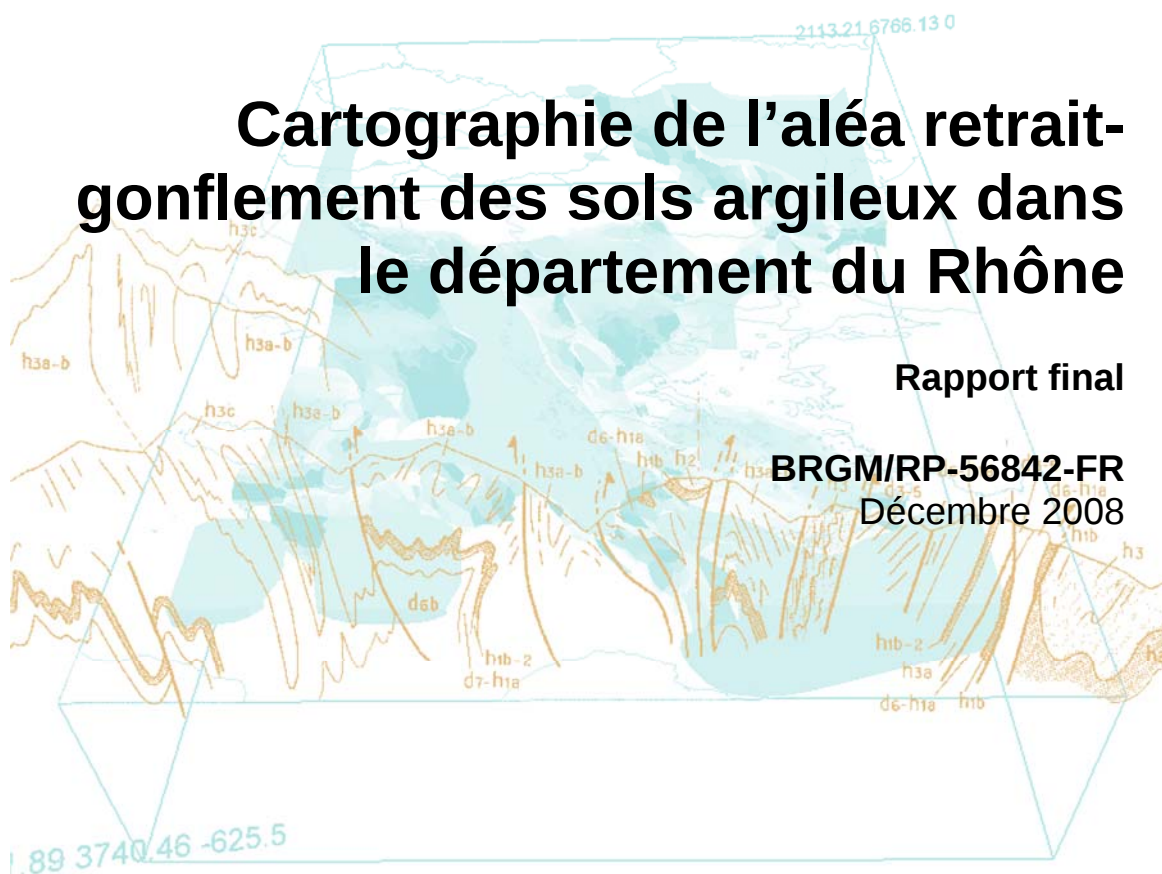




Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Rhône

Rapport final

BRGM/RP-56842-FR
Décembre 2008



Préfecture du Rhône



Direction
Départementale
de l'Équipement
Rhône



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Rhône

Rapport final

BRGM/RP-56842-FR

Décembre 2008

Étude réalisée dans le cadre du projet de service public 06RISD29 du BRGM

O. Renault

avec la collaboration de Th. Brouard, J. Velut, M. Saint Martin

Vérificateur :

Nom : M. Vincent

Date : 16 décembre 2008

Signature :



Approbateur :

Nom : F. Deverly

Date : 18 décembre 2008

Signature :



Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000



Préfecture du Rhône



Direction
Départementale
de l'Équipement
Rhône



Mots clés : argiles, marnes, argiles gonflantes, smectites, retrait-gonflement, aléa, risque naturel, sinistre, sécheresse, catastrophe naturelle, géotechnique, cartographie, Rhône, Rhône-Alpes.

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

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.

Synthèse

Les phénomènes de retrait-gonflement de certaines formations géologiques argileuses affleurantes provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel. En France métropolitaine, ces phénomènes, mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976, ont pris une réelle ampleur lors des périodes sèches des années 1989-91 et 1996-97, puis plus récemment au cours de l'été 2003.

Le Rhône fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 519 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés dans le cadre de la présente étude. A la date du 15 novembre 2008, 44 communes sur les 293 que compte le département ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, pour des périodes comprises entre le 1^{er} juin 1989 et le 30 septembre 2005, soit un taux de sinistralité de 10,7 %. La plupart de ces reconnaissances concerne l'été 2003. Le nombre total d'occurrences de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse s'élève à 56 dans le département (certaines communes ayant été reconnues à plusieurs reprises), ce qui place le Rhône en 50^{ème} position des départements français de ce point de vue, loin derrière certains départements de région parisienne ou du Sud-ouest, particulièrement affectés. En termes de coût total indemnisé pour ce type de sinistre et dans le seul cadre du régime des catastrophes naturelles, le Rhône serait à la 45^{ème} place d'après des données de la Caisse Centrale de Réassurance datant de septembre 2008, avec un montant cumulé d'indemnisation de près de 10 millions d'euros en coûts actualisés.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa pour l'ensemble du département, dans le but de délimiter les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Cette étude, réalisée par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public sur les risques naturels, s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui devrait concerner à terme l'ensemble du territoire métropolitain, dont les huit départements de la région Rhône-Alpes.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional Rhône-Alpes, en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 75 % par le Fonds national de prévention des risques naturels majeurs, le complément ayant été pris en charge par la dotation de service public du BRGM, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture du Rhône le 10 août 2006, le suivi technique de l'étude étant assuré par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE).

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la carte géologique harmonisée du département, valide à l'échelle du 1/50 000 et des cartes géologiques éditées par le BRGM à cette même échelle. Les 30 formations ainsi identifiées et cartographiées ont ensuite fait l'objet

d'une hiérarchisation quant à leur susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a été établie sur la base de trois critères principaux : la caractérisation lithologique de la formation, la composition minéralogique de sa phase argileuse et son comportement géotechnique, ce qui a conduit à l'établissement d'une carte départementale de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

La carte d'aléa a alors été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, après hiérarchisation de celles-ci en tenant compte non seulement de la susceptibilité des formations identifiées, mais aussi de la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres en calculant, pour chaque formation sélectionnée, une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée, afin de permettre des comparaisons fiables entre les formations.

Sur cette carte, les zones d'affleurement des formations à dominante argileuse ou marneuse sont caractérisées par deux niveaux d'aléa (faible et moyen). Aucune des formations argileuses du département n'a été caractérisée en aléa fort, par comparaison avec les cartes établies dans d'autres départements avec la même approche et les mêmes critères.

Ainsi, sur une superficie départementale totale de 3 215 km²,

- 2,83 % a été classé en aléa moyen ;
- 37,71 % a été considéré en aléa faible ;
- 59,46 % correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs, considérés comme non concernés par le phénomène, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à l'altération localisée des formations de socle ou à des lentilles argileuses non cartographiées, et susceptibles de provoquer des sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département du Rhône, dont l'échelle de validité est le 1/50 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le préalable à l'élaboration d'éventuels Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa moyen ou faible, notamment en raison de la forte hétérogénéité des formations du département. A défaut, il conviendra de mettre en œuvre des règles constructives type par zones d'aléa, visant à réduire le risque de survenance de sinistres.

Sommaire

1. Introduction.....	11
2. Méthodologie	13
2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES ...	13
2.1.1. Facteurs de prédisposition	14
2.1.2. Facteurs de déclenchement.....	17
2.2. MÉTHODOLOGIE	18
2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses.....	18
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations	19
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement	19
2.2.4. Carte de susceptibilité	20
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres	20
2.2.6. Détermination des densités de sinistres.....	20
2.2.7. Carte d'aléa.....	21
3. Présentation du département du Rhône.....	23
3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE	23
3.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DU RHONE.....	26
3.2.1. Les nappes alluviales.....	26
3.2.2. Les aquifères d'alluvions fluvioglaciales	26
3.2.3. Les nappes profondes dans le Tertiaire	27
3.2.4. Les aquifères discontinus du socle	27
3.2.5. Les aquifères superficiels.....	27
3.3. CONTEXTE CLIMATIQUE	27
4. Identification et cartographie des formations géologiques à dominante argilo-marneuse.....	29
4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS	29
4.1.1. Méthode utilisée	29
4.1.2. Établissement de la carte des formations argileuses	30
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	31

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILO-MARNEUSES	35
4.3.1. Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône (AFLUR).....	36
4.3.2. Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire (AFLUS).....	36
4.3.3. Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Émeringes (AREME).....	37
4.3.4. Lœss et limons du quaternaire (LIMON)	38
4.3.5. Alluvions fluviales, torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (WUSED) et sur substratum indifférencié (ALLUW)	38
4.3.6. Moraines würmiennes et rissiennes (MORWU).....	39
4.3.7. Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (FACAS) et sur substratum indifférencié (FACAP)	40
4.3.8. Colluvions polygéniques du Quaternaire (COLPO)	41
4.3.9. Eboulis du Quaternaire (EBOUL)	41
4.3.10. Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre (PLIOC).....	41
4.3.11. Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables (MISED)	42
4.3.12. Sables argileux du Miocène supérieur marin (SAMIO).....	42
4.3.13. Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène (MARSO)	42
4.3.14. Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen (CALMO)	43
4.3.15. Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien (CALMB)	43
4.3.16. Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique (BATHO)	43
4.3.17. Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur (BAJOC).....	44
4.3.18. Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien (PIEDO)	44
4.3.19. Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur (MACAT)	44
4.3.20. Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien (MACAD).....	45
4.3.21. Marnes grises et calcaires du Pliensbachien (PLIEN)	45
4.3.22. Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien (CALMS).....	45
4.3.23. Calcaires marneux de l'Hettangien (CALMH)	46
4.3.24. Marnes, grès et cargneules du Trias (MARGT)	46
4.3.25. Grès, argiles et dolomies du Rhétien (ARDOR)	47
4.3.26. Marnes bariolées et grès du Keuper (MARGK)	47
4.3.27. Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur (AGASS)	48
4.3.28. Altérites et colluvions de socle (ALTER).....	48
4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES	49

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues	51
5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION	51
5.1.1. Critères retenus.....	51
5.1.2. Méthode de classification	51
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE	52
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème	52
5.2.2. Caractérisation lithologique	53
5.2.3. Définition du critère minéralogique et barème.....	54
5.2.4. Caractérisation minéralogique.....	55
5.3. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE.....	61
5.3.1. Définition du critère géotechnique et barème.....	61
5.3.2. Teneur en eau (W _n)	62
5.3.3. Indice de plasticité (I _p).....	62
5.3.4. Essais au bleu de méthylène (VB)	63
5.3.5. Retrait linéaire (RI)	63
5.3.6. Caractérisation géotechnique.....	64
6. Élaboration de la carte de susceptibilité	69
6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ.....	69
6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ.....	70
6.3. SYNTHÈSE.....	71
7. Analyse de la sinistralité.....	75
7.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE	75
7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES.....	76
7.2.1. Localisation des communes sinistrées.....	76
7.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	78
7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES.....	80
7.3.1. Collecte des données.....	80
7.3.2. Bilan	80
7.3.3. Cas particulier des communes reconnues en état de catastrophe naturelle	83
7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE	83
7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation	84

7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres.....	84
8. Carte d'aléa	89
8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA	89
8.2. CARTE D'ALÉA.....	90
9. Conclusion.....	97
10. Bibliographie	99

Liste des illustrations

Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche.	13
Illustration 2 – Carte de présentation du département du Rhône (Sources : MNT pas de 50 m et BD Carto IGN©)	24
Illustration 3- Caractéristiques climatiques du département du Rhône (station Météo France de Bron, source : site internet Météo-France).....	28
Illustration 4 – Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 du Rhône	30
Illustration 5 - Schéma structural de la région lyonnaise	32
(d'après les cartes géologiques de Lyon et Châlon au 1/250 000)	32
Illustration 6 - Bloc diagramme NS de la bordure orientale du Massif Central (Source : V. Gardien)	33
Illustration 7 - Coupe schématique du fossé au niveau de Lyon (Source : N. Mongereau)	34
Illustration 8 - Carte géologique simplifiée du Rhône (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000, BRGM, 2003)	35
Illustration 9 - Carte des formations argileuses du Rhône.....	37
Illustration 10 – Barème du critère lithologique	53
Illustration 11 – Note lithologique des formations retenues comme argileuses.....	54
Illustration 12 – Barème du critère minéralogique	55
Illustration 13 – Note minéralogique des formations argileuses retenues	59
Illustration 14 – Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité.....	62
Illustration 15 – Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu	63
Illustration 16 – Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire	63
Illustration 17 - Synthèse des données géotechniques	67
Illustration 18 – Susceptibilité des formations argileuses retenues	70
Illustration 19 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement.....	73
Illustration 20 – Arrêtés interministériels et occurrences	77
Illustration 21 – Etat des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés par commune	79
Illustration 22 – Répartition géologique des sinistres recensés et localisés.....	81
Ces données confirment ainsi que la répartition géographique des sinistres n'est pas le fruit du hasard et qu'elle est étroitement liée aux zones d'affleurement de certaines formations géologiques en particulier les formations d'origine sédimentaire déposées entre le Trias et l'Oligocène ainsi que les formations d'altération du Quaternaire qui les recouvrent.	81
Illustration 23 – Carte des zones bâties dans le département du Rhône (données BD TOPO IGN©)	85
Illustration 24 – Densités de sinistres par formation argileuse (NS : non-significatif)	87
Illustration 25 – Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa.....	93
Illustration 26 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement du Rhône	95

Liste des annexes

Annexe 1 – Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles	107
Annexe 2 – Sinistres	111
Annexe 3 – Liste et coordonnées des organismes ayant fourni des données géotechniques et/ou minéralogiques	129
Annexe 4 – Résultats d'analyses spécifiques des 28 échantillons prélevés dans le département du Rhône	133

Liste des cartes hors-texte (1/125 000)

- Carte 1 – Carte synthétique des formations argileuses et marneuses
- Carte 2 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux
- Carte 3 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux

1. Introduction

Les phénomènes de retrait-gonflement de certains sols argileux provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel. En France métropolitaine, ces phénomènes ont été mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976. Ils ont pris depuis une ampleur importante lors des périodes sèches des années 1989-91 et 1996-97 et, plus récemment, au cours de l'été 2003.

Selon des critères mécaniques, les variations de volume du sol ou des formations lithologiques affleurantes à sub-affleurantes sont dues, d'une part, à l'interaction eau – solide, aux échelles microscopiques et macroscopiques, et, d'autre part, à la modification de l'état de contrainte en présence d'eau. Ces variations peuvent s'exprimer soit par un gonflement (augmentation de volume), soit par un retrait (réduction de volume). Elles sont spécifiques de certains matériaux argileux, en particulier ceux appartenant au groupe des smectites (dont fait partie la montmorillonite).

Sous un climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont souvent humides et ont partiellement épuisé leur potentiel de gonflement à l'état naturel. Mais elles sont dans un état éloigné de leur limite de retrait (teneur en eau à partir de laquelle toute diminution de cette teneur provoquera une fissuration du matériau argileux par dessiccation). Une période de sécheresse intense ou prolongée provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol, soumise à évapotranspiration, ce qui se traduit par une rétraction et donc des tassements du sol. Lorsque ces mouvements se produisent de manière non uniforme (et c'est généralement le cas, du fait de l'hétérogénéité des terrains mais aussi des différences de teneurs en eau entre partie exposées ou non à l'évaporation), il apparaît localement des pertes de contact entre la base des fondations et le sol d'assise, ce qui induit dans la structure du bâtiment des sollicitations parfois excessives, qui se traduisent par des fissurations, en particulier pour des maisons individuelles peu rigides.

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle. Depuis l'année 1989 (début d'application de cette procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et la réhydratation des sols), environ 7 800 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont ainsi été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle à ce titre. A fin 2006, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France depuis 1989 au titre du régime des catastrophes naturelles, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 4,3 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation, juste derrière les inondations.

La région Rhône-Alpes a été affectée par ce phénomène, et notamment le département du Rhône qui se place en 45^e position pour les coûts cumulés d'indemnisation (données CCR de septembre 2008). Ce département, d'une superficie

de 3 258,8 km², comptait 1 578 869 habitants au dernier recensement. Au total, à la date du 15 novembre 2008, 44 des 293 communes du département ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de juin 1989 à septembre 2005, soit un taux de sinistralité de 10,7 %.

Afin d'établir un constat scientifique objectif à l'échelle de tout le département et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) a souhaité réaliser une carte de l'aléa retrait-gonflement dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène. Cette étude a été confiée au BRGM qui, dans le cadre de sa mission de service public sur les risques naturels, a élaboré une méthodologie de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles à l'échelle départementale. L'intérêt d'une telle étude est multiple :

- compréhension de la corrélation entre la nature géologique des terrains et la répartition statistique des sinistres, à l'échelle départementale, puis régionale quand tous les départements limitrophes seront étudiés ;
- élaboration d'un document de prévention, en matière d'aménagement du territoire, destiné à la fois à l'État (pour l'établissement ultérieur éventuel de Plans de Prévention des Risques prenant en compte l'aléa retrait-gonflement), aux communes, aux particuliers et surtout aux maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre désireux de construire en zone sensible, afin qu'ils prennent, en connaissance de cause, les dispositions constructives qui s'imposent pour que le bâtiment ne soit pas affecté par des désordres ;
- élaboration d'un outil à l'usage des experts pour l'aide au diagnostic des futures déclarations de sinistres.

La présente étude a été réalisée par le Service Géologique Régional Rhône-Alpes en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 75 % par le Fonds national de prévention des risques naturels majeurs, le complément ayant été pris en charge par la dotation de service public du BRGM, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture du Rhône le 10 août 2006, le suivi technique de l'étude étant assuré par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE).

Cette étude s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui concernera à terme l'ensemble du territoire métropolitain (Vincent *et al.*, 2008), une cinquantaine de départements (les plus touchés par le phénomène) étant déjà couverts par de telles cartes d'aléa à ce jour.

2. Méthodologie

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

Les phénomènes de retrait-gonflement sont dus pour l'essentiel à des variations de volume de formations argileuses sous l'effet de l'évolution de leur teneur en eau, comme rappelé en Annexe 1 et schématisé sur l'illustration 1. Ces variations de volume se traduisent par des mouvements différentiels de terrain, susceptibles de provoquer des désordres au niveau du bâti.

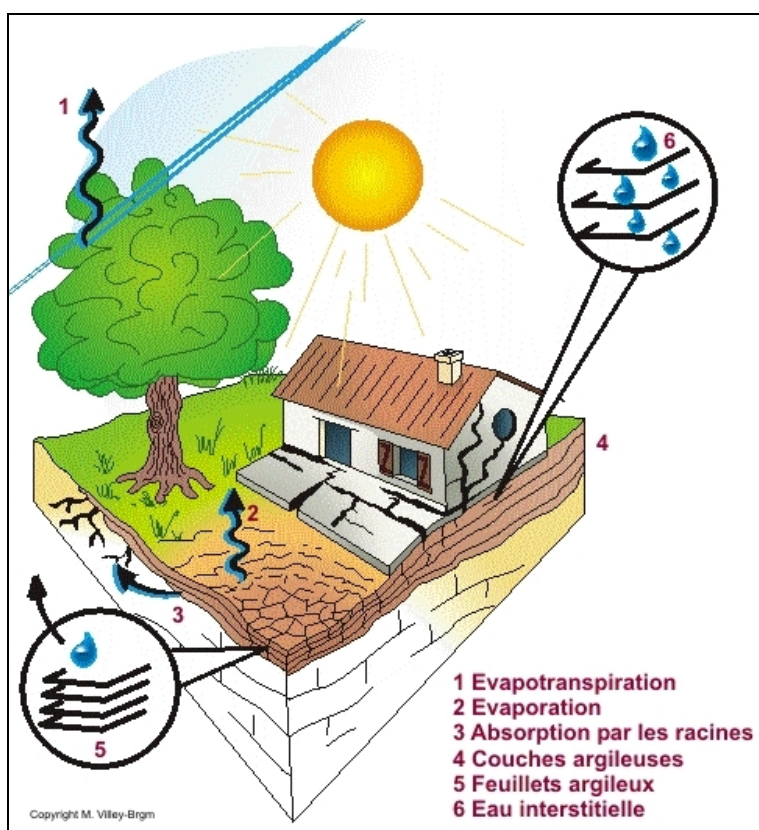


Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

Par définition, l'aléa retrait-gonflement est la probabilité d'occurrence spatiale et temporelle des conditions nécessaires à la réalisation d'un tel phénomène. Parmi les facteurs de causalité, on distingue classiquement des facteurs de prédisposition et des facteurs de déclenchement.

Les facteurs de prédisposition sont ceux dont la présence induit le phénomène de retrait-gonflement, mais ne suffit pas à elle seule à le déclencher. Ces facteurs sont fixes ou évoluent très lentement avec le temps. On distingue les facteurs internes, qui sont liés à la nature du sol, et des facteurs d'environnement qui caractérisent plutôt le site. Les facteurs de prédisposition permanents conditionnent en fait la répartition

spatiale du phénomène. Ils permettent de caractériser la susceptibilité du milieu vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Les facteurs de déclenchement sont ceux dont la présence provoque le phénomène de retrait-gonflement, mais qui n'ont d'effet significatif que s'il existe des facteurs de prédisposition préalables. La connaissance des facteurs déclenchants permet de déterminer l'occurrence du phénomène (autrement dit l'aléa et non plus seulement la susceptibilité).

2.1.1. Facteurs de prédisposition

2.1.1.1. *Nature du sol*

La nature du sol constitue un facteur de prédisposition prédominant dans le mécanisme de retrait-gonflement : seules les formations géologiques présentant des minéraux argileux sont sujettes au phénomène et leur susceptibilité dépend de leur lithologie, de leur géométrie, de leur minéralogie et de leur comportement géotechnique.

La procédure d'étude de la nature du sol, basée sur l'exploitation des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 éditées par le BRGM, comporte un inventaire des formations affleurantes à sub-affleurantes, à composante argilo-marneuse, puis leur cartographie.

La majorité des dossiers consultés montre que les sinistres sont corrélés à la présence d'une formation argileuse ou marneuse bien définie, ce qui conforte le concept adopté. Cependant, il est important de signaler qu'une carte géologique en tant que telle ne suffit pas à déterminer la répartition des sols argileux sujets au retrait-gonflement. En effet, de telles cartes ne prennent pas toujours en compte les éventuelles transformations locales du sol (principalement sous l'effet de l'altération de la roche), et les différents faciès des formations les plus superficielles ne sont pas toujours cartographiés avec précision.

En particulier, certaines formations principalement calcaires sont susceptibles de s'altérer localement sous l'effet de phénomènes de karstification qui peuvent se traduire par la présence en surface de poches argileuses qui, généralement, ne sont pas identifiées sur les cartes géologiques, mais dont la seule présence suffit à expliquer certains sinistres ponctuels.

Concernant la nature des formations géologiques, les éléments qui influent sur la susceptibilité au retrait-gonflement sont en premier lieu la lithologie de la formation (c'est-à-dire principalement la proportion de matériau argileux, autrement dit d'éléments fins inférieurs à 2 μm).

En moindre proportion mais non négligeable, la géométrie de la formation argileuse influe sur la susceptibilité au retrait-gonflement. Les effets du phénomène seront d'autant plus importants que la formation sera en position superficielle et que les niveaux argileux en son sein seront épais et continus. Une alternance de niveaux argileux et de lits plus perméables (sableux, par exemple), sièges de circulations d'eau temporaires, constitue également une configuration défavorable, car à l'origine de fréquentes variations de teneur en eau dans les parties argileuses.

Un facteur prépondérant qui détermine le degré de susceptibilité d'une formation argileuse au phénomène de retrait-gonflement, est sa composition minéralogique. Une formation sera d'autant plus susceptible au phénomène que sa fraction argileuse (au sens granulométrique) contiendra une forte proportion de minéraux argileux dits « gonflants ». En effet, certains minéraux argileux présentent, par rapport aux autres, une aptitude nettement supérieure vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Il s'agit essentiellement des smectites (dont font partie les montmorillonites), de certains minéraux argileux interstratifiés, de la vermiculite et de certaines chlorites.

Cette composition minéralogique dépend étroitement des conditions de dépôt et d'évolution diagénétique (ensemble des processus qui affectent un dépôt sédimentaire initial pour le transformer en roche). On peut donc approcher cette connaissance par une reconstitution des conditions paléogéographiques ayant présidé à la mise en place des différentes formations (dépôt sédimentaire initial). De façon plus quantitative, mais dont la valeur n'est que ponctuelle, la connaissance de la composition minéralogique d'une formation argileuse se détermine directement par des analyses diffractométriques aux rayons X. On peut enfin caractériser, par des essais géotechniques en laboratoire, l'aptitude du matériau à absorber de l'eau, voire mesurer directement sa capacité de retrait ou de gonflement. Ces deux dernières approches (caractérisation minéralogique et évaluation du comportement géotechnique du matériau) présentent l'avantage majeur de fournir des résultats quantitatifs rigoureux, mais exigent un grand nombre de mesures pour caractériser de manière statistique le comportement de chacune des formations, qui peuvent être par nature hétérogènes.

2.1.1.2. Contexte hydrogéologique

Parmi les facteurs de prédisposition, les conditions hydrogéologiques constituent un des facteurs environnementaux régissant les conditions hydrauliques in situ. Or la présence d'une nappe phréatique rend plus complexe le phénomène de retrait-gonflement. En effet, les conditions hydrauliques in situ (teneur en eau et degré de saturation) varient dans le temps non seulement en fonction de l'évapotranspiration (dont l'action est prépondérante sur une tranche très superficielle de l'ordre de 1 à 2 m d'épaisseur) mais aussi en fonction des fluctuations de la nappe éventuelle (dont l'action devient prépondérante en profondeur).

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur permet généralement d'éviter la dessiccation de la tranche superficielle de sol. Inversement, un rabattement de cette nappe (sous l'effet de pompages ou d'un abaissement généralisé du niveau), ou le tarissement naturel des circulations d'eau superficielles en période de sécheresse, aggrave la dessiccation de la tranche de sol soumise à l'évaporation. Ainsi, dans le cas d'une formation argileuse surmontant une couche sablo-graveleuse, un éventuel dénoyage de cette dernière provoque l'arrêt des remontées capillaires dans le terrain argileux et contribue à sa dessiccation.

2.1.1.3. Géomorphologie

La topographie constitue un facteur permanent de prédisposition et d'environnement qui peut conditionner la répartition spatiale du phénomène de retrait-gonflement.

La présence d'une pente favorise le ruissellement et le drainage par phénomène gravitaire, tandis qu'une morphologie plate sera d'avantage susceptible de recueillir des eaux stagnantes qui ralentiront la dessiccation du sol. Par ailleurs, un terrain en

penne exposé au sud sera plus sensible à l'évaporation du fait de l'ensoleillement, qu'un terrain plat ou exposé différemment. En outre, les formations argileuses et marneuses qui affleurent sur le flanc des vallées peuvent occasionner, localement, un fluage lent du versant et la formation de loupes argileuses. Ce phénomène vient s'additionner aux désordres consécutifs à la seule dessiccation du sol.

D'autre part, il arrive souvent qu'une maison construite sur un terrain en pente soit plus sujette au problème de retrait-gonflement, en raison d'une dissymétrie des fondations lorsque celles-ci sont ancrées à une cote identique à l'amont et à l'aval. Le bâtiment se trouve alors enterré plus profondément du côté amont. De ce fait, les fondations situées à l'aval, étant en position plus superficielle, seront davantage sensibles aux variations de teneur en eau du sol. Cet effet est même parfois renforcé par une différence de nature du sol situé à la base des formations amont et aval, la couche d'altération superficielle suivant généralement plus ou moins la topographie.

Par ailleurs, les zones de plateau ont pu être soumises à des phénomènes de karstification qui se traduisent par l'existence de cavités karstiques formées aux dépens de formations calcaires et remplies d'argiles à silicifications sujettes au phénomène de retrait-gonflement.

2.1.1.4. *Végétation*

Il est avéré que la présence de végétation arborée à proximité d'une maison peut constituer un facteur déclenchant du phénomène de retrait-gonflement, même s'il n'est souvent qu'un facteur aggravant de prédisposition. En effet, les racines soutirent par succion (mécanisme d'osmose) l'eau du sol. Cette succion crée un gradient de la teneur en eau du sol, qui peut se traduire par un tassement localisé du sol autour de l'arbre. Si la distance au bâtiment n'est pas suffisante, cela entraînera des désordres dans les fondations. On considère en général que l'influence d'un arbre adulte se fait sentir jusqu'à une distance égale à une fois ou une fois et demie sa hauteur, mais ceci est variable selon les espèces arborées.

Il est à noter que les racines seront naturellement incitées à se développer en direction de la maison, puisque celle-ci s'oppose à l'évaporation et qu'elle maintient donc une zone de sol plus humide sous sa surface. Contrairement au processus d'évaporation, qui affecte surtout la tranche superficielle des deux premiers mètres, les racines d'arbres peuvent avoir une influence jusqu'à 4 voire 5 m de profondeur. Le phénomène sera d'autant plus important que l'arbre est en pleine croissance et qu'il a, de ce fait, davantage besoin d'eau.

Ainsi, on considère qu'un peuplier ou un saule adulte consomme 300 litres d'eau par jour en été, si cette eau est disponible (Habib, 1992). En France, les arbres considérés comme les plus dangereux du fait de leur influence sur les phénomènes de retrait seraient les chênes, les peupliers, les saules, les cyprès et les cèdres. Des massifs de buissons ou d'arbustes situés près des façades (et notamment la vigne vierge) peuvent cependant aussi causer des dégâts.

2.1.1.5. *Défauts de construction*

Ce facteur de prédisposition, dont l'existence peut être révélée à l'occasion d'une sécheresse exceptionnelle, se traduit par la survenance ou l'aggravation des désordres. L'importance de ce facteur avait déjà été mise en évidence par les études

menées en 1990 par l'Agence Qualité Construction et en 1991 par le CEBTP, lesquelles montraient que la plupart des sinistres concernaient des maisons individuelles dépourvues de chaînage horizontal et fondées sur semelles continues peu ou non armées et peu profondes (de 40 à 80 cm).

L'examen de dossiers d'expertises réalisées dans le département du Rhône confirme que de nombreuses maisons déclarées sinistrées présentent des défauts de conception ou de réalisation des fondations (souvent trop superficielles, hétérogènes ou fondées dans des niveaux différents) et il est probable que des fondations réalisées dans les règles de l'art auraient pu, dans de tels cas, suffire à limiter fortement, voire à éviter l'apparition de ces désordres. Par ailleurs, il est à noter que les désordres ne se limitent pas aux maisons récentes, mais concernent aussi des bâtiments anciens qui semblaient avoir été épargnés jusque là.

2.1.2. Facteurs de déclenchement

2.1.2.1. *Phénomènes climatiques*

Les phénomènes météorologiques exceptionnels constituent le principal facteur de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement. Les variations de teneur en eau du sol sont dues à des variations climatiques saisonnières. La profondeur de terrain affectée par les variations saisonnières de teneur en eau ne dépasse guère 1 à 2 m sous nos climats tempérés, mais peut atteindre 3 à 5 m lors d'une sécheresse exceptionnelle, ou dans un environnement défavorable (végétation proche).

Les deux paramètres importants sont les précipitations et l'évapotranspiration. En l'absence de nappe phréatique, ces deux paramètres contrôlent en effet les variations de teneur en eau dans la tranche superficielle des sols. L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation (liée aux conditions de température, de vent et d'ensoleillement) et de la transpiration (eau absorbée par la végétation). Ce paramètre est mesuré dans certaines stations météorologiques mais sa répartition spatiale est difficile à appréhender car sa valeur dépend étroitement des conditions locales de végétation. On raisonne en général sur les hauteurs de pluies efficaces qui correspondent aux précipitations diminuées de l'évapotranspiration.

Malheureusement, il est difficile de relier la répartition, dans le temps, des hauteurs de pluies efficaces avec l'évolution des teneurs en eau dans le sol (Vincent *et al.*, 2007). On observe évidemment qu'après une période de sécheresse prolongée la teneur en eau dans la tranche superficielle de sol a tendance à diminuer, et ceci d'autant plus que cette période se prolonge. On peut établir des bilans hydriques en prenant en compte la quantité d'eau réellement infiltrée, ce qui suppose d'estimer, non seulement l'évapotranspiration, mais aussi le ruissellement. Mais toute la difficulté est de connaître la réserve utile des sols, c'est-à-dire leur capacité d'emmagasiner de l'eau et de la restituer ensuite (par évaporation ou en la transférant à la végétation par son système racinaire). Le volume de cette réserve utile n'est généralement connu que ponctuellement et l'état de son remplissage ne peut être estimé que moyennant certaines hypothèses (on considère généralement qu'elle est pleine en fin d'hiver), ce qui rend extrêmement délicate toute analyse de ce paramètre à une échelle départementale. Un autre paramètre difficile à estimer de façon systématique est le volume d'eau transféré de la zone non saturée à la nappe phréatique, ainsi que le rythme de ce transfert.

