26	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	0	1	2	2	3	3	3
27	Limons et Loess du Quaternaire sur micaschistes	0	1	2	2	3	3	3
28	Limons et Loess du Quaternaire sur substrat morainique	0	1	2	2	3	3	3
29	Loess et limons du Quaternaire	0	1	1	2	3	3	3
30	Marnes "saumon", sables aréniques et calcaires de l'Oligocène	0	1	2	2	3	3	3
31	Marnes bariolées et grès du Keuper	0	1	2	2	3	3	3
32	Marnes et calcaires du Toarcien et Aalénien inférieur	0	1	2	2	3	3	3
33	Marnes et calcaires roux du Domérien et Toarcien	0	2	2	2	3	3	3
34	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	0	2	2	2	3	3	3
35	Marnes, grès et cargneules du Trias	0	2	2	2	3	3	3
36	Micaschistes	0	1	2	2	3	3	3
37	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	0	1	2	2	3	3	3
38	Moraines würmiennes et rissiennes, nappes de raccordement	0	1	2	2	3	3	3
39	Remblais anthropiques	0	1	2	2	3	3	3
40	Roches métamorphiques sauf micaschistes	0	0	1	2	2	3	3
41	Sables argileux du Miocène supérieur marin	0	0	1	2	3	3	3
42	Métavolcanites	0	0	1	2	2	3	3

Illustration 18 : Croisement lithologie/pente afin d'obtenir un niveau de susceptibilité aux glissements de terrain

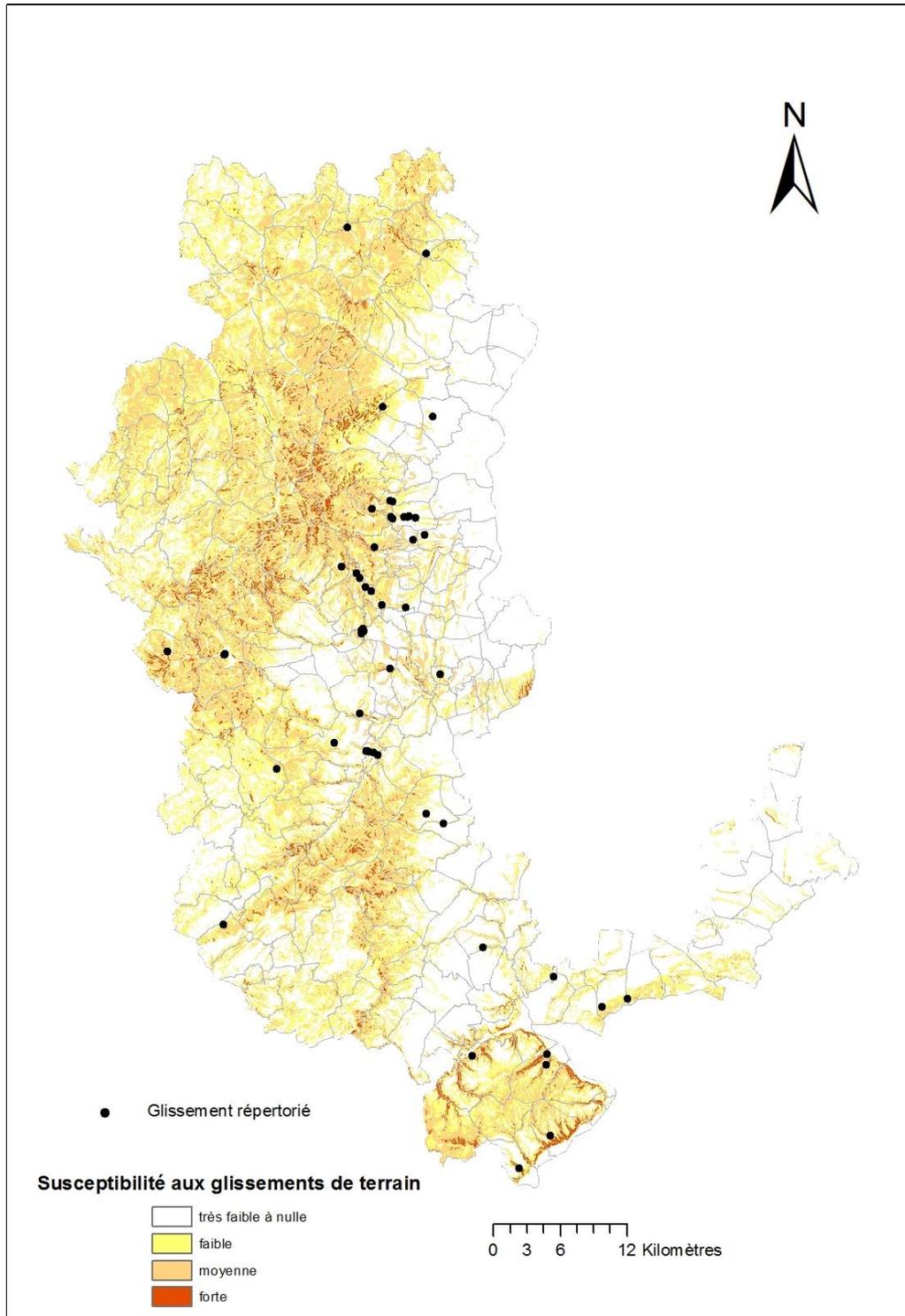


Illustration 19 : Carte de susceptibilité aux glissements de terrain

4.5. COMMENTAIRES SUR LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX GLISSEMENTS DE TERRAIN

La répartition surfacique des zones exposées aux mouvements de terrain est donnée dans le tableau suivant :

Susceptibilité	Très faible à nulle	faible	moyenne	forte
Surface concernée (km²)	1351,64	697.4	638.2	67.76
% surface départementale	49 %	25,3 %	23,2 %	2,5 %

Illustration 20 : Répartitions surfaciques des zones exposées aux mouvements de terrain

On constate qu'environ 74,3 % de la zone d'étude est concernée par une susceptibilité aux glissements nulle à faible alors qu'environ 25,7 % est concernée par une susceptibilité moyenne à forte.

