

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

Rapport final

BRGM/RP-57472-FR
Juillet 2009



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

Rapport final

BRGM/RP-57472-FR
Juillet 2009

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2007 07RISD06

A. Méjean
Avec la collaboration de
M. Saint Martin, S. Le Roy et S. Elineau

Vérificateur :

Nom : Marc VINCENT

Date : 14 août 2009

Signature :



Approbateur :

Nom : Fabrice DEVERLY

Date : 27 août 2009

Signature :



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



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

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

Méjean A. avec la collaboration de **Saint Martin M., Le Roy S. et Elineau S.** (2009) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Isère. Rapport BRGM/RP-57472-FR, 126 p., 55 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

© BRGM, 2009, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les phénomènes de retrait-gonflement de certaines formations géologiques argileuses 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.

L'Isère fait partie des départements français modérément touchés par le phénomène, puisque 102 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés dans le cadre de la présente étude. À la date du 30 juin 2009, 6 communes sur les 533 que compte le département ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, soit un taux de sinistralité de 1,12 %. Chacune d'elle n'a été reconnue qu'une seule fois à ce jour, la plupart pour l'été 2003 et, concernant l'une d'entre elles, pour l'été 2005. Le département de l'Isère se classe ainsi à la 76^{ème} place en termes de nombre total d'occurrences (arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle en distinguant par commune et par périodes), loin derrière certains départements de région parisienne ou du Sud de la France, particulièrement affectés. En septembre 2008, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France entre 1989 et 2003 au titre du régime des catastrophes naturelles, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à 3,9 milliards d'euros, dont 75 500 euros pour le département de l'Isère (en coûts actualisés), ce qui en fait le 83^{ème} département touché en termes de coûts d'indemnisation versée dans ce cadre.

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 la Mer (MEEDDM) 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 sols argileux. 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 Risques naturels et sécurité du stockage du CO₂ du BRGM (unité Risques de Mouvements de Terrain et érosion), en collaboration avec le Service géologique régional Rhône-Alpes. Le financement en a été assuré à hauteur de 75 % par le Fonds 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 Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture (DDEA) de l'Isère le 20 juillet 2007.

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 vingt-trois 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 bâtie, 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 évaluée à 7 882 km²,

- 5,8 % a été classé en aléa moyen ;
- 66,6 % a été considéré en aléa faible ;
- 27,6 % correspondent 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 de l'Isère, 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 (PPRN), 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.....	19
2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses	19
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations.....	19
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement	20
2.2.4. Carte de susceptibilité	20
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres.....	21
2.2.6. Détermination des densités de sinistres	21
2.2.7. Carte d'aléa	21
3. Présentation du département de l'Isère	23
3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....	23
3.2. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE.....	24
3.3. CONTEXTE CLIMATIQUE	25
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	31
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	31
4.2.1. Le domaine alpin (Zone externe).....	32
4.2.2. Le domaine péri-alpin	33
4.2.3. Les formations du Quaternaires	34
4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILO-MARNEUSES	34

4.3.1. Colluvions et éboulis	37
4.3.2. Loëss, lehm et limons	37
4.3.3. Argiles résiduelles d'altération	38
4.3.4. Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires	39
4.3.5. Alluvions lacustres et tourbeuses.....	40
4.3.6. Alluvions fluviales et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	40
4.3.7. Moraines	41
4.3.8. Formations argilo-caillouteuses du Pliocène.....	41
4.3.9. Argiles bleues du Pliocène inférieur marin.....	42
4.3.10. Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	43
4.3.11. Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	44
4.3.12. Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	44
4.3.13. Calcaires argileux du Crétacé inférieur	45
4.3.14. Grès et sables verts glauconieux de l'Albien.....	46
4.3.15. Marnes du Crétacé inférieur.....	46
4.3.16. Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	47
4.3.17. « Terres Noires » du Callovien-Oxfordien	48
4.3.18. Formation de Bramefarine (Bajocien)	48
4.3.19. Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	49
4.3.20. Schistes et calcaires argileux du Lias	50
4.3.21. Marnes noires et marno-calcaires du Lias	50
4.3.22. Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	51
4.3.23. Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	52
4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES	52
4.5. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	53
5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues	55
5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION	55
5.1.1. Critères retenus.....	55
5.1.2. Méthode de classification.....	55
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE.....	56
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème	56
5.2.2. Caractérisation lithologique.....	57
5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE	57
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	57
5.3.2. Caractérisation minéralogique	58

5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE	65
5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème	65
5.4.2. Teneur en eau (Wn)	66
5.4.3. Indice de plasticité (Ip).....	66
5.4.4. Essais au bleu de méthylène (Vb).....	67
5.4.5. Retrait linéaire (RI).....	67
5.4.6. Coefficient de gonflement (Cg).....	68
5.4.7. Caractérisation géotechnique.....	69
6. Élaboration de la carte de susceptibilité	71
6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ	71
6.2. SYNTHÈSE	72
6.3. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ.....	72
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. COLLECTE DES DONNÉES DE SINISTRES.....	79
7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE BATIE.....	82
7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation	83
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	91
8.3. COHERENCE AVEC LES DEPARTEMENTS LIMITROPHES	93
9. Conclusion	97
10. Bibliographie.....	99

Liste des illustrations

Illustration 1 - Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche	13
Illustration 2 - Localisation du département de l'Isère en France.....	23
Illustration 3 - Géomorphologie et sous unités structurales du département de l'Isère	25
Illustration 4 - Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 de l'Isère	30
Illustration 5 - Carte schématique des zones structurales et des grandes unités géologiques du département de l'Isère (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 du BRGM).....	32
Illustration 6 – Formations argileuses et marneuses de l'Isère	35
Illustration 7 - Carte synthétique des formations argileuses et marneuses de l'Isère	36
Illustration 8 – Répartition départementale des Colluvions et éboulis.....	37
Illustration 9 – Répartition départementale des Lœss, lehm et limons	38
Illustration 10 – Répartition départementale des Argiles résiduelles d'altération.....	39
Illustration 11 – Répartition départementale des Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires.....	39
Illustration 12 – Répartition départementale des Alluvions lacustres et tourbeuses	40
Illustration 13 – Alluvions fluviales et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaire.....	41
Illustration 14 – Répartition départementale des Moraines	41
Illustration 15 – Répartition départementale des Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	42
Illustration 16 – Répartition départementale des Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	42
Illustration 17- Répartition départementale des Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	43
Illustration 18 – Répartition départementale des argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène.....	44
Illustration 19 – Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur.....	45
Illustration 20 – Répartition départementale des Calcaires argileux du Crétacé inférieur	45
Illustration 21 – Répartition départementale des Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	46
Illustration 22 – Répartition départementale des Marnes du Crétacé inférieur	47
Illustration 23 – Répartition départementale des calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	47
Illustration 24 – Répartition départementale des « Terres noires » du Callovien-Oxfordien	48
Illustration 25 – Répartition départementale de la Formation de Bramefarine.....	49