2.1.2.2. Facteurs anthropiques

Il s'agit de facteurs de déclenchement qui ne sont pas liés à un phénomène climatique, par nature imprévisible, mais à une action humaine. En effet, les travaux d'aménagement, en modifiant la répartition des écoulements superficiels et souterrains, ainsi que les possibilités d'évaporation naturelle, sont susceptibles d'entraîner des modifications dans l'évolution des teneurs en eau de la tranche superficielle de sol. En particulier, des travaux de drainage réalisés à proximité immédiate d'une maison peuvent provoquer des mouvements différentiels du terrain dans le voisinage.

Inversement, une fuite dans un réseau enterré ou une infiltration des eaux pluviales en pied de façade peut entraîner un mouvement consécutif à un gonflement des argiles. Ainsi, il convient de signaler que des fuites de canalisations enterrées, souvent consécutives à un défaut de conception et/ou de réalisation au niveau des raccordements avec le bâti, constituent une source fréquente de sinistre. Une étude statistique récente (Vincent *et al.*, 2006) conduite par le CEBTP Solen à partir d'un échantillon de 994 maisons sinistrées a ainsi montré que ce facteur pouvait être mis en cause dans près d'un tiers des cas étudiés.

Par ailleurs, la présence de sources de chaleur en sous-sol (four ou chaudière) près d'un mur mal isolé peut, dans certains cas, aggraver voire déclencher la dessiccation du sol à proximité et entraîner l'apparition de désordres localisés.

2.2. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de cartographie de l'aléa développée par le BRGM a été mise au point à partir d'études similaires menées d'abord dans le département des Alpes de Haute-Provence (Chassagneux *et al.*, 1995 ; Chassagneux *et al.*, 1996) et des Deux-Sèvres (Vincent *et al.*, 1998), puis dans l'Essonne (Prian *et al.*, 2000) et en Seine-Saint-Denis (Donsimoni *et al.*, 2001). Elle a été validée par le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire et est désormais appliquée dans le cadre d'un programme qui concernera à terme l'ensemble du territoire métropolitain (Vincent *et al.*, 2008).

2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses

La cartographie des formations argileuses et marneuses du département a été réalisée à partir des cartes géologiques du BRGM et des coupes de forage de la Banque des données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM, complétées et actualisées par quelques données ponctuelles issues des rapports d'expertise de sinistres. Cette cartographie a été réalisée à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), numérisée, puis synthétisée et présentée hors texte à l'échelle 1/150 000.

La première étape a consisté à cartographier toutes les formations argileuses ou marneuses du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, pour en dresser un inventaire et synthétiser les différentes cartes géologiques prises en compte. Des regroupements ont été réalisés dans une seconde étape, en considérant que des natures lithologiques voisines laissaient supposer des comportements semblables vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cela a

permis d'aboutir à la carte départementale synthétique des formations argileuses au sens large.

2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations

L'étude des formations argileuses retenues a amené à qualifier, pour chacune d'entre elles, la proportion de matériau argileux présent dans la formation, ce qui constitue sa caractérisation lithologique.

L'analyse des notices des cartes géologiques, complétée par une revue bibliographique, a permis de définir les caractéristiques minéralogiques des formations retenues, et en particulier de répertorier la présence et la proportion des minéraux gonflants (smectites, interstratifiés...) dans la fraction argileuse.

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de nombreux rapports du Centre d'Études Techniques de l'Équipement, et de rapports d'expertise de sinistres réalisés par différents bureaux d'études.

Pour des formations géologiques qui s'étendent au-delà du département et pour lesquelles les données sont rares, nous avons repris les caractéristiques recueillies dans le cadre de l'étude des départements voisins.

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

Les facteurs ponctuels de prédisposition ou de déclenchement que sont notamment la végétation arborée, les actions anthropiques ou les défauts de construction, n'ont pas été pris en compte dans la mesure où leur impact est purement local et ne peut être cartographié à une échelle départementale.

L'analyse des conditions météorologiques et de la répartition spatiale des déficits pluviométriques n'est pas apparue non plus comme un élément discriminant à l'échelle du département. Ce critère n'a donc pas été pris en compte dans l'élaboration de la carte départementale de l'aléa.

Le contexte hydrogéologique a fait l'objet d'une analyse spécifique sur la base d'éléments issus des notices de cartes géologiques et de rapports du BRGM sur le sujet. L'influence des nappes est cependant difficile à mettre en évidence à une échelle départementale dans la mesure où elle dépend souvent de conditions très locales. C'est pourquoi, ce critère n'a pas non plus été retenu dans l'élaboration de la carte départementale de l'aléa.

Enfin, le facteur géomorphologique n'a pas été non plus pris en compte dans la cartographie, même s'il s'agit d'un élément pouvant conditionner la survenance d'un sinistre, dans la mesure où des défauts de réalisation et de conception de fondations sont plus fréquents sur des terrains en pente et s'ajoutent à de fortes variations de teneur en eau entre l'aval et l'amont de la construction. Ainsi, il a été jugé préférable d'établir la cartographie en partant des contours des formations lithologiques plutôt que de se baser sur un découpage en unités géomorphologiques homogènes.

2.2.4. Carte de susceptibilité

En définitive, la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement a été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département, après évaluation du degré de sensibilité de ces formations. Les critères utilisés pour établir cette hiérarchisation sont les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique de ces formations.

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

Afin d'établir la cartographie de l'aléa retrait-gonflement (qui correspond, rappelons-le, à la probabilité d'occurrence du phénomène), la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement a été croisée avec la localisation des sinistres qui se sont déjà produits.

Pour ce faire, un recensement des sinistres sécheresse a été effectué auprès de l'ensemble des 293 communes du département par le biais d'un questionnaire d'enquête. Rappelons que 44 de ces communes ont été, à ce jour, concernées par au moins un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, pour des périodes comprises entre juin 1989 et septembre 2005.

Ces données ont été complétées par les dossiers conservés par la Caisse Centrale de Réassurance et certaines mutuelles d'assurance dont la MAAF et la MATMUT. Les dossiers de plusieurs bureaux d'études ont pu être consultés et exploités, ainsi que les dossiers archivés en Préfecture.

Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 519 sinistres qui ont été recensés, dont 516 ont pu être localisés avec précision sur les cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ils sont répartis dans 68 communes et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département du Rhône.

2.2.6. Détermination des densités de sinistres

Pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée a été déterminée par superposition avec la carte des formations argileuses et marneuses du département. Ceci a permis de déterminer le nombre de sinistres recensés pour chacune des formations géologiques susceptibles et, par suite, de calculer une densité de sinistres par formation (en pondérant par la surface d'affleurement de chacune des formations, afin d'obtenir des chiffres comparables entre eux).

Dans un souci de rigueur et étant donnée la grande diversité du taux d'urbanisation d'un point à un autre du département, il est apparu nécessaire, conformément à la méthodologie adoptée au niveau national, de pondérer ces densités de sinistres par le taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux a été calculé à partir des surfaces de bâtiments de la BD TOPO de l'IGN qui a été mise à disposition par la DDE du Rhône, dans le strict cadre de l'étude.

Ainsi, une hiérarchisation des formations géologiques argileuses et marneuses a été réalisée en fonction du taux de sinistralité ramené à 100 km² de formation géologique réellement urbanisée.

2.2.7. Carte d'aléa

La carte départementale d'aléa a été établie à partir des contours de la carte de synthèse des formations argileuses ou marneuses : le niveau d'aléa vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement a été défini en croisant, pour chaque formation, la note de susceptibilité et la densité de sinistres ramenée à 100 km² de formation urbanisée, en donnant toutefois un poids deux fois plus important à la susceptibilité, et ceci toujours en conformité avec la méthodologie validée au niveau national. La carte obtenue est numérisée et son échelle de validité est le 1/50 000.

3. Présentation du département du Rhône

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

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 (données fournies sur le site internet de la Préfecture). Nous prendrons cependant en compte pour la suite de l'étude les données surfaciques de la BD Carto[®] de l'IGN sous projection cartésienne, lesquelles indiquent une valeur de 3 258,8 pour la superficie du département. Ce dernier est aussi l'un des plus peuplés, avec 1 578 869 habitants recensés en 1999. Il s'étend sur 95 km du nord au sud et sur une largeur moyenne de 30 km d'est en ouest. Il peut être décomposé en plusieurs secteurs géographiques (Illustration 2) :

- la ville de Lyon ;
- la plaine de l'Est Lyonnais ;
- les Monts du Beaujolais ;
- le Mont d'Or ;
- les Monts du Lyonnais.

- La ville de Lyon

Elle se situe à la confluence de la Saône et du Rhône et peut être divisée en trois zones topographiques distinctes :

- les derniers contreforts du rebord oriental du Massif Central à l'ouest, présentant quelques reliefs, notamment le plateau de Fourvière et la colline de la Croix Rousse ;
- la confluence de la Saône et du Rhône ;
- le fossé d'effondrement rhodanien qui constitue une grande plaine à l'est.

C'est à la fois une métropole industrielle et une ville insolite avec ses traboules (passages d'une maison à l'autre) ou ses galeries souterraines. En bord de Saône, autour de la cathédrale Saint-Jean, s'étend le quartier du Vieux Lyon, classé patrimoine mondial de l'humanité par l'Unesco en 1998.

- 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 fluvioglaciales 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.

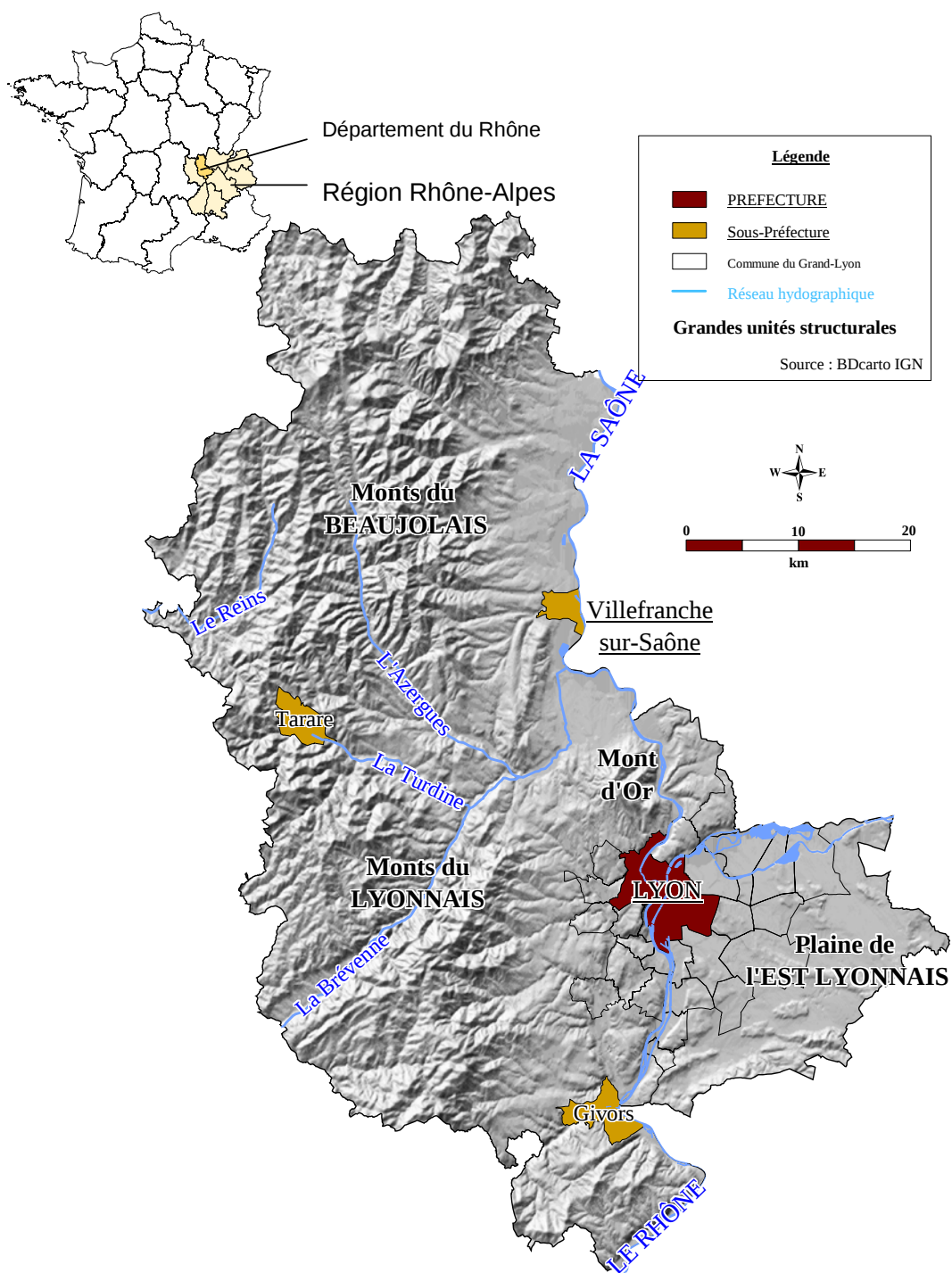


Illustration 2 – Carte de présentation du département du Rhône (Sources : MNT pas de 50 m et BD Carto IGN©)

- 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. Ces 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.

- Le Mont d'Or

Il s'agit d'un petit massif sédimentaire bien individualisé au nord-ouest de Lyon. Avec son relief de cuesta, le Mont d'Or présente sept sommets dont le Mont Verdun qui culmine à 625 mètres d'altitude. C'est grâce aux fractures qui jalonnent ces massifs que de grandes quantités d'eau circulent en profondeur et que de nombreuses sources coulent au pied des reliefs.

- 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.

3.2. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DU RHONE

Les réservoirs hydrogéologiques du département peuvent être classifiés en 4 catégories :

- Les nappes alluviales ;
- Les nappes d'alluvions fluvioglaciaires ;
- Les nappes profondes dans le Tertiaire ;
- Les aquifères discontinus du socle.

Les informations qui suivent sont principalement issues de la contribution des services extérieurs du Ministère de l'Agriculture à la connaissance des ressources en eaux souterraines dans le département du Rhône (1981).

3.2.1. Les nappes alluviales

Elles constituent la principale ressource en eau souterraine du département. Leur productivité dépend en général de la perméabilité des alluvions. En termes de piézométrie, elles présentent un temps de réponse plus ou moins rapide selon le cours d'eau qui les alimente.

La nappe alluviale de la Saône présente des rendements assez modérés du fait de l'argilosité des alluvions. Elle est assez peu vulnérable aux pollutions de surface du fait de la présence d'argile.

La nappe alluviale du Rhône en amont de Lyon constitue la ressource en eau la plus importante de la région Lyonnaise. Les alluvions sont grossières, très perméables, la puissance de l'aquifère est élevée et l'alimentation induite à partir du fleuve très importante. Il s'agit d'un aquifère assez vulnérable notamment en raison de la faible profondeur de la nappe dans le sol. En aval de Lyon, la nappe présente des caractéristiques identiques mais elle est encore plus vulnérable aux pollutions du fait de sa position en aval hydraulique de Lyon et de ses industries chimiques

On peut également citer les nappes alluviales de cours d'eau plus restreints dont certaines jouent un rôle dans l'alimentation en eau potable ou industrielle (Garon, Gier).

3.2.2. Les aquifères d'alluvions fluvioglaciaires

Il s'agit de nappes de dépôts morainiques qui recouvrent l'Est Lyonnais. Il s'agit d'une nappe bien transmissive du fait de la propreté des alluvions anciennes. Elle est potentiellement vulnérable aux pollutions du fait de l'absence de couverture argileuse continue en surface.

Le substratum de la nappe est constitué, soit par le Miocène, soit par des argiles d'origine glaciaire.

Deux principales nappes sont décrites : celle du couloir Hérieux-Saint-Symphorien d'Ozon et celle des couloirs de Meyzieu et de Chassieu.

3.2.3. Les nappes profondes dans le Tertiaire

Deux formations constituent les réservoirs de ces nappes profondes : les dépôts miocènes (molasse) et les dépôts pliocènes (sables et graviers, sables de Trévoux).

La profondeur de ces nappes fait qu'en général, elles n'intéressent pas les variations de teneur en eau des sols en surface. A noter cependant qu'à Saint-Georges-de-Reneins, les nappes du Miocène et du Pliocène présentent un léger artésianisme avec un niveau statique sensiblement plus haut que la nappe des alluvions quaternaires.

3.2.4. Les aquifères discontinus du socle

Il ne s'agit pas d'une nappe à proprement parler mais de circulations d'eau dans les fissures du socle. A l'échelle du département, ces eaux souterraines ne constituent pas une ressource très importante au niveau quantitatif mais elles sont souvent la seule ressource souterraine disponible dans la partie occidentale du département.

3.2.5. Les aquifères superficiels

Les formations superficielles des versants essentiellement représentées par les éboulis, les colluvions ou les altérites de socle constituent des réservoirs aquifères lorsqu'ils reposent sur des assises imperméables et lorsqu'ils présentent une épaisseur et une étendue suffisantes. Cette ressource, qui ne fait l'objet que d'une exploitation sporadique (puits, petits captages), peut subir des variations saisonnières très importantes et impacter l'hygrométrie des sols de surface.

3.3. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat du Rhône est comme pour le reste de la région Rhône-Alpes, de type semi-continental avec des influences alternées des climats méditerranéen, continental et océanique (Illustration 3). Les hivers sont assez rigoureux (gelées parfois fortes et chutes de neiges épisodiques) et les étés sont chauds et ensoleillés. Le vent y souffle souvent : le Mistral remonte régulièrement la vallée du Rhône jusqu'au département, et le vent de sud souffle souvent et parfois violemment à l'avant des perturbations en provenance du sud-ouest. Ce régime de vent d'orientation méridienne (nord/sud) est dû à l'alignement des vallées Saône-Rhône et aux reliefs à l'ouest (Massif-Central) et à l'est (Alpes), qui canalisent le vent dans la vallée.

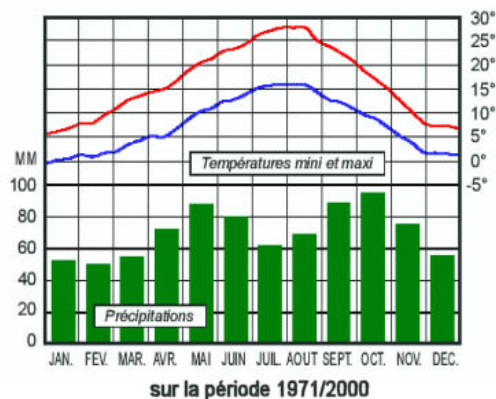
Les orages d'étés peuvent être violents et fréquents.

Le climat semi-continental est nuancé par l'altitude dans les Monts du Lyonnais et du Beaujolais.

LE CLIMAT DANS LE RHÔNE



Normales de températures et de précipitations à Bron



Quelques records depuis 1922 à Bron

Température la plus basse	-24,6 °C
Jour le plus froid	22/12/1938
Année la plus froide	1963
Température la plus élevée	39,8 °C
Jour le plus chaud	22/07/1983
Année la plus chaude	2000
Hauteur maximale de pluie en 24h	97 mm
Jour le plus pluvieux	03/10/1935
Année la plus sèche	1949
Année la plus pluvieuse	1960

Illustration 3- Caractéristiques climatiques du département du Rhône (station Météo France de Bron, source : site internet Météo-France)

4. Identification et cartographie des formations géologiques à dominante argilo-marneuse

4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS

4.1.1. Méthode utilisée

L'objectif est de disposer d'une carte des formations géologiques à dominante argilo-marneuse du département du Rhône, afin d'identifier les zones sensibles au retrait-gonflement.

La première étape a consisté à cartographier les formations argilo-marneuses du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, pour en dresser un inventaire et synthétiser les différentes cartes géologiques prises en compte. Des regroupements ont été réalisés dans une seconde étape, en considérant que des natures lithologiques voisines laissaient supposer des comportements semblables vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cela a permis d'aboutir à la carte départementale synthétique des formations argileuses au sens large.

Cette cartographie a été réalisée à partir de la carte départementale géologique harmonisée (Saint Martin, 2007) et des cartes géologiques du BRGM à l'échelle 1/50 000, ce qui constitue la partie prépondérante des données de base prises en compte pour la réalisation de cette synthèse cartographique. Le lever des cartes géologiques à 1/50 000 dans le département du Rhône s'est étalé sur une période relativement longue, si bien que de fortes disparités existent entre les travaux anciens (1968 pour la carte de Givors) et les plus récents (1996 pour la carte de Saint-Symphorien-sur-Coise). Cette hétérogénéité concerne à la fois la qualité et la répartition des informations sur le territoire. Les objectifs de ces cartes et les approches méthodologiques mises en œuvre ont en effet évolué dans l'intervalle. Les formations superficielles, de grande importance pour la présente étude, ont été davantage prises en compte dans les périodes récentes, les travaux anciens étant, de manière générale, moins approfondis sur ce point.

Ces cartes ont été partiellement complétées par la consultation de la Banque des données du Sous-Sol (BSS), gérée par le Service Géologique Régional du BRGM mais toutes les données disponibles en BSS n'ont pu être intégrées en raison de leur nombre très élevé. Par ailleurs, l'analyse des publications scientifiques portant sur la zone d'étude a aussi permis d'améliorer la connaissance de la lithologie et de la minéralogie des formations.

L'assemblage départemental des cartes géologiques (Illustration 4) comporte tout ou partie des 16 coupures suivantes : Cluny (624), Mâcon (625), Charlieu (648), Beaujeu (649), Belleville (650), Roanne (672), Amplepuis (673), Villefranche-sur-Saône (674), Tarare (697), Lyon (698), Montluel (699), Saint-Symphorien-sur-Coise (721), Givors (722), Bourgoin-Jallieu (723), Saint-Etienne (745) et Vienne (746).

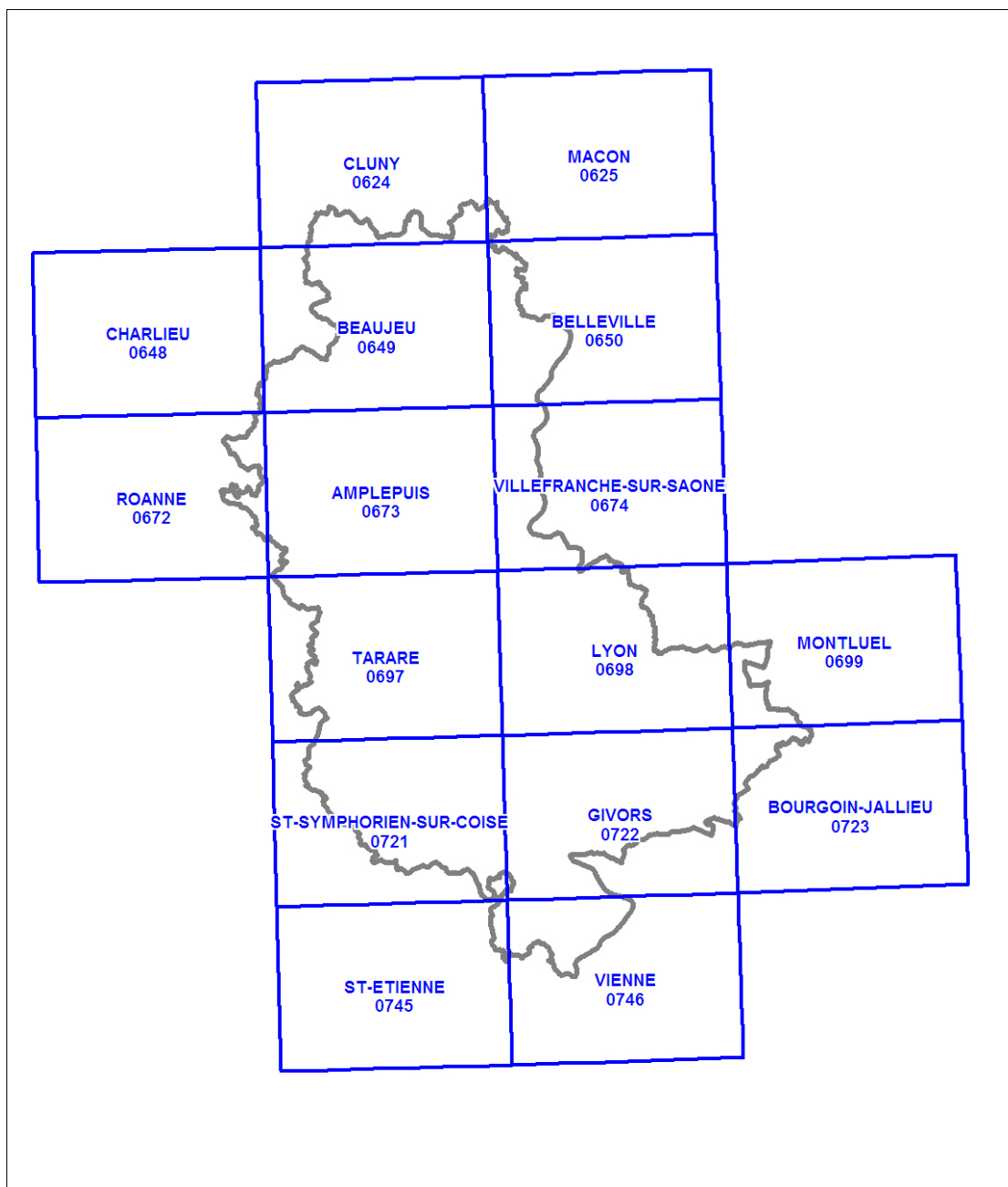


Illustration 4 – Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 du Rhône

A partir de la carte départementale géologique harmonisée et des cartes géologiques publiées à l'échelle 1/50 000, nous avons identifié les formations argileuses et marneuses ainsi que toute formation pouvant renfermer des intercalations ou des lentilles argileuses et marneuses.

Une carte de ces différentes formations a été établie en homogénéisant et raccordant entre elles les 16 coupures géologiques à l'échelle 1/50 000. Elle servira de support à l'élaboration de la carte finale de l'aléa retrait-gonflement.

4.1.2. Établissement de la carte des formations argileuses

Dans certains cas, les argiles ou marnes constituent la majeure partie de la formation retenue. C'est par exemple le cas des marnes grises et calcaires du Pliensbachien (PLIEN) qui présentent un faciès argilo-marneux sur une grande partie de leur épaisseur. Mais, dans la

majorité des cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département du Rhône sont très hétérogènes. Il peut s'agir :

- soit de formations intrinsèquement hétérogènes, qui sont constituées d'un mélange de différents matériaux dont des argiles ou des marnes, mais également des éléments plus grossiers (limons, sables, graves, banc calcaire ou banc de grès...). L'argile est soit mélangée avec les autres constituants, soit présente sous forme de niveaux individualisés, séparés les uns des autres par des lits intercalaires non argileux, répartis selon une séquence complexe et qui peut présenter des variations spatiales. Dans ces conditions, il n'est pas possible, à l'échelle départementale, de distinguer précisément les zones contenant de l'argile de celles où elle est totalement absente, et l'ensemble de ces formations, par nature hétérogènes, a été considéré comme argileux ;
- soit de formations à la base très peu argileuses, mais qui, du fait de leur altération, peuvent présenter des faciès argileux contenant des minéraux gonflants, notamment dans les premiers mètres de sol. Aussi, il a été décidé de considérer l'ensemble de ces formations comme argileuses.

L'hétérogénéité de ces formations est bien sûr prise en considération lors de la caractérisation de leur susceptibilité vis-à-vis du retrait-gonflement, notamment dans la note lithologique.

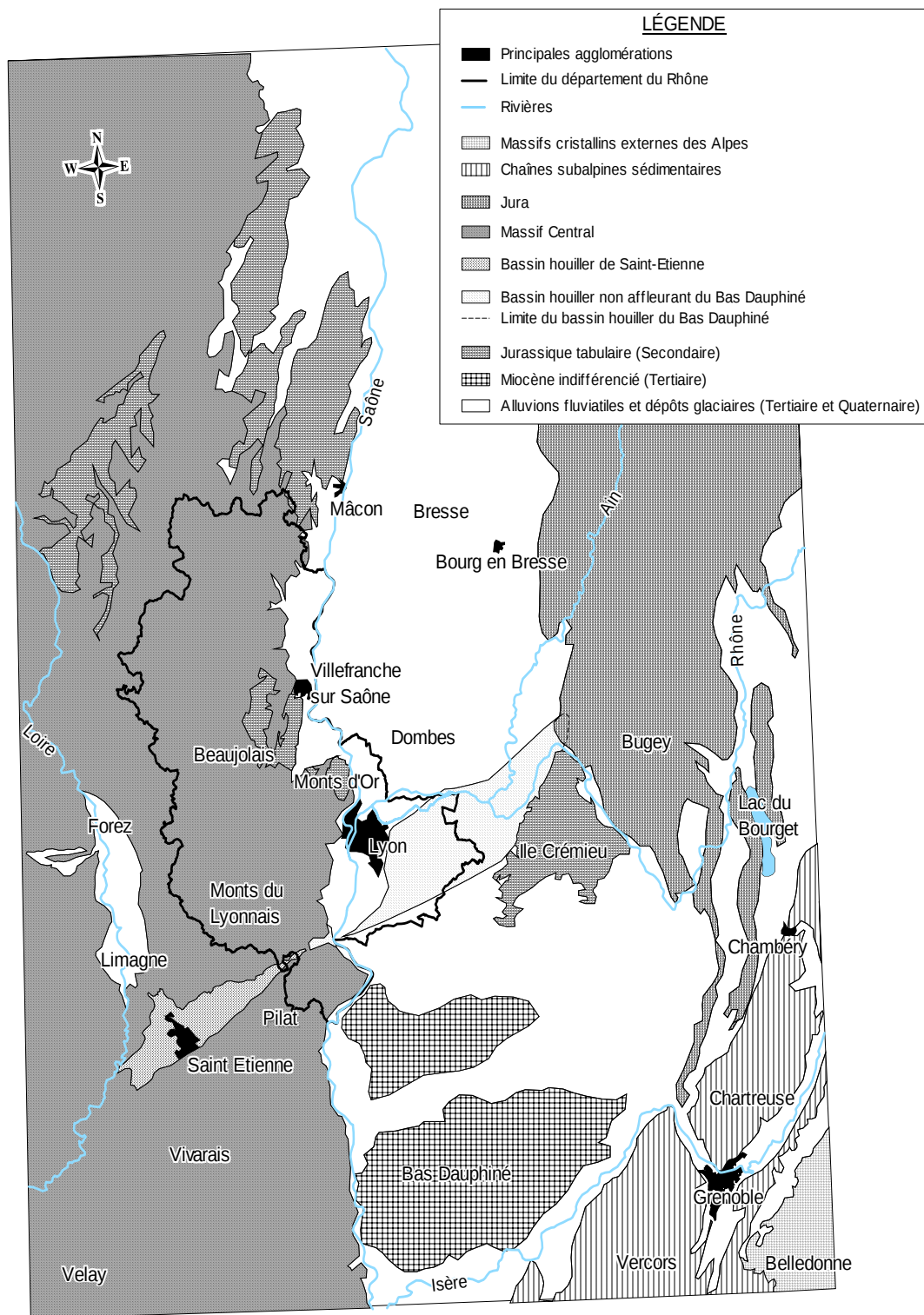
La carte des formations argileuses du Rhône présentée plus loin constitue finalement une représentation interprétée des zones susceptibles au phénomène de retrait-gonflement, en fonction des données actuellement disponibles au travers de la représentation cartographique des formations superficielles du département.

30 formations ont finalement été retenues sur cette carte présentée en Illustration 8 et également en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000.

4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Sur le schéma structural de la région Lyonnaise à l'échelle 1/1 000 000 (Illustration 5), on distingue quatre grandes unités géomorphologiques bien individualisées :

- la retombée orientale du Massif Central ;
- la dépression médiane ;
- le Jura ;
- les Alpes.



Source : BRGM

Illustration 5 - Schéma structural de la région lyonnaise
(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 6) :

- 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.

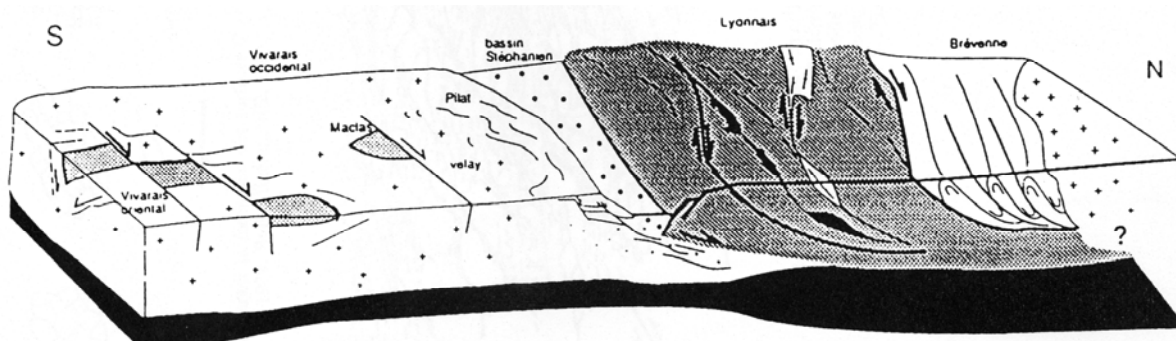


Illustration 6 - Bloc diagramme NS de la bordure orientale du Massif Central (Source : V. Gardien)

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 (Illustration 8). 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 7), plus ou moins nombreuses et d'orientation mixte (principalement rhodanienne, mais également hercynienne). La bordure orientale correspond au Jura qui chevauche la plupart du temps les fractures ainsi masquées. 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 devient subsidente 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 a fini de se mettre en place.