Comme la carte résulte de la compilation des cartes géologiques (majoritairement à 1/50 000^{ème}) et du MNT au pas de 25 m, on doit considérer que la cartographie proposée n'est pas valable à une échelle supérieure à celle du 1/25 000^{ème}. En effet, la carte possède des limites d'utilisation dues à la qualité de l'information disponible sur les cartes géologiques et à l'impossibilité de prendre en compte un certain nombre de paramètres utilisés pour la réalisation de PPR (indices de surface, présence de sources, etc.). Dans ces conditions, la transposition de la carte de susceptibilité dans les Plans Locaux d'Urbanisme est à proscrire. Le fond de plan devant rester compatible avec l'échelle de réalisation de la carte, il est souhaitable de présenter la carte de susceptibilité sur un fond de plan adapté (carte IGN à 1/25 000).

Compte tenu du mode de réalisation de la carte, celle-ci ne doit pas être utilisée pour définir directement la constructibilité d'un terrain mais plutôt pour orienter les études de constructibilité. Afin de fixer un cadre pour la réalisation de ces études en fonction du niveau de susceptibilité des terrains, il est proposé d'adopter le canevas suivant :

Susceptibilité aux glissements	Très faible à nulle	Faible	Moyenne	Forte
Phénomènes attendus	A priori, aucun	Glissements rares, de faible ampleur	Glissements possibles, toutes intensités	Contraintes topographiques fortes, terrain a priori peu favorable à la construction
Etude de constructibilité	A priori, sans objet	Eventuelle selon l'existence d'indices d'instabilité ou de projets de terrassement importants	Recommandée dans tous les cas de figure	Indispensable

Illustration 21 : Propositions d'actions en fonction du niveau de susceptibilité aux glissements

La présente carte peut s'utiliser à la place des précédentes cartes élaborées par le CETE de Lyon. Il n'est pas nécessaire de consulter des documents supplémentaires comme le MNT.

5. Cartographie de la susceptibilité aux coulées de boue

5.1. ELABORATION DU MODELE DE DRAINAGE

Le mécanisme classique de la coulée de boue consiste en la reprise de produits de glissements par un flux hydrique. En général, il faut que ce flux hydrique soit suffisamment important pour entraîner une reprise et un « écoulement » des matériaux vers l'aval. A contrario, le flux hydrique ne doit pas non plus être trop important par rapport à la masse solide sinon on parle alors de crue hyperconcentrée.

Le phénomène que l'on cherche à cartographier ici s'apparente aux coulées de boue et non aux crues hyperconcentrées. On peut rencontrer un flux hydrique suffisant pour la production d'une coulée de boue, dès lors que la surface drainée atteint une valeur minimale.

Compte tenu de notre expérience, nous choisissons de fixer cette surface minimale à 2,5 Ha (soit 40 pixels). A contrario, si le bassin versant est trop grand, la phase liquide devient prépondérante et on passe alors en crue hyperconcentrée. Compte tenu de notre expérience, nous choisissons de fixer la surface drainée maximale à 25 Ha.

Pour élaborer à l'aide d'ARCGIS, un modèle de drainage, il suffit d'utiliser les fonctions « *direction de flux* » et « *accumulation de flux* » dans l'outil « *spatial analyst* » après avoir modélisé les cuvettes générées par les imperfections du MNT à l'aide de l'outil « *fill* ». Ce modèle de drainage symbolise en quelque sorte, les zones de concentration des écoulements (thalwegs). Il suffit ensuite de procéder à un reclassement des surfaces drainées de façon à ne faire apparaître que les surfaces drainées comprises entre 2,5 et 25 Ha.

Ces deux seuils surfaciques, sont tirés de notre expérience en matière de cartographie des aléas géologiques à grande échelle (région Auvergne notamment) mais n'ont pas pu faire l'objet d'un ajustement sur des phénomènes connus dans le Rhône, faute de phénomène de référence suffisamment bien décrit.

5.2. ELABORATION D'UNE CARTE DES PENTES

A partir de la carte des pentes du Rhône, on effectue simplement un reclassement en 3 classes (0 à 8°, 8 à 12° et plus de 12°). En fait, on considère que des coulées peuvent survenir au-delà de 12° de pente mais peuvent parfois se propager sur des pentes comprises entre 8 et 12°. En revanche, en dessous de 8° de pente, une coulée ne se propage plus et s'arrête. Si toutefois elle se propage, c'est que la phase liquide

est telle que le phénomène s'apparente d'avantage à une crue hyperconcentrée (= inondation), phénomène qui n'est pas étudié ici.

5.3. PRISE EN COMPTE D'UN PARAMETRE DE PONDERATION

Afin de hiérarchiser la susceptibilité aux coulées de boue, nous avons recherché à introduire un paramètre de pondération.

Selon le mécanisme des coulées décrit au § 5.1, il serait logique de rechercher un paramètre de pondération au niveau de la susceptibilité aux glissements de terrain en partant du principe que plus celle-ci est élevée au sein du bassin versant parcouru par le drain, plus le drain est susceptible de produire des coulées de boue. Cependant, le mécanisme de reprise des produits de glissement par de l'eau de ruissellement n'est pas un phénomène classiquement rencontré dans le Rhône. On ne dispose en effet d'aucun phénomène de référence de ce type.

A contrario, on rencontre souvent des phénomènes de coulées de boue dans les zones viticoles, où la présence de sols mis à nu dans les coteaux produit des phénomènes d'érosion et d'entraînement de fines par de l'eau de ruissellement, notamment dans les sols sableux (arènes granitiques) présents dans le Beaujolais. Il est d'ailleurs probable que certains des phénomènes observés soient davantage assimilables à des crues hyperconcentrées qu'à des coulées de boue proprement dites.

Dans ces conditions, nous avons jugé plus utile d'isoler les drains traversant la vigne, de façon à faire apparaître un niveau de susceptibilité accru dans ces secteurs. Pour ce faire, nous avons décidé d'isoler les thalwegs traversant au moins 2,5 Ha de vigne et au plus 25 Ha. Ce seuil a été fixé car il revient à considérer une susceptibilité accrue dès lors que le plus petit des bassins versants éligible (2,5 Ha) est entièrement recouvert de vigne ou que le plus grand (25 Ha) est recouvert de vigne sur plus de 10 % de sa surface.

Pour élaborer un modèle de drainage de la zone viticole, on utilise les mêmes fonctionnalités d'ARCGIS que celles décrites au § 5.1 mais cette fois, en utilisant la zone viticole comme un raster de pondération. L'emprise de la zone viticole provient du fichier décrivant la nature des parcelles de sol de l'IGN.