Illustration 26 – Répartition départementale des Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	49
Illustration 27 – Répartition départementale des Schistes et calcaires argileux du Lias	50
Illustration 28 – Répartition départementale des Marnes noires et marno-calcaires du Lias	51
Illustration 29 – Répartition départementale des Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	51
Illustration 30 – Répartition départementale des Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	52
Illustration 31 - Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation	56
Illustration 32 - Note lithologique des formations argileuses retenues	57
Illustration 33 - Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants	58
Illustration 34 – Données et notes minéralogiques des formations argileuses retenues.....	64
Illustration 35 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation.....	67
Illustration 36 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation	67
Illustration 37 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation.....	68
Illustration 38 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation	68
Illustration 39 - Bilan des données géotechniques recueillies et exploités	69
Illustration 40 - Synthèse des données géotechniques recueillies	70
Illustration 41 - Barème d'attribution d'un niveau de susceptibilité d'une formation argileuse.....	71
Illustration 42 - Susceptibilité des formations argileuses retenues	71
Illustration 43 - Superficie des formations par niveau de susceptibilité	72
Illustration 44 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement dans le département de l'Isère.....	73
Illustration 45 - Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre de mouvements différentiels de sols liés au retrait-gonflement des argiles (prim.net, juin 2009)	77
Illustration 46 - Communes concernées par des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés	78
Illustration 47 - Répartition géologique des sinistres localisés	81
Illustration 48 - Nombre de sinistres et surface bâtie par formation	83
Illustration 49 - Carte des zones bâties sur le département de l'Isère (source des données : BD Topo IGN).....	84

Illustration 50 – Sinistralité et notes de densité de sinistres	86
Illustration 51 – Niveau d'aléa des formations.....	90
Illustration 52 - Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa	91
Illustration 53 – Répartition des superficies par niveau d'aléa	91
Illustration 54 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement de l'Isère.....	92
Illustration 55 – Juxtaposition des cartes d'aléa limitrophes à l'Isère.....	94

Liste des annexes

Annexe 1 Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles	109
Annexe 2 Bilan des sinistres localisés et formations géologiques concernées	113
Annexe 3 Liste et coordonnées des bureaux d'étude et entreprises ayant fourni des données géotechniques	117
Annexe 4 Résultats des analyses en laboratoire réalisés au cours de cette étude.....	119

Liste des cartes hors-texte (1/150 000)

- 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).

En 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 7 900 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont ainsi été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle à ce titre. En septembre 2008, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France entre 1989 et 2003 au titre du régime des catastrophes naturelles, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à 3,9 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation, juste derrière les inondations.

La région Rhône-Alpes a été modérément affectée par ce phénomène, et notamment le département de l'Isère qui se place en 83^{ème} position pour les coûts cumulés d'indemnisation (données CCR de septembre 2008). Ce département, d'une superficie de 7 882 km², comptait 1 180 000 habitants au dernier recensement. A la date du 30 juin 2009, 6 communes sur les 533 que compte le département de l'Isère ont ainsi été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de juillet 2003 à septembre 2005, soit un taux de sinistralité de 1,12 %.

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, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) 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 naturels 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.

L'étude a été conduite par le service Risques naturels et sécurité du stockage du CO₂ du BRGM (unité Risques de Mouvements de Terrain et érosion), en collaboration avec le Service Géologique Régional Rhône-Alpes. Le financement en a été assuré à hauteur de 75 % par le Fonds 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 Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture (DDEA) de l'Isère le 20 juillet 2007.

Cette étude s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui concerne désormais l'ensemble du territoire métropolitain (Vincent *et al.*, 2008), plus de soixante 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.

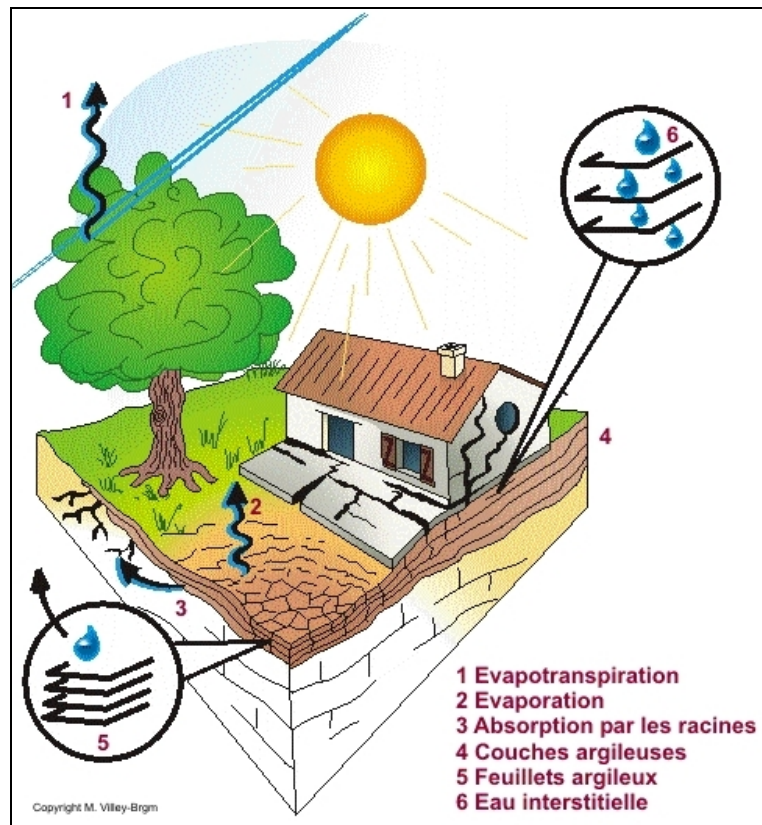


Illustration 1 - Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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

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 à d'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.

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.

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 pente 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'ajouter 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.

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 peut consommer jusqu'à 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.

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 cadre d'études similaires confirme que certaines 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

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.

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 en charge de l'environnement et est désormais appliquée dans le cadre d'un programme qui concernera à terme l'ensemble du territoire métropolitain (Vincent *et al.*, 2008), ce qui permettra d'obtenir des résultats homogènes au niveau national. Les départements voisins du Rhône et de la Drôme (Renault *et al.*, 2008) ont déjà fait l'objet d'une telle étude, alors que la cartographie de l'aléa dans les départements de la Savoie, de la Haute-Savoie, de la Loire, de l'Ardèche, de l'Ain et des Hautes-Alpes est actuellement en cours, suivant la même méthodologie.