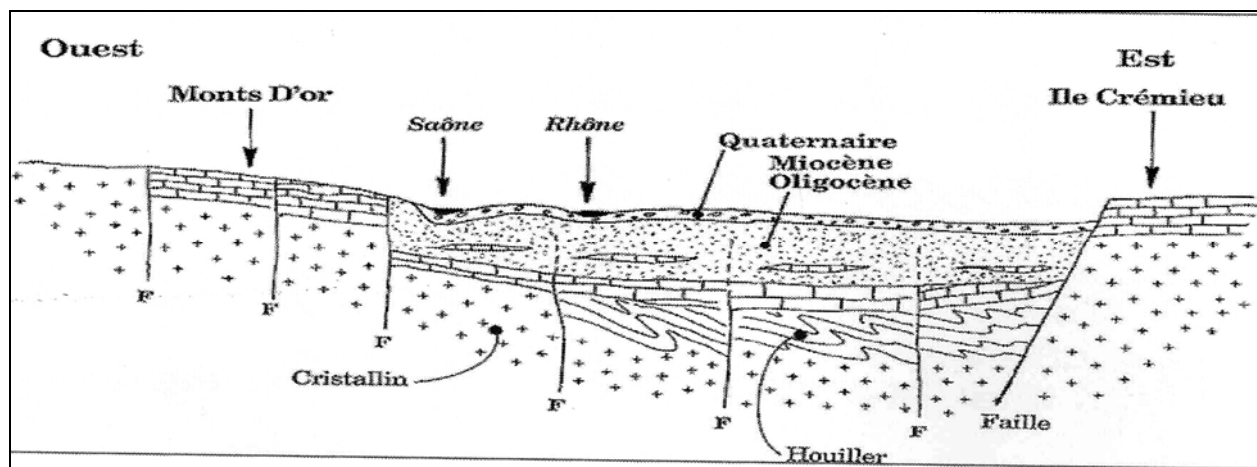


Illustration 7 - Coupe schématique du fossé au niveau de Lyon (Source : N. Mongereau)

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 alpins 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.

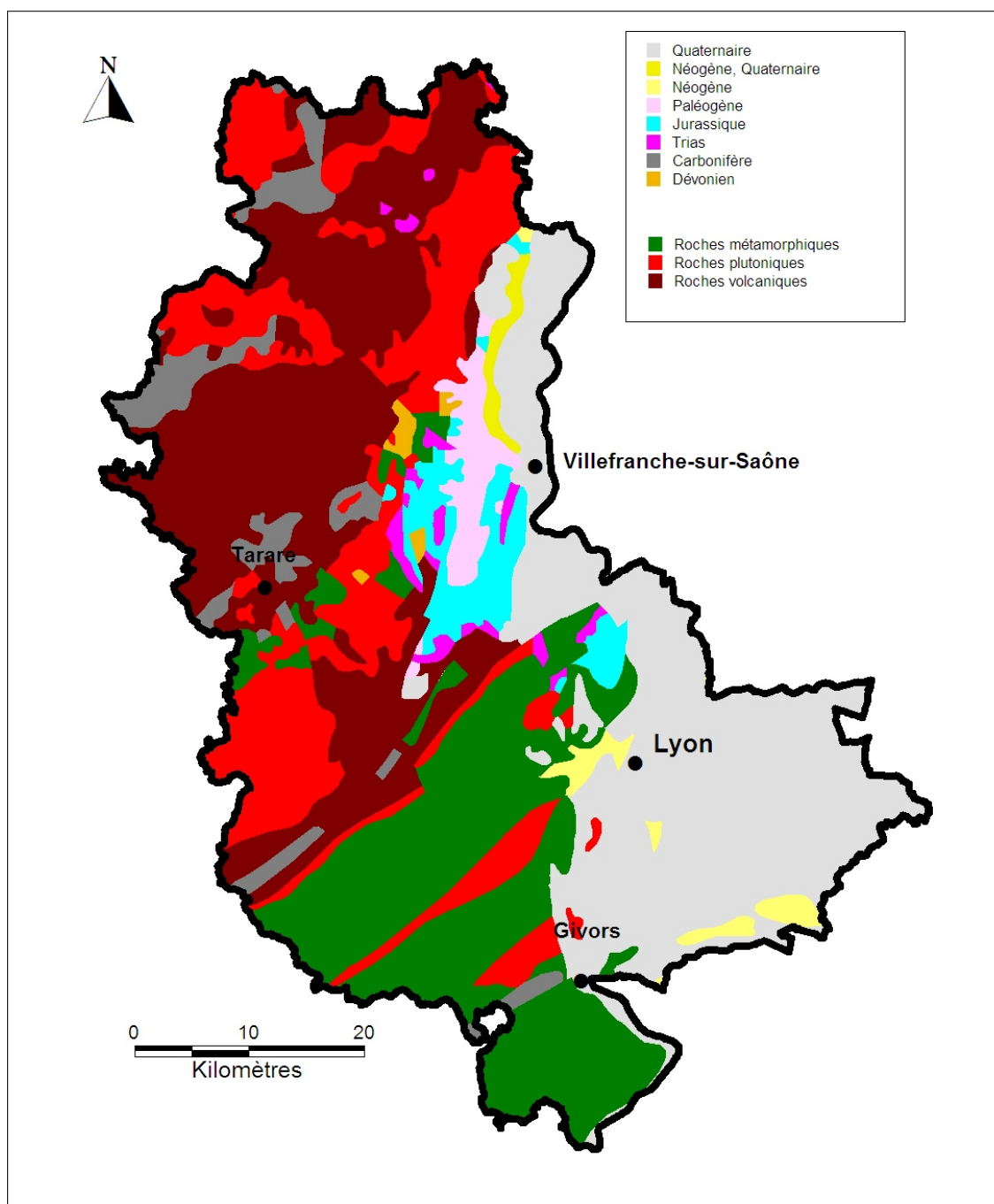


Illustration 8 - Carte géologique simplifiée du Rhône (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000, BRGM, 2003)

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILO-MARNEUSES

Ce chapitre dresse l'inventaire des 30 formations géologiques identifiées dans le cadre de cette étude comme présentant une composante argileuse au sens large dans le

département du Rhône. Une brève description en est présentée, basée principalement sur les notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000.

Ces formations sont décrites depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes.

A l'exception des alluvions, les formations quaternaires (colluvions, éboulis, altérites) se présentent en général sous forme de lambeaux localisés ou de véritable couverture dont l'épaisseur peut varier de quelques décimètres à plusieurs mètres. Elles peuvent, dans certains cas, ne pas être représentées sur les cartes géologiques. En effet, une carte géologique est une **représentation interprétative** correspondant à des critères de choix du ou des auteurs en fonction des attentes de la communauté scientifique à l'époque de la réalisation de la carte. De plus, l'échelle du 1/50 000 est souvent mal adaptée à la représentation de plaquages superficiels de faible extension, constitués d'argiles d'altération qui peuvent s'exprimer sous différentes formes : poche d'argile, karst, zone fracturée, lentille de colluvions, etc.

La carte montrant l'extension géographique de ces 30 formations synthétiques à composante argileuse est présentée sur l'illustration 9, ainsi qu'en carte hors texte, à l'échelle 1 / 100 000.

4.3.1. Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône (AFLUR)

La distinction des alluvions du Rhône de celles de la Saône a été effectuée en raison de différences lithologiques indéniables. Ces différences s'expliquent par les régimes hydrauliques distincts des deux cours d'eau ainsi que par la nature des formations géologiques que l'on rencontre au sein de leur bassin versant.

Pour le Rhône en amont de Lyon, il s'agit de formations très variées : sables, graviers, argiles, limons à tourbe (Montluel – 699). En aval de l'agglomération lyonnaise, (Givors - 722 et Vienne – 746), on rencontre des alluvions sablo-caillouteuses avec un limon de débordement (épaisseur : 20 à 25 m).

Pour plus de simplicité, nous avons intégré dans cette formation les alluvions issues des affluents du Rhône même si leur nature peut s'avérer localement très différente de celles du Rhône.

4.3.2. Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire (AFLUS)

Côté Saône, les alluvions sont plus argileuses comme sur la carte de Belleville (650) où il s'agit de 3 à 5 m. d'argiles calcaires et de limons reposant sur des argiles plus ou moins tourbeuses et plastiques. Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), il s'agit de limons jaunes de débordement (2 à 3 m d'épaisseur) surmontant des argiles grises (quelques mètres), des cailloutis et du sable grossier.

Il faut également citer les alluvions des petits cours d'eau des Monts du Lyonnais et du Beaujolais. D'épaisseur et d'extension peu importante, elles sont composées d'argiles plus ou moins sableuses ou limoneuses, de sables ou de graviers. Nous avons également regroupé dans cette formation les alluvions des petits cours d'eau rejoignant le bassin versant de la Loire.

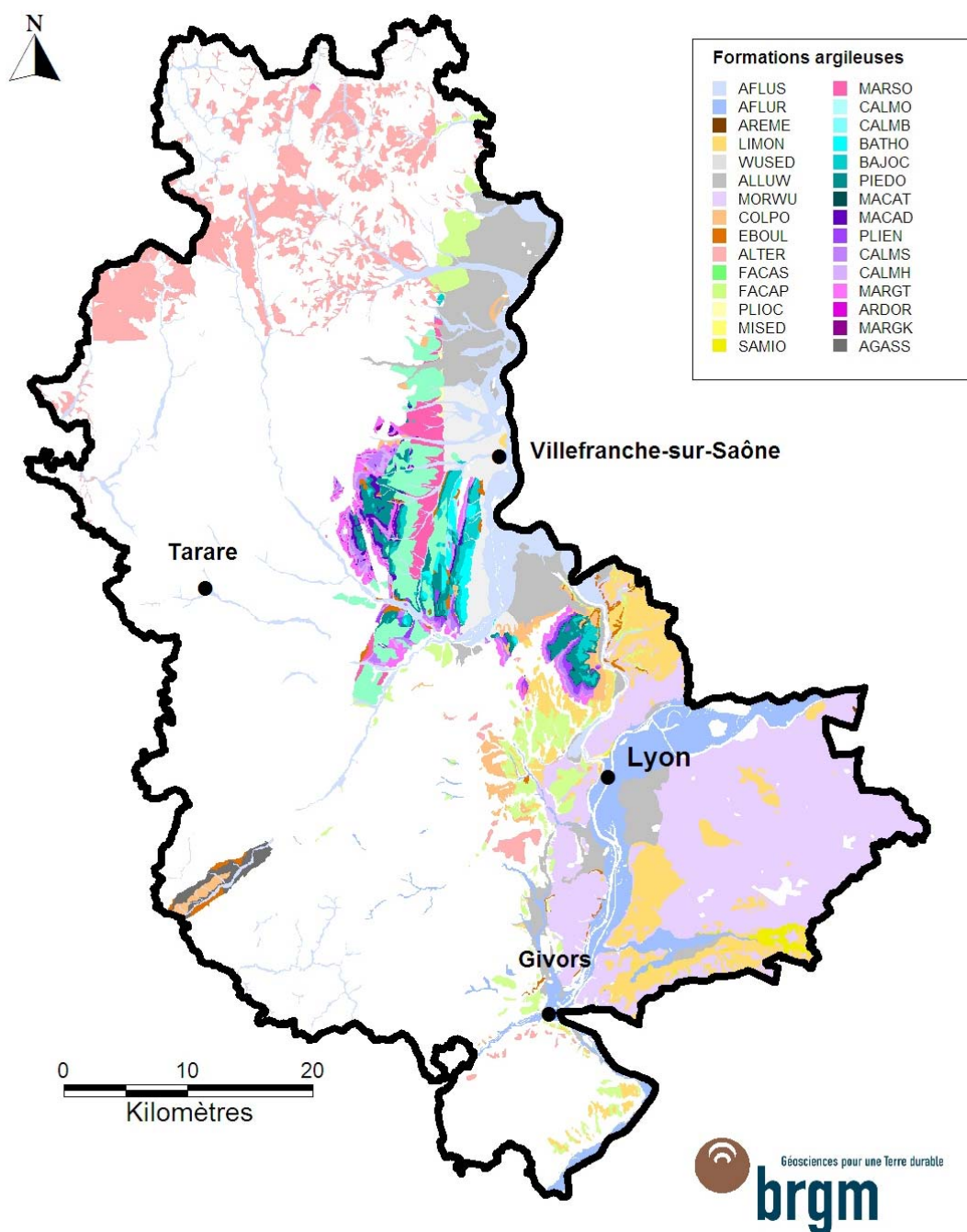


Illustration 9 - Carte des formations argileuses du Rhône

4.3.3. Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Émeringes (AREME)

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'Émeringes (Beaujeu – 649). Ce faciès singulier n'a pu être rattaché à aucune autre

formation du département. Son extension est très réduite (0,24 km²). Il s'agit d'un sédiment fin, argilo-limoneux, lité horizontalement (feuillets millimétriques à centimétriques) gris-jaunâtre plus ou moins bariolé par altération. Ces argiles pourraient avoir un lien avec les argiles du Pliocène inférieur Bressan.

4.3.4. Loëss et limons du quaternaire (LIMON)

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), les loëss würmiens sont fréquemment recouverts par un lehm en couche d'altération superficielle de puissance variable, enrichi en argiles et en sels de fer. Sur la même carte, la presque totalité du plateau des Dombes est couvert par une nappe de limons plus ou moins argileux (épaisseur maximale : 3 à 4 m). Les loëss et limons Rissiens et antérieurs forment un complexe limoneux intercalé dans les formations morainiques (limons d'apparence loëssique) dont l'épaisseur est de 6 à 7 m. Des limons de même apparence, épais de plusieurs mètres, avec intercalations d'argiles vertes, existent sous la partie occidentale des Dombes.

Sur la carte de Montluel (699), les loëss et limons würmiens sont des dépôts éoliens siliceux, calcaire et argileux, parfois ferrugineux, épais de 0 à 8 m.

Sur la carte de Vienne (722), les loëss et limons sont indifférenciés et s'apparentent à des dépôts fins, siliceux, calcaires ou argileux, souvent ferrugineux.

4.3.5. Alluvions fluviales, torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (WUSED) et sur substratum indifférencié (ALLUW)

Sur la carte de Belleville (650), il s'agit :

- soit de limons argileux très cohérents et ferrugineux visibles sur 3 m dans les carrières de Pontanevaux ;
- soit de limons parfois légèrement sableux, parfois argileux non calcaires de 4 à 6 m d'épaisseur sur substrat de sables, graviers, galets.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), cette formation regroupe un ensemble très hétérogène. Il peut s'agir :

- soit de sables et graviers ou de cailloutis à intercalations de bancs argileux contournés ou soliflués ; l'épaisseur de ce type de faciès varie de 5 à 6 m jusqu'à 28 m ;
- soit de cailloutis grossiers à galets dans une matrice sableuse, recouverts en surface par une couverture loëssique et limoneuse ;
- soit, vers Limas, d'un niveau complexe d'accumulation et d'érosion à la surface des amphibolites affectées par une profonde altération argileuse de 5 à 6 m d'épaisseur ;
- soit de cailloutis très grossiers, siliceux et calcaire dans une matrice argilo-sableuse.

Sur la carte de Lyon (698), il s'agit des alluvions du confluent Saône-Azergues. Celles-ci sont constituées de quartzites et de galets. Une fraction importante est constituée par des argiles, des sables feldspathiques et des colluvions locales.

La différenciation des formations fluviales, torrentielles ou fluvioglaciales du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (WUSED) n'apparaît pas de prime abord évidente à la lecture des cartes géologiques sur lesquelles elles sont représentées (Villefranche-sur-Saône – 674 et Lyon – 698). Cependant, cette distinction est apparue *a posteriori* justifiée pour plusieurs raisons :

- plasticité moyenne des argiles présentes sur cette formation nettement plus élevée que sur la formation ALLUW. Dans ces conditions, il faut probablement considérer l'argilosité moyenne de la formation WUSED comme plus élevée, ce qui justifie *a posteriori* la distinction lithologique ;
- sinistralité nettement supérieure ;
- teneur en minéraux gonflants plus élevée dans les formations sédimentaire du Trias, Jurassique et Oligocène que dans les formations de socle.

4.3.6. Moraines würmiennes et rissiennes (MORWU)

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.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), ces formations géologiques sont constituées d'un mélange hétérogène d'argiles, de sables, de graviers, de cailloux et de galets de toute nature.

Sur la carte de Montluel (699), les complexes morainiques wurmiens sont constitués de moraines argileuses à blocs, accompagnées de blocs erratiques.

A Givors (722), les moraines de faciès argileux («argiles à blocs») sont les plus classiques. C'est un mélange hétérogène de boues calcaires, argileuses et micacées, de sables, de cailloutis à galets striés et de quelques blocs erratiques. L'épaisseur de l'ensemble varie entre 10 et 40 m.

Sur la carte de Bourgoin-Jallieu (723), les nappes alluviales fluvioglaciales wurmiennes ont une composition qui peut être résumée comme suit :

- à la base, au fond de vallée, des dépôts glaciaires, moraines de faciès argileux datant de la phase immédiatement antérieure ;
- au-dessus, des dépôts liés au contexte glaciaire, de faciès très irrégulier en fonction des avancées et des reculs successifs du front glaciaire : moraine de tous faciès, glacio-lacustre, fluvioglaciale, etc. ;
- au sommet, en surface de la plaine, le caractère fluvioglaciale s'accroît : les eaux de fusion ont lessivé la partie supérieure des dépôts puis à mesure que le glacier s'éloignait, elles ont apporté et étalé des alluvions fluvioglaciales de plus en plus distales.

Toujours sur la carte de Bourgoin-Jallieu (723), les complexes morainiques wurmiens correspondent à un sédiment hétérogène et hétérométrique, constitué de blocs, cailloux et graviers, emballés dans une matrice sablo-argileuse et calcaire. On distingue en général deux faciès : la moraine argileuse (argile à blocs) et la moraine caillouteuse. L'épaisseur de cette formation est très variable de 1 m à plusieurs dizaines de mètres.

4.3.7. Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (FACAS) et sur substratum indifférencié (FACAP)

Les formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène se distinguent également par leur grande hétérogénéité.

Sur la carte de Beaujeu (649), il s'agit d'alluvions de la haute-terrasse : argiles, sables, graviers, cailloutis.

La carte de Belleville (650) indique qu'il s'agit de sables, graviers et galets sans matrice argileuse. Cependant, la présence de quelques sinistres nous a conduits à conserver cette formation au sein des formations argileuses car il est possible que des poches d'argile non décrites dans la notice de la carte géologique, soient présentes. Par ailleurs, ont été inclus dans cette formation, les cailloutis de roches cristallines ou volcaniques, roches siliceuses primaires, silex et chailles jurassiques dans une matrice sablo-graveleuse le plus souvent riche en argile.

Sur la carte d'Amplepuis (673), cette formation est décrite comme un épandage pelliculaire (20 à 50 cm) de cailloutis patinés du produit de l'altération du socle et de sa couverture sédimentaire.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), les alluvions fluviales de la très haute-terrasse "villafranchienne" correspondent aux cailloutis et sables ferrugineux des Dombes : il s'agit d'une puissante série de cailloutis à galets polygéniques dans une matrice sableuse. Au milieu de la formation, il existe des lentilles, des fragments irréguliers et des blocs arrondis d'argile grise calcaire.

Toujours sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), les cailloutis de Frontenax-Alix (argiles, chailles, silex) correspondent à des alluvions locales à silex, chailles et galets siliceux emballées dans une abondante matrice sablo-argileuse (épaisseur de plusieurs dizaines de mètres).

Sur la carte de Tarare (697), les alluvions anciennes datées du Pliocène ou du Pléistocène, non différenciées correspondent :

- à l'ouest de Breuil, à des limons (0,8 m d'épaisseur), des graviers fins dans une matrice sableuse avec des lentilles de silt argileux (1,2 m), des sables (0,5 m) et des sables plus grossiers (0,75 à 1,5 m) avec parfois des argiles au plancher ;
- au sud de la Turdine, à une couverture de limons sur 20 m d'alluvions sableuses.

Sur la carte de Lyon (698), il s'agit de gros galets de quartzite dans une matrice argileuse (entre Dardilly, Ecully et Francheville).

Si la distinction lithologique entre les formations FACAS et FACAP n'apparaît pas évidente à la lecture des notices de cartes géologiques, celle-ci s'est imposée *a posteriori* pour deux raisons :

- sinistralité nettement plus élevée sur la formation FACAS ;
- teneur en minéraux gonflants plus élevée dans les formations sédimentaires du Trias, du Jurassique et de l'Oligocène que dans les formations de socle.

4.3.8. Colluvions polygéniques du Quaternaire (COLPO)

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 ont été extraites de la sélection et regroupées avec la formation ALTER (Cf. 4.3.27). 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).

Ainsi sur la carte de Lyon (698), ces colluvions regroupent :

- des colluvions et des formations résiduelles du plateau lyonnais : arènes sablo-argileuses avec des fragments de roches du socle et des galets siliceux, le tout parfois consolidé par un ciment argilo-ferrugineux (bétain) ;
- des formations résiduelles et colluvions du pourtour du Mont-d'Or : argiles à limons, à débris calcaires et chailles.

Sur la carte de Saint-Symphorien-sur-Coise (721), il s'agit d'un mélange de produits de l'altération du houiller et de colluvions. Des limons d'inondation peuvent s'y intercaler. L'épaisseur est de l'ordre de 15 m ;

Sur la carte de Givors (722), il s'agit de placages argilo-caillouteux, résidus de colluvions et peut-être d'alluvions.

4.3.9. Eboulis du Quaternaire (EBOUL)

Ils sont très peu développés sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674) où ils apparaissent au pied du chaînon jurassique de Lachassagne.

Sur la carte de Lyon (698), ils apparaissent sous la forme d'un manteau discontinu, parfois épais, 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.

Les éboulis et solifluxions des alluvions du Quaternaire sont fréquents sur la carte de Givors (722) lorsque les moraines sont à faciès argileux sur les versants.

4.3.10. Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre (PLIOC)

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.

Peu représenté en région Lyonnaise (*a contrario* de la Bresse), le Pliocène a été toutefois individualisé dans ses niveaux supérieurs dans la région de Trévoux (sables de Trévoux). En dehors de quelques affleurements dans les vallons de la partie nord du Val de Saône, le Pliocène a été rencontré à la sortie ouest du tunnel du chemin de fer de Collonges ; il aurait, sans preuves paléontologiques, également été trouvé dans quelques sondages des collines lyonnaises. Sa géologie a été décrite de manière imprécise dans la notice de la carte de Lyon (698).

4.3.11. Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables (MISED)

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). Il est très difficile d'attribuer une épaisseur à cette formation. Vers l'est, dans l'axe du fossé Rhodanien, le Miocène présente plusieurs centaines de mètres d'épaisseur (300 m). Sur les bordures du Massif Central, il a été érodé et son épaisseur est bien inférieure, très irrégulière d'un endroit à l'autre.

4.3.12. Sables argileux du Miocène supérieur marin (SAMIO)

Les sables argileux du Miocène supérieur marin sont décrits sur la carte de Lyon (698) où ils présentent le long du Massif Central (par exemple sur les pentes de la Croix-Rousse à Lyon), un faciès détritique allant du conglomérat au sable argileux avec ciment argilo-ferrugineux. Les deux faciès les plus connus sont ceux :

- des sables de Saint-Fons, apparentés à un sable calcaire micacé jaune clair ou gris, à grains fins dans lequel s'intercalent des lentilles ou galets/masses d'argile grise ;
- du Jardin des Plantes qui correspond à un conglomérat à ciment argilo-ferrugineux.

Sur la carte de Givors (722), il existe un autre faciès, dit des sables granitiques de Saint-Bathélémy (ou de Solaise). Ce faciès semble peu argileux, malheureusement, la carte géologique ne trace pas les limites de ces différentes subdivisions au sein de la série miocène.

Sur la carte de Bourgoin-Jallieu (723), la formation correspond à des sables fins micacés et calcaires (molasse) à niveaux argileux et à galets. Les pourcentages en minéraux argileux sont les suivants : illite 30 %, chlorite 25 %, montmorillonite 45 %. Au sein de la partie supérieure de la formation, on trouve quelques éléments d'argile de taille décimétrique mêlés à des niveaux à galets consolidés, associés à des niveaux sableux et gréseux.

4.3.13. Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène (MARSO)

Sur la carte de Beaujeu (649), il s'agit de dépôts conglomératiques constitués de calcaires blancs fins et de calcaires roux à entroques de chailles, de blocs souvent volumineux, d'arkoses triasiques et de quelques galets de roches cristallines locales très altérées, le tout dans une matrice sablo-argileuse relativement compacte. On rencontre également un faciès très proche sur la carte de Belleville (650).

Plus au sud dans le département (Amplepuis - 673, Villefranche-sur-Saône - 674), le faciès conglomératique/bréchiq est mêlé à des lambeaux de marnes « saumon », tandis que dans le sondage de Saint-Trivier, on rapporte à l'Oligocène une épaisse masse de marnes bariolées, localement indurées, ocre, jaunâtres à gris-verdâtre, à

minces niveaux plus argileux ou riches en concrétions calcaréo-argileuses, graviers de quartz, inclusions gypseuses, sables mal calibrés et conglomérats.

Sur la carte d'Amplepuis (673), il existe un faciès de sables aréniques plus ou moins argileux à galets de socle altéré.

Sur la carte de Tarare (697), il s'agit de conglomérats calcaires dans une matrice argilo-calcaire. La base de la coupe montre un niveau d'argile (2/3 illite, 1/3 kaolinite) enclavant un banc discontinu de calcaire.

4.3.14. Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen (CALMO)

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.

4.3.15. Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien (CALMB)

Cette formation est également présente 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.

On observe également cette formation sur la carte de Beaujeu (649) ; il s'agit de calcaires jaune-brun tendres probablement associés à des marnes qui affleurent mal. Une coupe type donne de haut en bas :

- 3 à 5 m de calcaires à fines entroques entrecoupés de banc de silex ;
- 2 m de calcaires à fines entroques plus ou moins altérés ;
- 20 cm de marno-calcaires rougeâtres ;
- 50 cm de calcaire dur à fines entroques ;
- 20 cm de marno-calcaires rougeâtres ;
- 20 cm de calcaire argileux.

4.3.16. Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique (BATHO)

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), il s'agit d'un calcaire oolithique blanc (épais de 50 à 60 m) aussi appelée « Pierre de Lucenay » lorsqu'elle était exploitée en carrière.

Dans les Monts d'Or (Lyon – 698), ces calcaires ont fait l'objet d'exploitation dans les carrières de Lissieu mais ils sont célèbres pour leurs fentes remplies d'argile sidérolithique avec leur faune de vertébrés éocènes et miocènes.

La sélection de cette formation au sein des formations argileuses peut apparaître curieuse mais elle se justifie par la présence de sinistres probablement imputables au

remplissage de fractures par de l'argile sidérolithique mais également par l'argile d'altération de ces calcaires.

4.3.17. Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur (BAJOC)

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), il s'agit d'un calcaire marneux compact grisâtre ou jaunâtre (au moins 100 m) contenant, par places, des fossiles silicifiés et des ammonites en calcite rougeâtre.

Sur la carte de Tarare (697), il s'agit d'un calcaire argileux en petits bancs assez noduleux séparés par des interlits marneux. Au-dessus des calcaires, on observe souvent un niveau de marnes ou de calcaire argileux (1 à 2 m). L'épaisseur de l'ensemble est de 40 à 50 m.

Aux alentours de Lyon (698), le Bajocien est divisé en :

- Bajocien supérieur : Calcaire marneux plus ou moins siliceux, dénommé « Ciret » (épaisseur totale : 60 à 80 m) ;
- Bajocien moyen (rare) : lentilles marno-calcaires à pisolithes ferrugineuses, sur une épaisseur inférieure ou égale à 2 m.

4.3.18. Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien (PIEDO)

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 susceptibles de produire des argiles par altération.

Ainsi, la carte de Villefranche-sur-Saône (674) décrit dans la partie supérieure de la formation, des calcaires jaunes, alternant irrégulièrement avec des calcaires rougeâtres et des passées marneuses. Dans la partie inférieure, il s'agit de calcaires en bancs minces à aspect schisteux. L'épaisseur totale est de 30 à 50 m. Sur la carte d'Amplepuis (673), la lithologie est similaire mais l'épaisseur moins importante (20 m).

Sur la carte de Tarare (697), la formation est essentiellement calcaire avec des passées argileuses dans la partie inférieure (1 à 3 m) ainsi que de minces intercalations argileuses dans la partie supérieure (4 à 5 m). L'épaisseur totale de la formation est de 40 à 50 m. Le Bajocien inférieur est inclus dans la formation ; il est représenté par un calcaire à niveaux argileux et parfois à grains de glauconie.

Sur la carte de Lyon (698), la formation est calcaire entrecoupée de bancs de marno-calcaire (0,30 m) tout à fait au sommet. L'épaisseur totale serait de 30 à 40 m.

4.3.19. Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur (MACAT)

Cette formation est essentiellement marneuse. Sur la carte d'Amplepuis (673), elle est formée de bancs peu épais de calcaire argileux et ferrugineux, séparés par des interlits marneux et des marnes argileuses. L'épaisseur totale de la formation est d'environ 10 m.

Sur la carte de Tarare (697), une coupe de la formation montre :

- des marnes argileuses avec passées de calcaire (3,5 à 3,8 m d'épaisseur) ;
- des calcaires (0,15 à 0,25 m) ;
- des marnes argileuses entrecoupées de niveaux irréguliers de calcaires micritiques (2,2 à 2,4 m) ;
- deux bancs de calcaire argileux plus ou moins compacts (0,25 à 0,5 m) ;
- des marnes avec quelques bancs de calcaires argileux (3,5 m) ;
- et enfin, des calcaires séparés par des marnes (2 m).

Sur la carte de Lyon (698), la formation est constituée de niveaux marno-calcaires ferrugineux, de calcaires avec oolithes et fossiles et d'un niveau de marnes avec parfois des passées plus calcaires ferrugineuses et rouges (épaisseur totale : 1 à 7 m).

4.3.20. Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien (MACAD)

Cette formation est également très majoritairement marneuse.

Sur la carte d'Amplepuis (673), le Domérien est représenté par :

- un calcaire crinoïdique qui peut atteindre une dizaine de mètres d'épaisseur ;
- des marnes grises très finement micacées, entrecoupées de fins niveaux de marno-calcaires noduleux, sur une épaisseur totale de 50 à 60 m.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), 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.

4.3.21. Marnes grises et calcaires du Pliensbachien (PLIEN)

Les marnes grises et calcaires du Pliensbachien sont présents sur la carte de Tarare (697). Le Pliensbachien inférieur (ou Carixien) 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.

Sur la carte de Lyon (698), le Domérien correspond à une épaisse série (60 à 100 m) de marnes ou plutôt d'argiles légèrement calcaires et pyriteuses. Le Carixien (Pliensbachien supérieur) correspond à 2 m maximum de calcaire marneux noduleux glauconieux et ferrugineux.

4.3.22. Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien (CALMS)

Sur la carte d'Amplepuis (673), cette formation s'apparente à :

- Sinémurien inférieur : 4 à 8 m de calcaires à grains de quartz ;
- Sinémurien moyen : environ 10 m de calcaires à gryphées ;
- Sinémurien supérieur : 2,50 à 5 m de calcaires jaunâtres, mal stratifiés ;

- Carixien : 5 m de calcaire plus marneux.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), le Sinémurien supérieur correspond à 10 à 15 m de calcaires à gryphées en alternance avec de minces passées de marnes noires schisteuses. Le passage du Sinémurien au Carixien correspond à une alternance de calcaires marneux et de marnes à bélemnites d'épaisseur variable (2 à 10 m). Le Carixien à proprement parler, correspond à un calcaire en bancs compacts alternés avec des marnes à bélemnites (1 à 2 m).

Sur la carte de Tarare (697), la série est décrite comme suit :

- environ 10 m de calcaire à grains de quartz et grès avec de fins interlits argilo-gréseux ;
- 10 à 15 m de calcaire à gryphées : calcaire biomicritique en bancs irréguliers peu épais (10 à 20 cm) séparés par de minces interlits marneux ;
- 5 à 6 m de calcaire argileux gris plus tendres.

4.3.23. Calcaires marneux de l'Hettangien (CALMH)

Ce faciès montre d'assez grandes disparités lithologiques d'une carte à l'autre.

Sur la carte d'Amplepuis (673), cette formation présente la lithologie suivante :

- Hettangien inférieur : marnes ocreuses en de rares endroits puis 5 m de calcaire micritique connu sous le nom de *choin bâtard* et enfin 2 à 5 m de calcaires bioclastiques, oolithiques et à polypiers avec lits de marnes vertes et bancs minces de calcaire gris-clair sublithographique ;
- Hettangien supérieur : 1 à 3 m de calcaires argileux blanchâtres séparés par d'importants lits de marnes grises.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), ce faciès est décrit comme correspondant à 10 à 20 m de calcaires blancs sublithographiques. Cependant, dans le sondage de Saint-Trivier, cet étage est représenté par 9,50 m de calcaire gréseux et grès blanc avec quelques intercalations d'argile noire.