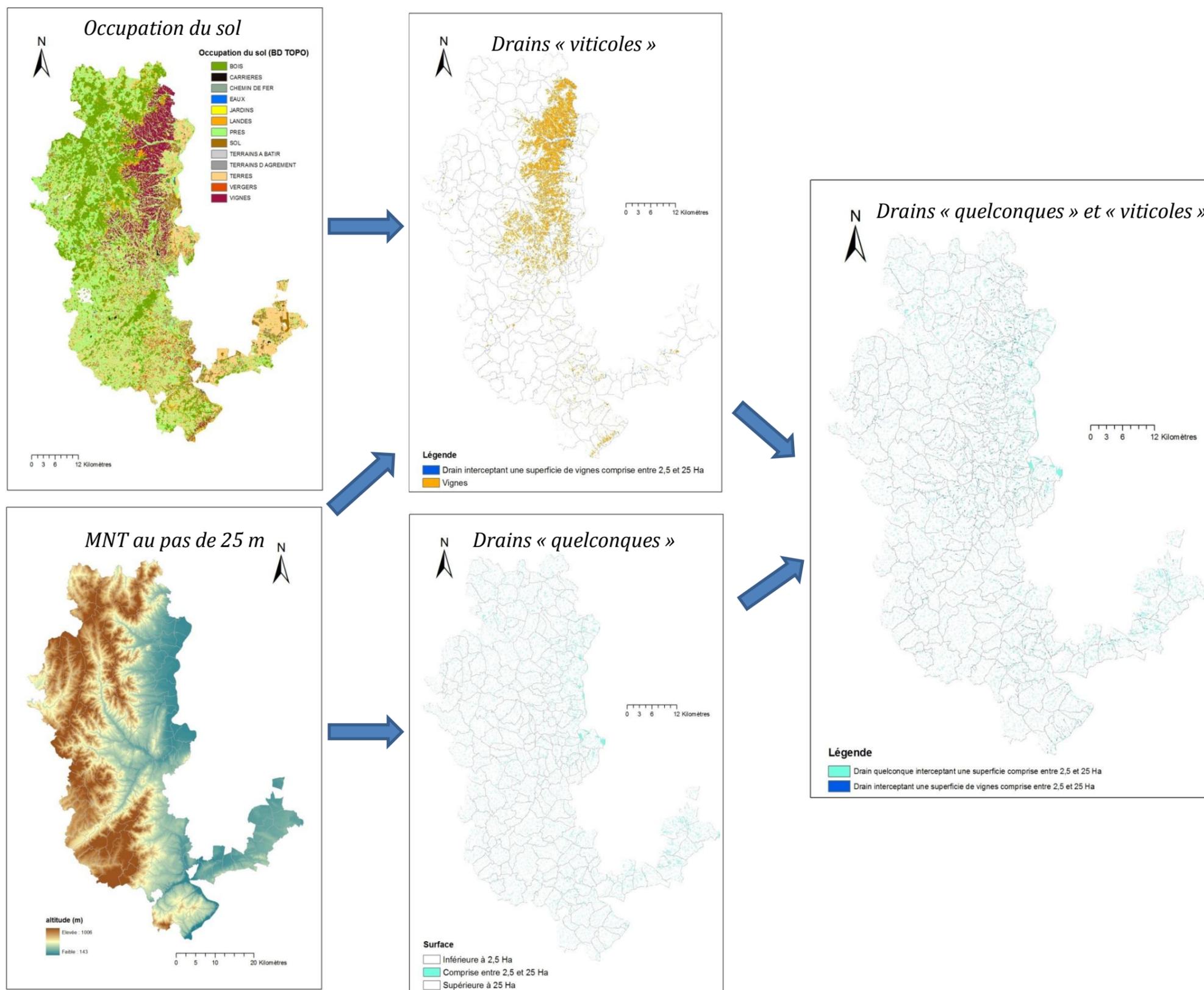


Illustration 22 : Constitution d'une carte des drains à deux niveaux d'entrée

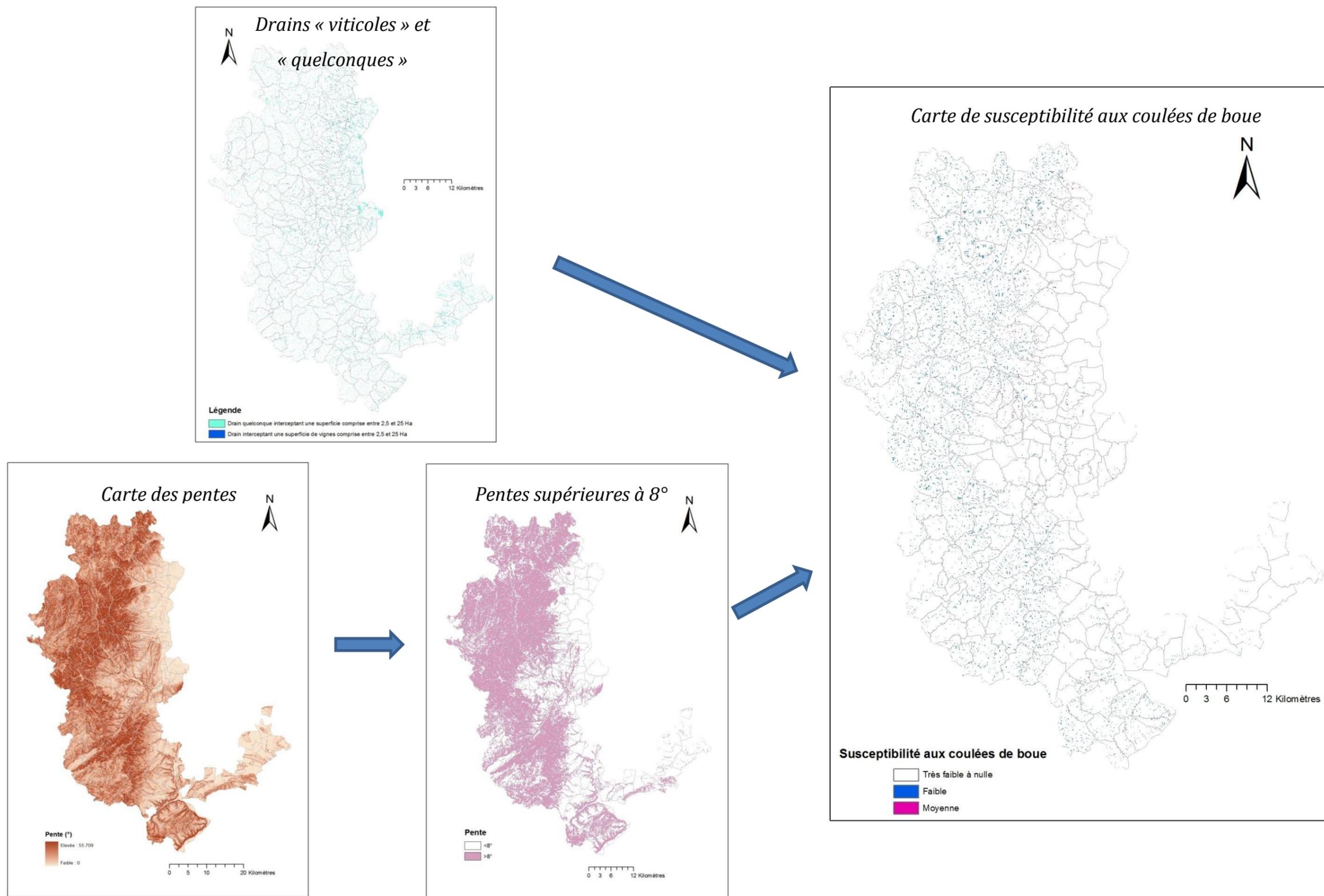


Illustration 23 : Elaboration de la carte de susceptibilité aux coulées de boue

5.4. ELABORATION D'UNE CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX COULEES DE BOUE

Pour élaborer la carte des zones exposées aux coulées de boue, on procède en premier lieu à la superposition de la carte de drainage de la zone d'étude avec la carte de drainage des zones viticoles.

1. surface drainée de nature indifférenciée comprise entre 2,5 et 25 Ha ;

et

2. surface drainée comprise entre 2,5 et 25 Ha dont au moins 2,5 Ha de vignes.

On obtient ainsi une carte des drains à deux niveaux selon la nature de la surface drainée que l'on superpose au critère de pente $> 8^\circ$.

On obtient ainsi une carte des drains potentiellement favorables aux coulées de boue avec deux niveaux de susceptibilité :

- Susceptibilité faible : correspondant à une pente $> 8^\circ$ et une surface drainée comprise entre 2,5 et 25 Ha dont moins de 2,5 Ha de vigne.
- Susceptibilité moyenne : correspondant à une pente $> 8^\circ$ et une surface drainée comprise entre 2,5 et 25 Ha dont plus de 2,5 Ha de vigne.

5.5. COMMENTAIRES SUR LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX COULEES DE BOUE

Le tableau ci-après donne une répartition des surfaces exposées aux coulées de boue dans le département du Rhône.

Susceptibilité aux coulées de boue	Très faible à nulle	Faible	Moyenne
Superficie (km ²)	2710,9	41,5	2,9
Total (%)	98,4 %	1,5 %	0,1 %

Illustration 24 : Répartition des surfaces exposées aux coulées de boue

Comme la carte résulte principalement d'une utilisation du MNT au pas de 25 m, on doit considérer que la cartographie proposée n'est pas valable à une échelle supérieure à celle du 1/25 000^{ème}. Dans ces conditions, la transposition de la carte de susceptibilité dans les Plans Locaux d'Urbanisme est à proscrire. Le fond de plan devant rester compatible avec l'échelle de réalisation de la carte, il est souhaitable de présenter la carte de susceptibilité sur un fond de plan adapté (carte IGN à 1/25 000).

Compte tenu du mode de réalisation de la carte, celle-ci ne doit pas être utilisée pour définir directement l'aléa inhérent au terrain mais plutôt afin d'orienter les études de risques et définir les parades éventuellement nécessaires. Afin de fixer un cadre pour la réalisation de ces études en fonction du niveau de susceptibilité, il est proposé d'adopter le canevas suivant :