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 éditées par le BRGM à l'échelle 1/50 000 et qui ont fait l'objet d'un travail d'harmonisation préalable afin d'établir une carte géologique départementale harmonisée (Donsimoni, 2008). Ont également été prises en compte 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 ou d'études géotechniques locales.

Pour cela, toutes les formations argileuses ou marneuses du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, ont été inventoriées puis cartographiées. Des regroupements ont été réalisés dans une seconde étape, en considérant que des natures lithologiques voisines laissent 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 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.

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 corrigée en prenant également en compte la sinistralité observée à ce jour pour chacune des formations identifiées comme potentiellement sujettes au phénomène.

Pour ce faire, un recensement des sinistres imputés à la sécheresse a été effectué auprès de l'ensemble des communes du département. Ces données ont été complétées par l'examen des dossiers conservés par la Caisse Centrale de Réassurance et par certains bureaux d'études ou entreprises qui ont accepté que leurs archives soient exploitées à cet effet. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 102 sites de sinistres qui ont été localisés sur cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ils sont répartis dans 35 communes (dont 6 ayant déjà fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle) et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département de l'Isère.

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, issues de la BD TOPO de l'IGN qui a été mise à disposition par la DDEA de l'Isère 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 bâtie.

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 bâtie, 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 de l'Isère

3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Situé dans le quart sud-est de la France (Illustration 2), le département de l'Isère (38), dont le territoire figure schématiquement un rectangle allongé NW-SE (environ 145 km de longueur sur 80 km de largeur) est ainsi en référence au cours d'eau qui le traverse en partie centrale, du NE au SW, via la vallée du Grésivaudan. D'un point de vue administratif, il fait partie de la région Rhône-Alpes, qui regroupe sept autres départements : l'Ain, l'Ardèche, la Drôme, la Loire, le Rhône, la Haute-Savoie et la Savoie.

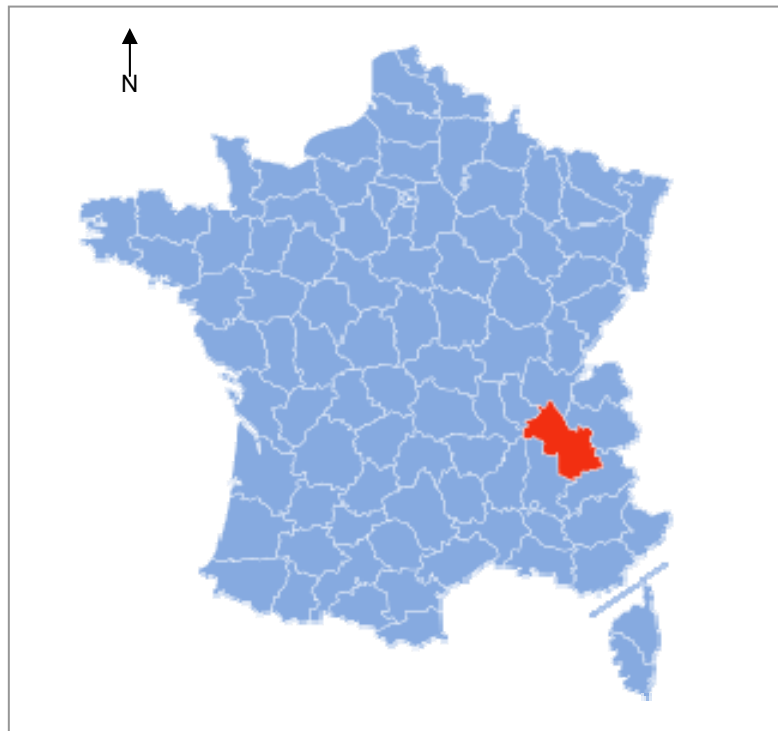


Illustration 2 - Localisation du département de l'Isère en France

Le département de l'Isère couvre une superficie évaluée à 7 882 km² (données BD Carto de l'IGN en coordonnées cartésiennes Lambert II étendue). Il a pour préfecture Grenoble et pour sous-préfectures La Tour-du-Pin et Vienne. Il comporte 58 cantons et 533 communes.

Il comptait au dernier recensement 1 180 000 habitants (2007), soit 150 hab/km². Jouissant d'une composition géographique diversifiée, l'Isère est l'un des départements les plus peuplés de France. La croissance démographique du

département est d'environ 0,8 % par an. La population est majoritairement urbaine puisque plus de 76 % des habitants vivent en ville. Au cœur du département, l'agglomération de Grenoble, où résident plus de 4 isérois sur 10, compte environ 420 000 habitants.

3.2. CONTEXTE GEOMORPHOLOGIQUE

Le département de l'Isère s'étend du nord au sud, du plateau de Crémieu au col de la Croix-Haute et, d'est en ouest, de la vallée du Rhône jusqu'aux sommets de l'Oisans (4 000 m). Il peut être divisé en deux parties d'inégale importance (Illustration 3) :

- **Le Nord-Ouest** : préalpin, il est constitué de dépôts argileux et sableux. Ouvert sur le couloir rhodanien, cet espace est principalement consacré à l'agriculture (céréales, mais aussi cultures maraîchères) et à l'élevage (bovin, mais aussi porcin).
- **Le Sud-Est** : pays alpin, il est constitué de formations calcaires (plateau du Vercors, massif de la Chartreuse) et de massifs cristallins (Belledonne, Oisans). Vouée à l'hydroélectricité et au tourisme, cette zone est percée de vallées où une industrie diffuse côtoie un artisanat et un commerce traditionnels.

Le département de l'Isère, dont le fleuve Rhône délimite au nord la frontière naturelle avec le département de l'Ain et à l'ouest avec les départements du Rhône, de la Loire et de l'Ardèche, est très contrasté, avec :

- au nord : les Terres Froides, le plateau calcaire de l'Isle Crémieu au bord du Rhône et au pied du Jura ;
- à l'ouest : la vallée du Rhône, au pied du Massif central ;
- à mi-distance entre Grenoble et Lyon : la plaine de la Bièvre, les Chambarans, le pays de Valoire et le Pays Voironnais ;
- au centre-est : le massif de la Chartreuse ;
- au centre : l'axe nord-sud constitué par la vallée du Grésivaudan, morceau du sillon alpin qui relie Grenoble à Chambéry ;
- sur la rive gauche de l'Isère : les massifs de Belledonne, des Grandes Rousses, des Écrins (point culminant du département à 4 088 m au Pic Lory, antécime de la barre des Écrins, 4 102 m, elle-même située dans le département des Hautes-Alpes) et du Vercors à l'ouest.