Sur la carte de Tarare (697), le passage du Trias à l'Hettangien se fait par l'intermédiaire d'argiles et de marnes grisâtres avec des petits niveaux gréseux et des plaquettes de calcaire (épaisseur : 2 à 3 m). L'Hettangien inférieur comprend deux formations : le *choin bâtard* (calcaire micritique avec interlits marneux devenant plus argileux : épaisseur : 2 à 5 m) puis 13 à 14 m d'argiles et de marnes. L'Hettangien supérieur correspond à 1 à 2 m de calcaire noduleux tendre dont les nodules fissurés sont enveloppés dans une matrice argileuse.

Sur la carte de Lyon (698), la série correspond à moins de 10 m de calcaires lumachelliques devant argileux, 5 m de *choin bâtard*, 2 à 4 m de calcaire coquillier, 1 m de marnes et de calcaires argileux blanchâtres et enfin des calcaires à grains de quartz.

4.3.24. Marnes, grès et cargneules du Trias (MARGT)

Sur la carte de Beaujeu (649), le Trias, entièrement gréseux, a été éliminé.

Sur la carte de Belleville (650), ce sont des grès puis une alternance d'argiles, de marnes feuilletées et de cargneules, puis un banc (1 à 2 m) de grès-quartzites fins. L'épaisseur de l'ensemble atteint 3 à 10 m.

Sur la carte de Villefranche-sur-Saône (674), la lithologie est la suivante :

- 20 m de grès feldspathiques avec intercalation de couches argileuses ;
- 6 à 8 m de marnes et calcaires dolomitiques ;
- 10 à 20 m de grès très grossier ;
- 5 à 10 m de grès calcaire.

Sur la carte de Tarare (697), le début de la série est constituée de grès fins stratifiés en bancs homogènes avec des lits argileux ou marneux. Les grès reposent sur quelques mètres d'argiles rouges ou vertes (épaisseur totale évaluée à 25 m). La série de poursuit, sur une dizaine de mètres d'épaisseur, avec des dolomies roses puis une alternance décimétrique d'argilites silteuses ou gréseuses et de plaquettes silteuses ou grésodolomitiques. Les grès supérieurs (30 m d'épaisseur) sont ensuite grossiers avec de rares lits argileux. Pour finir, le Rhétien est constitué de calcaires dolomitiques alternant avec des marnes grises et surmontés par des argilites laminées à stratification oblique, ainsi que des bancs minces de grès et de dolomies.

La formation présente à peu près la même lithologie sur la carte de Lyon (698).

4.3.25. Grès, argiles et dolomies du Rhétien (ARDOR)

Sur la carte de Macon (625), cette formation regroupe des dolomies et des cargneules, des argiles bigarrées avec quelques lentilles de gypse, des argiles bigarrées silteuses, des grès dolomitiques et des dolomies, des alternances d'argiles gréseuses, des calcaires gréseux, des schistes gréseux et des petits bancs de grès. L'épaisseur de l'ensemble atteint 20 à 50 m. La formation intègre également sur cette carte l'Hettangien : (calcaire "foie de veau", marnes dolomitiques et calcaires plus ou moins cargneulés) ainsi que le Rhétien (grès, calcaire gréseux et calcaires dolomitiques). Ce faciès est néanmoins très peu représenté dans le Rhône et n'est donc pas décrit en détail.

Sur la carte d'Amplepuis (673), la série débute avec des bancs de grès fins à forte porosité à ciment argilo-calcaire ou à ciment calcaire puis des grès. Les niveaux supérieurs sont marqués par une alternance de niveaux d'argile verte et lie-de-vin (illite caractérisée à la Chana au SE de Moiré) et de bancs décimétriques de calcaire dolomitique.

4.3.26. Marnes bariolées et grès du Keuper (MARGK)

Cette formation argileuse n'est présente que sur la carte d'Amplepuis (673) où elle est constituée de :

- 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).

4.3.27. Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur (AGASS)

Sur la carte de Saint-Symphorien-sur-Coise (721), 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. La coupe géologique serait la suivante :

- à la base, un conglomérat épais de 15 à 20 m avec une matrice argileuse souvent rougeâtre ;
- 150 m d'alternance d'argile et de grès avec quelques intercalations de poudingues ;
- 90 m de filons houillers séparés par des alternances argilo-schisto-gréseuses ;
- plusieurs centaines de mètres de grès arkosiques, de schistes silto-micacés et d'argiles avec de rares lits charbonneux.

4.3.28. Altérites et colluvions de socle (ALTER)

Cette formation est essentiellement présente dans la partie ouest du département où le socle cristallin affleure (Monts du Lyonnais, Monts du Beaujolais).

Les formations d'altération du socle cristallin sont seulement signalées sur quelques cartes géologiques de la partie nord du département (Beaujeu – 649, Belleville – 650, Roanne - 672) car il s'agit des éditions les plus récentes. Sur les autres cartes, plus anciennes (Amplepuis - 673, Tarare - 697, Lyon - 698, Saint-Symphorien-sur-Coise - 721, Givors - 722, Saint-Etienne - 745 et Vienne - 746), les altérites de socle bien que certainement présentes, n'ont pas été cartographiées, ce qui correspond à une pratique courante à l'époque où elles ont été levées. Nous avons tenté de pallier ce problème en utilisant la carte pédologique du Rhône à l'échelle du 1/125 000 qui a été acquise dans le cadre de cette étude en version numérique auprès de la chambre d'agriculture Rhône-Alpes.

Il est cependant apparu à l'usage que cette carte n'était guère compatible avec les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, en raison des écarts entre les échelles de cartographie et surtout des différences dans les approches méthodologiques mises en œuvre. La comparaison entre les données figurant sur la carte pédologique et celles apparaissant sur les cartes géologiques les plus récentes où les formations superficielles ont été levées de manière plus précise font apparaître des divergences majeures difficiles à expliquer. Ainsi, un sol peu profond (< 40 cm) sur la carte pédologique peut correspondre à une zone où a été cartographiée la présence d'altérites sur une carte géologique, ce qui devrait logiquement se traduire par un profil d'altération plus épais.

Par ailleurs, aucune corrélation apparente n'a pu être établie entre la profondeur, l'hydromorphie ou l'argilosité d'un sol, telles qu'elles sont identifiées sur la carte pédologique, et la localisation des quelques sinistres répertoriés sur le socle.

Dans ces conditions, il a été jugé plus opportun de se limiter, dans la représentation des altérites du socle, aux informations disponibles sur les cartes géologiques actuellement disponibles, de telle sorte que celles-ci n'apparaissent que dans le nord

du département. Pour des raisons de similitude lithologique, nous les avons regroupés avec les colluvions issues (exclusivement ou principalement) du socle.

4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES

Parmi les formations qui ont été considérées comme non argileuses, certaines peuvent néanmoins contenir des lentilles, des passées ou des poches argileuses ou marneuses d'extension limitée comme par exemple les formations de socle. Elles n'ont pas été prises en compte à l'échelle de la cartographie départementale. Cependant, ces lentilles, à passées ou poches argileuses ou marneuses peuvent être localement à l'origine de sinistres, mais cela ne justifie pas qu'il faille considérer l'ensemble de la formation géologique comme sujette au phénomène de retrait-gonflement.

Afin de compléter les données des cartes géologiques qui ne prennent pas toujours en compte la présence de formations superficielles et de profils d'altération sur certaines formations *a priori* non argileuses (socle notamment), il a été procédé à un examen minutieux de la carte pédologique au 1/100 000 du département du Rhône, acquise au format numérique auprès de la chambre régionale d'agriculture. Malheureusement, ce document s'est révélé à l'usage difficilement exploitable pour l'étude, en raison de nombreuses incohérences avec les données des cartes géologiques, établies à une échelle plus fine et selon une approche méthodologique assez différente. La carte pédologique fait état de la présence de sols hydromorphes et argileux en fond de vallée mais donne peu d'indication sur les profils d'altération et les placages argileux situés sur les plateaux. Enfin, il n'apparaît pas de relation entre la répartition géographique de la sinistralité et la présence de certains sols pourtant réputés plus argileux sur la carte pédologique.

De ce fait, il a été considéré que la carte géologique à 1/50 000 était, dans l'état actuel des connaissances disponibles, le meilleur support existant pour décrire l'argilosité des terrains à l'échelle départementale. Cependant, il est certainement imparfait principalement en raison du fait que les anciennes cartes géologiques ne s'attachaient généralement pas à décrire les horizons superficiels. Pour le département du Rhône, cette lacune de connaissance concerne essentiellement les formations de socle, où l'on sait cependant – par comparaison avec les autres départements français - que la sinistralité est peu répandue.

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues

5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION

5.1.1. Critères retenus

Les critères retenus pour l'élaboration de la carte de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement concernent la nature lithologique des formations affleurantes à sub-affleurantes, la minéralogie de leur phase argileuse et le comportement géotechnique du matériau. La carte de susceptibilité ainsi élaborée correspond donc à une hiérarchisation des formations géologiques identifiées, en prenant en compte uniquement ces trois critères.

En effet, d'autres critères de susceptibilité au retrait-gonflement, tels que le contexte hydrogéologique, la topographie, la végétation ou le type de fondation du bâti, n'ont pas été pris en compte, la plupart de ces facteurs n'intervenant que de manière très locale et ne pouvant par conséquent être cartographiés à l'échelle départementale.

5.1.2. Méthode de classification

Rappelons que le document de base utilisé pour élaborer la carte de susceptibilité est la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département, laquelle a été établie en tenant compte essentiellement de la nature lithologique des formations.

La seconde étape de cette cartographie consiste à hiérarchiser les formations argileuses et marneuses ainsi identifiées, en fonction de leur plus ou moins grande susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de caractéristiques quantifiables, estimées pour chacune des 30 formations sélectionnées :

- la nature lithologique des terrains constituant en majorité la formation ;
- la composition minéralogique de sa phase argileuse, évaluée à partir de la proportion de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) ;
- le comportement géotechnique du matériau, évalué à partir de la réactivité du sol vis-à-vis de l'eau, caractérisée par la valeur de bleu de méthylène, et dans une moindre mesure par l'importance du retrait possible (mesures de retrait linéaire) en cas de dessèchement, ainsi que par l'étendue de son domaine plastique, évaluée par son indice de plasticité.

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les différentes formations, la règle adoptée a consisté à utiliser des valeurs seuils, couramment admises dans la littérature, distinguant quatre degrés de susceptibilité (faible, moyenne, forte et très forte). Pour permettre la réalisation de calculs, les grandes classes lithologiques distinguées ont également été affectées d'une note. Pour les trois

caractéristiques naturelles des terrains, cela permet d'attribuer une note de 1 à 4 à chacune des formations identifiées.

Les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des 30 formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

Les sources des données ici présentées proviennent principalement de dossiers issus des archives de APRR (Autoroutes Paris-Rhin-Rhône, subdivision de l'Ain), du CETE de Lyon (pour le tracé de l'A46), ainsi que de nombreux bureaux d'études : Abrotec à Anse (69), Arcadis ESG à Villeurbanne (69), Hydro-Géotechnique à Saint-Maurice-l'Exil (38), Fondasol à Décines (69), EG SOL à Chassieu (69) et Rillieux Etudes à La Boisse (01). D'autres résultats proviennent de résultats issus de rapports de bureaux d'études (CEBTP-Solen, CFEG, EG SOL, Fondasol, Fondaconseil, Géoplus, Groupe J, Hydro-Géotechnique) fournis, pour la plupart, par la Préfecture, par les communes en retour de courrier d'enquête, par la Caisse Centrale de Réassurance et par les mutuelles d'assurance MAAF et MAIF. Nous avons également consulté Monsieur Cassinelli du Grand Lyon qui nous a mis à disposition les 6 000 dossiers de la Commission des Balmes. Cependant, il est vite apparu que, faute d'archivage par mots-clés, et au vu du peu de dossiers traitant du retrait-gonflement, nous ne pouvions exploiter ces données dans un délai raisonnable. Cette voie de recherche a donc dû être écartée au profit d'actions plus ciblées et efficaces.

Que l'ensemble des partenaires ayant contribué à transmettre ces données trouve ici l'expression de notre reconnaissance pour sa précieuse collaboration à cette étude.

5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE

5.2.1. Définition du critère lithologique et barème

Ce premier critère, de nature essentiellement qualitative, est utilisé pour caractériser la lithologie des matériaux dominants dans la formation. Il permet de distinguer les terrains essentiellement argileux, de ceux où l'argile est minoritaire. Ce critère intègre donc l'hétérogénéité des formations. L'épaisseur de la formation entre également en ligne de compte, puisque les formations argileuses peu épaisses présentent un potentiel de retrait ou de gonflement moindre que les formations puissantes.

Par convention, la note maximale est attribuée à une argile ou une marne épaisse et continue, et la note minimale à une formation hétérogène, présentant des termes argileux non prédominants et discontinus, par exemple sous forme de poches ou de lentilles (Illustration 10).

Type de formation	Susceptibilité	Note
Formation non argileuse mais contenant localement des passées ou des poches argileuses (ex : alluvions avec lentilles argileuses, calcaire avec poches karstiques...)	faible	1
Formation présentant un terme argileux non prédominant de type calcaire argileux ou sable argileux	moyenne	2
Formation à dominante argileuse, présentant un terme ou une passée non argileuse (ex : alternance marno-calcaire ou sablo-argileuse) ou très mince (moins de 3 m)	forte	3
Formation essentiellement argileuse ou marneuse, d'épaisseur supérieure à 3 m et continue	très forte	4

Illustration 10 – Barème du critère lithologique

Il faut noter que cette caractérisation lithologique des formations est établie sur la base de l'expertise du géologue régional et qu'elle ne peut être totalement dépourvue d'une certaine subjectivité dans son appréciation. Sa valeur relative en vue d'une hiérarchisation des formations argileuses est cependant difficilement contestable.

5.2.2. Caractérisation lithologique

Sur la base de ces critères, le tableau de l'III. 11 permet de synthétiser les différentes notes lithologiques attribuées aux 30 formations potentiellement favorables au retrait-gonflement, à partir des descriptions établies dans les notices des cartes géologiques au 1/50 000.

N°	Description	Notation de la carte harmonisée	Code	Note lithologique
1	Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône	Fz, Fy-z, Jz	AFLUR	1
2	Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire	Fz, Fy-z, Jz	AFLUS	2
3	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	Ly	AREME	3
4	Lœss et limons du Quaternaire	OEu, OEy, OEx, OEx-w	LIMON	2
5	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	WUSED	3
6	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	ALLUW	2
7	Moraines würmiennes et rissiennes	FGy, NGy, Gy, Gx	MORWU	2

N°	Description	Notation de la carte harmonisée	Code	Note lithologique
8	Colluvions polygéniques du Quaternaire	Cv, C, RI-j	COLPO	2
9	Eboulis du Quaternaire	E, gl	EBOUL	2
10	Colluvions et altérites de socle	i	ALTER	2
11	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAS	2
12	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAP	2
13	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	p1c	PLIOC	1
14	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	m3-4	MISED	3
15	Sables argileux du Miocène supérieur marin	m1-2	SAMIO	1
16	Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène	g, gS	MARSO	3
17	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	j5b	CALMO	2
18	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen à Callovien	j3bc-4	CALMB	2
19	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	j3	BATHO	1
20	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	j2	BAJOC	1
21	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	j1bc	PIEDO	1
22	Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur	l4-j1a	MACAT	3
23	Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien	l3b-4, l3b	MACAD	3
24	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	l3	PLIEN	3
25	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	l2-3a, l2	CALMS	2
26	Calcaires marneux de l'Hettangien	l1	CALMH	2
27	Marnes, grès et cargneules du Trias	t	MARGT	2
28	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	t7, t7-l1	ARDOR	2
29	Marnes bariolées et grès du Keuper	t6-7	MARGK	3
30	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphanien supérieur	h5b	AGASS	3

Illustration 11 – Note lithologique des formations retenues comme argileuses

5.2.3. Définition du critère minéralogique et barème

Les phénomènes de retrait-gonflement s'expriment préférentiellement en présence des minéraux argileux appartenant au groupe des smectites (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite) et, dans une moindre mesure, au groupe des interstratifiés, alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, par exemple smectites/illite ou illite/smectites. La caractérisation minéralogique des argiles se détermine par des analyses de diffractométrie aux rayons X.

Les bornes retenues pour la classification minéralogique, basée sur le pourcentage de minéraux gonflants (smectites, vermiculites et interstratifiés) contenus dans la phase argileuse du matériau, sont respectivement 25 %, 50 % et 80 % (Illustration 12).

% moyen de minéraux gonflants	Susceptibilité	Note minéralogique
< 25 %	faible	1
25 à 50 %	moyenne	2
50 à 80 %	forte	3
> 80 %	très forte	4

Illustration 12 – Barème du critère minéralogique

5.2.4. Caractérisation minéralogique

D'une façon générale, les données minéralogiques sont peu abondantes dans le département du Rhône. Les cartes géologiques contiennent rarement des informations sur la minéralogie des argiles. Quelques publications, souvent postérieures à l'édition des cartes géologiques, présentent néanmoins des données intéressantes en particulier sur le Quaternaire et le Miocène, même si ces dernières ne concernent pas directement le département du Rhône. En revanche, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne présentent généralement aucune caractérisation des minéraux argileux et les rapports issus de bureaux d'études ne contiennent pas non plus de données minéralogiques.

Les données exploitées ici sont donc pour l'essentiel issues de la lecture des notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 ainsi que de la compilation de plusieurs études ou thèses portant sur la géologie régionale. Parmi celles-ci, deux seulement apparaissent dignes d'intérêt :

- La thèse de Arslan S. (1968) sur les minéraux argileux du Miocène du Vercors et du Bas-Dauphiné. Bien qu'ils ne concernent pas le département du Rhône, ces travaux montrent, à travers l'analyse de 135 échantillons (qui ne concernent qu'une partie des sédiments miocènes), la grande variabilité spatiale et verticale de la teneur en minéraux gonflants.
- Les sédiments du Miocène supérieur et du Pléistocène de la vallée moyenne du Rhône ont fait l'objet d'une analyse minéralogique assez complète dans la publication de Bornand M. et Chamley H. (1975). Le département du Rhône n'est pas non plus directement concerné par cette publication mais les résultats de l'étude apportent néanmoins des éléments de connaissance utiles.

Cependant, pour la majorité des formations argileuses et en particulier pour les formations du Jurassique, du Lias et du Trias, il n'a pas été possible d'accéder à des références précises dans les publications consultées. Il est ainsi très difficile de caractériser ces formations d'un point de vue minéralogique, le budget disponible pour la présente étude étant par ailleurs très insuffisant pour apporter une amélioration significative des connaissances sur ce sujet. Afin de combler certaines lacunes d'information, une campagne de terrain a tout de même été menée dans le département, au cours de laquelle 28 échantillons ont été prélevés et ont fait l'objet d'analyses diffractométriques aux rayons X afin de déterminer la composition

minéralogique de la fraction argileuse de ces matériaux. Les résultats sont présentés en annexe 4.

Les données départementales ainsi recueillies ont en outre été partiellement enrichies avec celles issues de l'établissement des cartes d'aléa retrait-gonflement dans les départements voisins de la Saône-et-Loire et de la Drôme.

Le nombre et la qualité des données minéralogiques ainsi exploitées sont en définitive assez variables selon les formations géologiques.

La synthèse des données disponibles (Illustration 13) aboutit à l'attribution des notes minéralogiques. Sur les 30 formations argileuses, 29 ont reçu une note minéralogique même si le nombre de données utilisées pour l'attribution de ces notes est souvent très faible. Dans ce contexte, nous avons pu être amenés à corriger les notes minéralogiques obtenues à partir d'un seul échantillon jugé non représentatif de l'ensemble de la formation.

					% moyen en minéraux argileux									
					Minéraux gonflants						Minéraux non gonflants			
N°	Description	Code	Informations données par la bibliographie	Nb éch.	% de smectite ou vermiculite			% interstratifiés - smectites			% interstratifiés	% d'illite	% de kaolinite	Note minéralogique
					max	min	moy	max	min	moy	moy	moy	moy	
Formations argileuses														
1	Alluvions fluviatiles récentes à actuelles du bassin versant du Rhône	AFLUR												-
2	Alluvions fluviatiles récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire	AFLUS	Saône-et-Loire : Feuille de Chagny (553) : 51 % d'insolubles aux acides, constitués en parts égales de sable très fin quartzo-feldspathique et d'argiles (kaolinite 30% ; smectite 60% ; illite 10%).	1 ⁽¹⁾			48					12	40	3
3	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	AREME	Aucune information	1 ⁽¹⁾			84					3	13	4
4	Lœss et limons du Quaternaire	LIMON	Aucune information	1 ⁽¹⁾						60		20	20	3
5	Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	WUSED	Aucune information	1 ⁽¹⁾			18				60	5	17	2
6	Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié	ALLUW	Aucune information	1 ⁽¹⁾						29		38	33	2
7	Moraines würmiennes et rissiennes	MORWU	Aucune information	1 ⁽¹⁾			40					27	33	2
8	Colluvions polygéniques du Quaternaire	COLPO	Rhône : Feuille de Beaujeu (649) : Plusieurs analyses dans les colluvions recouvrant les altérites de socle (sondages localisés dans le nord du département du Rhône): n° B3a3: kaolinite (100%) n° B3c3: illite (20%), kaolinite (30%), vermiculite (30%), interstratifiés vermiculite-chlorite (20%) n° 7b2-1: illite (50%), kaolinite (20%), vermiculite (30%) n° 7c3: illite (40%), kaolinite (30%), vermiculite (30%) n° 8b1: illite (10%), kaolinite (20%), montmorillonite (70%) Les minéraux argileux dans la fraction argileuse sont l'illite, surtout sur substrat granitique ou tufs rhyolitiques, la kaolinite en quantité modeste sauf sur substrat de siltite où elle peut en constituer la totalité, la montmorillonite qui semble liée préférentiellement aux roches amphiboliques, la vermiculite rare et l'interstratifié chlorite-vermiculite qui n'apparaît que dans deux cas (sur tufs rhyolitiques et sur microgranites). Saône-et-Loire : Feuille de Saint-Bonnet-de-Joux (601): La fraction< 5 µm est composée de 50 % de kaolinite et 50 % d'illite	3 ⁽¹⁾	7	0	2	15	0	5		37	55	2
9	Eboulis du Quaternaire	EBOUL	Aucune information	1 ⁽¹⁾						7		52	39	1
10	Colluvions et altérites de socle	ALTER	Saône-et-Loire : feuille de Toulon/Arroux (577) : Arènes de granitoïdes porphyroïdes: "Parmi les minéraux argileux, l'ensemble kaolinite + vermiculite est largement prédominant. Sur la coupe de Lavault, l'augmentation de l'ameublissement de la base vers le sommet est beaucoup moins importante qu'ailleurs, la proportion de sable restant à peu près constante. L'étude des phyllithes montre un mélange d'illite, chlorite et kaolinite. Sur le dernier profil, les analyses granulométriques révèlent de fortes valeurs pour les fractions grossières (42 %) et sableuse (45 %). La diffractométrie RX met en évidence la présence d'illite et de kaolinite.	1 ⁽¹⁾			18					47	35	1
11	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	FACAS												2

					% moyen en minéraux argileux									
					Minéraux gonflants						Minéraux non gonflants			
N°	Description	Code	Informations données par la bibliographie	Nb éch.	% de smectite ou vermiculite			% interstratifiés - smectites			% interstratifiés	% d'illite	% de kaolinite	Note minéralogique
					max	min	moy	max	min	moy	moy	moy	moy	
12	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié	FACAP	d'après ⁽³⁾ , sur 14 échantillons : teneur en smectites et interstratifiés comprise entre 0 et 80 % de l'ordre 40 % en moyenne	1 ⁽¹⁾			5			11		41	43	2
				3 ⁽²⁾	77	34	55					13	32	
13	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	PLIOC	Aucune information	1 ⁽¹⁾			52					33	15	3
14	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	MISED	Saône-et-Loire : feuille de Mâcon (625) : - A propos des marnes et argiles du domaine bressan: argiles bleues à kaolinite et illite. Feuille de Tournus (602) : kaolinite et illite dominant dans les marnes et argiles pliocènes de la Bresse											1
15	Sables argileux du Miocène supérieur marin	SAMIO	Rhône et Isère : Feuille de Bourgoin-Jallieu (723) : Niveaux argileux souvent superposés aux niveaux sableux et à galets ; proportion respective des minéraux argileux : illite (30%), chlorite (25%), montmorillonite (45 %) d'après ⁽³⁾ , sur 1 échantillon : teneur en smectites de l'ordre 80 % d'après ⁽⁴⁾ , sur 16 échantillons : teneur moyenne en smectites de 70 à 80 %	1 ⁽²⁾			93			4			3	
16	Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène	MARSO	Rhône : Feuille de Tarare (697) : Conglomérats calcaires dans une matrice argilo-calcaire. La base de la coupe montre un niveau d'argile (2/3 illite, 1/3 kaolinite) enclavant un banc discontinu de calcaire Saône-et-Loire : Feuille de Charlieu (648) : - à propos des paléosols ferrugineux : fraction inférieure à 2 µm: prépondérance de la kaolinite associée à l'illite (10% au plus). - à propos des argiles, argiles sableuses et sables intercalés: La composition minéralogique est presque constante: kaolinite (30%), smectite (60%) et illite (10%), même en profondeur. - à propos des calcaires, marnes, argiles et sables: les rapports sont approximativement identiques à ceux des couches argileuses avec prépondérance de la smectite	1 ⁽¹⁾			70					4	26	3
17	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	CALMO	Saône-et-Loire : Feuille de Chagny (553) : Les petits bancs de calcaire sont séparés parfois par des joints argileux à illite, kaolinite, interstratifiés, goethite Feuille de Chalon-sur-Saône (579): Dans les bancs calcaires les teneurs en carbonate sont voisines de 95% ; dans les interbancs elles oscillent entre 65 et 90%, avec un résidu insoluble essentiellement constitué par des grains de quartz anguleux auxquels s'associent des minéraux argileux (illite, kaolinite, interstratifiés)	1 ⁽¹⁾								50	50	
18	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien	CALMB	Aucune information	1 ⁽¹⁾								58	42	1
19	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	BATHO	Côte d'Or (j2) : · Feuille de Recey-sur-Ource (406) : illite, kaolinite et interstratifiés. · Feuille d'Aignay-le-Duc (438) : illite et kaolinite. · Feuille de Saint-Seine-l'Abbaye (469) : illite et kaolinite.											
20	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	BAJOC												

					% moyen en minéraux argileux									
					Minéraux gonflants						Minéraux non gonflants			
N°	Description	Code	Informations données par la bibliographie	Nb éch.	% de smectite ou vermiculite			% interstratifiés - smectites			% interstratifiés	% d'illite	% de kaolinite	Note minéralogique
					max	min	moy	max	min	moy	moy	moy	moy	
21	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	PIEDO	Saône-et-Loire : feuille de Saint-Bonnet-de-Joux (601) : A propos des matériaux issus de l'altération et du remaniement des calcaires et marnes du Jurassique: étudiée pour trois échantillons, la fraction inférieure à 5 µm semble formée en moyenne de kaolinite (50%) et d'interstratifiés du type illite-montmorillonite (50%).											2
22	Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur	MACAT	Saône-et-Loire : feuille de Paray-le-Monial (600) : Dans les profils d'altération, les insolubles (Fe-Si-Al) se concentrent et les argiles recristallisent en kaolinite.	1 ⁽¹⁾			9					22	69	1
23	Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien	MACAD	Saône-et-Loire : feuille de Saint-Bonnet-de-Joux (601) : L'analyse minéralogique révèle soit une prédominance de l'illite, associée à des interstratifiés gonflants, soit l'association illite, kaolinite, smectite.	1 ⁽¹⁾			8					25	67	2
24	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	PLIEN	Aucune information	2 ⁽¹⁾				21	15	18		22	60	2
25	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	CALMS	Saône-et-Loire : Expertises et Bureaux d'études: - Commune de Saint-Mard-de-Vaux : dans les alternances de calcaires et de marnes liasiques : montmorillonites et interstratifiés.	1 ⁽¹⁾						54		16	30	3
26	Calcaires marneux de l'Hettangien	CALMH	Aucune information	1 ⁽¹⁾						56		29	15	3
27	Marnes, grès et cargneules du Trias	MARGT	Saône-et-Loire : Feuille de Saint-Bonnet-de-Joux (601) et de Cluny (624) : - La minéralogie des argiles montre une prédominance de l'illite associée à de la kaolinite pour la subdivision lithologique inférieure. Dans les niveaux gypsifères apparaissent, en plus, des minéraux interstratifiés (chlorite gonflante). L'association smectite-illite avec peu de kaolinite caractérise la partie supérieure. Feuille de Saint-Bonnet-de-Joux (601) : - à propos du complexe sablo-argileux dérivé du Trias gréseux : prédominance de la fraction inférieure à 2 µm (40 à 60%). Dans la fraction inférieure à 5 µm, la kaolinite (60 à 70%) prédomine sur les minéraux micacés et la montmorillonite ou sur les minéraux argileux interstratifiés. - à propos du Trias à faciès gréseux : des lits d'argilites vertes à dominante d'illite associée à très peu de kaolinite existent fréquemment à la base. - à propos de l'altération du Trias à faciès gréseux : étudiée pour un seul échantillon, la fraction inférieure à 5 µm est composée de kaolinite (40%) et d'illite (60%).	2 ⁽¹⁾				42	3	23		47	29	1
28	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	ARDOR	Rhône : Feuille d'Amplepuis (673) : Alternance de niveaux d'argile verte et lie-de-vin (illite caractérisée à la Chana au SE de Moiré) et de bancs décimétriques de calcaire dolomitique ⁽¹⁾	1 ⁽¹⁾						25		58	17	2
29	Marnes bariolées et grès du Keuper	MARGK	Aucune information	1 ⁽¹⁾								91	9	1
30	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphanien supérieur	AGASS	Aucune information	1 ⁽¹⁾						60		20	20	3

⁽¹⁾: Prélèvement BRGM dans le Rhône
⁽²⁾: D'après prélèvement effectué dans la Drôme
⁽³⁾ : BORNAND M. et CHAMLEY H. (1975) - Observations sur la sédimentation argileuse du Miocène supérieur au Pléistocène dans la vallée moyenne du Rhône – Bulletin du groupe français Argiles, pages 87-96
⁽⁴⁾ : ARSLAN S. (1968) : Etude des minéraux argileux des formations miocènes du Vercors et du Bas-Dauphiné – Thèse de 3^{ème} cycle présentée à la faculté des sciences de Lyon

Illustration 13 – Note minéralogique des formations argileuses retenues

5.3. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE

5.3.1. Définition du critère géotechnique et barème

Ce critère permet d'intégrer dans l'analyse de la susceptibilité le comportement géotechnique du matériau vis-à-vis du retrait-gonflement. Le choix et la description des différents essais géotechniques utilisés pour la définition de ce critère sont présentés dans les paragraphes suivants, ainsi que les valeurs seuils retenues pour la détermination de la note géotechnique.

Les expertises de sinistres qui ont pu être consultées indiquent que le type d'essais effectués sur le terrain dépend des bureaux d'études et varie en fonction de l'objectif assigné à l'étude. Généralement, la reconnaissance de sol se fait par sondage à la tarière (le plus souvent manuelle), parfois en fouille directe. Les essais géotechniques remplissent deux objectifs :

- déterminer les caractéristiques intrinsèques du sol : les essais utilisés sont généralement les limites d'Atterberg (qui permettent de déterminer l'indice de plasticité, IP), le retrait linéaire, l'essai au bleu de méthylène (qui traduit la capacité d'adsorption du sol) et le coefficient de gonflement, éventuellement complétés par une analyse granulométrique pour déterminer le passant à 80 µm. Les analyses sédimentométriques, qui permettraient de déterminer la fraction argileuse du matériau (inférieure à 2 µm), et les analyses aux rayons X, permettant de distinguer le pourcentage de minéraux gonflants sont plus rarement réalisées ;
- caractériser l'état du sol, et notamment son état de dessiccation en effectuant des mesures de teneurs en eau, généralement à plusieurs profondeurs. En comparant ces valeurs avec les limites d'Atterberg du matériau, il est possible de savoir dans quel état de consistance se trouve le matériau in situ (état solide avec ou sans retrait, plastique ou liquide). D'autres essais peuvent également être mis en œuvre, comme la mesure du rapport de gonflement.

Seuls les résultats des essais correspondant aux caractéristiques intrinsèques du sol sont pris en compte dans le cadre de cette étude, puisqu'il s'agit de déterminer la susceptibilité au retrait-gonflement de chaque formation. En effet, les résultats des essais caractérisant l'état du matériau varient au cours du temps en fonction de l'humidité du sol : ils sont donc utiles pour diagnostiquer les causes d'un sinistre et déterminer dans quel état se trouve le sol par rapport au niveau d'équilibre, mais ne sont pas pertinents pour caractériser la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement.

Les études géotechniques après sinistres sont souvent complétées par un ou plusieurs essais pressiométriques (ou parfois au pénétromètre dynamique), dont l'objectif est la vérification de la capacité portante du sol et le dimensionnement ultérieur éventuel de micropieux, si les résultats de l'expertise indiquent qu'une reprise en sous-œuvre des fondations est nécessaire. Ces données ne sont pas utilisables dans le cadre de la présente étude.