Susceptibilité aux coulées	Très faible à nulle	Faible	Moyenne
Phénomènes attendus	A priori, aucun, sauf crues hyperconcentrées (hors étude)	Coulées de boue rares et/ou de faible intensité	Coulées de boue possibles de moyenne intensité
Etude de risques avec définition de parades	A priori, sans objet	Eventuelle selon l'existence d'indices préalables ou de phénomènes passés	Recommandée

Illustration 25 : Propositions d'actions en fonction du niveau de susceptibilité aux coulées de boue

6. Cartographie de la susceptibilité aux éboulements/chutes de blocs

Bien que peu représenté sur la zone d'étude, le phénomène « chutes de blocs », « éboulement » a été traité selon les méthodes employées par le BRGM dans les zones montagneuses :

1. Digitalisation des falaises/carrières signalées sur les cartes IGN à 1/25 000. Les zones digitalisées représentent les zones de départs potentiels des éventuels éboulements/chutes de blocs.
2. Utilisation du logiciel BORA - utilitaire développé par le BRGM sous ARCGIS, qui permet d'obtenir cartographiquement l'aire de propagation des blocs depuis ces falaises, en calant le modèle sur des cas réels.

L'association des zones de départ et des zones de propagation permet d'obtenir les zones susceptibles d'être exposées aux chutes de blocs.

6.1. DIGITALISATION DES ZONES DE FALAISES

Les zones de falaises rocheuses ont été digitalisées à partir des cartes IGN au 1/25 000^{ème}. Ces zones correspondent aux zones représentées comme telles sur les cartes IGN (symbologie spécifique) mais aussi à toutes les zones de pente supérieure à 45°. La digitalisation ne tient pas compte de la hauteur des falaises, ni de l'état de fracturation du rocher. En règle générale, les falaises liées au réseau routier et SNCF n'ont pas été prises en compte. Comme il n'a pas été tenu compte de la hauteur des falaises et de leur état de fracturation, tout affleurement de rocher potentiel signalé sur la carte IGN à 1/25 000 a été considéré comme a priori producteur de blocs. Cette précision est importante car par la suite le modèle BORA, qui n'étudie que la propagation, met exactement au même niveau un aplomb de carrière de 50 m hauteur et un petit affleurement de granite sain. Enfin, il est certain que la carte IGN ne signale pas toutes les falaises existantes mais seulement les principales, donc la digitalisation et le travail qui en résulte est à prendre avec certaines précautions.