Les cours d'eau ont un débit assez irrégulier, fonction surtout de la fonte des neiges et de la pluviosité, qui conditionne la production d'électricité. L'Isère est gonflée par l'Arc en Savoie, puis par le Drac, grossi de la Romanche. Le Rhône, qui borde le département au nord-ouest et nord-est, possède deux affluents dans le département : le Guiers et la Bourbre.

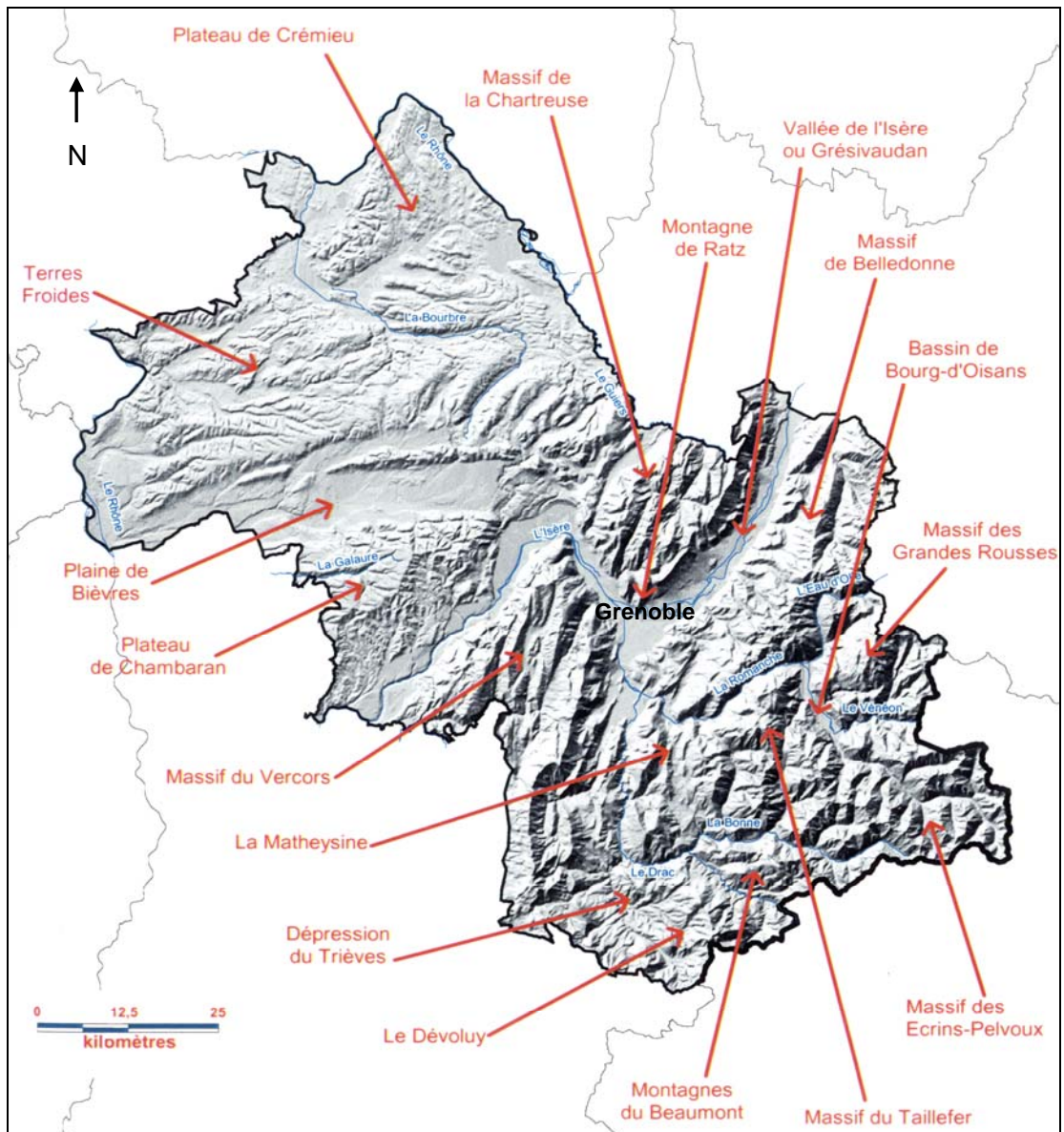


Illustration 3 - Géomorphologie et sous unités structurales du département de l'Isère

3.3. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat de l'Isère est de type continental, froid en hiver, chaud en été. Les pluies sont abondantes (152 jours de pluie en moyenne dans l'année), régulières et connaissent deux maxima, l'un au printemps, l'autre en automne. Les gelées et les chutes de neige sont fréquentes, compte tenu du caractère montagneux du département.

La géographie commande le climat du département, soumis aux influences venues de tous les horizons, mais plus particulièrement celle de l'Océan Atlantique et celle de la Méditerranée (source Météo-France).

Précipitations

Les régimes d'ouest à nord-ouest, très humides en général, butent contre les reliefs qui ont la propriété d'amplifier l'activité pluvieuse, neigeuse ou orageuse des perturbations. L'effet de barrage joue intensément pour les premiers massifs frappés par les flux atlantiques, mais s'estompe à mesure que l'on pénètre vers le sud-est où on peut dès lors évoquer un effet d'abri.

C'est ainsi que, globalement, sur une année moyenne, émergent les caractéristiques suivantes : la Chartreuse, surtout, et le Vercors montrent une pluviométrie soutenue et abondante ; le massif de Belledonne, en deuxième rideau, est très arrosé aussi ; l'Oisans, « abrité », est en retrait ; l'ouest du département est protégé par l'effet de foehn derrière le Massif Central (c'est particulièrement flagrant à Sablons) ; l'axe Grésivaudan – Trièves s'inscrit aussi dans un effet d'abri au pied des Préalpes, avec en plus, pour le Trièves, une certaine influence méridionale.

Les régimes méditerranéens sont les plus actifs à l'automne, quand après le creux estival de juillet, s'organisent progressivement des afflux d'air humide, encore chauds et orageux, qui donnent leur pleine mesure en septembre et octobre. Ils sont canalisés par la vallée du Rhône (cf. Sablons), débordent sur les Préalpes, et frappent le sud du département (La Mure en est un bon exemple).

L'examen des différents profils mensuels montrent qu'en Isère les précipitations sont assez équitablement réparties tout au long de l'année. Seul juillet recueille une quasi-unanimité de relative sécheresse. On note cependant souvent une activité un peu plus soutenue en mai, surtout sur le Bas-Dauphiné, qui peut s'expliquer par des averses orageuses.

Températures

La température varie étroitement en fonction de l'altitude. Elle augmente partout de janvier à fin juillet, avec toutefois un petit retard hivernal dans plusieurs stations d'altitude où février reste sensiblement au niveau de janvier.