Les principaux essais dont les résultats ont été ici exploités pour caractériser le comportement géotechnique du matériau vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement sont la valeur de bleu, le retrait linéaire, et l'indice de plasticité. Ces essais sont présentés dans les paragraphes suivants, sachant que les deux essais les plus représentatifs de l'aptitude d'un sol au retrait-gonflement sont la valeur de bleu et le retrait linéaire.

5.3.2. Teneur en eau (W_n)

Les profils de teneur en eau en fonction de la profondeur de prélèvement (constitués généralement d'une dizaine de mesures réalisées à différentes profondeurs, jusqu'à 4 à 5 m) donnent des indications intéressantes sur la teneur en eau des couches superficielles au moment de la mesure, et par conséquent de leur éventuel état déficitaire. D'une manière générale, les courbes de profil hydrique varient souvent en « dents de scie », en raison de l'hétérogénéité des matériaux de surface. Il arrive que les teneurs en eau soient plus faibles en surface, parfois jusqu'à 3 m de profondeur, ce qui traduit bien un assèchement (réversible) des couches superficielles. Pour de nombreux sinistres cependant, la teneur en eau est supérieure en surface (1 à 2 m de profondeur), ce qui indique qu'il y a eu ré-humidification des couches superficielles.

Les profils de teneur en eau exigent d'être interprétés avec précaution. En tout état de cause, la signification de ces profils hydriques ne peut être que locale, à la fois dans l'espace (des sondages effectués à quelques mètres de distance indiquent souvent des variations importantes) et dans le temps (ils indiquent seulement le degré d'humidification du sol au moment de la mesure et sont donc susceptibles d'évolution). Ce type de mesure présente un grand intérêt lors de l'expertise d'un sinistre, mais n'apporte en définitive que peu d'information dans le cadre d'une étude de la susceptibilité à l'échelle départementale.

5.3.3. Indice de plasticité (I_p)

Il est calculé à partir des limites d'Atterberg qui mettent en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau fin. Cet indice correspond à la différence entre la limite de liquidité (W_L) et la limite de plasticité (W_P) du matériau. Il représente donc l'étendue du domaine plastique et donne une indication sur l'aptitude du matériau argileux à acquérir de l'eau.

On considère généralement (Chassagneux *et al.*, 1995) que la susceptibilité d'une argile au retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité I_p de la manière suivante (Illustration 14) :

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note
$IP < 12$	faible	1
$12 \leq IP < 25$	moyenne	2
$25 \leq IP < 40$	forte	3
$IP \geq 40$	très forte	4

Illustration 14 – Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité

5.3.4. Essais au bleu de méthylène (VB)

Ils permettent d'évaluer la surface spécifique d'échange d'un matériau argileux, ce qui constitue un bon indicateur de sa susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement.

Cet essai a été développé par Tran Ngoc Lan (1977) et adopté comme procédure d'essai officielle des Laboratoires des Ponts et Chaussées, puis normalisé (norme AFNOR NF P 18-592). Il consiste à mesurer la capacité d'adsorption en bleu de méthylène, c'est-à-dire la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans 100 g de sol. On appelle cette quantité, la valeur de bleu, notée VB et exprimée en grammes de bleu par 100 g de matériau.

On considère généralement (Chassagneux *et al.*, 1995) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (Illustration 15). Ce paramètre permet, avec le concours avantageux des limites d'Atterberg, une analyse statistique du comportement au retrait-gonflement.

Valeur de bleu	Susceptibilité	Note
< 2,5	faible	1
2,5 à 6	moyenne	2
6 à 8	forte	3
> 8	très forte	4

Illustration 15 – Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu

5.3.5. Retrait linéaire (RI)

La valeur du retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait volumique possible d'un sol lors de son assèchement. Initialement, le sol est saturé en eau. Lorsque la teneur en eau diminue, son volume total diminue, puis se stabilise. Ce processus de diminution de la teneur en eau se traduit par deux phases successives. Lors de la première, les grains constituant le sol se rapprochent, mais le sol reste toujours saturé : la variation de volume du sol est donc proportionnelle à la diminution de la teneur en eau. Lors de la seconde, les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher, l'élimination de l'eau ne fait plus varier le volume du sol, mais se traduit par sa désaturation. La teneur en eau correspondant à ce palier est appelée limite de retrait. Plus cette valeur est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit en cas de dessiccation sera grand.

Les coupures suivantes ont été proposées (Mastchenko, 2001) pour caractériser le potentiel de retrait avec ce paramètre (Illustration 16).

Retrait linéaire	Susceptibilité	Note
RI < 0,4	faible	1
0,4 ≤ RI < 0,65	moyenne	2
0,65 ≤ RI < 0,75	forte	3
RI ≥ 0,75	très forte	4

Illustration 16 – Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire

5.3.6. Caractérisation géotechnique

La liste des entités ayant fourni des données est présenté en annexe 3. Comme mentionné plus haut, les sources des données ici présentées proviennent principalement de dossiers issus des archives de APRR, du CETE de Lyon et de nombreux bureaux d'études parmi lesquels Abrotec, Arcadis ESG, Hydro-Géotechnique, Fondasol, EG SOL et Rillieux Etudes. D'autres résultats proviennent de résultats issus de rapports de bureaux d'études (CEBTP-Solen, CFEG, EG SOL, Fondasol, Fondaconseil, Géoplus, Groupe J, Hydro-Géotechnique) fournis, pour la plupart par la Préfecture, par les communes en retour de courrier d'enquête, par la Caisse Centrale de Réassurance et par les mutuelles d'assurance MAAF et MAIF. Par ailleurs, Monsieur Cassinelli (Communauté Urbaine du Grand Lyon) nous a offert d'exploiter les 6 000 dossiers de la Commission des Balmes mais il est apparu que ces données pouvaient difficilement être exploitées pour les besoins de la présente étude et dans les délais impartis. Que l'ensemble des partenaires ayant contribué à transmettre ces données trouve en tout cas ici l'expression de notre reconnaissance pour sa précieuse collaboration à cette étude.

Par ailleurs, 28 échantillons ont été prélevés à l'occasion d'une mission sur le terrain. Des analyses au bleu de méthylène ont été réalisées sur ces échantillons en vue de compléter les données recueillies et ainsi mieux caractériser certaines formations géologiques mal connues. Les résultats détaillés sont précisés en annexe 4.

L'ensemble des données exploitées est synthétisé dans le tableau de l'illustration 17. L'échantillon ainsi collecté porte sur 711 études de caractérisation géotechnique dont 688 ont pu être géoréférencées, après élimination des doublons éventuels. Ces données proviennent du traitement des données de APRR (146 données), du CETE de Lyon (85 données) et du BRGM (15 données). Les archives des bureaux d'études suivants ont également fourni des données : Abrotec (4 données), Arcadis (5 données), Hydro-Géotechnique (53 données), Fondasol (161 données), EG Sol (39 données) et Rillieux Etudes (78 données). Les autres études de sol ont été obtenues plus indirectement auprès de la Préfecture (14 données), des communes (54 données) en retour de courrier d'enquête, de la Caisse Centrale de Réassurance (18 dossiers) et de la Commission des Balmes (3 données). A partir de ces 688 données, 649 ont permis la caractérisation des formations argileuses du département, le reste n'ayant pu être exploité (données géotechniques concernant des formations jugées « non-argileuses » ou données insuffisamment précises).

A ces 649 données géoréférencées dans le Rhône, on peut ajouter 141 données provenant de formations argileuses équivalentes mais recueillies dans les départements voisins de la Drôme, la Loire et la Saône-et-Loire, ainsi que les 28 échantillons prélevés par le BRGM dans le département dans le cadre spécifique de l'étude. Ce sont donc finalement 817 données géotechniques qui ont été utilisées pour l'établissement du critère géotechnique ; ces données sont réparties comme suit :

- o 524 indices de plasticité ;
- o 286 valeurs de bleu ;
- o 1 valeur de coefficient de gonflement ;
- o 6 valeurs de retrait linéaire.

En définitive, les données dont nous avons pu disposer permettent de caractériser les 30 formations argileuses du département, avec cependant des séries statistiques très diverses selon les formations.

N°	Description	Code	Département	Indice plasticité (Ip) - %				Valeur de bleu - g/100g				Coeff Cg		Retrait linéaire (Rl)				Note
				Max	Min	Nbre	Moy.	Max	Min	Nbre	Moy.	Nbre	Moy.	Max	Min	Nbre	Moy.	
1	Alluvions fluviatiles récentes à actuelles du bassin versant du Rhône	AFLUR	69	48,0	2,0	17	15,0	2,9	0,0	21	1,2							1
2	Alluvions fluviatiles récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire	AFLUS	69	65,0	<5	76	22,0	15,6	0,3	15	3,3							2
3	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	AREME	69							1	5,3							2
4	Lœss et limons du Quaternaire	LIMON	69	49,0	4,0	40	17,5	5,2	0,1	22	1,6							1
5	Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciales du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	WUSED	69	63,0	8,0	64	33,0	11,1	0,1	32	5,3	1	0,0073	0,5	0	3	0,280	2
6	Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciales du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié	ALLUW	69	41,0	6,0	33	16,1	13,5	1,9	11	4,2							2
7	Moraines würmiennes et rissiennes	MORWU	69	26,0	0,1	31	10,4	2,4	0,1	26	0,7							1
8	Colluvions polygéniques du Quaternaire	COLPO	69			1	22,0	3,4	0,1	5	1,6							1
9	Eboulis du Quaternaire	EBOUL	69	34,6	22,0	3	30,4	7,5	2,3	2	4,9							2
10	Colluvions et altérites de socle	ALTER	69	49,0	0,2	68	20,5	7,9	0,3	10	1,9							1
			42					5,9	0,0	64	0,9							
11	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	FACAS	69	66,2	0,4	41	28,9	9,8	0,7	16	4,1			0,63	0,55	2	0,580	2
12	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié	FACAP	69	60,0	5,7	62	23,1	10,3	0,7	8	3,6							2
			26					5,0	1,7	3	3,1							
13	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	PLIOC	69							1	1,2							1
14	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	MISED	71	51	9	30	26,5	4,85	4,1	2	4,5					1	0,02	2
15	Sables argileux du Miocène supérieur marin	SAMIO	26	23,0	14,0	2	18,5	1,6	1,0	2	1,3							1
16	Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène	MARSO	69	47,0	33,0	2	40,0			1	7,2							3
17	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	CALMO	69							1	6,3							3
			71	37,0	25,0	5	29,2											
18	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien	CALMB	69							1	4,9							2
			71	58,0	11,0	6	25,3											
19	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	BATHO	71	34,0	20,0	2	27,0											2
20	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	BAJOC	69	44,0	11,0	7	26,4											2
			71			1	30,0											
21	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	PIEDO	69	17,0	16,0	2	16,5	3,6	2,9	2	3,3							2
			71			1	28,0											
22	Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur	MACAT	69					5,0	3,8	2	4,4							2
23	Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien	MACAD	69	24,0	19,0	5	21,2	4,2	1,7	6	2,7							2
			71			1	21,0											
24	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	PLIEN	69	25,0	20,5	5	23,7	4,1	2,1	6	3,3							2
			71	36,0	21,0	4	26,8			1	0,2							
25	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	CALMS	69			1	27,3	7,4	4,4	4	6,1							3
			71	32,0	21,0	5	27,8											
26	Calcaires marneux de l'Hettangien	CALMH	69							1	5,1							2
27	Marnes, grès et cargneules du Trias	MARGT	69	49,0	16,0	6	28,3	6,3	0,9	8	3,2							2
			71	32,0	27,0	3	29,3											
28	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	ARDOR	69							1	7,5							3
29	Marnes bariolées et grès du Keuper	MARGK	69							1	2,4							1
30	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphanién supérieur	AGASS	69							1	3,9							1
			42					2,3	0,5	9	1,0							

Illustration 17 - Synthèse des données géotechniques

6. Élaboration de la carte de susceptibilité

6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ

Au total, chaque formation a donc été caractérisée par trois notes, une pour chacun des critères pris en compte selon les classifications présentées précédemment. La moyenne des trois notes obtenues permet de calculer, pour chaque formation, un degré de susceptibilité générale vis-à-vis du retrait-gonflement.

Pour les formations dont l'une des caractéristiques n'a pu être évaluée, la moyenne est effectuée à partir des deux autres notes. La valeur ainsi obtenue est potentiellement comprise entre 1 et 4. Les classes de susceptibilité qui en résultent sont les suivantes :

Note moyenne	Degré de susceptibilité
valeur ≤ 2	Faible (niveau 1)
$2 < \text{valeur} \leq 3$	Moyen (niveau 2)
valeur > 3	Fort (niveau 3)

Moyennant ce traitement, les notes de susceptibilité attribuées aux 30 formations retenues comme argileuses sont les suivantes (Illustration 18) :

N°	Description	Notation de la carte harmonisée	CODE	Note litho	Note minéralo	Note GTC	Susceptibilité
1	Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône	Fz, Fy-z, Jz	AFLUR	1	-	1	1
2	Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire	Fz, Fy-z, Jz	AFLUS	2	3	2	2
3	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	Ly	AREME	3	4	2	2
4	Lœss et limons du Quaternaire	OEu, OEy, OEx, OEx-w	LIMON	2	3	1	1
5	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	WUSED	3	2	2	2
6	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	ALLUW	2	2	2	1
7	Moraines würmiennes et rissiennes	FGy, NGy, Gy, Gx	MORWU	2	2	1	1
8	Colluvions polygéniques du Quaternaire	Cv, C, RI-j	COLPO	2	2	1	1
9	Eboulis du Quaternaire	E, gl	EBOUL	2	1	2	1
10	Colluvions et altérites de socle	i	ALTER	2	1	1	1
11	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAS	2	2	2	1

N°	Description	Notation de la carte harmonisée	CODE	Note litho	Note minéralo	Note GTC	Susceptibilité
	Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène						
12	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAP	2	2	2	1
13	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	p1c	PLIOC	1	3	1	1
14	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	m3-4	MISED	3	1	2	1
15	Sables argileux du Miocène supérieur marin	m1-2	SAMIO	1	3	1	1
16	Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène	g, gS	MARSO	3	3	3	2
17	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	j5b	CALMO	2	1	3	1
18	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien	j3bc-4	CALMB	2	1	2	1
19	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	j3	BATHO	1	1	2	1
20	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	j2	BAJOC	1	1	2	1
21	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	j1bc	PIEDO	1	2	2	1
22	Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur	l4-j1a	MACAT	3	1	2	1
23	Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien	l3b-4, l3b	MACAD	3	2	2	2
24	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	l3	PLIEN	3	2	2	2
25	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	l2-3a, l2	CALMS	2	3	3	2
26	Calcaires marneux de l'Hettangien	l1	CALMH	2	3	2	2
27	Marnes, grès et cargneules du Trias	t	MARGT	2	1	2	1
28	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	t7, t7-l1	ARDOR	2	2	3	2
29	Marnes bariolées et grès du Keuper	t6-7	MARGK	3	1	1	1
30	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur	h5b	AGASS	3	3	1	2

Illustration 18 – Susceptibilité des formations argileuses retenues

6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

L'illustration 19 représente la carte départementale de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement, réalisée d'après les résultats présentés dans le tableau de l'illustration 18.

La carte départementale de susceptibilité a été établie à partir de la carte interprétée des formations potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement en attribuant à chacune d'elles la classe de susceptibilité définie ci-dessus. Cette carte est également présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000. Les formations sont représentées par couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur degré de susceptibilité croissant vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Aucune formation n'a cependant été considérée comme présentant un degré de susceptibilité élevée dans le Rhône, et ceci par comparaison avec d'autres départements déjà traités selon la même méthodologie et en utilisant les mêmes critères de classification.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, même si l'on ne peut totalement exclure qu'elles soient recouvertes localement de poches ou placages argileux non représentés sur la carte géologique.

6.3. SYNTHÈSE

Les formations faiblement susceptibles couvrent 33,06 % de la superficie du département (Illustration 19). Les vingt formations suivantes ont été rattachées à cette catégorie :

- o Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône - AFLUR (104,45 km² soit 3,21 % de la superficie départementale) ;
- o Lœss et limons du Quaternaire – LIMON (113,6 km² soit 3,49 %) ;
- o Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié – ALLUW (130,08 km² soit 3,99 %) ;
- o Moraines würmiennes et rissiennes – MORWU (335,61 km² soit 10,30 %) ;
- o Colluvions polygéniques du Quaternaire – COLPO (22,86 km² soit 0,7 %) ;
- o Eboulis du Quaternaire – EBOUL (10,28 km² soit 0,32 %) ;
- o Colluvions et altérites de socle – ALTER (165,74 km² soit 5,09 %) ;
- o Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène – FACAS (52,80 km² soit 1,62 %) ;
- o Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié – FACAP (56,87 km² soit 1,75 %) ;
- o Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre – PLIOC (0,84 km² soit 0,03 %) ;
- o Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables - MISED (0,36 km² soit 0,01 %) ;
- o Sables argileux du Miocène supérieur marin – SAMIO (7,62 km² soit 0,23 %) ;
- o Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen – CALMO (0,24 km² soit 0,01 %) ;
- o Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien – CALMB (0,86 km² soit 0,03 %) ;
- o Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique – BATHO (9,19 km² soit 0,28 %) ;
- o Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur – BAJOC (17,99 km² soit 0,55 %) ;
- o Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien – PIEDO (28,68 km² soit 0,88 %) ;

- o Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur – MACAT (1,10 km² soit 0,03 %) ;
- o Marnes, grès et cargneules du Trias – MARGT (18,02 km² soit 0,55 %) ;
- o Marnes bariolées et grès du Keuper – MARGK (0,24 km² soit 0,01 %).

Les formations moyennement susceptibles couvrent 7,48 % de la superficie du département. Les dix formations suivantes ont été rattachées à cette catégorie :

- o Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire – AFLUS (143,18 km² soit 4,39 %) ;
- o Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes - AREME (0,25 km² soit 0,01 %) ;
- o Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène – WUSED (36,85 km² soit 1,13 %) ;
- o Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène – MARSO (20,53 km² soit 0,63 %) ;
- o Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien — MACAD – (5,76 km² soit 0,18 %) ;
- o Marnes grises et calcaires du Pliensbachien – PLIEN (6,63 km² soit 0,20 %) ;
- o Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien – CALMS (12,23 km² soit 0,38 %) ;
- o Calcaires marneux de l'Hettangien – CALMH (8,76 km² soit 0,27 %) ;
- o Grès, argiles et dolomies du Rhétien – ARDOR (1,05 km² soit 0,03 %) ;
- o Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur – AGASS (8,52 km² soit 0,26 %).

Il est à noter que les formations *a priori* non argileuses occupent environ 59,46 % de la surface du département.

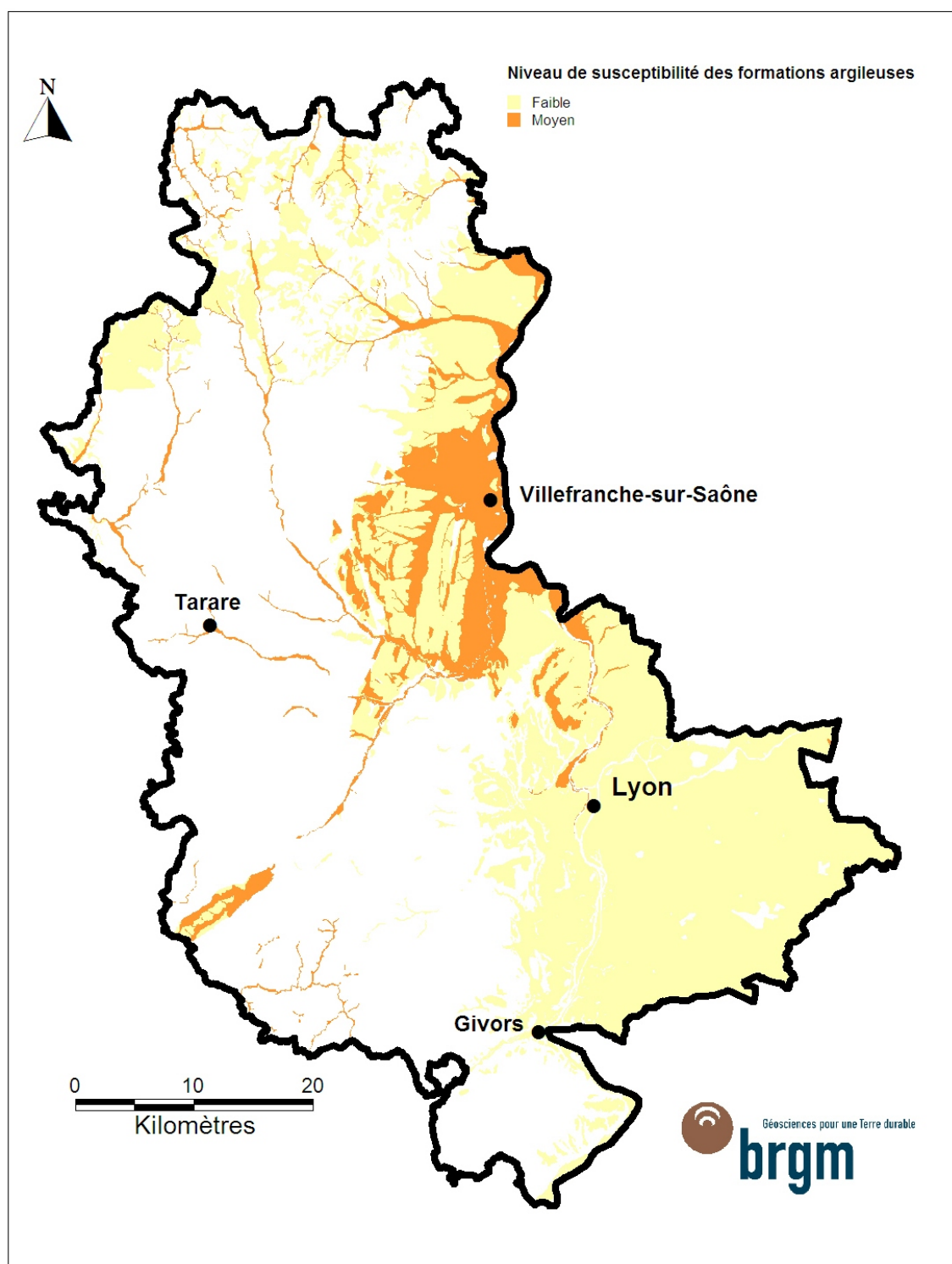


Illustration 19 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement

7. Analyse de la sinistralité

7.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE

Dans le cadre de la loi n°82-600 du 13 juillet 1982 sur les catastrophes naturelles, et à l'initiative des sinistrés, un dossier technique est établi par un bureau d'études afin de demander la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle dans la commune concernée, au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols. Aux termes de cette loi, les propriétaires de bâtis peuvent se considérer comme victimes des effets des catastrophes naturelles pour les dommages matériels directs ayant pour cause déterminante « l'intensité anormale d'un agent naturel » - dans le cas présent, la sécheresse ou la réhydratation des sols – « lorsque les mesures habituelles pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance ».

Les dossiers techniques des communes sont collectés par la Préfecture qui les transmet à la commission interministérielle statuant sur la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

Pour que les dossiers qui lui sont soumis soient déclarés recevables, la commission interministérielle exige que les critères suivants soient satisfaits :

- les désordres ne doivent pas relever d'une cause autre que la sécheresse ou la réhydratation des sols ;
- le caractère exceptionnel du phénomène climatique doit être prouvé ;
- la nature du sol doit être essentiellement argileuse, de sorte qu'elle permette le retrait par dessiccation ou le gonflement par réhydratation ;
- le niveau de fondation doit se trouver dans la zone de sol subissant la dessiccation ;
- l'évolution des désordres doit être corrélée dans le temps avec celle du phénomène climatique exceptionnel.

Depuis décembre 2000, l'analyse du contexte climatique est confiée à Météo-France et effectuée sur la base d'un suivi de l'état hydrique des sols. Celui-ci est calculé dans 92 stations de référence au moyen d'un modèle à double réservoir, sur la base d'une réserve utile de 200 mm, dont on suit le niveau de remplissage au pas de temps décennal. La comparaison de l'état hydrique des sols (qui dépend essentiellement des précipitations et de l'évapotranspiration) par rapport aux moyennes trentenales, permet d'identifier les périodes de sécheresse exceptionnelles qui ont d'abord été définies comme étant des périodes de quatre trimestres consécutifs pour lesquels la réserve en eau du sol est inférieure à la normale, avec au moins une décade située au cours du premier trimestre (janvier à mars, période de recharge hivernale) où la réserve en eau est inférieure à 50 % de la normale. Ces critères ont été modifiés pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle concernant les sinistres survenus au cours de l'été 2003.

Les études menées en vue de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne sont habituellement réalisées que sur quelques cas de désordres de bâtis par commune. L'ensemble des sinistres d'une commune est rarement pris en compte et il n'est pas rare qu'un seul sinistre permette de classer l'ensemble de la commune en état de catastrophe naturelle. Par ailleurs, dès lors qu'une commune a été reconnue une fois, il n'est plus exigé d'étude géotechnique supplémentaire pour définir une nouvelle période de reconnaissance.

En outre, ces études préalables sont généralement succinctes. Une visite de terrain permet notamment de réaliser un descriptif des sinistres, de noter les dates d'apparition des premiers désordres, d'observer la nature des terrains. L'examen de la carte géologique éditée par le BRGM à l'échelle du 1/50 000, complétée éventuellement par des observations de terrain ou des sondages, permet de préciser la nature des formations géologiques environnant les sinistres et de déterminer celle qui a été à l'origine des désordres.

Ces dossiers techniques constituent donc seulement une première approche du problème. Après reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle dans la commune, des études plus approfondies sont généralement réalisées à la demande des compagnies d'assurance afin de déterminer le niveau de remboursement des dégâts et proposer des solutions de confortement. Les experts en charge de ces diagnostics font alors souvent appel à des bureaux d'études spécialisés pour réaliser des études géotechniques qui permettent de préciser l'origine des désordres. Ces études de sols ne sont cependant pas systématiques.

7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES

7.2.1. Localisation des communes sinistrées

Dans le département du Rhône, à la date du 15 novembre 2008, 44 communes ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, pour des périodes comprises entre juin 1989 et septembre 2005 (Annexe 2). Parmi celles-ci, 42 communes ont été reconnues pour une période correspondant à l'été 2003 ou postérieure à cet événement, ce qui montre l'extension récente du phénomène dans le département du Rhône.

Les 44 communes reconnues à ce jour représentent 15 % des 293 communes du département et couvrent 349,1 km², soit 10,7 % de sa superficie totale.

Au total, 15 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris jusqu'au 15 novembre 2008 dans le département du Rhône, dont les dates s'échelonnent entre le 4 décembre 1991 et le 18 avril 2008. Le nombre total d'occurrences reconnues, en distinguant par commune et par période, s'élève à 56 (à raison d'une occurrence pour chaque période de reconnaissance d'une commune donnée).

Ce nombre d'occurrences reconnues place le département en 50^e position des départements français les plus touchés, loin derrière certains du Sud-ouest (1 395 occurrences reconnues en Haute-Garonne, 1 251 dans le Gers, 1 071 en Dordogne, par exemple). Si l'on se réfère au classement des départements français en termes de

coût d'indemnisation, le Rhône occupait la 45^e place en septembre 2008 (incluant la sécheresse 2003, avec un cumul indemnisé, dans le seul cadre du régime des catastrophes naturelles, estimé par la CCR à 9,9 millions d'euros en coûts actualisés (auquel s'ajoutent les indemnisations effectuées au titre de la garantie décennale et le montant resté à la charge des sinistrés eux-mêmes, soit par défaut de remboursement, soit par la simple application de la franchise qui s'élève à 1 520 € pour ce type de sinistre)

Un grand nombre de communes ayant été reconnues en état de catastrophe naturelle suite à la sécheresse de 2003, le département n'a pas bénéficié du dispositif d'indemnisation exceptionnelle mis en place à cette période, dans le cadre de la loi de finances 2006.

L'Illustration 20 présente le nombre de communes concernées par les différents arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse pris pour ce département depuis 1991.

Arrêtés interministériels	Nombre de communes
04/12/1991	1
03/03/1995	2
23/02/1999	2
22/06/1999	1
30/04/2003	1
03/10/2003	1
25/08/2004	26
11/01/2005	3
27/05/2005	7
22/11/2005	3
27/07/2006	1
23/03/2007	1
20/02/2008	3
31/03/2008	1
18/04/2008	3

Illustration 20 – Arrêtés interministériels et occurrences

La liste des communes concernées est présentée en Annexe 2, ainsi que les périodes de reconnaissance, les dates des arrêtés interministériels et les dates de leur publication au Journal Officiel. La carte de l'Illustration 21 permet de localiser les 44 communes qui ont fait l'objet d'au moins un arrêté de reconnaissance à ce jour, ainsi que le nombre respectif de sinistres par commune, recensés et localisés dans le cadre de la présente étude.

Les communes reconnues en état de catastrophe naturelle sont essentiellement situées au nord-ouest de Lyon.

7.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

La première période de sécheresse reconnue dans le département correspond aux années 1989-90, pour lesquelles deux communes ont bénéficié d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. Ensuite, si l'on excepte deux arrêtés qui concernent la journée du 12 octobre 1993 et qui ont manifestement été enregistrés par erreur comme se rapportant à des phénomènes de tassement différentiel consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, les périodes de reconnaissance suivantes s'échelonnent entre 1995 et 1998 (avec toutefois une commune reconnue de manière globale pour toute la durée 1989-98), mais ceci ne concerne au total que 4 communes dans le département, dont celle de Morancé, dans le Beaujolais, qui avait déjà fait l'objet d'une étude spécifique (Hachecorne, 2003).

C'est donc vraiment en 2003 que le nombre de reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle augmente fortement, avec 41 communes concernées pour la période allant du 1^{er} juillet au 30 septembre 2003. Le phénomène se reproduit avec moins d'intensité pendant l'été 2005 avec 3 communes à nouveau reconnues en état de catastrophe naturelle à cette période.

Trente-cinq communes n'ont été concernées à ce jour que par un seul arrêté, dont 33 pour la période allant de l'été 2003. Ces communes sont essentiellement situées au nord-ouest de l'agglomération lyonnaise et au sud-ouest de Villefranche-sur-Saône.

Six communes ont été reconnues deux fois en état de catastrophe naturelle. Il s'agit des communes d'Albigny-sur-Saône, de Givors, Morancé, Sain-Bel, Saint-Didier-au-Mont-Dore et Saint-Genis-les-Ollières. Cinq d'entre elles ont été reconnues entre le 1^{er} juillet et le 30 septembre 2003. Les autres périodes de reconnaissance couvrent des dates plus variées qui s'échelonnent entre 1990 et 2002 avec un pic intermédiaire entre 1995 et 1998.

Enfin les trois communes de Dardilly, Ecully et Fleurieu-sur-Saône ont été reconnues chacune à trois reprises en état de catastrophe naturelle sécheresse. Un premier arrêté couvre la période allant du 1^{er} juillet au 30 septembre 2003, suivi de deux arrêtés successifs pris à 2 mois d'intervalle et concernant tous les deux la période allant du 1^{er} juillet au 30 septembre 2005. Ces trois communes se retrouvent ainsi désormais soumises à un doublement de la franchise, ce qui limite significativement le montant des indemnisations potentielles pour les sinistrés.