La digitalisation des falaises a été faite sur le logiciel MAPINFO sous la forme de polygones. Les polygones ont ensuite été rastérisées sous ARCGIS pour former un continuum de pixels 25 x 25 m. Les falaises ainsi rastérisées représentent les zones de départs potentiels de chutes de blocs.

On utilise le MNT du Rhône et le logiciel BORA pour déterminer l'emprise de terrain concernée par la propagation des blocs.

6.2. LE LOGICIEL BORA

Le BRGM a développé en 1999 un logiciel, nommé BORA, d'aide à la cartographie de l'aléa mouvements de terrain. Ce module a été développé pour répondre à la problématique de la prise en compte de la propagation des mouvements de terrain dans la cartographie de l'aléa. Il est basé sur un modèle empirique des règles de cartographie qui sont de délimiter une bande en « pied de versant ». Cet utilitaire offre la possibilité de délimiter de façon « automatique » des zones de propagation en aval des zones de départ.

Le modèle nécessite d'avoir un grand nombre d'événements définissant un échantillonnage « représentatif » pour pouvoir ajuster le modèle empirique sur des observations de terrain d'une zone d'étude et d'un contexte particulier.

Les données nécessaires issues d'observations de terrain doivent permettre d'évaluer la susceptibilité des zones de départ, mais également (et surtout) les zones de propagation.

Les règles empiriques de base sont les suivantes :

- Une masse quelconque se déplace a priori sur la ligne de plus forte pente,
- Le gain ou la perte d'énergie de la masse en mouvement est fonction de la valeur de la pente,
- L'énergie de la masse est plafonnée,
- Il peut exister une certaine probabilité que la masse s'écarte de la ligne de plus grande pente,
- Cet écart peut, éventuellement, consommer de l'énergie.

Les données de base nécessaires sont :

- Le Modèle Numérique de Terrain,
- Les cartes de susceptibilité à la formation de mouvements de terrain,
- Les paramètres calés sur des cas types concrets.

Les données à traiter sont au format raster, les paramètres sous forme de fonctions et de variables.

Dans un premier temps, le modèle calcule la susceptibilité des terrains au mouvement en tout point du territoire. Cette susceptibilité s'exprime sous forme de probabilité (relative) de rupture en fonction d'un ou plusieurs paramètres donnés (pente, lithologie, déclencheur...).

Les paramètres (Illustration 26) utilisés initialement sont les suivants :

- Les paramètres P1, P2 (pente °) et E1, E2, E3 permettent de définir une fonction énergie de manière très simple.
- Eb est l'énergie de la masse dans la maille située strictement à l'aval. Ec, Ec' correspondent à l'énergie de la masse située dans les mailles latérales (dispersion). Pb est la probabilité que la masse aille dans la maille aval, elle est fonction de Pdisp (probabilité de dispersion).
- Le paramètre donnant l'énergie maximale cumulée possible EMAX,
- L'énergie dissipée avec EDISP : Edisp = 1 veut dire pas de dispersion,
- La prime à l'axe qui force plus ou moins la probabilité le long de l'axe de plus grande pente : Pdisp.
- Pmin est un paramètre permettant de limiter les itérations: le calcul s'arrête lorsque la probabilité d'atteindre une maille est inférieure à cette valeur

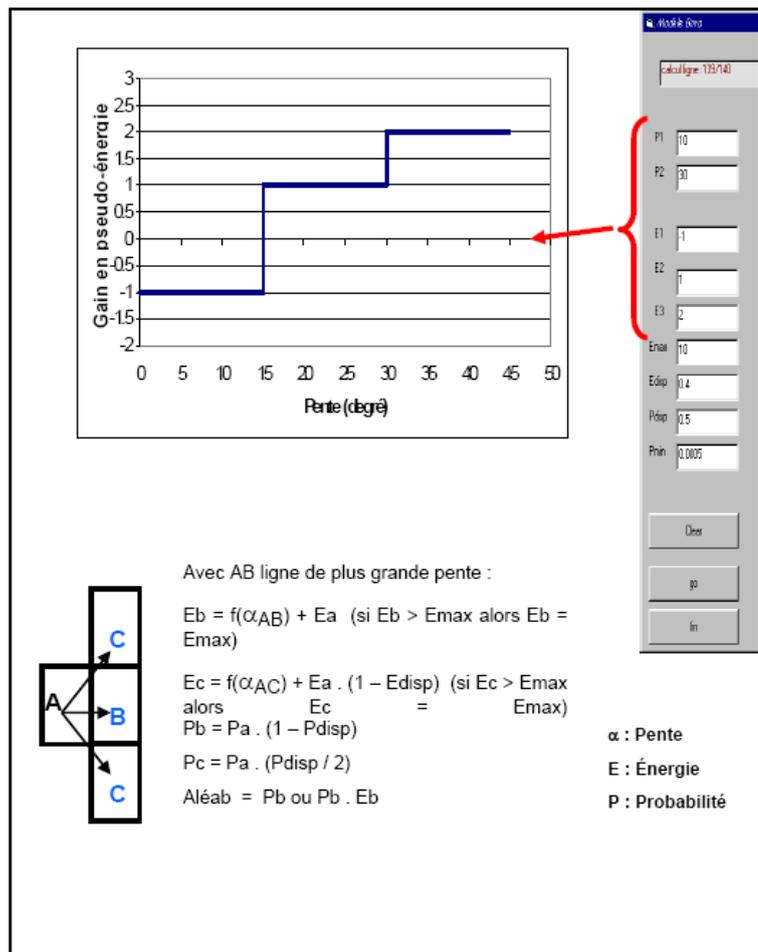


Illustration 26 : Paramètres utilisés par le logiciel BORA

Le calcul s'arrête lorsque:

- L'énergie est inférieure ou égale à 0,
- La probabilité du cheminement est inférieure à un seuil (Pmin).