La plaine et le Grésivaudan sont chauds à un niveau très voisin en été (les extrêmes de l'une et l'autre sont très proches). Par contre, à altitude équivalente, St-Martin d'Hères apparaît plus froid en hiver à cause de la proximité de la montagne.

Les records de froid, de basse altitude, sont pourtant un peu plus accusés sur l'ouest du département que dans le Grésivaudan, paradoxe qui peut trouver une explication dans la propension du sillon alpin à conserver plus longtemps des nuages bas protecteurs, atténuant le refroidissement par rayonnement vers le ciel au cours des nuits.

A cause de l'éloignement relatif des surfaces maritimes et de l'omniprésence de la montagne (Alpes, mais aussi Massif Central), le climat isérois est qualifié de continental sous influence montagnarde, influence d'autant plus décisive que l'on approche ou entre dans le relief. Les contrastes sont accusés entre un hiver froid et un été chaud.

Valeurs remarquables relevées en Isère (période 1961-2000)

Températures extrêmes :

- -28,0 °C relevés le 07/01/1985 à Villard-de-Lans (1 050 m)
- +39,8 °C relevés le 22/07/1983 à Chatte (220 m)

Précipitations :

- maximales en 24 h : 200 mm le 25/09/1999 à La Côte-St-André
- maximales sur 1 mois : 540 mm en décembre 1981 au Rivier d'Allemond (1 270 m)
- maximales sur 1 an : 2689 mm l'année 1995 à St-Pierre-de-Chartreuse (895 m)

Neige :

- maximum en 24 h : 80 cm le 21/03/1971 à St-Christophe-en-Oisans (1 570 m)
- neige au sol : 310 cm le 10/04/1970 au Col de Porte (1 325 m)
75 cm le 14/12/1990 à St-Etienne-de-St-Geoires (384 m)

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 de l'Isère, afin d'identifier les zones potentiellement sujettes 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 principalement à partir de la carte départementale géologique harmonisée établie spécifiquement dans le cadre de la présente étude (Donsimoni, 2008) et des cartes géologiques du BRGM à l'échelle 1/50 000. Les cartes au 1/50 000, réalisées pour un grand nombre d'entre elles dans les années 1970, avec une représentation répondant aux objectifs de l'époque, peuvent présenter localement des lacunes en ce qui concerne notamment les formations superficielles, et leur fiabilité ponctuelle est souvent limitée. Ces cartes ont été partiellement complétées par la consultation de la Banque des données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM dans le cadre de ses missions de service public au titre de l'application du Code Minier. Toutes les données disponibles n'ont cependant pas pu être intégrées en raison de leur nombre très élevé. 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.

L'assemblage départemental des cartes géologiques (Illustration 4) comporte tout ou partie des 24 coupures suivantes, dont les références figurent en fin de bibliographie : Montluel (699), Belley (700), Givors (722), Bourgoin-Jallieu (723), La Tour-du-Pin (724), Vienne (746), La Côte-Saint-André (747), Voiron (748), Montmélian (749), La Rochette (750), Serrières (770), Beaurepaire (771), Grenoble (772) Domène (773), Saint-Jean-de-Maurienne (774), Romans-sur-Isère (795), Vif (796), Vizille (797), La Grave (798), La Chapelle-en-Vercors (820), La Mure (821), Saint-Christophe-en-Oisans (822), Mens (844) et Saint-Bonnet (845).