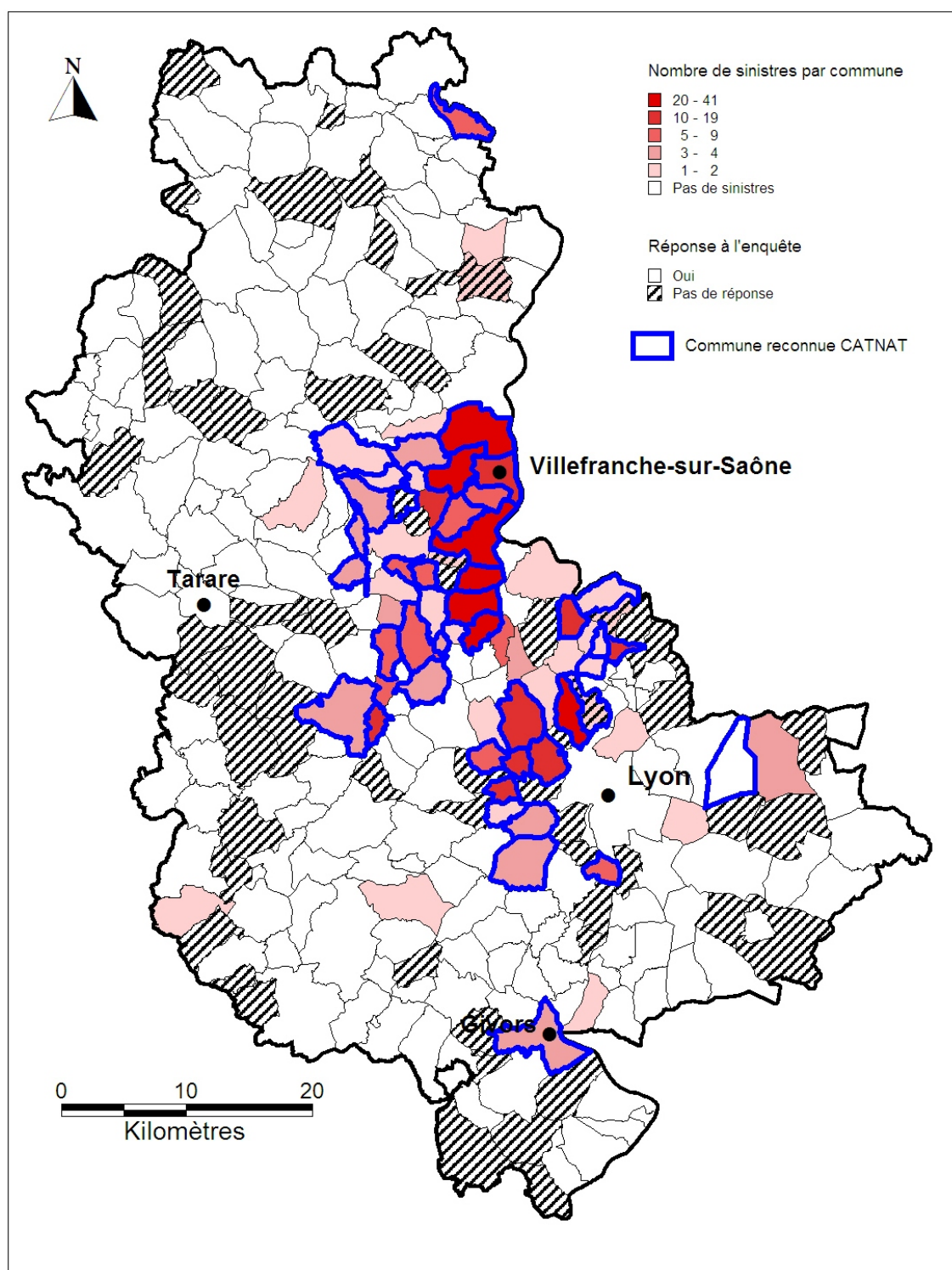


Illustration 21 – Etat des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés par commune

7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES

7.3.1. Collecte des données

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de sources d'informations complémentaires, à savoir d'une part la consultation des dossiers de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle archivés au Service Départemental de Défense et de Protection Civile (Préfecture du Rhône) et à la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), d'autre part la réalisation d'une enquête systématique auprès des 293 communes du département, ainsi que le dépouillement de données complémentaires recueillies auprès de bureaux d'études et de mutuelles d'assurance.

L'enquête auprès des communes s'est faite par envoi d'un courrier, accompagné d'une lettre circulaire de M. le Préfet du Rhône, à tous les maires. Les courriers ont été envoyés directement par la Préfecture le 4 juin 2007. Une première relance a été faite par téléphone et par fax dans le courant du mois d'octobre 2007 auprès des 123 mairies qui n'avaient pas encore répondu à l'enquête. Une dernière relance plus ciblée a ensuite été effectuée par voie téléphonique auprès des communes où le BRGM avait eu la connaissance de sinistres par d'autres sources (Préfecture, CCR...). Le taux de réponse final atteint 79,2 %, avec 60 réponses de communes signalant des sinistres et 172 réponses de communes se déclarant non concernées. Par ailleurs, quelques sinistres signalés ont dû être écartés de l'étude, leur origine n'étant manifestement pas liée au phénomène de retrait-gonflement des argiles.

7.3.2. Bilan

Finalement, 519 sinistres ont été recensés, dont 516 ont pu être localisés avec précision. Ces sinistres sont répartis dans 68 communes, soit 23 % des communes du département et 18,6 % de sa superficie. La localisation des sinistres a été effectuée sur fonds topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ce travail a été réalisé grâce aux plans de localisation renvoyés par les communes ou figurant dans les dossiers préfectoraux, ainsi que par la consultation des sites internet www.mappy.fr, www.viamichelin.fr, et www.pagesjaunes.fr.

Le nombre de sinistres par commune est assez variable mais il témoigne d'une concentration dans certains secteurs, assez étroitement corrélés avec la nature géologique des sols et avec le taux d'urbanisation. Ainsi, 28 des 68 communes sinistrées (soit 41 % d'entre elles) comptent seulement 1 à 2 sinistres chacune et 24 (soit environ 35 %) des communes concernées comptent 3 à 9 sinistres chacune. Seulement 16 communes totalisent chacune plus de 10 sinistres recensés : Gleizé (41), Anse (36), Chazay d'Azergues (34), Morancé (29), Saint-Didier-au-Mont-d'Or(25), Lucenay (24), Arnas (22), Saint-Genis-les-Ollières (19), Saint-Germain-au-Mont-d'Or (19), Sain Bel (18), Liergues (17), Charbonnières-les-Bains (16), Dardilly (14), Fleurieu-sur-Saône (13), Ecully (11) et Villefranche-sur-Saône (11).

D'un point de vue géographique, les sinistres sont largement circonscrits au nord-ouest de l'agglomération Lyonnaise (Monts d'Or notamment) et au sud-ouest de Villefranche-sur-Saône (Illustration 22).

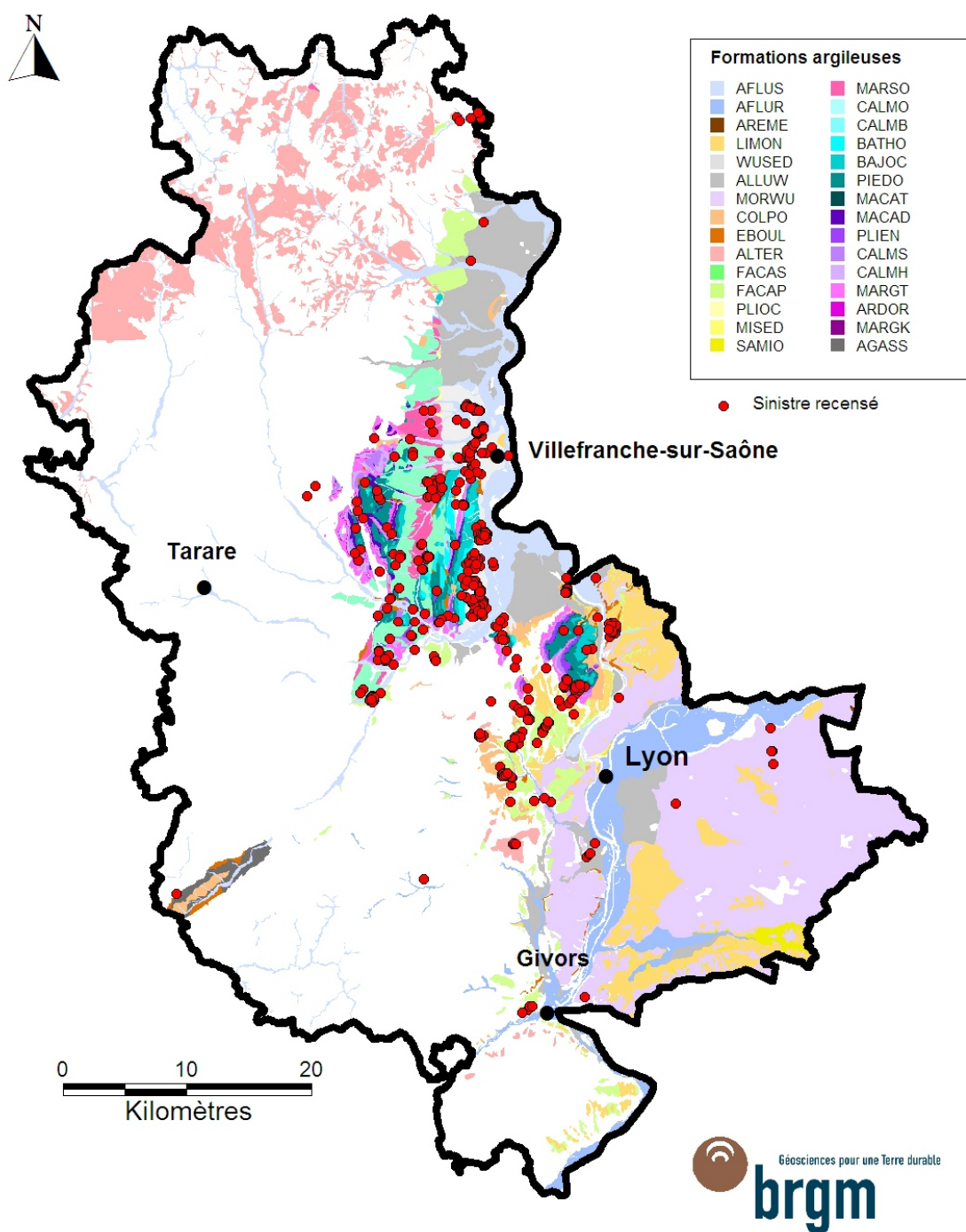


Illustration 22 – Répartition géographique des sinistres recensés et localisés

Ces données confirment ainsi que la répartition géographique des sinistres n'est pas le fruit du hasard et qu'elle est étroitement liée aux zones d'affleurement de certaines formations géologiques en particulier les formations d'origine sédimentaire déposées entre le Trias et l'Oligocène ainsi que les formations d'altération du Quaternaire qui les recouvrent.

La liste des sinistres avec leurs coordonnées en projection Lambert II étendue est présentée en Annexe 2. Pour des raisons de confidentialité, les noms et adresses des sinistrés ne figurent pas dans ce tableau.

L'examen des études réalisées après sinistres indique que 98,4 % des sinistres recensés et localisés (soit 508 sur 516) sont répartis sur les formations géologiques retenues comme étant potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement, ces dernières occupant 40 % environ de la superficie du département (Illustration 22).

8 sinistres ne concernent *a priori* pas des formations argilo-marneuses. Il n'est cependant pas exclu que ces derniers soient liés à des niveaux d'altération non cartographiés du substratum (altérites) car la représentation cartographique des formations argileuses, en l'état actuel des connaissances, n'est pas parfaite dans le détail, même si elle reflète assez fidèlement la réalité à l'échelle départementale. Rappelons en particulier que certaines formations considérées comme *a priori* non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non cartographiés. Ceci concerne notamment des colluvions superficielles ou des altérites d'horizons calcaires et du socle.

Par ailleurs, il n'est pas exclu que certains des sinistres attribués au retrait-gonflement des argiles soient dus en réalité à d'autres phénomènes (tassement de remblais ou de sols compressibles, fluages sur des colluvions instables, défauts de construction, choc thermique sur les enduits de façade, etc.). Enfin, il est également possible que quelques sinistres soient mal localisés, ce qui pourrait expliquer ce type de décalage.

Parmi les formations retenues comme argileuses au sens large, 14 présentent chacune plus de 10 sinistres. Il faut cependant noter que plusieurs de ces formations affleurent largement sur le département, ce qui traduit en réalité une faible densité de sinistres de ces formations. Il s'agit des formations suivantes :

- o Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire (AFLUS) : 55 sinistres répertoriés ;
- o Lœss et limons du Quaternaire (LIMON) : 16 sinistres ;
- o Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (WUSED) : 151 ;
- o Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié (ALLUW) : 18 ;
- o Colluvions polygéniques du Quaternaire (COLPO) : 25 ;
- o Eboulis du Quaternaire (EBOUL) : 13 ;
- o Colluvions et altérites de socle (ALTER) : 12 ;
- o Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (FACAS) : 48 ;
- o Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié (FACAP) : 57 ;
- o Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène (MARSO) : 19 ;
- o Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique (BATHO) : 11 ;
- o Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien (PIEDO) : 11 ;
- o Marnes grises et calcaires du Pliensbachien (PLIEN) : 21 ;

- o Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien (CALMS) : 18.

Parmi les formations identifiées comme argilo-marneuses, 9 ne comptent aucun sinistre recensé à ce jour. Il s'agit des Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône (AFLUR), des Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes (AREME), des Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre (PLIOC), du Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables (MISED), des Sables argileux du Miocène supérieur marin (SAMIO), des Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen (CALMO), des Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur (MACAT), des Grès, argiles et dolomies du Rhétien (ARDOR), et enfin des Marnes bariolées et grès du Keuper (MARGK). Il faut cependant noter que certaines de ces formations n'affleurent que sur des superficies très restreintes (et parfois très peu urbanisées à ce jour) dans le département, ce qui pourrait suffire à expliquer cette absence de sinistralité constatée pour l'instant.

7.3.3. Cas particulier des communes reconnues en état de catastrophe naturelle

Sur les 44 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse, 42 ont déclaré au moins 1 sinistre (Illustration 21), la plupart d'entre elles étant significativement concernées par le phénomène. Ainsi quinze des seize communes présentant plus de 10 sinistres au vu du recensement effectué ont été effectivement reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse : Gleizé (41 sinistres), Anse (36), Chazay d'Azergues (34), Morancé (29), Saint-Didier-au-Mont-d'Or (25), Lucenay (24), Arnas (22), Saint-Genis-les-Ollières (19), Saint-Germain-au-Mont-d'Or (19), Sain Bel (18), Liergues (17), Charbonnières-les-Bains (16), Dardilly (14), Fleurieu-sur-Saône (13), Ecully (11) et Villefranche-sur-Saône (11).

En revanche, le nombre d'arrêtés ne reflète pas forcément une plus grande sinistralité, comme à Givors (2 arrêtés – 4 sinistres déclarés) ou Albigny-sur-Saône (2 arrêtés – un seul sinistre déclaré).

Par ailleurs, la commune de Décines-Charpieu n'a signalé aucun sinistre, tandis que les communes de Jarnioux et de Saint-Cyr-au-Mont-d'Or n'ont pas répondu au questionnaire, malgré les nombreuses relances effectuées.

7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE

Étant donné que les surfaces d'affleurement des différentes formations géologiques sont extrêmement variables, il est important de raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique (ramenées à 100 km² de surface d'affleurement).

Cependant, il faut garder à l'esprit que l'urbanisation n'est pas uniforme sur l'ensemble du département, ce qui peut biaiser l'analyse sur les densités de sinistres par formation. En effet, une formation géologique s'étendant principalement en milieu rural peu bâti sera nécessairement moins touchée qu'une formation aussi susceptible mais très urbanisée. Aussi les densités de sinistres par formation géologique ont-elles été rapportées à 100 km² de surface effectivement urbanisée, conformément à la méthodologie retenue au niveau national.

7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation

Les contours des zones urbanisées du département utilisés sont ceux du référentiel BD TOPO de l'IGN qui nous a été fourni par la DDE du Rhône. Grâce à ce fichier, il a été possible de superposer des données de grande précision correspondant aux empreintes de bâtiments avec la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Ceci a permis de calculer, pour chacune des 30 formations retenues, la surface d'affleurement qui se trouve être réellement urbanisée.

En effectuant, la somme des surfaces des empreintes de bâtiment présents dans la BD TOPO, la surface totale des zones bâties du département a été ainsi estimée à 90,15 km², soit environ 2,8 % de la superficie totale (Illustration 23).

La superposition avec la carte synthétique des formations argileuses et marneuses permet d'estimer à 69,84 km² la surface totale occupée par les zones bâties dans les formations retenues comme potentiellement sujettes au retrait-gonflement, soit environ 5,29 % de leur surface totale d'affleurement. Les surfaces bâties et le nombre de sinistres recensés sont indiqués pour chaque formation dans le tableau de l'Illustration 24.

Il convient cependant d'être prudent dans l'interprétation de ces données de sinistralité car les échantillons manipulés sont numériquement très restreints, si bien que la répartition géologique des sinistres recensés ne peut pas être considérée comme totalement représentative sur un plan statistique (ceci par comparaison avec des départements très sinistrés traités jusqu'à présent et dans lesquels le nombre de sinistres localisés atteint plusieurs milliers).

7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres

La densité de sinistres, ainsi calculée en prenant en compte la surface actuellement bâtie de la formation, est en moyenne pour les formations retenues comme argileuses de 727 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement urbanisé (Illustration 24).

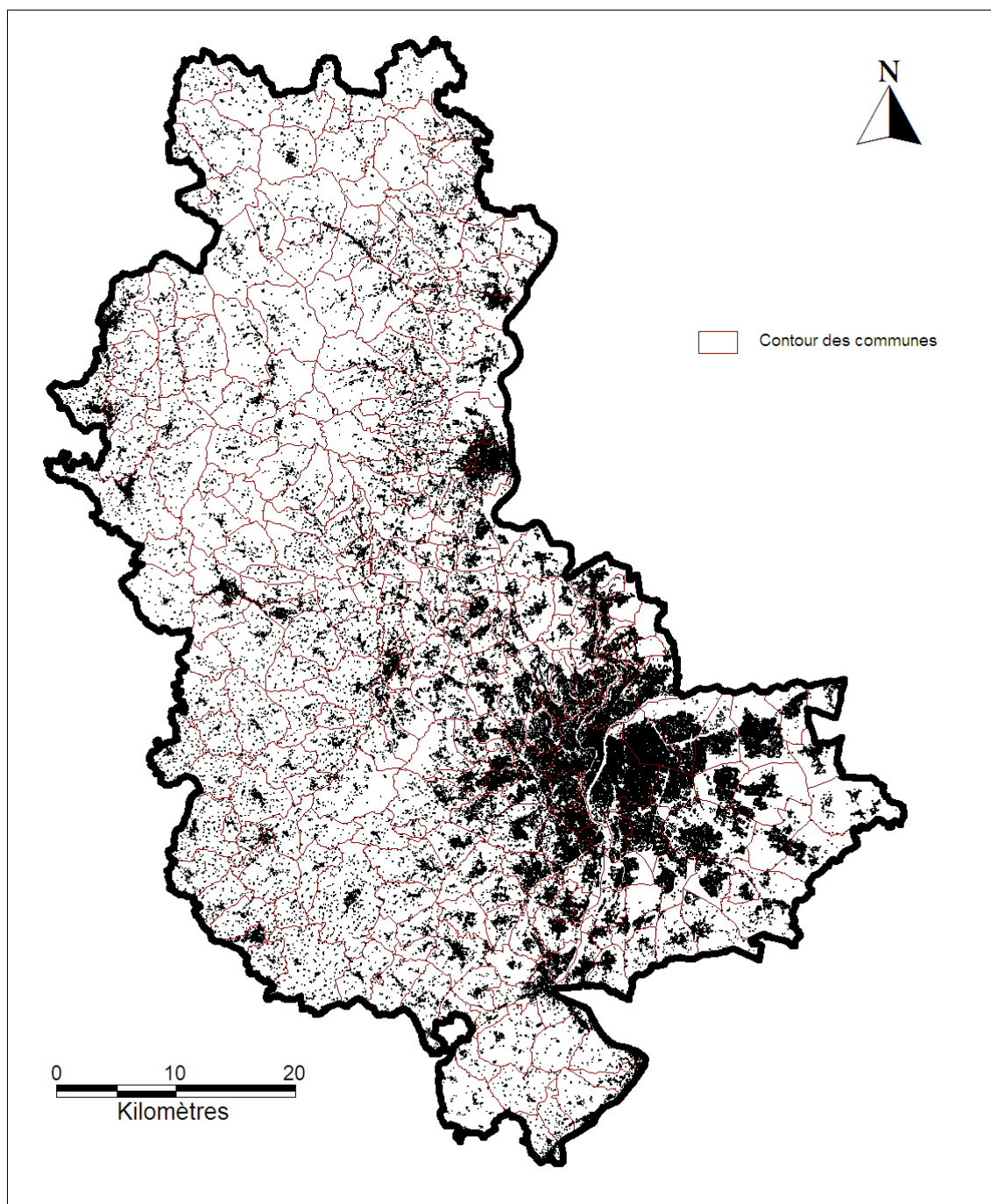


Illustration 23 – Carte des zones bâties dans le département du Rhône (données BD TOPO IGN®)

Les formations présentant une sinistralité élevée, au moins 3 fois supérieure à la moyenne départementale (soit plus de 2 000 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement bâti), sont les suivantes :

- o Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (WUSED) ;
- o Eboulis du Quaternaire (EBOUL) ;
- o Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène (FACAS) ;
- o Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène (MARSO) ;
- o Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique (BATHO) ;
- o Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien (PIEDO) ;
- o Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien (MACAD) ;
- o Marnes grises et calcaires du Pliensbachien (PLIEN) ;
- o Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien (CALMS) ;
- o Calcaires marneux de l'Hettangien (CALMH).

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est ce seuil de 2 000 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement urbanisé qui a été retenu comme référence et à partir duquel ont été définies les coupures suivantes pour l'attribution des notes caractérisant la sinistralité (Illustration 24) :

- *note 1* : moins de 2 000 sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité inférieure à 3 fois la moyenne des zones argileuses) ;
- *note 2* : entre 2 000 et 6 000 sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation ;
- *note 3* : plus de 6 000 sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation.

Deux formations seulement sont ainsi caractérisées par une note de densité de sinistres maximale de 3 : le Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique (BATHO) et les Marnes grises et calcaires du Pliensbachien (PLIEN).

Compte tenu de la très faible extension géographique de plusieurs formations retenues comme argileuses, la note de sinistralité ne peut être prise en compte pour certaines d'entre elles, lorsque la surface bâtie actuelle est inférieure à 0,02 km² : l'absence de sinistres peut alors s'expliquer en effet simplement par le très petit nombre de maisons actuellement construites sur ces formations, tandis qu'un seul sinistre répertorié sur une de ces formations conduit immédiatement à une densité de sinistre au moins supérieure à 5 000. C'est pourquoi il a été indiqué dans le tableau que la sinistralité de ces formations est jugée non significative (NS). Ceci concerne les 6 formations suivantes : les Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Émeringes (AREME), les Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre (PLIOC), les Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen (CALMO), les Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien (CAMB), les Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur (MACAT), les Grès, argiles et dolomies du Rhétien (ARDOR), et enfin les Marnes bariolées et grès du Keuper (MARGK).

N°	Formation géologique			Surface d'affleurement		Densité de sinistres recensés		Densité de sinistres en tenant compte de la surface bâtie			Note de sinistralité
	Formations argileuses	Symbole stratigraphique	Code	Surface d'affleurement (km ²)	Proportion par rapport à la superficie du département	Nombre de sinistres	Nombre de sinistres pour 100 km ² d'affleurement	Surface bâtie (km ²)	% de surface bâtie	Densité pour 100 km ² bâti	
1	Alluvions fluviatiles récentes à actuelles du bassin versant du Rhône	Fz, Fy-z, Jz	AFLUR	104,45	3,21%	0	0,00	12,68	12,14%	0	1
2	Alluvions fluviatiles récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire	Fz, Fy-z, Jz	AFLUS	143,18	4,39%	55	38,41	4,86	3,40%	1 131	1
3	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	Ly	AREME	0,25	0,01%	0	0,00	0,00	0,00%	-	NS
4	Lœss et limons du Quaternaire	OEu, OEy, OEx, OEx-w	LIMON	113,60	3,49%	16	14,08	5,14	4,52%	311	1
5	Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	WUSED	36,85	1,13%	151	409,78	2,79	7,58%	5 408	2
6	Alluvions fluviatiles torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, du Riss et du Mindel sur substratum indifférencié	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	ALLUW	130,08	3,99%	18	13,84	9,80	7,53%	184	1
7	Moraines würmiennes et rissiennes	FGy, NGy, Gy, Gx	MORWU	335,61	10,30%	9	2,68	23,55	7,02%	38	1
8	Colluvions polygéniques du Quaternaire	Cv, C, RI-j	COLPO	22,86	0,70%	25	109,36	1,30	5,69%	1 922	1
9	Eboulis du Quaternaire	E, gl	EBOUL	10,28	0,32%	13	126,42	0,50	4,84%	2 614	2
30	Colluvions et altérites de socle	i	ALTER	165,74	5,09%	12	7,24	1,94	1,17%	619	1
10	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum Triasique, Jurassique ou Oligocène	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAS	52,80	1,62%	48	90,90	0,87	1,65%	5 517	2
11	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAP	56,87	1,75%	57	100,23	3,12	5,49%	1 825	1
12	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	p1c	PLIOC	0,84	0,03%	0	0,00	0,01	1,12%	0	NS
13	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	m3-4	MISED	0,36	0,01%	0	0,00	0,10	28,10%	0	1
14	Sables argileux du Miocène supérieur marin	m1-2	SAMIO	7,62	0,23%	0	0,00	0,18	2,42%	0	1
15	Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène	g, gS	MARSO	20,53	0,63%	19	92,55	0,36	1,76%	5 261	2
16	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	j5b	CALMO	0,24	0,01%	0	0,00	0,004	1,76%	0	NS
17	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen à Callovien	j3bc-4	CALMB	0,86	0,03%	2	232,62	0,01	1,66%	13 998	NS
18	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	j3	BATHO	9,19	0,28%	11	119,70	0,17	1,90%	6 306	3
19	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	j2	BAJOC	17,99	0,55%	2	11,12	0,22	1,25%	891	1
20	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	j1bc	PIEDO	28,68	0,88%	11	38,35	0,52	1,83%	2 100	2
21	Marnes et calcaires du Toarcien et Aalénien inférieur	l4-j1a	MACAT	1,10	0,03%	0	0,00	0,02	2,18%	0	NS
22	Marnes et calcaires roux du Domérien et Toarcien	l3b-4, l3b	MACAD	5,76	0,18%	5	86,81	0,09	1,64%	5 290	2
23	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	l3	PLIEN	6,63	0,20%	21	316,74	0,16	2,41%	13 158	3
24	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	l2-3a, l2	CALMS	12,23	0,38%	18	147,18	0,44	3,64%	4 045	2
25	Calcaires marneux de l'Hettangien	l1	CALMH	8,76	0,27%	7	79,91	0,22	2,48%	3 226	2
26	Marnes, grès et cargneules du Trias	t	MARGT	18,02	0,55%	7	38,85	0,52	2,89%	1 346	1
27	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	t7, t7-l1	ARDOR	1,05	0,03%	0	0,00	0,01	1,32%	0	NS
28	Marnes bariolées et grès du Keuper	t6-7	MARGK	0,24	0,01%	0	0,00	0,004	1,51%	0	NS
29	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphanién supérieur	h5b	AGASS	8,52	0,26%	1	11,74	0,22	2,54%	463	1
Total				1 321,18	40,54%	508	38,45	69,84	5,29%	727	

Illustration 24 – Densités de sinistres par formation argileuse (NS : non-significatif)

8. Carte d'aléa

8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA

L'aléa retrait-gonflement des argiles, qui est, par définition, la probabilité d'occurrence du phénomène a été ici évalué de manière purement qualitative, pour chaque formation argileuse ou marneuse, en combinant susceptibilité et densité de sinistres.

La susceptibilité des formations argileuses et marneuses identifiées a été caractérisée à partir de la moyenne des notes attribuées pour chacun des critères lithologique, minéralogique et géotechnique, comme indiqué au chapitre 6. L'indice de susceptibilité ainsi obtenu a été décliné en trois classes, qualifiées respectivement par une susceptibilité faible, moyenne et forte, et prend la valeur 1, 2 ou 3.

Pour le facteur densité de sinistres, le critère utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement urbanisé, du moins lorsque la surface actuellement bâtie est suffisamment étendue pour que cette valeur soit statistiquement représentative. La note de sinistralité est établie en comparant ce résultat aux valeurs seuils et vaut selon les cas 1, 2 ou 3.

Étant donné que la susceptibilité des formations géologiques a été définie en se basant sur trois critères différents (lithologique, minéralogique et géotechnique) et qu'elle représente une caractéristique intrinsèque de la formation, il a été décidé d'accorder deux fois plus de poids à l'indice de susceptibilité qu'à la note de densité de sinistres, ceci conformément à la méthodologie retenue au niveau national.

Pour chaque formation argileuse ou marneuse, on calcule donc un indice d'aléa en additionnant la note de densité de sinistres et le double de la note de susceptibilité. La valeur ainsi obtenue est un entier potentiellement compris entre 3 et 9. Les formations sont ensuite hiérarchisées en prenant en compte les coupures suivantes, qui permettent de définir trois niveaux d'aléa (faible, moyen et fort) :

- aléa faible : note d'aléa égale à 3, 4 ou 5 ;
- aléa moyen : note d'aléa égale à 6 ou 7 ;
- aléa fort : note d'aléa égale à 8 ou 9.

Pour les formations dont la note de sinistralité a été considérée comme non significative, la note finale d'aléa reste identique à celle qui avait été attribuée précédemment pour le niveau de susceptibilité. Le classement ainsi obtenu est présenté dans le tableau de l'illustration 25.

Huit formations totalisant 2,83 % de la superficie départementale ont ainsi été classées en aléa moyen, du fait d'une susceptibilité moyenne et d'une densité de sinistres moyenne à forte (voire non significative). Il s'agit des formations suivantes :

- o Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Émeringes - AREME
- o Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène – WUSED
- o Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène – MARSO

- o Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien – MACAD
- o Marnes grises et calcaires du Pliensbachien – PLIEN
- o Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien – CALMS
- o Calcaires marneux de l'Hettangien – CALMH
- o Grès, argiles et dolomies du Rhétien – ARDOR

Les autres formations, au nombre de 22 couvrant au total 37,71 % de la superficie départementale, sont considérées comme présentant un aléa faible. Elles résultent d'une susceptibilité faible assortie d'une sinistralité faible à moyenne (voire forte, ou non significative), ou d'une susceptibilité moyenne combinée à une sinistralité faible.

8.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Elle est présentée sur l'illustration 26 et en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000 (où les sinistres, les zones urbanisées et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont principalement issus des cartes géologiques éditées à cette même échelle.

Quelques formations ont fait l'objet de suppressions ponctuelles de certains polygones principalement afin d'éliminer les faciès les plus sableux ou les plus granulaires (notamment les carrières de sables et graviers). Il s'agit de corrections au cas par cas qui concernent principalement les Moraines würmiennes et rissiennes (MORWU), les Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône (AFLUR), ainsi que les Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié (FACAP).

D'autres formations n'ont été retenues que partiellement en raison d'un changement latéral de faciès sur certaines cartes géologiques où elles ne laissent pas apparaître d'argile. C'est ainsi le cas de la formation des Marnes, grès et cargneules du Trias (MARGT) décrite sur la carte n°625 comme un grès très dur.

Par ailleurs, quelques contours de formations géologiques ont été corrigés localement afin d'intégrer la présence ponctuelle de sols argileux mis en évidence par la survenue de certains sinistres recensés au cours de l'étude. Ceci concerne uniquement les Colluvions et altérites de socle (ALTER) ainsi que les Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié (FACAP). En effet, certaines cartes géologiques anciennes (notamment celles de Lyon – 698 et Givors - 722), ne fournissent pas une représentation très fiable des formations superficielles, lesquelles avaient été mal prises en compte à l'époque à laquelle ont été réalisées ces cartes. Il n'est évidemment pas possible, dans le temps et avec le budget impartis pour la présente étude, de préciser l'ensemble des cartes géologiques dans le cadre de l'étude. Les corrections de détail qui ont été effectuées, sur la base de sondages déclarés auprès du BRGM et de critères géomorphologiques, restent donc relativement limitées. Il peut donc subsister, en particulier sur les zones de socle, des secteurs argileux correspondant à des zones d'altérites voire à des plaquages résiduels d'alluvions anciennes, actuellement non cartographiés.