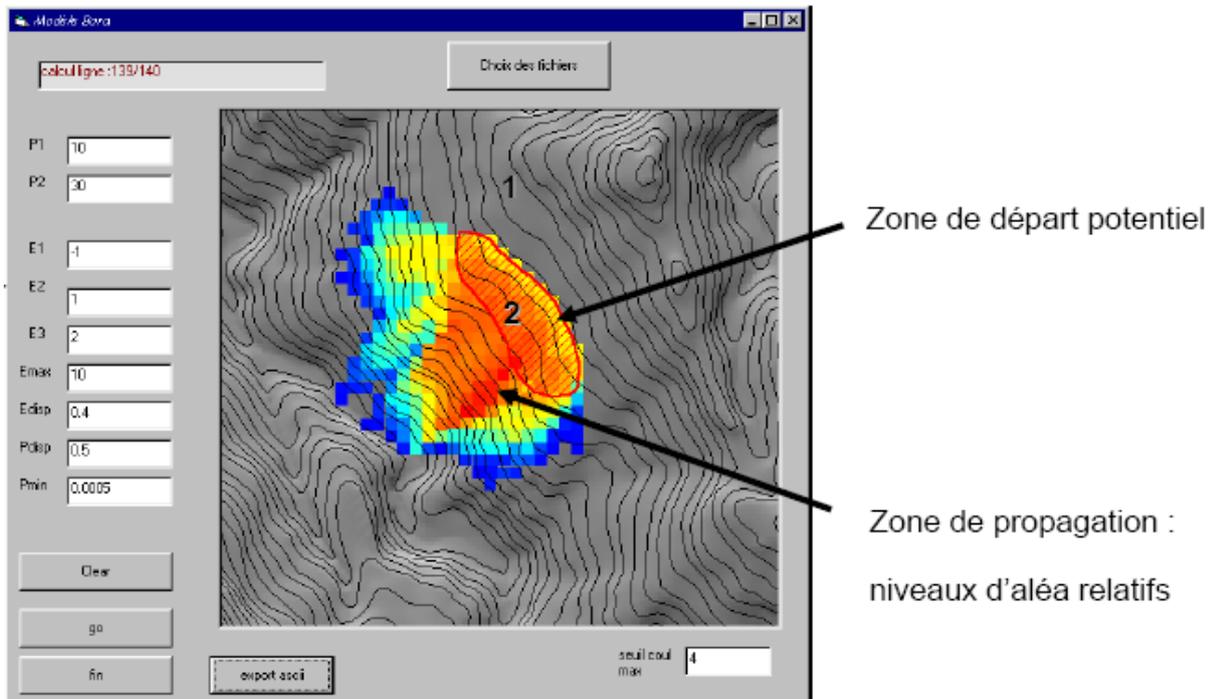


Illustration 27 : Interface graphique de l'utilitaire BORA

Les règles d'utilisation sont :

- Le calage du jeu de paramètres sur un mouvement existant ou sur une simulation avec un outil de modélisation,
- Le contrôle de ce jeu en l'appliquant à d'autres mouvements de terrain (ou d'autres simulations),
- L'analyse critique des résultats en se demandant si on aurait tracé à peu près la même carte sans l'aide de cet outil d'aide à la cartographie, en se basant uniquement sur une approche de type expert.

6.3. LA SIMULATION

La simulation doit se faire en principe en calant le modèle sur des cas réels. Or, dans le cas du Rhône, les phénomènes répertoriés sont très peu nombreux et insuffisamment décrits. Il a donc été choisi d'utiliser forfaitairement les paramètres utilisés pour d'autres études et en particulier pour la réalisation de la carte des zones exposées aux mouvements de terrain en région Auvergne (Rapport BRGM/RP-59085-

Cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain dans le département du Rhône (hors Grand Lyon)

FR) tout en s'assurant a posteriori que les paramètres retenus étaient compatibles avec une cartographie de type « expert ».

Le jeu de paramètres retenu pour la modélisation BORA a donc été le suivant :

Programme Bora - Parametres

P1 30 PA : Prime axe
P2 40 PA 0° 2
E1 -1 PA P1 2 mnt mnt_can_fin
E2 1 PA P2 2 pente pente
E3 2 PA 90° 2 direction dir
EMAX 4 PMIN 0.001 Mvt Falaises_cant
config.txt Configuration

EDISP 0.4 Si EDSISP = 1, pas de dispersion Calcul pente - direction
0 à 1
chemin D:\Travail\carte alea auvergne\Arcgis\Bora Calcul Carte