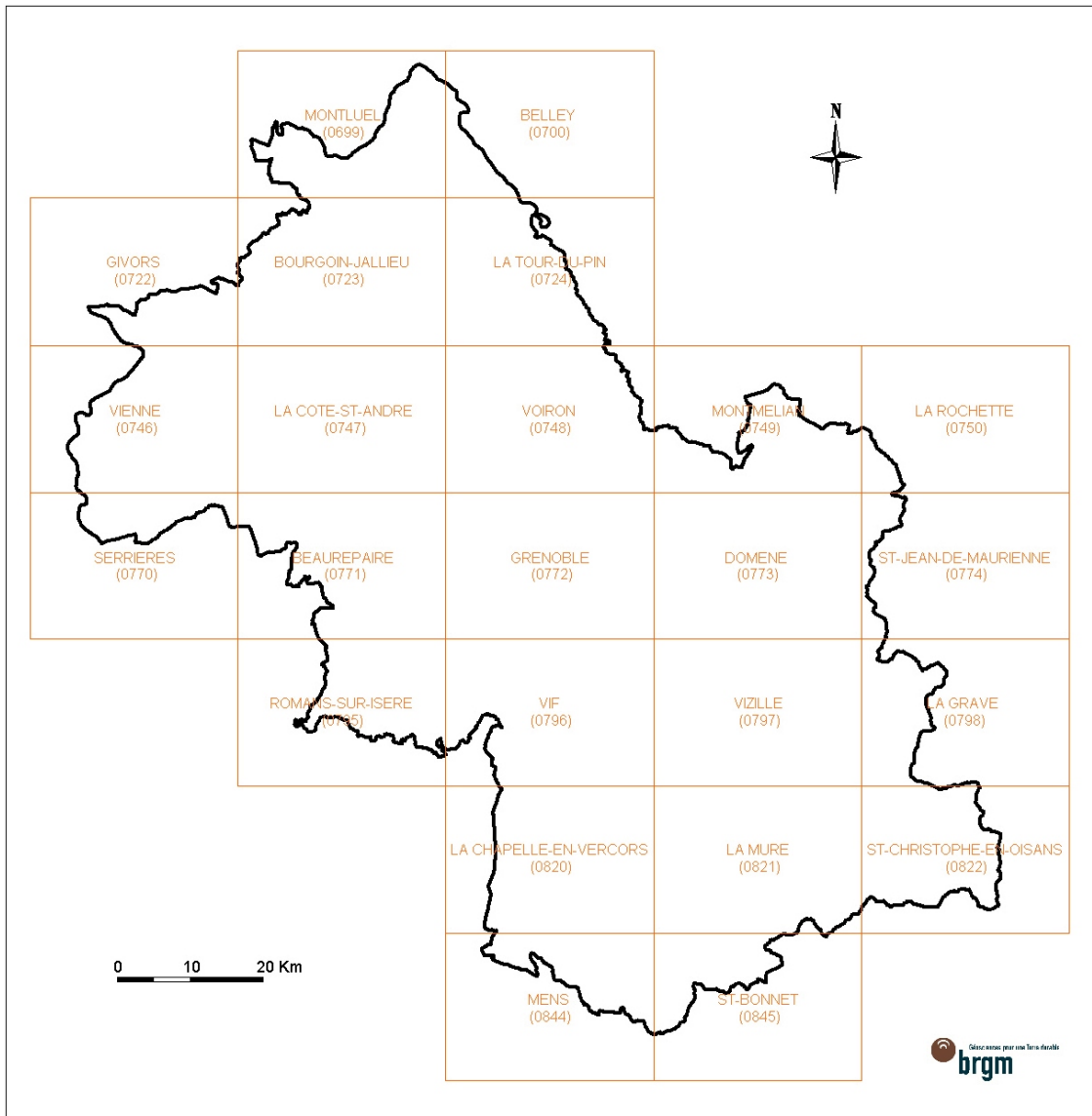


Illustration 4 - Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 de l'Isère

A partir de la carte départementale géologique harmonisée et des cartes géologiques publiées à l'échelle 1/50 000, nous avons identifié les formations à composante argileuse ou marneuse 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 24 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 du Crétacé inférieur (n1-6)* qui présentent un faciès marneux sur l'essentiel de leur épaisseur. Mais, dans la majorité des cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département de l'Isère 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 de l'Isère présentée plus loin (en Illustration 7 et également en carte hors-texte à l'échelle 1/150 000) constitue finalement une représentation interprétée des zones potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement, en fonction des données actuellement disponibles au travers de la représentation cartographique des formations superficielles du département. Vingt-trois formations ont ainsi été retenues sur cette carte.

4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Le département de l'Isère est recoupé par deux zones / domaines (Illustration 5) de l'arc alpin :

- *la Zone externe (ou dauphinoise)*, qui concerne la moitié orientale du département. Le socle ancien y apparaît dans les « massifs cristallins externes ». La couverture sédimentaire se développe surtout sur leur versant ouest, où elle donne les chaînes subalpines, tandis qu'à l'est, elle ne forme plus qu'un étroit liseré.

- *le Domaine péri-alpin*, qui occupe sa moitié occidentale. La molasse tertiaire y est essentiellement représentée, tandis que d'étroits chaînons jurassiens viennent border les chaînes subalpines.

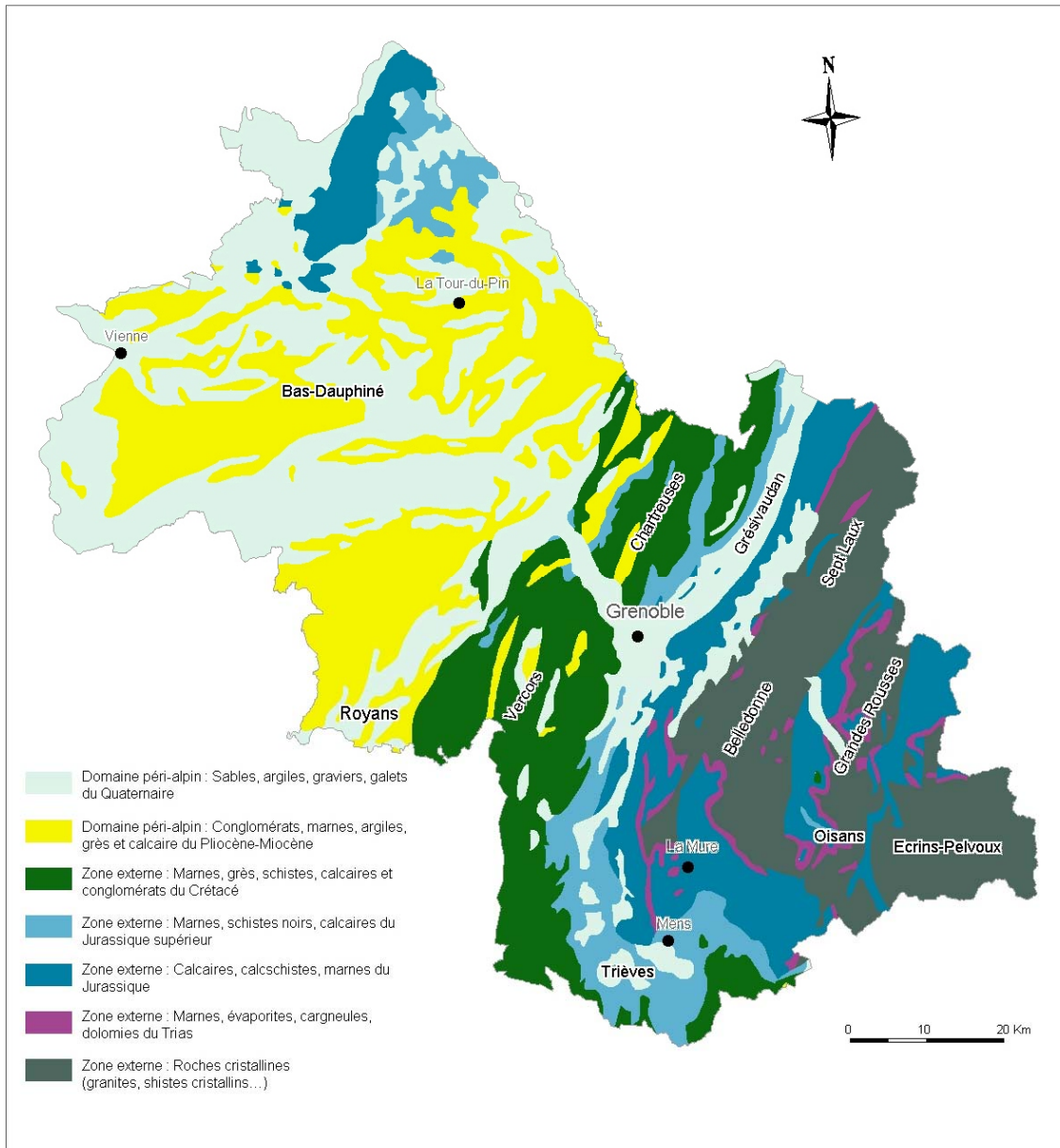


Illustration 5 - Carte schématique des zones structurales et des grandes unités géologiques du département de l'Isère (extrait de la carte géologique au 1/1 000 000 du BRGM)

4.2.1. Le domaine alpin (Zone externe)

Le sud-est du département appartient au domaine des massifs cristallins externes des Alpes (Belledonne – Sept Laux, les Grandes Rousses et le Pelvoux) et de leur

couverture autochtone (Paléozoïque - Trias - Lias et Jurassique moyen). Le matériel constitutif est antérieur au Westphalien C – Stéphaniens, dominé par des schistes cristallins et des granites. Cet ensemble est séparé de l'unité suivante par le sillon subalpin emprunté par l'Isère en amont de Grenoble.