Sur la carte d'aléa, les formations retenues sont représentées par deux couleurs (jaune et orange) correspondant à leur niveau d'aléa retrait-gonflement (respectivement faible, et moyen). Aucun secteur n'a été classé en aléa fort, par comparaison avec d'autres départements déjà traités, selon la même méthodologie et en utilisant les mêmes critères de hiérarchisation des formations à composante argileuse.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent 59,46 % de la superficie départementale. Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés d'aléa *a priori* nul, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à la présence d'altérites voire d'alluvions anciennes non cartographiées sur certaines éditions anciennes de cartes géologique. Ces placages ou lentilles argileuses pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale, en l'état actuel des données disponibles, sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

N°	Formations argileuses	Symbole stratigraphique	Code	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Niveau de susceptibilité	Note de sinistralité	Calcul indice d'alea	Note d'alea
1	Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant du Rhône	Fz, Fy-z, Jz	AFLUR	1	-	1	1	1	3	1
2	Alluvions fluviales récentes à actuelles du bassin versant de la Saône et de la Loire	Fz, Fy-z, Jz	AFLUS	2	3	2	2	1	5	1
3	Dépôts post-würmiens de lacs et marais : argiles litées d'Emeringes	Ly	AREME	3	4	2	2	NS	-	2
4	Loess et limons du Quaternaire	OEu, OEy, OEx, OEx-w	LIMON	2	3	1	1	1	3	1
5	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	WUSED	3	2	2	2	2	6	2
6	Alluvions fluviales torrentielles ou fluvioglaciaires du Würm, Riss et Mindel sur substratum indifférencié	Fy, Jy, Ny, Fx, Jw, Jx	ALLUW	2	2	2	1	1	3	1
7	Moraines würmiennes et rissiennes	FGy, NGy, Gy, Gx	MORWU	2	2	1	1	1	3	1
8	Colluvions polygéniques du Quaternaire	Cv, C, RI-j	COLPO	2	2	1	1	1	3	1
9	Eboulis du Quaternaire	E, gl	EBOUL	2	1	2	1	2	4	1
10	Colluvions et altérites de socle	i	ALTER	2	1	1	1	1	3	1
11	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum triasique, jurassique ou oligocène	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAS	2	2	2	1	2	4	1
12	Formations argilo-caillouteuses et alluvions anciennes du Pliocène et Pléistocène sur substratum indifférencié	F, Fv, Jv, Fu, Fp-q, J, Jv/J2	FACAP	2	2	2	1	1	3	1
13	Galets, blocs et sables à niveaux argileux du Pliocène lacustre	p1c	PLIOC	1	3	1	1	NS	-	1
14	Miocène supérieur d'eau douce : conglomérats, argiles et sables	m3-4	MISED	3	1	2	1	1	3	1
15	Sables argileux du Miocène supérieur marin	m1-2	SAMIO	1	3	1	1	1	3	1
16	Marnes "saumon", sables aréniques et conglomérats de l'Oligocène	g, gS	MARSO	3	3	3	2	2	6	2
17	Calcaires marneux et marnes de l'Oxfordien moyen	j5b	CALMO	2	1	3	1	NS	-	1
18	Calcaires marneux et marnes du Bathonien moyen au Callovien	j3bc-4	CALMB	2	1	2	1	NS	-	1
19	Calcaire oolithique du Bathonien à fentes d'argile sidérolithique	j3	BATHO	1	1	2	1	3	5	1
20	Calcaire marneux et siliceux du Bajocien supérieur	j2	BAJOC	1	1	2	1	1	3	1
21	Calcaires jaunes "pierres dorées" à passées marneuses de l'Aalénien	j1bc	PIEDO	1	2	2	1	2	4	1
22	Marnes et calcaires du Toarcien et de l'Aalénien inférieur	l4-j1a	MACAT	3	1	2	1	NS	-	1
23	Marnes et calcaires roux du Domérien et du Toarcien	l3b-4, l3b	MACAD	3	2	2	2	2	6	2
24	Marnes grises et calcaires du Pliensbachien	l3	PLIEN	3	2	2	2	3	7	2
25	Calcaires marneux du Sinémurien et du Carixien	l2-3a, l2	CALMS	2	3	3	2	2	6	2
26	Calcaires marneux de l'Hettangien	l1	CALMH	2	3	2	2	2	6	2
27	Marnes, grès et cargneules du Trias	t	MARGT	2	1	2	1	1	3	1
28	Grès, argiles et dolomies du Rhétien	t7, t7-l1	ARDOR	2	2	3	2	NS	-	2
29	Marnes bariolées et grès du Keuper	t6-7	MARGK	3	1	1	1	NS	-	1
30	Argiles, grès arkosiques et schistes du Stéphaniens supérieur	h5b	AGASS	3	3	1	2	1	5	1

Illustration 25 – Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa

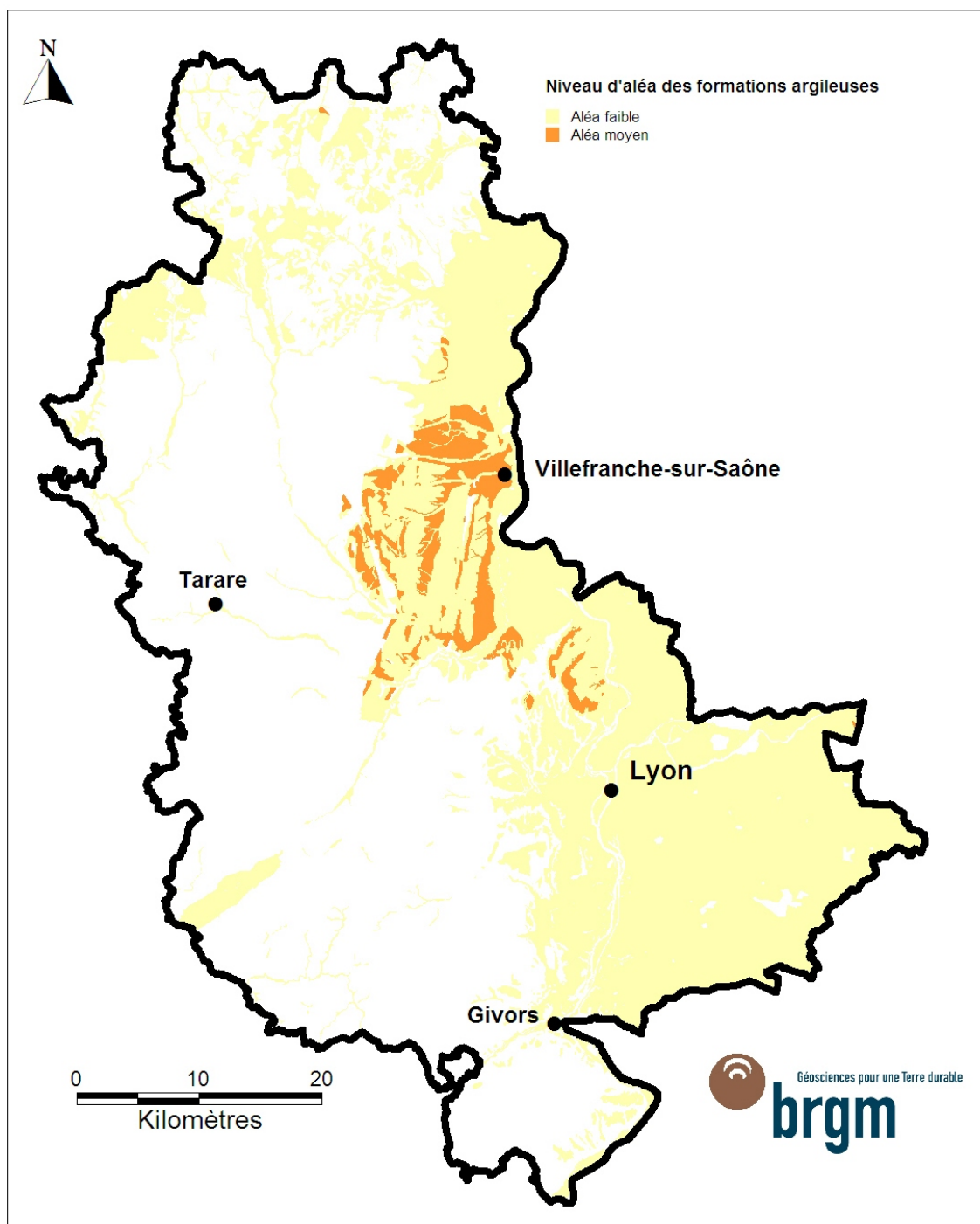


Illustration 26 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement du Rhône

9. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'établir une carte de l'aléa lié au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Rhône. La démarche retenue est fondée essentiellement sur une interprétation des cartes géologiques disponibles et sur la synthèse d'un grand nombre d'informations concernant la susceptibilité au phénomène des formations à dominante argileuse, ainsi que sur la localisation des sinistres liés aux mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une méthodologie générale développée par le BRGM à la demande du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) et de la profession des assureurs. Mise au point lors d'études similaires menées dans les Alpes de Haute-Provence et les Deux-Sèvres, elle a ensuite été appliquée à une cinquantaine d'autres départements. D'autres études départementales sont en cours de réalisation, ce programme devant couvrir à terme l'ensemble du territoire métropolitain.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argilo-marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques éditées à l'échelle 1/50 000 et d'observations bibliographiques existantes. La carte synthétique recense en définitive 30 formations, dont l'une des caractéristiques est la forte hétérogénéité, liée à leurs conditions de dépôts ou leur altération superficielle.

Les formations ainsi identifiées ont été hiérarchisées vis-à-vis de leur susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a été établie sur la base de trois caractéristiques principales quantifiables : la nature lithologique dominante des formations, la composition minéralogique de leur phase argileuse (proportion de minéraux gonflants de type smectites et interstratifiés smectites/illite) et leur comportement géotechnique (évalué principalement à partir de la valeur de bleu et de l'indice de plasticité).

D'autres facteurs de prédisposition ou de déclenchement sont connus pour jouer un rôle dans la répartition de l'aléa. Mais la plupart, d'extension purement locale, tels que la végétation arborée, certaines actions anthropiques ou les défauts de fondation, ne peuvent être pris en compte dans le cadre d'une étude réalisée à l'échelle départementale, malgré leur importance souvent déterminante. D'autres, tels que le contexte hydrogéologique, la répartition géographique des déficits hydriques et la configuration topographique n'ont par ailleurs pas été jugés suffisamment discriminants pour être pris en considération dans l'élaboration de la carte d'aléa.

En définitive, la carte départementale d'aléa a été établie à partir de la carte synthétique des formations à dominante argilo-marneuse, en se basant sur leur hiérarchisation qui combine leur susceptibilité et la sinistralité associée. Cette dernière a été évaluée à partir d'un recensement des sinistres survenus dans le département depuis 1989, en calculant pour chaque formation une densité de sinistres, rapportée à

la surface d'affleurement réellement urbanisée, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre elles. Au total, 519 sinistres répartis dans 68 communes du département ont ainsi été recensés, dont 516 localisés précisément. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très largement représentatif de la répartition géographique du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

En appliquant au département du Rhône la méthodologie mise au point au niveau national, deux niveaux d'aléa (moyen et faible) ont été distingués afin de caractériser les formations argileuses ou marneuses vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Aucune formation identifiée comme argileuse n'a été classée en aléa fort, ceci par comparaison avec d'autres départements traités jusqu'à présent selon la même approche et avec les mêmes critères de classification. Ainsi, sur une superficie départementale totale évaluée à 3 258,8 km² ;

- 2,83 % a été classé en aléa moyen ;
- 37,71 % a été considéré comme exposé à un aléa faible ;
- 59,46 % correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à la présence d'altérites ou de colluvions non représentées sur les éditions les plus anciennes de cartes géologiques. Ces placages ou lentilles argileuses sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département du Rhône, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier hors texte à l'échelle 1/125 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le préalable à l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa moyen ou faible, notamment en raison de la forte hétérogénéité des formations du département. A défaut, il conviendra de mettre en œuvre des règles constructives type par zones d'aléa, visant à réduire le risque de survenance de sinistres.

10. Bibliographie

Références principales citées dans le texte

AFNOR (1993) – Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse : détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache. Norme française NF P18-592

Arslan S. (1968) : Etude des minéraux argileux des formations miocènes du Vercors et du Bas-Dauphiné – Thèse de 3^{ème} cycle présentée à la faculté des sciences de Lyon

Bornand M. et Chamley H. (1974) – Sur les minéraux argileux des terrasses Pléistocènes du confluent Rhône-Isère – Bulletin de l'association Française pour l'étude du Quaternaire

Bornand M. et Chamley H. (1975) - Observations sur la sédimentation argileuse du Miocène supérieur au Pléistocène dans la vallée moyenne du Rhône – Bulletin du groupe français Argiles, pp. 87-96

CEBTP sous l'égide de l'AQC, l'APSAD, l'AFAC, la CCR et la FNB (1991) – Détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. *Guide pratique CEBTP*, 3 fascicules

Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., avec la collaboration de Ducreux G.H. (1995) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes de Haute Provence). Échelle communale et départementale. Approche méthodologique. Rapport BRGM R 38695

Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., Ménillet F., Ducreux G.H. (1996) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse-pluie) à l'échelle départementale. Approche méthodologique dans les Alpes de Haute-Provence. *Rapport BRGM R39218*, 33 p., 6 fig., 1 tab., 4 ann., 1 pl. h.-t.

Donsimoni M., Clozier L., Vincent M., avec la collab. de Motteau M., Gallas J.-C., (2001) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Seine-Saint-Denis. BRGM/RP-51198-FR, 125 p., 7 fig., 13 tabl., 2 ann., 5 pl. h.-t.

Habib P. (1992) – Les sécheresses de 1989 et 1990. *Revue Française de Géotechnique*, n° 58, pp. 7-30

Hauchecorne C. (2003) – Quelles actions pour les problèmes de retrait/gonflement à Morancé (Rhône) ? Rapport de TFE. *École Nationale des Travaux Publics de Vaux-en-Velin*, 60 p., 6 ann.

Mastchenko A. (2001) – Sécheresse et sols argileux. Projet industriel Alpha Sol. *École des Mines d'Alès*, 74 p., 9 ann.

Ministère de l'Agriculture (1981) – Contribution des services extérieurs du Ministère de l'Agriculture à la connaissance des ressources en eaux souterraines dans le Département du Rhône

Prian J.-P., Donsimoni M., Vincent M. avec la collab. de **Denis L., Gallas J.-C., Marty F., Motteau M.** (2000) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. *Rapport BRGM* n° RP-50376-FR, 269 p., 32 fig., 11 tabl., 6 ann., 3 cartes h.-t.

Saint Martin M., (2007) - Carte géologique harmonisée du département du Rhône. BRGM/RP-55461-FR, 234 p., 7 fig., 4 tab., 1 ann., 3 pl. hors-texte.

Tran Ngoc Lan (1977) – Un nouvel essai d'identification des sols : l'essai au bleu de méthylène. Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées, 88, pp. 136-137

Vincent M., Hédou F., Chirouze M., Plat E., Le Roy S. (2008) – Cartographie à l'échelle départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux à des fins préventives. *Symposium international Sécheresse et Construction, Marne-la-Vallée, 1-3 sept. 2008, éd. du LCPC, Paris*, pp. 55-62

Vincent M., Le Roy S., Dubus I., Surdyk N. (2007) - Suivi expérimental des profils hydriques et des déplacements verticaux dans des sols argileux sujets au phénomène de retrait-gonflement. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 45-58

Vincent M., Bouchut J., Fleureau J.M. (LMSSMat), Masrouri F. (LAEGO), Oppenheim E. (CEBTP Solen), Heck J.V. (CSTB), Ruaux N. (CSTB), Le Roy S., Dubus I., Surdyk N. (2006) – Etude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti. Rapport final. BRGM/RP-54862-FR. 378 p., 308 ill.

Vincent M., Le Nindre Y.-M., Meisina C., Chassignol A.L. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Deux-Sèvres. Rapport BRGM n° R 39967, 89 p., 14 fig., 13 tabl., 6 ann., 2 cartes h.-t.

Autres références thématiques

AFNOR (1995 a) – Géotechnique. Essais de reconnaissance des sols. AFNOR, T1.

AFNOR (1995 b) – Essai de gonflement à l'oedomètre. Norme française XP P94-091.

AFNOR (1997) – Essai de dessiccation : détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400 µm d'un matériau. Norme française XP P94-060-1.

Alba J.M., Dufor M. (1993) – Phénomènes de gonflement-retrait dans les sols marno-argileux. *Ann. Inst. Tech. BTP.*, Sols et Fondations, 514 p.

Amars S., Baguelin F., Canepa Y. (1987) – Influence de la nappe sur les paramètres mesurés des sols. 9^e ECSMFE, 1, p. 3-5.

Angulo R., Gaudet J.P., Thony J.L., Vauclin M. (1993) – Détermination expérimentale des caractéristiques hydrodynamiques d'un sol gonflant non saturé pour la modélisation des écoulements. *Rev. Fr. Géotech.*, 62, p. 49-57.

Belantour N., Tacherifet S., Pakzad M. (1997) – Étude des comportements mécanique, thermo-mécanique et hydro-mécanique des argiles gonflantes et non gonflantes fortement compactées. *Rev. Fr. Géotech.*, 78, p. 31-50.

Biddle P.G. (1983) – Patterns of soil drying and moisture deficit in the vicinity of trees on clay soils. *Géotechnique*. Vol. XXXIII, pp. 107-126.

Blondeau (1993) – Gonflements de remblais. Utilisation de matériaux de démolition. *Sycodés Informations*, 21, p. 39-41.

Caillère S., Hénin, S., Rautureau M. (1989) – Les argiles. *Éd. Septima*, Paris.

Carrière M., Chevalier M., Toulemont M., Verdier M. (1996) – Sécheresse et catastrophe naturelle. Aspects techniques, juridiques et administratifs. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

Chassagneux D., Meisina C., Vincent M., Ménillet F., Baudu R. (1998) – Guide synthétique pour la prise en compte de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle nationale. *Rapport BRGM R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. h.-t.

Choisnel E., Noilhan J. (1995) – La prévention des sécheresses. *La Recherche*, 272, vol. 26, p. 34-40.

Coquet Y. (1995) – Étude *in situ* des phénomènes de retrait-gonflement des sols. Application à deux sols tropicaux peu gonflants. Thèse Univ. d'Orléans.

Cui M. (1996) – Les apports de la mécanique des sols non saturés. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

Driscoll R. (1983) – The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain. *Geotechnique*. Vol. XXXIII, pp. 93-105.

Filliat G. (1981) – La pratique des sols et fondations – Éditions du Moniteur. N°/SBN : 2-86282-162-4.

Flavigny E. (1992) – Discussion de l'article « Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». *Rev. Fr. Géotech.*, n° 57, 59, p. 75-78.

Gillot J.S. (1987) – Clay in engineering geology. *In* Elsevier (Éd.): Developments in Geological Engineering, 41, 469 p.

Havard M. (1996) – Travaux de terrassements et ouvrages en terre. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'Étude de l'École des Ponts, Paris, 11/12/1996.

Holtzapffel T. (1985) – Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Mém. Soc. Géol. Nord*, 12, 136p.

Kert C. (1999) – Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France. Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. N° 1540 Assemblée Nationale, n° 312 Sénat, avril 1999.

Lautrin D. (1989) – Utilisation pratiques des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 160, p. 29-41.

Madsen M.T., Müller-Vonmoos M. (1989). The swelling behaviour of clays. *In* Elsevier (Éd.) : *Applied Clay Science*, 4, p. 143-156.

Madiou H., Lechani M., Hannachi N. (1997) – Patholex : un système expert pour la pathologie dans la construction. Le cas de la sécheresse. *Sécheresse*, 3, 8, p. 201-206.

Magnan D. (1993) – Caractérisation *in situ* des sols gonflants : l'essai expansol. Thèse de doctorat Univ. Joseph Fourier, Grenoble 1.

Magnan J.P. et Youssefian G. (1989) – Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 159, 93-104.

Meisina C., Chassagneux D., Leroi E., Mouroux P. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Article et présentation au 8^e Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement.

Millot G. (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.

Ministère de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Délégation aux Risques majeurs (1993) – Sécheresse et Construction. *Guide de Prévention*. Édit. La Documentation Française, Paris.

Mouroux P., Margron P., Pinte J.C. (1988) - La construction économique sur sols gonflants. *Manuel et méthodes* n°14, 125 p., BRGM Éditeur.

Mariotti M. (1976) – Le gonflement des sols argileux surconsolidés (aspects du phénomène, influence sur les structures, précautions à envisager). *Mines et Géologie*, 39, p. 13-28.

Noël C. (1991) – Tassement de sols d'assise de fondations consécutifs à la sécheresse. L'expertise dans le cadre de la garantie « catastrophes naturelles ». SNEIC-INFO, 4.

Norie A., Vincent M. (2000) - Établissement de Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles : « mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux » - Approche méthodologique dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM/RP-50591-FR*, 14 p., 4 fig., 4 ann..

Parcevaux P. (1980) – Étude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux. Mém. Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 266 p.

Pejon O.J., Le Roux A., Guignard D. (1997) – Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement, importance de la minéralogie et des textures. *Bull. Int. Eng. Geol.*, 55, p. 105-119.

Philipponnat G. (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Rev. Fr. Géotech.*, 57, p. 5-22.

Philipponnat G. (1987) – Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. 6^e Int. Conf. Exp. Soils, 7-10, New Delhi.

Piantone P. (1986) – Minéralogie et cristallographie des phyllosilicates : application à l'étude des altérations hydrothermales. Rap. BRGM 86 DAM 019 GMX, 61 p.

Robinet J.C., Pakzad M., Plas F. (1994) – Un modèle rhéologique pour les argiles gonflantes. *Rev. Fr. Géotech.*, 67, p. 57-67.

Schaeffner M. (1989) – Introduction de la valeur de bleu de méthylène d'un sol dans la classification des sols. Recommandation pour les terrassements routiers. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 163, p. 9-16.

Scherer M. (1996) – Bilan des périodes récentes de sécheresse en France. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts. Paris, 11-12/12/1996.

Serratrice J.F., Soyez B. (1996) – Les essais de gonflement. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 204, p. 65-85.

Taibi S. (1994) – Comportement mécanique et hydraulique des sols partiellement saturés. Thèse de doctorat, École Centrale, Paris.

Taylor R.K., Smith T. J. (1986) – The engineering geology of clay minerals: swelling, shrinking and mudrock breakdown. *Clays Min.*, 21, p. 235-260.

Tessier D. (1990) – Organisation des matériaux argileux en relation avec leur comportement hydrique. In Decarreau (Éd.) : Matériaux argileux : structure, propriétés et applications.

Toulemont M. (1996) – Bilan des dommages dus à la sécheresse comme catastrophe naturelle. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12 décembre 1996.

Toulemont M., Cojean R., Faccendini J.P. (1994) – Cartographie prévisionnelle des sols sensibles à la sécheresse : un outil d'information préventive. *Mappemonde*, 4, p. 2-4.

Vincent M. (2003) – Retrait-gonflement des sols argileux : méthode cartographique d'évaluation de l'aléa en vue de l'établissement de PPR. – 3^{ème} Conférence SIRNAT - Forum des Journées pour la Prévention des Risques Naturels, Orléans, janvier 2003. Actes du Colloque, 7p., 5 fig.

Vincent M. (2003) – Le risque de retrait-gonflement des argiles. – Cahiers de l'IAURIF, n°138, octobre 2003, pp.95-101.

Vincent M. (2005) – Cartographie sous SIG de l'aléa retrait-gonflement des argiles à des fins préventives - France – Systèmes d'information géographique et gestion des risques, publication ISTED, janvier 2005, pp.12-15.

Vincent M. (2005) – Prévention du risque sécheresse : cartographie départementale de l'aléa retrait-gonflement des argiles et établissement de plans de prévention des risques. – *Géologues* (revue officielle de l'Union Française des Géologues), 146, septembre 2005, pp.43-47.

Vincent M. (2006) – Retrait-gonflement des sols argileux : un aléa géologique lié aux conditions climatiques – *Géosciences*, 3, mars 2006, pp.50-55.

Voltz M., Cabidoche Y.M. (1987) – Sur le retrait macroscopique d'un sol argileux gonflant. Modèle de relation entre le retrait vertical et les variations de teneur en eau. Vérification expérimentale du modèle. *C.R. Acad. Fr.*, Paris, 305, série II, p. 511-516.

Waschkoski (1999) – Expertises géotechniques « sécheresse 1990 » en vue d'une reconnaissance de catastrophe naturelle. *Geo.* p. 38-39.

Sites internet

<http://www.argiles.fr> : site internet sur l'aléa retrait-gonflement des sols argileux développé par le BRGM, affichant les cartes d'aléa déjà publiées, par commune et par département

<http://www.brgm.fr> et <http://www.infoterre.fr> : sites internet du BRGM

<http://www.meteofrance.fr> : site internet de Météo France

<http://www.rhone.pref.gouv.fr> : site internet de la Préfecture du Rhône

<http://www.prim.net> : site internet du Ministère de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables (MEEDDAT), sur la prévention des risques majeurs, affichant les risques naturels et technologiques ainsi que les reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle

Liste des cartes géologiques à 1/50 000

Carte	Auteur	Année de publication
Cluny (624),	J. Arène et al	1977
Mâcon (625)	M. Jauzein et al	1969
Charlieu (648)	R. Bouiller et al	1990
Beaujeu (649)	J. Arène et al	1980
Belleville (650)	M. Lorenchet de Montjamont et al	1973
Roanne (672)	C. Gagny	1988
Amplepuis (673)	Y. Kerrien et al	1988
Villefranche-sur-Saône (674)	M. Lorenchet de Montjamont et al	1973
Tarare (697)	J Delfour et al	1989
Lyon (698)	R. Mouterde et al	1978
Montluel (699)	L. David et al	1978
Saint-Symphorien-sur-Coise (721)	JL Feybesse et al	1993
Givors (722)	L. David et al	1968
Bourgoin-Jallieu (723)	N. Mongereau et al	1986
Saint-Etienne (745)	M. Lorenchet de Montjamont et al	1970
Vienne (746)	L. David et al	1970

Annexe 1

—

Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

Le terme argile désigne à la fois une classe granulométrique ($< 2 \mu\text{m}$) et une nature minéralogique correspondant à la famille des phyllosilicates.

Dans le cadre de cette étude, on s'intéressera essentiellement à la composante argileuse qui constitue les formations géologiques argileuses et/ou marneuses, affleurantes à sub-affleurantes. Dans cette approche géologique, on considère que celles-ci constituent les sols argileux. Cette approche est différente de celle consistant à prendre en compte les sols argileux s.s. dérivant de processus pédogénétiques superficiels complexes.

À l'échelle microscopique, les minéraux argileux se caractérisent par une structure minéralogique en feuillets. Ceux-ci sont constitués d'un assemblage de silicates (SiO_3) et d'aluminates (Al_2O_3) entre lesquels viennent s'interposer des molécules d'eau. La majorité des minéraux argileux appartient à la famille des phyllosilicates 2:1 (deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique). La structure des assemblages cristallins est variable selon le type d'argile. Certains d'entre eux, telle que la montmorillonite, présentent des liaisons faibles entre feuillets, ce qui permet l'acquisition ou le départ de molécules d'eau.

L'hydratation des cations situés à la surface des feuillets provoque leur élargissement, ce qui se traduit par une augmentation du volume du minéral. C'est le phénomène de gonflement intracristallin ou interfoliaire. Le gonflement est lié au phénomène d'adsorption d'eau sur les sites hydrophiles de l'argile.

Ce processus est réversible. Un départ d'eau entraîne une diminution du volume du minéral. C'est le phénomène de retrait.

Les phénomènes de retrait-gonflement s'expriment préférentiellement dans les minéraux argileux appartenant au groupe des smectites (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite) et dans une moindre mesure au groupe des interstratifiés (alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, par exemple illite – montmorillonite).

À l'échelle macroscopique, ces micro-agrégats de feuillets s'organisent en assemblages plus ou moins anisotropes et cohérents, en fonction de la forme des particules élémentaires qui les composent, et en fonction de la force des liaisons entre particules. Ces dernières sont assurées par des molécules d'eau intercalées. Ce mode d'assemblage, qui définit la texture du « sol argileux » dépend de la nature minéralogique des argiles, du mode de sédimentation et de l'état de consolidation du matériau. En particulier, une argile vasarde ne présentera pas la même texture – et donc pas la même cohésion – qu'une argile surconsolidée, par exemple à la suite d'un enfouissement à grande profondeur.

À cette échelle, la variation de teneur en eau dans le sol se traduit également par des variations de volume du matériau. On parle alors de gonflement interparticulaire. Ce phénomène affecte toutes les argiles, mais son amplitude est nettement plus faible que le gonflement interfoliaire (qui n'affecte que certaines argiles).

Les sols argileux se caractérisent donc par une grande influence de la teneur en eau sur leur comportement mécanique. En géotechnique, on identifie d'ailleurs les différents types de sols argileux sur la base de ce critère. Pour cela on détermine les teneurs en eau (dites limites d'Atterberg) à partir desquelles le comportement du matériau se modifie. Atterberg, puis par la suite Casagrande, ont défini de façon conventionnelle, à partir de la teneur en eau, les limites de divers états de consistance d'un sol donné :

- la limite de liquidité W_L sépare l'état liquide de l'état solide ; elle correspond à la teneur en eau à partir de laquelle l'argile commence à s'écouler sous son poids propre ;
- la limite de plasticité W_P sépare l'état plastique de l'état solide (avec retrait) ; elle correspond à la teneur en eau en deçà de laquelle l'argile ne peut plus se déformer sans microfissuration ;

L'étendue du domaine plastique compris en ces deux valeurs est dénommée indice de plasticité : $IP = W_L - W_P$. Elle représente l'aptitude de l'argile à acquérir de l'eau.

- la limite de retrait W_R : lorsque la teneur en eau diminue en dessous de W_P , le volume de sol argileux se réduit progressivement, mais le matériau reste saturé en eau jusqu'à une valeur dite limite de retrait qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solide sans retrait.

À partir de ce stade, si la dessiccation se poursuit, elle se traduit par une fissuration du matériau. En cas de réhydratation de l'argile, l'eau pourra circuler rapidement dans ces fissures. Au-delà de W_R , l'arrivée d'eau s'accompagnera d'une augmentation de volume, proportionnelle au volume d'eau supplémentaire incorporé dans la structure.

Les limites d'Atterberg, qui sont des teneurs en eau particulières, s'expriment, comme la teneur en eau W , en %.

Les phénomènes de retrait (liés à une diminution de volume du matériau qui se traduit, verticalement par un tassement, et horizontalement par une fissuration), et de gonflement (liés à une augmentation de volume), sont donc essentiellement causés par des variations de teneur en eau. En réalité, cependant, le phénomène est aussi régi par des variations de l'état de contrainte, et plus précisément par l'apparition de pressions interstitielles négatives.

Dans le cas d'un sol saturé, la contrainte verticale totale, qui règne dans le sol à une profondeur donnée, est la somme de la pression interstitielle due à l'eau et d'une contrainte dite effective qui régit le comportement de la phase solide du sol (pression intergranulaire). La contrainte totale est constante puisque liée à la charge exercée par les terrains sus-jacents (augmentée éventuellement d'une surcharge due, par exemple, à la présence d'une construction en surface). L'apparition d'une pression interstitielle négative, appelée succion, se traduit donc par une augmentation de la contrainte effective (c'est-à-dire une consolidation du squelette granulaire) et une expulsion d'eau. Un sol argileux situé au-dessus du niveau de la nappe, et qui est saturé, est ainsi soumis à une pression de succion qui lui permet d'aspirer l'eau de la nappe, par capillarité, et de maintenir son état de saturation. Cette pression de succion peut atteindre des valeurs très élevées à la surface du sol, surtout si celle-ci est soumise à une évaporation intense.