param par défaut
go exit
 Aléa = P
 Aléa = E x P

Illustration 28 : Jeu de paramètres utilisés pour la simulation BORA

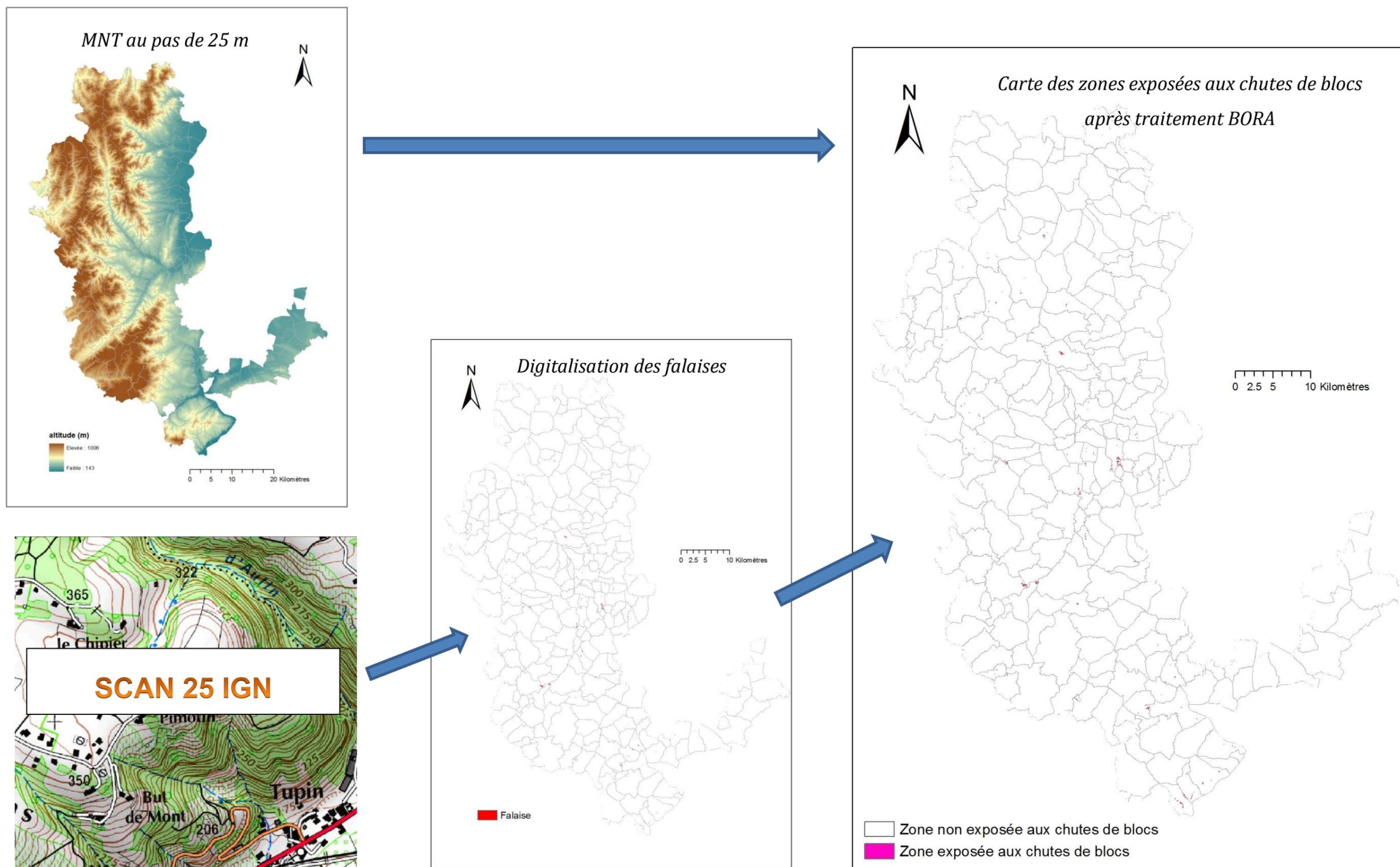


Illustration 29 : Elaboration de la carte de susceptibilité aux chutes de blocs

6.4. ELABORATION D'UNE CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX CHUTES DE BLOCS

Pour élaborer la carte de susceptibilité aux chutes de blocs, on procède en premier lieu à la superposition de la carte des falaises rastérisées avec la carte de propagation établie avec BORA.

1. Carte des falaises rastérisées ;

et

2. Carte de propagation des blocs établie avec BORA.

On obtient ainsi une carte des zones susceptibles d'être concernées par des chutes de blocs. Contenu du faible nombre de falaise sur la zone d'étude, il a été choisi de ne pas établir de hiérarchisation de la susceptibilité aux chutes de blocs.

6.5. COMMENTAIRES SUR LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE AUX CHUTES DE BLOCS

Le tableau ci-après donne une répartition des surfaces exposées aux chutes de blocs dans le département du Rhône (hors Grand Lyon).

	Zones susceptibles d'être concernées par des chutes de blocs	Zones non concernées
Superficie (km ²)	2,53	2 752,47
Total (%)	0,1 %	99,9 %

Illustration 30 : Répartition des surfaces exposées aux chutes de blocs

Comme la carte résulte principalement d'une utilisation du MNT au pas de 25 m, on doit considérer que la cartographie proposée n'est pas valable à une échelle supérieure à celle du 1/25 000^{ème}. Dans ces conditions, la transposition de la carte de susceptibilité dans les Plans Locaux d'Urbanisme est à proscrire. Le fond de plan devant rester compatible avec l'échelle de réalisation de la carte, il est souhaitable de présenter la carte de susceptibilité sur un fond de plan adapté (carte IGN à 1/25 000).

Compte tenu du mode de réalisation de la carte, celle-ci ne doit pas être utilisée pour définir directement l'aléa inhérent au terrain mais plutôt afin d'orienter les études de

risques et définir les parades éventuellement nécessaires. Afin de fixer un cadre pour la réalisation de ces études en fonction du niveau de susceptibilité, il est proposé d'adopter le canevas suivant :

Type de zone	Non exposée aux chutes de bloc	Exposée aux chutes de blocs
Phénomènes attendus	A priori, aucun, sauf en cas de falaise ou d'affleurement ne figurant pas sur la carte IGN	Chutes de blocs possibles
Etude de risques avec définition de parades	A priori, sans objet, sauf zone départ identifiée	Recommandée

Illustration 31 : Propositions d'actions dans les zones exposées aux chutes de blocs

7. Conclusion

La cartographie de la susceptibilité aux « mouvements de terrain » dans le département du Rhône (hors Grand Lyon) résulte d'une analyse multicritère sur le logiciel ARCGIS.

En ce qui concerne la susceptibilité aux glissements de terrain, l'étude s'appuie en particulier sur 92 études de constructibilité déjà réalisées par les communes. Le dépouillement de ces études combinées à la prise en compte des phénomènes passés (www.bdmvt), a permis de réaliser une cartographie de la susceptibilité à trois niveaux (fort, moyen, faible) résultant du croisement de 42 formations lithologiques (carte géologie harmonisée à 1/50 000) et de 7 classes de pente (MNT au pas de 25 m).

La cartographie des zones susceptibles d'être exposées aux coulées de boue résulte d'un modèle de drainage croisé avec la pente (MNT au pas de 25 m). Les seuils de surface drainée et de pente ont été choisis sur la base de notre expérience cartographique à grande échelle. Ceci a permis d'établir un premier niveau de susceptibilité considéré comme faible. Afin de distinguer un niveau de susceptibilité de niveau moyen, il a été choisi de distinguer les surfaces drainées comprenant une proportion minimale de vignobles dans lesquels on observe la plupart des coulées dans le département.

Bien que le phénomène soit peu représenté dans le département, une cartographie des zones susceptibles d'être concernées par des phénomènes de chutes de blocs a été réalisée ; elle résulte de l'utilisation du modèle BORA qui permet de « simuler » les propagations de blocs en 2 dimensions à partir d'une zone de départ identifiée et du MNT au pas de 25 m. Afin de disposer de toutes les zones de départ potentielles, les quelques falaises de la zone d'étude ont été numérisées sur les cartes IGN à 1/25 000. Le modèle BORA a été ensuite calé sur la base de notre expérience résultant de l'étude d'événements réels.

La cartographie de la susceptibilité aux mouvements de terrain est la superposition des trois cartographies précitées ; son échelle de validité est le 1/25 000^{ème}. Il ne s'agit en aucun cas d'une carte d'aléa intégrable dans un PLU mais d'un document général permettant d'orienter des actions locales : étude de constructibilité, études d'aléa à plus grande échelle. Pour chaque phénomène et en fonction du niveau de susceptibilité, un memorandum des phénomènes éventuellement attendus et de la conduite à tenir en termes de prévention a été établi.