Viennent ensuite les chaînes subalpines formées de terrains allant du Jurassique moyen à faciès « terres noires » jusqu'au Crétacé supérieur ; leur morphologie est structurée par deux barres de calcaires épais et compacts, calcaires tithoniques du Jurassique supérieur et surtout calcaires récifaux de l'Urgonien. Du sud au nord, des vallées transverses partagent cet ensemble en plusieurs massifs : le Vercors, du sud du département jusqu'à Grenoble, et la Chartreuse, de Grenoble à Chambéry. La structure des chaînes subalpines est faite de plis parallèles orientés SSW-NNE avec un déversement peu accentué vers le nord-ouest.

Lors du Paléogène, des dépôts regroupés en deux catégories ont modelé localement les chaînes subalpines :

- des remplissages de bassins « molassiques » locaux, où se juxtaposent des faciès lacustres (calcaires ou marneux) ou plus franchement continentaux, fluviaux notamment (grès rouges, conglomérats remaniant les niveaux mésozoïques sous-jacents, mais admettant aussi des galets d'origine pennique);
- les dépôts d'une mer transgressive dès le Lutétien, dépôts surtout conservés à l'est des massifs cristallins externes, mais qui s'étendent aussi jusque sur les futures chaînes subalpines du nord (Bauges, Bornes, Haut-Giffre).

4.2.2. Le domaine péri-alpin

Le bassin péri-alpin occupe la partie occidentale du département. Pendant tout le Miocène, la partie orientale de la zone externe se soulève, ce qui fait jouer un rôle de dépression au Bas-Dauphiné et à la bordure externe du futur domaine subalpin au niveau de la Grande Chartreuse et du Vercors. Partout se déposent des grès calcaires ou molasses (formations sédimentaires détritiques déposées en fin de plissement et provenant de l'érosion de reliefs jeunes avoisinants), avec, vers l'est, les faciès conglomératiques du delta d'une Isère miocène. Ce delta apparaît au Burdigalien et se développe largement vers l'ouest, sur le Bas-Dauphiné, à partir de l'Helvétien supérieur.

Vers la fin du Miocène, le faciès conglomératique envahit plus largement la bordure subalpine. Le bras de mer est comblé, et son contenu légèrement plissé, sauf près des futurs massifs subalpins où il l'est beaucoup plus.

A la charnière du Miocène et du Pliocène, une phase paroxysmale donne à la Zone dauphinoise une physionomie proche de celle que l'on connaît avec le soulèvement définitif des massifs cristallins externe, le décollement et le plissement de la couverture sédimentaire (chaînes subalpines). La contraction de la chaîne, commencée au Crétacé, prend fin.

La sédimentation pliocène est reportée vers l'extérieur, sous la forme de sables et de graviers fluviatiles dont il ne subsiste plus que des lambeaux. Le remblaiement se termine par des alluvions argileuses à galets de quartzites triasiques alpins, attribuées au Villafranchien. Elles forment la surface des plateaux de l'avant-pays dauphinois (Bonnevaux, Chambarans...).

4.2.3. Les formations du Quaternaires

Le Quaternaire se caractérise par ses glaciations. Seules les deux dernières sont connues dans les Alpes occidentales : le Riss (moraines externes avec un front à Lyon) et le Würm (moraines internes avec un front à Rives) ; les formes actuelles du relief sont fortement marquées par l'érosion glaciaire.

Les dépôts morainiques sont constitués de blocs et graviers emballés dans une matrice argileuse ou sablo-argileuse. Formations de recouvrement, elles sont essentiellement représentées dans le Bas-Dauphiné et en fond de vallée alpine.

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILO-MARNEUSES

Ce chapitre dresse un inventaire des vingt-trois formations à composante argileuse du département de l'Isère retenues dans le cadre de cette étude. Elles sont présentées dans l'ordre stratigraphique de la plus récente à la plus ancienne dans le tableau de l'illustration 6 et une brève description en est faite ci-après.

Leur extension géographique est représentée sur la carte départementale synthétique des formations argilo-marneuses (Illustration 7), également présentée en planche hors-texte à l'échelle 1/150 000.

Numéro	Notation	Notation de la carte géologique harmonisée	Formation	Surface (km ²)	Surface (% du département)
1	C-E	C, E, Ec, Ew, gl	Colluvions et éboulis	244,46	3,10
2	OEx	OEx	Loess, lehm et limons	391,45	4,97
3	Rs	jp2, m-g, Rc, Rs, Rs-a, Rt	Argiles résiduelles d'altération	79,25	1,01
4	Fz	FJz, Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	513,82	6,52
5	Lz	GLx, Gly, Lw, Ly, Pz	Alluvions lacustres et tourbeuses	59,61	0,76
6	Fgy	FG, FGw, FGx, Fgy, FGz, FJy-z, Fv1, Fw, Fx, Fy, FyL, FyS, FyT, Jw, Jx	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1349,25	17,12
7	Gy	GA, Gw, Gx, Gy, Gz, Gz1	Moraines	1531,30	19,43
8	P2	p2F, p2-IV, p2P	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	165,21	2,10
9	p1	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	1,17	0,01
10	m2-5	m2, m2M, m3-4, m3S, m5, m5A, m5C, m5S	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	702,47	8,91
11	e-g	e7MC, eP, g2a, g2b, gBr	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	1,81	0,02
12	C1-6	c5-6, c5L, csC(1)	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	24,38	0,31
13	nCA	n1, n1i, n2, n2-3, n3, n3-4R, n3M, n4, n4A, n4a1, n4a2, n5Uo	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	123,56	1,57
14	n6G	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	3,06	0,04
15	n1-6	n1-2M, n2a, n2M, n5-6Mb, n5M	Marnes du Crétacé inférieur	35,56	0,45
16	J1-7	j2-3CS, j4-5J, j4J, j5, j5aJ, j5b-cJ, j6, j6A, j6StE, j7-n1J	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	112,49	1,43
17	j3-5	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	43,03	0,55
18	J2	j2C, j2M	Formation de Bramefarine (Bajocien)	98,07	1,24
19	j1	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	26,48	0,34
20	Isa	I1-2, I1-3, I1-3a, I1-3Br, I1-4GS, I1J, I2MB, I3-4ol, I3bSr, I3J, I4Cr, I4Cs, I4Sc	Schistes et calcaires argileux du Lias	122,06	1,55
21	I1-4	I3-4, I3bM, I3bMC, I4-j1J, I4Mn	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	48,79	0,62
22	t	t, tD, tS	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	19,35	0,25
23	r	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	8,42	0,11