Annexe 2

–

Sinistres

**Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle
au titre des mouvements de terrain différentiels
consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des
sols
par commune (données actualisées au 20 novembre
2008)**

Nombre de sinistres recensés par commune

**Dates des périodes de reconnaissance, de l'arrêté, et
de parution de l'arrêté au Journal Officiel**

**Liste des sinistres localisés et formations géologiques
identifiées**

Nombre d'arrêtés par commune

Albigny-sur-Saône	2
Alix	1
Anse	1
Arnas	1
Belmont-d'Azergues	1
Bois-d'Oingt	1
Chaponost	1
Charbonnières-les-Bains	1
Charnay	1
Châtillon	1
Chazay-d'Azergues	1
Cogny	1
Couzon-au-Mont-d'Or	1
Craponne	1
Dardilly	3
Décines-Charpieu	1
Denicé	1
Écully	3
Fleurieu-sur-Saône	3
Fleurieux-sur-l'Arbresle	1
Francheville	1
Frontenas	1
Genay	1
Givors	2
Gleizé	1
Jarnioux	1
Juliéna	1
Limas	1
Lucenay	1
Marcy-l'Etoile	1
Morancé	2
Oingt	1
Pierre-Bénite	1
Pommiers	1
Rivolet	1
Sain-Bel	2
Savigny	1
Saint-Cyr-au-Mont-d'Or	1
Saint-Didier-au-Mont-d'Or	2
Saint-Genis-les-Ollières	2
Saint-Germain-au-Mont-d'Or	1
Saint-Germain-sur-l'Arbresle	1
Villefranche-sur-Saône	1

Dates par commune (périodes de reconnaissance, arrêté, parution au Journal Officiel)

Commune	Date début	Date fin	Date de l'arrêté	Date de publication JO
Albigny-sur-Saône	01/06/2002	30/09/2002	25/08/2004	26/08/2004
Albigny-sur-Saône	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Alix	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Anse	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Arnas	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
Belmont-d'Azergues	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Bois-d'Oingt	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Chaponost	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Charbonnières-les-Bains	01/07/2003	30/09/2003	27/07/2006	08/08/2006
Charnay	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
Châtillon	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
Chazay-d'Azergues	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Cogny	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Couzon-au-Mont-d'Or	12/10/1993	12/10/1993	03/03/1995	17/03/1995
Craponne	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Dardilly	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Dardilly	01/07/2005	30/09/2005	20/02/2008	22/02/2008
Dardilly	01/07/2005	30/09/2005	18/04/2008	23/04/2008
Denicé	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
Ecully	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Ecully	01/07/2005	30/09/2005	20/02/2008	22/02/2008
Ecully	01/07/2005	30/09/2005	18/04/2008	23/04/2008
Fleurieu-sur-Saône	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Fleurieu-sur-Saône	01/07/2005	30/09/2005	20/02/2008	22/02/2008
Fleurieu-sur-Saône	01/07/2005	30/09/2005	18/04/2008	23/04/2008
Fleurieux-sur-l'Arbresle	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
Francheville	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Frontenas	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Givors	12/10/1993	12/10/1993	03/03/1995	17/03/1995
Givors	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Gleizé	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Jarnioux	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Juliénas	01/07/2003	30/09/2003	23/03/2007	01/04/2007
Limas	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
Lucenay	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
Marcy-l'Etoile	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Morancé	01/01/1995	30/08/1998	23/02/1999	10/03/1999
Morancé	01/03/2002	30/09/2002	03/10/2003	19/10/2003
Oingt	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005

Commune	Date début	Date fin	Date de l'arrêté	Date de publication JO
Pierre-Bénite	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Pommiers	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Rivolet	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
Sain-Bel	01/06/1989	31/08/1998	23/02/1999	10/03/1999
Sain-Bel	10/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
Savigny	01/08/1997	31/08/1998	22/06/1999	14/07/1999
Saint-Cyr-au-Mont-d'Or	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
Saint-Didier-au-Mont-d'Or	01/01/1990	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991
Saint-Didier-au-Mont-d'Or	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Saint-Genis-les-Ollières	01/03/1998	31/12/1998	30/04/2003	22/05/2003
Saint-Genis-les-Ollières	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Saint-Germain-au-Mont-d'Or	01/07/2003	30/09/2003	31/03/2008	04/04/2008
Saint-Germain-sur-l'Arbresle	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
Villefranche-sur-Saône	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Ville-sur-Jarnioux	01/07/2003	30/09/2003	27/05/2005	31/05/2005
Décines-Charpieu	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004
Genay	01/07/2003	30/09/2003	25/08/2004	26/08/2004

Nombre de sinistres recensés par commune

ALBIGNY-SUR-SAONE	1	LE BOIS-D'OINGT	4
ALIX	8	LETRA	2
ANSE	36	LIERGUES	17
ARNAS	22	LIMAS	8
BAGNOLS	2	LIMONEST	1
BELMONT	4	LISSIEU	4
BRON	1	LUCENAY	24
CALUIRE-ET-CUIRE	1	MARCILLY-D'AZERGUES	9
CHAPONOST	3	MARCY-L'ETOILE	8
CHARBONNIERES-LES-BAINS	16	MEYS	1
CHARNAY	1	MEYZIEU	4
CHATILLON	8	MORANCE	29
CHAZAY-D'AZERGUES	34	NEUVILLE-SUR-SAONE	1
CHESSY	4	OINGT	4
COGNLY	1	PIERRE-BENITE	5
CORCELLES-EN-BEAUJOLAIS	1	POLEYMIEUX-AU-MONT-D'OR	1
COUZON-AU-MONT-D'OR	2	POMMIERS	6
CRAPONNE	1	QUINCIEUX	1
CURIS-AU-MONT-D'OR	1	RIVOLET	1
DARDILLY	14	SAIN-BEL	18
DENICE	4	SAINT-CYR-AU-MONT-D'OR	1
ECULLY	11	SAINT-DIDIER-AU-MONT-D'OR	25
FLEURIEU-SUR-SAONE	13	SAINT-GENIS-LES-OLLIERES	19
FLEURIEUX-SUR-L'ARBRESLE	4	SAINT-GERMAIN-AU-MONT-D'OR	19
FRANCHEVILLE	4	SAINT-GERMAIN-SUR-L'ARBRESLE	7
FRONTENAS	8	SAINT-JEAN-D'ARDIERES	1
GENAY	1	SAINT-JEAN-DES-VIGNES	2
GIVORS	4	SAINT-JULIEN	2
GLEIZE	41	SAVIGNY	3
JULIENAS	6	TERNAY	1
L'ARBRESLE	9	THEIZE	2
LA TOUR-DE-SALVAGNY	1	THURINS	1
LACENAS	2	VILLE-SUR-JARNIOUX	4
LACHASSAGNE	1	VILLEFRANCHE-SUR-SAONE	11

Liste des 516 sinistres recensés

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Albigny sur Saône	793600	2099730	140	70
Alix	780110	2104620	30	100
Alix	779559	2103670	25	40
Alix	779630	2103550	50	30
Alix	779270	2104280	100	50
Alix	779890	2104480	50	50
Alix	779920	2104700	25	25
Alix	779950	2104580	50	30
Alix	780090	2104570	25	50
Anse	784100	2105978	75	75
Anse	784240	2106800	30	40
Anse	784650	2106430	25	25
Anse	784260	2107180	20	20
Anse	784400	2106350	100	800
Anse	784060	2106640	100	100
Anse	784350	2106580	75	100
Anse	784610	2106410	25	25
Anse	784730	2106440	25	25
Anse	783920	2106920	25	25
Anse	784040	2106410	10	10
Anse	784390	2106290	100	900
Anse	784590	2106400	25	25
Anse	784740	2106010	75	150
Anse	784420	2106260	25	25
Anse	784210	2106060	25	25
Anse	784720	2106430	25	25
Anse	784640	2106550	100	100
Anse	784360	2106360	25	25
Anse	784450	2106500	25	25
Anse	784130	2105973	75	75
Anse	784550	2106450	150	150
Anse	784590	2106440	150	150
Anse	784500	2106400	150	150
Anse	784290	2106470	200	700
Anse	784590	2106350	25	25
Anse	784640	2106410	25	25
Anse	784111	2105948	75	75
Anse	784460	2106230	25	25
Anse	784790	2106440	50	50
Anse	784520	2106610	10	10
Anse	784230	2105920	25	25
Anse	784400	2106390	50	50
Anse	784720	2106330	75	100

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Anse	784640	2106480	25	25
Anse	784560	2106320	25	25
Arnas	783795	2116440	50	50
Arnas	783790	2116425	30	25
Arnas	783170	2116670	10	10
Arnas	783930	2116360	25	25
Arnas	783030	2116600	50	50
Arnas	784170	2116310	50	100
Arnas	783045	2115270	100	50
Arnas	783800	2116330	25	25
Arnas	783130	2116810	80	80
Arnas	783200	2116650	50	50
Arnas	783201	2116593	50	50
Arnas	783110	2116600	50	50
Arnas	783900	2116350	25	25
Arnas	783638	2116512	40	25
Arnas	783627	2116528	40	30
Arnas	783770	2116340	25	25
Arnas	783869	2116394	25	25
Arnas	783861	2116283	25	25
Arnas	783429	2116500	25	25
Arnas	784390	2115030	25	25
Arnas	782350	2115550	25	25
Arnas	784120	2116310	65	80
Bagnols	777410	2103940	50	50
Bagnols	776160	2103440	100	100
Belmont-d'Azergues	780970	2099320	20	20
Belmont-d'Azergues	780880	2099290	10	10
Belmont-d'Azergues	781060	2099570	10	10
Belmont-d'Azergues	780970	2099280	20	20
Bron	799880	2084795	50	50
Caluire	795300	2093275	60	40
Chaponost	786850	2081520	10	10
Chaponost	786930	2081565	10	10
Chaponost	787040	2081490	50	100
Charbonnières-Les-Bains	786980	2090080	10	10
Charbonnières-Les-Bains	786550	2089450	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787340	2090055	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787460	2090080	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787585	2090535	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787010	2090070	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787100	2090010	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787340	2090055	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787230	2090110	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787190	2090140	10	10
Charbonnières-Les-Bains	787310	2089540	20	20
Charbonnières-Les-Bains	787430	2090070	10	10

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Charbonnières-Les-Bains	786970	2089915	10	10
Charbonnières-Les-Bains	786745	2089290	10	10
Charbonnières-Les-Bains	786810	2089230	10	10
Charbonnières-Les-Bains	786790	2089330	10	10
Charnay	780700	2101860	20	20
Chatillon D'Azergues	779590	2098680	20	20
Chatillon D'Azergues	778730	2098200	25	25
Chazay D'Azergues	784198	2100965	10	10
Chazay D'Azergues	784338	2100922	20	20
Chazay D'Azergues	783740	2100890	20	20
Chazay D'Azergues	784300	2100855	20	20
Chazay D'Azergues	784192	2100881	10	10
Chazay D'Azergues	784620	2100500	10	10
Chazay D'Azergues	784270	2100835	20	20
Chazay D'Azergues	783730	2100240	20	20
Chazay D'Azergues	784335	2100870	20	20
Chazay D'Azergues	784200	2100120	20	20
Chazay D'Azergues	784325	2100725	20	20
Chazay D'Azergues	784410	2100865	20	20
Chazay D'Azergues	784685	2100435	20	20
Chazay D'Azergues	784495	2101070	20	20
Chazay D'Azergues	784375	2101000	20	20
Chazay D'Azergues	783985	2100375	20	20
Chazay D'Azergues	783590	2100865	20	20
Chazay D'Azergues	783420	2099910	20	20
Chazay D'Azergues	784070	2100305	20	20
Chazay D'Azergues	784375	2099855	20	20
Chazay D'Azergues	784150	2100940	20	20
Chazay D'Azergues	784395	2100945	20	20
Chazay D'Azergues	783750	2100090	20	20
Chazay D'Azergues	784395	2100795	20	20
Chazay D'Azergues	784040	2100355	20	20
Chazay D'Azergues	784020	2100290	20	20
Chazay D'Azergues	783790	2099850	20	20
Chazay D'Azergues	784200	2100050	20	20
Chazay D'Azergues	784190	2100610	40	40
Chazay D'Azergues	783870	2100550	50	40
Chazay D'Azergues	783580	2099740	30	30
Chazay D'Azergues	783770	2100720	10	10
Chazay D'Azergues	784070	2100280	25	25
Chazay D'Azergues	784360	2100080	25	25
Chessy-les-Mines	777690	2102070	50	50
Chessy-les-Mines	777050	2101310	20	20
Chessy-les-Mines	776970	2101220	50	50
Chessy-les-Mines	776760	2100500	50	50
Châtillon D'Azergues	778630	2098260	10	10
Châtillon D'Azergues	779760	2100030	10	10

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Châtillon D'Azegues	778920	2097040	10	10
Châtillon D'Azegues	778830	2100410	10	10
Châtillon D'Azegues	778920	2099340	250	250
Cogny	777330	2112630	50	50
Corcelles en Beaujolais	784460	2131450	200	200
Couzon au Mont d'Or	793170	2097120	10	10
Couzon au Mont d'Or	792770	2097040	10	10
Craponne	786710	2086210	30	20
Curis au Mont d'Or	792085	2098600	10	10
Dardilly	788105	2091545	10	10
Dardilly	787985	2094000	10	10
Dardilly	788050	2091590	10	10
Dardilly	788120	2091490	10	10
Dardilly	787845	2091920	10	10
Dardilly	787005	2095705	10	10
Dardilly	786935	2092685	10	10
Dardilly	787310	2092340	10	10
Dardilly	787755	2092230	10	10
Dardilly	788145	2091555	10	10
Dardilly	788160	2091505	10	10
Dardilly	788075	2093065	10	10
Dardilly	788050	2091465	10	10
Dardilly	787420	2092095	10	10
Denicé	778620	2114053	50	50
Denicé	778595	2114055	50	50
Denicé	780421	2114628	10	10
Denicé	780218	2115284	10	10
Ecully	789308	2090557	25	25
Ecully	788730	2089620	25	25
Ecully	789220	2090420	10	10
Ecully	789416	2090975	50	50
Ecully	789458	2090935	25	25
Ecully	789209	2090637	25	25
Ecully	789650	2091190	200	200
Ecully	789645	2091210	200	200
Ecully	789700	2091250	200	200
Ecully	789610	2091180	200	200
Ecully	789660	2091310	200	200
Fleurieu sur Saône	794905	2098715	25	25
Fleurieu sur Saône	794710	2098460	25	25
Fleurieu sur Saône	795110	2098685	25	25
Fleurieu sur Saône	794730	2099285	25	25
Fleurieu sur Saône	795035	2098390	25	25
Fleurieu sur Saône	794985	2099260	25	25
Fleurieu sur Saône	794850	2098445	25	25
Fleurieu sur Saône	794940	2098840	25	25
Fleurieu sur Saône	795060	2099035	25	25

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Fleurieu sur Saône	794515	2099195	25	25
Fleurieu sur Saône	794755	2099065	25	25
Fleurieu sur Saône	794835	2098575	25	25
Fleurieu sur Saône	794585	2098105	25	25
Fleurieu sur Saône	794530	2098680	25	25
Fleurieux Sur L'Arbresle	780580	2096320	25	25
Fleurieux Sur L'Arbresle	780665	2096230	75	130
Fleurieux Sur L'Arbresle	780500	2096530	25	25
Fleurieux Sur L'Arbresle	780645	2096195	25	25
Francheville	786610	2084910	20	20
Francheville	789880	2084910	25	25
Francheville	789320	2085180	10	10
Francheville	788540	2084990	30	30
Frontenas	777830	2104695	10	10
Frontenas	777270	2104825	10	10
Frontenas	777830	2104580	10	10
Frontenas	777795	2104760	10	10
Frontenas	777775	2104495	10	10
Frontenas	779475	2105575	10	10
Frontenas	779545	2105595	10	10
Frontenas	779510	2105625	10	10
Genay	793510	2102870	20	20
Givors	787995	2068235	15	15
Givors	788170	2068540	20	20
Givors	787580	2068050	100	50
Givors	788390	2068555	25	25
Gleizé	783010	2112645	10	10
Gleizé	783560	2113505	20	20
Gleizé	784195	2114680	25	25
Gleizé	784225	2114740	20	20
Gleizé	784195	2114720	10	10
Gleizé	784150	2114695	10	10
Gleizé	784175	2114710	10	10
Gleizé	784355	2114215	10	10
Gleizé	783005	2112580	10	10
Gleizé	782980	2112595	20	20
Gleizé	782550	2112445	10	10
Gleizé	782575	2112490	20	20
Gleizé	784042	2114638	25	25
Gleizé	783969	2114652	25	25
Gleizé	783944	2114637	25	25
Gleizé	783920	2114619	25	25
Gleizé	783899	2114602	25	25
Gleizé	783883	2114575	25	25
Gleizé	783926	2114590	25	25
Gleizé	783971	2114587	25	25
Gleizé	784000	2114604	25	25

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Gleizé	783970	2114547	25	25
Gleizé	783955	2114502	25	25
Gleizé	783972	2114483	25	25
Gleizé	784037	2114498	25	25
Gleizé	784050	2114474	25	25
Gleizé	784057	2114509	25	25
Gleizé	784097	2114537	25	25
Gleizé	784113	2114546	25	25
Gleizé	784037	2114546	25	25
Gleizé	784033	2114586	25	25
Gleizé	780940	2112930	25	10
Gleizé	784490	2114960	25	25
Gleizé	784510	2115000	25	25
Gleizé	783500	2113120	25	25
Gleizé	783170	2113120	25	25
Gleizé	784120	2114620	25	25
Gleizé	784470	2114840	25	25
Gleizé	784190	2114515	25	25
Gleizé	782440	2112590	500	450
Gleizé	783410	2112560	25	25
Gleizé	783390	2112950	25	25
Juliéнас	782350	2139850	10	10
Juliéнас	783465	2139725	20	20
Juliéнас	783425	2139745	10	10
Juliéнас	782580	2139550	10	10
Juliéнас	784245	2139765	10	10
Juliéнас	784070	2140170	20	20
La Tour de Salvagny	785090	2092950	80	80
Lacenas	778803	2112991	20	20
Lacenas	778822	2112733	25	25
Lachassagne	782202	2105520	20	20
L'Arbresle	776550	2096280	25	25
L'Arbresle	777250	2095930	25	25
L'Arbresle	776420	2096340	25	25
L'Arbresle	776160	2096450	25	25
L'Arbresle	776190	2096370	25	25
L'Arbresle	776370	2096330	25	25
L'Arbresle	776630	2096210	25	25
L'Arbresle	776490	2096300	25	25
L'Arbresle	776020	2096270	25	25
Le Bois d'Oingt	774640	2105180	10	10
Le Bois d'Oingt	774445	2104315	10	10
Letra	771020	2110300	100	100
Letra	770300	2109460	50	50
Liergues	780970	2109790	50	50
Liergues	780010	2109350	50	150
Liergues	780490	2109980	50	50

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Liergues	780253	2110119	25	25
Liergues	779900	2110660	25	25
Liergues	780520	2110740	50	50
Liergues	780200	2109450	50	25
Liergues	780950	2110550	100	100
Liergues	780930	2110630	100	100
Liergues	780950	2110740	100	100
Liergues	780980	2110380	100	100
Liergues	781030	2110850	100	100
Liergues	780627	2109345	75	80
Liergues	780370	2110440	50	50
Liergues	780030	2110580	50	50
Liergues	781130	2110150	50	50
Liergues	780370	2109980	50	50
Limas	783440	2110870	20	20
Limas	783875	2111365	20	20
Limas	784250	2111220	20	20
Limas	783935	2111375	20	20
Limas	783000	2111430	20	20
Limas	783520	2111880	20	20
Limas	783580	2111720	20	20
Limas	783640	2111750	20	20
Limas	783267	2111222	10	10
Limonest	789460	2095570	320	120
Lissieu	787155	2096375	60	50
Lissieu	786315	2097000	105	450
Lissieu	786315	2097000	105	450
Lissieu	786315	2097000	105	450
Lucenay	783240	2103420	10	10
Lucenay	783330	2104250	50	50
Lucenay	783410	2103980	10	10
Lucenay	783840	2104160	25	25
Lucenay	783760	2104330	50	50
Lucenay	783060	2104000	30	30
Lucenay	784200	2103860	10	10
Lucenay	784200	2104440	50	50
Lucenay	784004	2104370	10	10
Lucenay	783640	2104350	25	25
Lucenay	783610	2103780	50	50
Lucenay	785220	2104170	10	10
Lucenay	783455	2103814	50	50
Lucenay	785280	2103890	10	10
Lucenay	783520	2103840	40	40
Lucenay	783527	2104699	10	10
Lucenay	783818	2104537	20	20
Lucenay	783770	2104880	10	10
Lucenay	783453	2104044	20	20

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Lucenay	783680	2104259	20	20
Lucenay	783370	2104010	25	25
Lucenay	783760	2103820	50	50
Lucenay	783840	2103670	25	25
Lucenay	783929	2104005	25	25
Marcilly d'Azergues	785995	2099225	25	25
Marcilly d'Azergues	786160	2097855	25	25
Marcilly d'Azergues	786115	2099705	25	25
Marcilly d'Azergues	785760	2097945	25	25
Marcilly d'Azergues	785980	2098240	25	25
Marcilly d'Azergues	785465	2098970	25	25
Marcilly d'Azergues	786030	2097855	25	25
Marcilly d'Azergues	785565	2098955	25	25
Marcilly d'Azergues	785785	2099420	25	25
Marcy L'Etoile	784270	2090155	10	10
Marcy L'Etoile	784265	2090315	10	10
Marcy L'Etoile	784455	2090220	10	10
Marcy L'Etoile	784145	2090165	10	10
Marcy L'Etoile	784140	2090275	25	25
Marcy L'Etoile	784220	2090345	10	10
Marcy L'Etoile	784285	2090060	10	10
Marcy L'Etoile	784205	2090355	10	10
Meys	759840	2077560	10	10
Meyzieu	807465	2090790	10	10
Meyzieu	807615	2088995	10	10
Meyzieu	807710	2087925	10	10
Meyzieu	807570	2088975	20	20
Morancé	783450	2101050	20	20
Morancé	783570	2101150	20	20
Morancé	783540	2101075	20	20
Morancé	783765	2102675	20	20
Morancé	784150	2101700	10	10
Morancé	783035	2102315	20	20
Morancé	784245	2101940	20	20
Morancé	784185	2101760	20	20
Morancé	784170	2101610	20	20
Morancé	783080	2101365	20	20
Morancé	783655	2102710	20	20
Morancé	783620	2102705	20	20
Morancé	784240	2101815	20	20
Morancé	783930	2102360	20	20
Morancé	782685	2101475	20	20
Morancé	783845	2102685	20	20
Morancé	783505	2102645	20	20
Morancé	783130	2102680	20	20
Morancé	782775	2102930	20	20
Morancé	783700	2102350	20	20

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Morancé	784260	2101880	20	20
Morancé	783640	2102485	20	20
Morancé	784185	2101530	20	20
Morancé	783980	2102240	20	20
Morancé	784170	2101785	20	20
Morancé	783669	2102582	50	50
Morancé	783190	2102710	20	20
Morancé	783665	2101195	20	20
Morancé	783662	2102316	10	10
Oingt	774805	2107700	100	100
Oingt	774190	2104860	100	100
Oingt	774190	2104860	15	15
Oingt	774285	2109040	15	15
Oingt	774215	2106900	10	10
Oingt	774370	2108295	40	40
Pierre Bénite	793040	2080810	20	20
Pierre Bénite	792710	2080510	50	50
Pierre Bénite	792980	2080730	20	20
Pierre Bénite	793020	2080810	20	20
Pierre Bénite	793391	2081592	10	10
Poleymieux au Mont d'Or	790890	2098620	50	50
Pommiers	782908	2108752	70	80
Pommiers	782771	2108788	50	40
Pommiers	782558	2110540	25	25
Pommiers	782303	2109884	25	25
Pommiers	782297	2108785	50	40
Pommiers	782875	2108756	75	75
Rivolet	775695	2114130	20	20
Sain Bel	775525	2093145	20	20
Sain Bel	775600	2093170	20	20
Sain Bel	775490	2093005	20	20
Sain Bel	775560	2093170	20	20
Sain Bel	775590	2093380	20	20
Sain Bel	775650	2092985	20	20
Sain Bel	775515	2093210	20	20
Sain Bel	775500	2093155	20	20
Sain Bel	775450	2093210	20	20
Sain Bel	775550	2093070	20	20
Sain Bel	776250	2093620	10	10
Sain Bel	775530	2093330	20	20
Sain Bel	775710	2093105	20	20
Sain Bel	775680	2093250	20	20
Sain Bel	775365	2093055	20	20
Sain Bel	775590	2093095	20	20
Sain Bel	775585	2092910	20	20
Sain Bel	775505	2093099	75	75
Saint Cyr Au Mont d'Or	792580	2094145	25	25

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Saint Didier au Mont d'Or	791850	2093660	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	791890	2093630	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	792160	2093850	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	791960	2093830	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	790990	2094020	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	790900	2094190	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	792050	2094270	50	50
Saint Didier au Mont d'Or	791835	2093795	90	50
Saint Didier au Mont d'Or	791130	2094740	65	125
Saint Didier au Mont d'Or	790960	2094110	25	25
Saint Didier au Mont d'Or	791062	2094130	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	791826	2094027	10	10
Saint Didier au Mont d'Or	791788	2093925	30	30
Saint Didier au Mont d'Or	792210	2094068	25	25
Saint Didier au Mont d'Or	790750	2092600	200	300
Saint Didier au Mont d'Or	790890	2094220	30	30
Saint Didier au Mont d'Or	790530	2093017	100	100
Saint Didier au Mont d'Or	791859	2094086	75	75
Saint Didier au Mont d'Or	791874	2093503	50	25
Saint Didier au Mont d'Or	792225	2094271	50	75
Saint Didier au Mont d'Or	791319	2092807	50	75
Saint Didier au Mont d'Or	791718	2091908	25	50
Saint Didier au Mont d'Or	791851	2094221	50	50
Saint Didier au Mont d'Or	791190	2094680	300	600
Saint Didier au Mont d'Or	791584	2093064	100	100
Saint Genis Les Ollières	786315	2087008	10	10
Saint Genis Les Ollières	786260	2087077	10	10
Saint Genis Les Ollières	786790	2086850	10	10
Saint Genis Les Ollières	786680	2086870	10	10
Saint Genis Les Ollières	785775	2087705	25	25
Saint Genis Les Ollières	785980	2087030	10	10
Saint Genis Les Ollières	785995	2087050	10	10
Saint Genis Les Ollières	785970	2087010	10	10
Saint Genis Les Ollières	786015	2087170	10	10
Saint Genis Les Ollières	786020	2087100	10	10
Saint Genis Les Ollières	785990	2087125	10	10
Saint Genis Les Ollières	786070	2087080	10	10
Saint Genis Les Ollières	785960	2087055	25	25
Saint Genis Les Ollières	785960	2086990	10	10
Saint Genis Les Ollières	786065	2087115	10	10
Saint Genis Les Ollières	786130	2086960	20	20
Saint Genis Les Ollières	786293	2087040	10	10
Saint Genis Les Ollières	786273	2087061	10	10
Saint Genis Les Ollières	786390	2087230	25	25
Saint Germain au Mont d'Or	791125	2102895	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791180	2102025	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791165	2102045	10	10

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Saint Germain au Mont d'Or	791170	2102070	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791220	2102000	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791155	2101800	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791155	2101775	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791160	2101755	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791160	2101730	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791145	2101720	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791115	2101715	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791085	2101720	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791085	2101740	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791085	2101765	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791085	2101790	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791115	2101765	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791060	2101780	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791060	2101750	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791060	2101720	10	10
Saint Germain au Mont d'Or	791060	2101740	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776115	2096985	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776000	2099880	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776660	2096550	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776115	2096910	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776855	2096650	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776630	2096350	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	777660	2099350	10	10
Saint Germain Sur L'Arbresle	776945	2097945	50	85
Saint Jean D'Ardières	783480	2128320	10	10
Saint Jean des Vignes	782090	2099690	10	10
Saint Jean des Vignes	781637	2099886	10	10
Saint Julien (sous Montmelas)	780260	2116330	10	10
Saint Julien (sous Montmelas)	779710	2116340	10	10
Savigny	774850	2093915	840	405
Savigny	774850	2093915	840	405
Savigny	774595	2093635	10	10
Ternay	792555	2069320	10	10
Theizé	776735	2106940	25	25
Theizé	777105	2106405	25	25
Thurins	779703	2078691	10	10
Villefranche sur Saône	785122	2113007	25	25
Villefranche sur Saône	783668	2113530	20	20
Villefranche sur Saône	783840	2112050	25	25
Villefranche sur Saône	784690	2112920	50	25
Villefranche sur Saône	783844	2113767	75	75
Villefranche sur Saône	785050	2113110	25	75
Villefranche sur Saône	784300	2112920	75	50
Villefranche sur Saône	786440	2112670	100	100
Villefranche sur Saône	785150	2113370	100	50
Ville-Sur-Jarnioux	776255	2109130	195	90

Commune	X(m)	Y(m)	Précision X (m)	Précision Y (m)
Ville-Sur-Jarnioux	774970	2110531	25	25
Ville-Sur-Jarnioux	776110	2109400	25	25
Ville-Sur-Jarnioux	775950	2109930	50	50

Annexe 3

–

Liste et coordonnées des organismes ayant fourni des données géotechniques et/ou minéralogiques

BUREAUX D'ETUDES/ENTREPRISES :

ABROTEC :

Parc du Ruissel
Av de Lossburg
69480 ANSE
Tél. : 04 37 55 04 08
Fax : 04 37 55 02 65

Autoroutes Paris-Rhin-Rhône :

direction régionale d'exploitation
gare Péage de Genay
69730 GENAY
Tél : 04 37 26 40 00
Fax : 04 37 26 40 09

ARCADIS ESG :

17 rue Louis Guérin
69626 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 78 89 81 18
Fax : 04 78 94 36 96

CETE de Lyon :

25 av François Mitterrand
69500 BRON
Tél. : 04 72 14 30 30
Fax : 04 72 14 30 35

EG SOL :

50 avenue du Progrès
69680 Chassieu
Tél. : 04 78 90 81 86
Fax : 04 78 90 65 23

FONDASOL :

58 chemin des Bruyères
69150 DÉCINES
Tél. : 04 72 37 68 88
Fax : . 04 72 37 68 52

HYDRO'GEOTECHNIQUE Agence Sillon Rhodanien :

ZI Les Grands Crêts 6 r Monge
38550 SAINT MAURICE L'EXIL
Tél. : 04 74 85 67 67
Fax : 04 74 85 53 45

Rillieux Études :
chemin Saccunière
01120 LA BOISSE

Tél. : 09 63 00 82 71

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

USG

Maison de l'Ingénierie
3, rue Léon Bonnat
75 016 PARIS

ADMINISTRATIONS :

Direction Départementale de l'Équipement du Rhône :

33 rue Moncey
69421 LYON Cedex 03

Tél : 04 78 62 50 50
Fax : 04 78 60 66 32

Préfecture du Rhône :

Direction de la Citoyenneté et de l'Environnement

106 rue Pierre Corneille
69419 Lyon Cedex 03

Tél : 04 72 61 61 30
Fax : 04 72 61 64 26

Annexe 4

—

Résultats d'analyses spécifiques des 28 échantillons prélevés dans le département du Rhône

Localisation

Analyses minéralogiques par diffraction des Rayons X BRGM Orléans

Analyses géotechniques (VB) BRGM Orléans

N°échantillon	X(m)	Y(m)	Formation argileuse
1	790740	2095750	CALMS
2	791310	2094640	PLIEN
3	790720	2094300	MARGT
4	790390	2095210	MARGT
5	789800	2096990	MACAT
6	789671	2096346	PLIEN
7	787320	2098650	COLPO
8	782220	2101790	COLPO
9	797610	2098520	LIMON
10	814170	2092450	AREME
11	811590	2092040	MORWU
13	781140	2106120	CALMO
14	781520	2106190	CALMB
16	783080	2102520	WUSED
17	773740	2107780	MACAD
18	774170	2108180	ARDOR
19	774260	2108440	CALMH
20	778650	2113870	MARSO
21	775970	2114970	MARGK
22	789250	2132180	AFLUS
23	787250	2128980	ALLUW
24	764030	2079510	AGASS
25	770330	2109450	h2a-b
26	777000	2113620	COLPO
27	780590	2108270	EBOUL
28	785040	2093000	ALTER
29	779980	2087730	FACAP
30	795510	2093660	PLIOC

Intitulés et localisation des échantillons

1. Nature de l'essai :

La fraction phylliteuse des échantillons est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de lames orientées normales, glycolées pendant 12 heures en tension de vapeur puis chauffées à 490°C pendant 4 heures. Les proportions sont estimées à partir de l'aire des pics. Il faut bien tenir compte que les pourcentages indiqués sont des valeurs relatives des phases phylliteuses présentes dans la fraction dite « < 2 microns » de l'échantillon.

Une phase dite « amorphe aux rayons X » peut être : une phase non cristallisée ou une phase cryptocristalline.

2. Appareillage et conditions expérimentales :

Appareillage : Diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé

Conditions expérimentales :

- Balayage de 2 à 36°2 θ pour les lames orientées
- Vitesse de balayage de 0,02°2 θ /seconde
- Temps de comptage : 1 seconde par pas
- Echantillon fixe pour les argiles
- Tube au Cobalt (λ K α 1 $\approx$ 1,789 Å)

Traitement des diagrammes : Logiciel DIFFRAC^{plus}

3. Résultats d'analyse

Echantillon 1

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 54%
 - illite et/ou micas : 16%
 - kaolinite : 30%

Echantillon 2

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 21%
 - illite et/ou micas : 22%
 - kaolinite : 57%

Echantillon 3

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 42%
 - interstratifié chlorite-illite ou chlorite-micas : ~2%
 - illite et/ou micas : 11%
 - kaolinite : 45%



RAPPORT D'ESSAIS 08-6-004-A

Echantillon 4

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-illite ou smectite-micas : ~3%
 - illite et/ou micas : 83%
 - kaolinite : 13%

Echantillon 5

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 9%
 - illite et/ou micas : 22%
 - kaolinite : 69%

Echantillon 6

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 15%
 - illite et/ou micas : 23%
 - kaolinite : 62%

Echantillon 7

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite : 7%
 - illite et/ou micas : 55%
 - kaolinite : 38%

Echantillon 8

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - illite et/ou micas : 31%
 - kaolinite : 69%

Echantillon 9

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié riche en smectite
+ interstratifié smectite-illite ou smectite-micas possible : 60%
 - illite et/ou micas : 20%
 - kaolinite : 20%

Echantillon 10

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié riche en smectite : 84%
 - illite et/ou micas : 3%
 - kaolinite : 13%

Echantillon 11

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite : 40%
 - illite et/ou micas : 27%
 - kaolinite : 33%

Echantillon 13

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - illite et/ou micas : 50%
 - kaolinite : 50%

Echantillon 14

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - illite et/ou micas : 58%
 - kaolinite : 42%

Echantillon 16

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite : 18%
 - interstratifié chlorite-micas ou chlorite-illite 60%
 - illite et/ou micas : 5%
 - kaolinite : 17%

Echantillon 17

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - vermiculite : 8%
 - illite et/ou micas : 25%
 - kaolinite : 67%

Echantillon 18

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 9%
 - interstratifié smectite-illite ou smectite-micas : 16%
 - illite et/ou micas : 58%
 - kaolinite : 17%

Echantillon 19

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite + interstratifié smectite-illite ou smectite-micas : 56%
 - illite et/ou micas : 29%
 - kaolinite : 15%

Echantillon 20

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite : 70%
 - illite et/ou micas : 4%
 - kaolinite : 26%

Echantillon 21

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - illite et/ou micas : 21%
 - kaolinite : 9%



RAPPORT D'ESSAIS 08-6-004-A

Echantillon 22

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 48%
 - illite et/ou micas : 12%
 - kaolinite : 40%

Echantillon 23

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite : 29%
 - illite et/ou micas : 38%
 - kaolinite : 33%

Echantillon 24

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-illite ou smectite-micas : 60%
 - illite et/ou micas : 20%
 - kaolinite : 20%

Echantillon 25

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite + interstratifié smectite-illite ou smectite-micas possible : 21%
 - illite et/ou micas : 62%
 - kaolinite : 17%

Echantillon 26

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-chlorite
+ interstratifié smectite-illite ou smectite-micas possible : 15%
 - illite et/ou micas : 26%
 - kaolinite : 59%

Echantillon 27

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - interstratifié smectite-illite ou smectite-micas : 9%
 - illite et/ou micas : 52%
 - kaolinite : 39%

Echantillon 28

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite : 9%
 - vermiculite : 9%
 - illite et/ou micas : 47%
 - kaolinite : 35%

Echantillon 29

- fraction phylliteuse représentée par (sur base 100) :
 - smectite : 5%
 - vermiculite : 11%
 - illite et/ou micas : 41%
 - kaolinite : 43%

IM 096 (MO101) - 29-01-2007

5

*Composition minéralogique de l'assemblage argileux
(fraction < 2 μ m) - précision $\pm$ 5 %*



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009
45060 - Orléans Cedex 2 - France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Rhône-Alpes
151 Boulevard de Stalingrad
69626 Villeurbanne Cedex
Tél. : 04 72 82 11 50
Fax : 04 72 82 11 51