8. Bibliographie

CETE de Lyon (Décembre 1989) – Cartographie des instabilités et aptitudes à l'aménagement sur le territoire du département du Rhône (Hors Courly) - Rapport de synthèse

CETE de Lyon (Août 2009) – Dossier n°39 319-2 - Méthodologie de programmation des études de risques mouvement de terrain sur le département du Rhône – étude complémentaire – révision de l'étude d'aptitude à l'aménagement de 1989.

DDT du Rhône (2010) – Service ingénierie et développement durable – syndicat mixte des rivières du Beaujolais – Gestion des ruissellements et de l'érosion dans les bassins versants du Beaujolais – Etat des lieux, diagnostic et propositions d'actons sur les secteurs à enjeux et les plus vulnérables à l'érosion – rapport provisoire.

Durand N, Renault O. (2010) - Cartographie des zones exposées aux « mouvements de terrain » en Région Auvergne- élaboration d'un document d'orientation pour la gestion forestière - Rapport final - Rapport BRGM/RP-59085-FR, 57 pages, 23 illustrations, 1 carte hors-texte.

Thierry P., Vinet L. (1998) – Appui à la politique de prévention des risques liés aux mouvements de terrain sur le territoire du Grand Lyon : cartographie préventive – Rapport BRGM R 40416, 75 p, 2 fig., 2 tab.

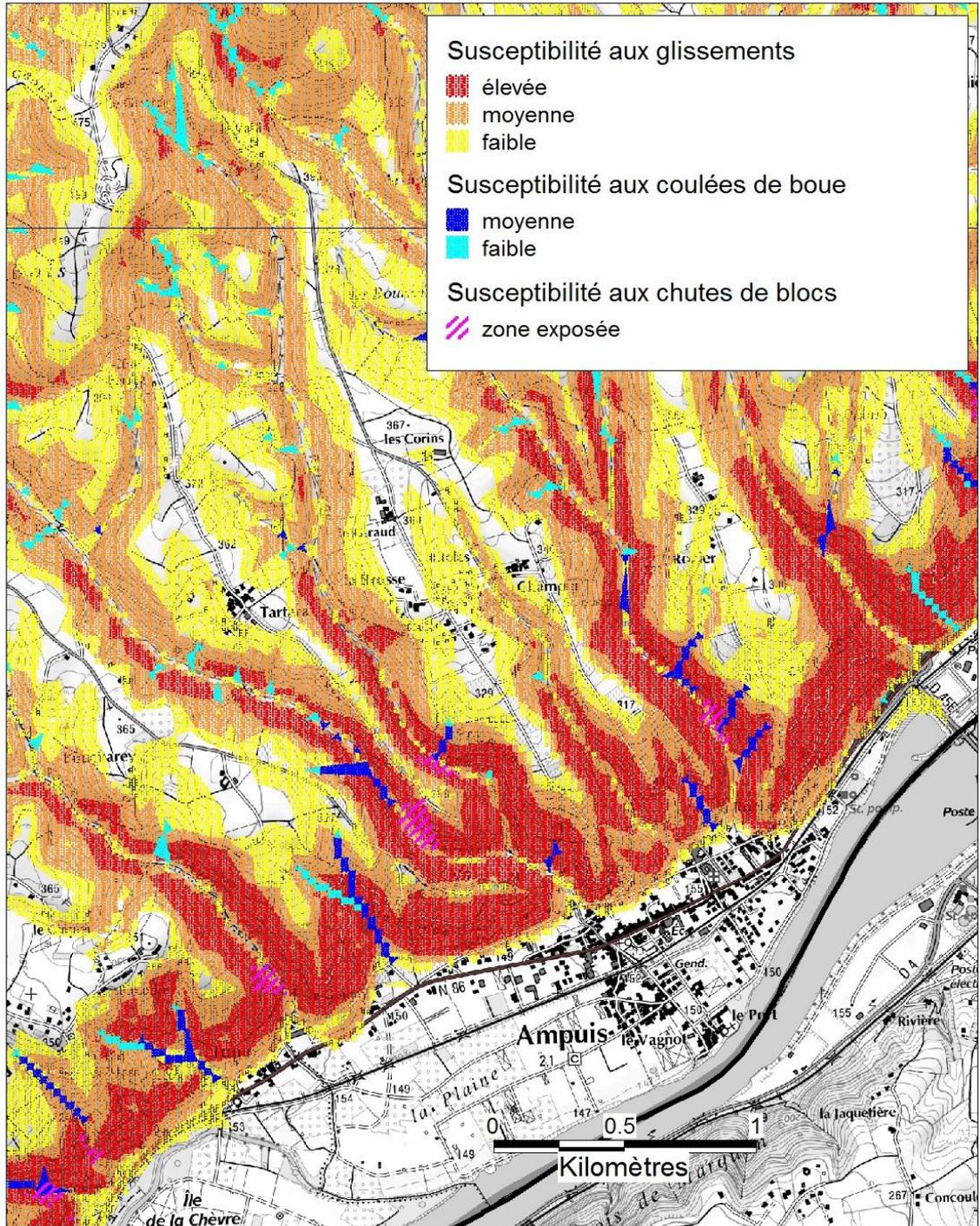
Renault O. (2011) – Conseil méthodologique sur la valorisation des connaissances sur le risque de mouvement de terrain dans le département du Rhône (Hors Grand Lyon) - Rapport final. Rapport BRGM/ BRGM/RP-59946-FR, 25 p., 5 ill., 2 ann.

Renault O. avec la collaboration de Brouard T., Velut J., Saint Martin M. (2008) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Rhône. Rapport BRGM/RP-56842-FR, 104 p., 26 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

Saint Martin M, Vichard A. (2005) – Inventaire départemental des mouvements de terrain du Rhône – Rapport final BRGM-53672-FR, 65 pages, 17 ill., 4 ann., 1 carte hors-texte.

Annexe 1

Extrait de la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain à l'échelle du 1/25 000





Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

BRGM "Rhône-Alpes"
151 boulevard de Stalingrad
69626 – Villeurbanne Cedex 1 - France
Tél. : 04 72 82 11 50