Illustration 6 – Formations argileuses et marneuses de l'Isère

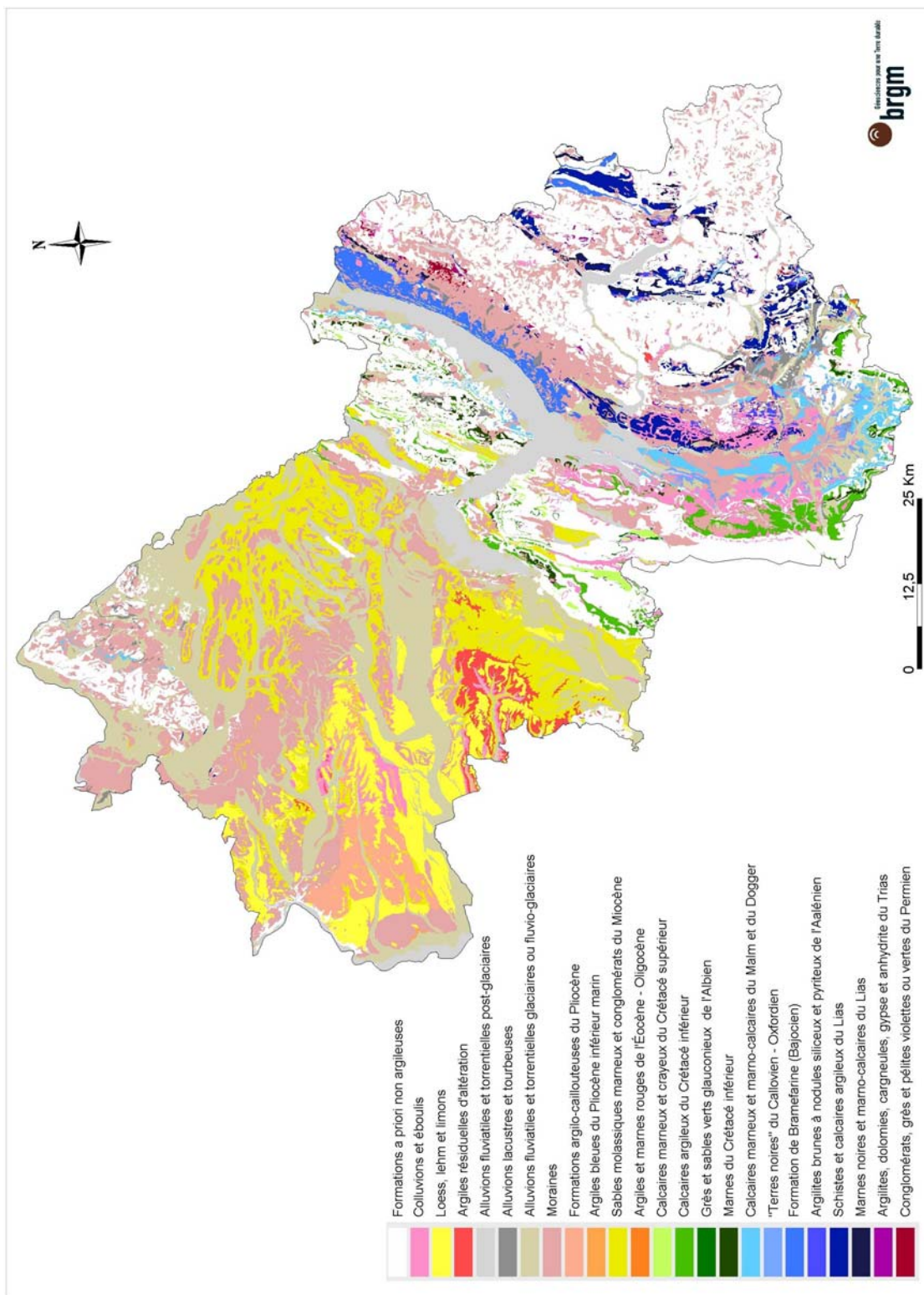


Illustration 7 - Carte synthétique des formations argileuses et marneuses de l'Isère

4.3.1. Colluvions et éboulis

La formation des *Colluvions et éboulis* s'étend principalement à l'ouest du département sur une superficie de 244 km² (Illustration 8). Les éboulis sont majoritairement issus du démantèlement des préalpes calcaires et marno-calcaires d'âge jurassique à crétacé (Vercors, Chartreuse) où quelques éboulements/écroulements sont toujours actifs. La composition lithologique dépend de la formation dont sont issus les éboulis et s'avère extrêmement variable. Il peut s'agir de blocs de plus ou moins gros calibre comprenant une fraction fine d'argiles d'altération ou de solifluxion superficielle, avec une part plus ou moins importante d'éléments grossiers (blocs, cailloutis). Au pied des pentes les plus raides, les éboulis peuvent former des conglomérats. Dans les secteurs des plateaux de Bonnevaux et de Chambaran, les dépôts sont d'origine diverse, formant des colluvions de bas de versant de nature lithologique hétérogène (cailloutis, sables, limons et argiles en mélange).

La formation ne dépasse pas quelques mètres d'épaisseur.

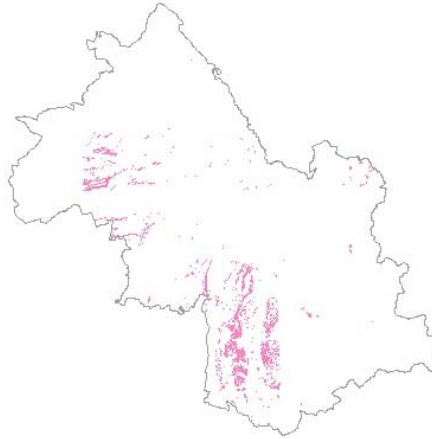


Illustration 8 – Répartition départementale des Colluvions et éboulis

4.3.2. Lœss, lehm et limons

La formation des *Lœss, lehm et limons*, d'une surface de 391 km², est concentrée au nord-ouest du département (Illustration 9). Elle est constituée principalement de dépôts éoliens fins, friables, siliceux, calcaires et argileux, parfois ferrugineux. L'ensemble forme un revêtement d'épaisseur variable (compris entre 0 à 8 m) sur les formations molassiques et morainiques. C'est sur les plateaux de Corbas, de Chonas, de Reventin et d'Assieu que le lœss est le plus développé. Le vrai lœss passe insensiblement et irrégulièrement à un lehm, c'est-à-dire un dépôt identique mais plus ou moins décalcifié. Il n'a pas été possible de délimiter le lœss de son lehm.

Les limons sont localisés sur les terrasses anté-würmiennes et les plateaux de Bonnevaux et Chambaran. Ce sont des sédiments fins, limono-argileux, sans structure sédimentaire, compact et devenant massifs en profondeur (augmentation du taux d'argile) surtout pour les limons des plateaux, sans calcaire mais vraisemblablement

carbonatés à l'origine. Les caractéristiques granulométriques de ces matériaux sont relativement uniformes et semblables à celles des limons d'altération (lehm) et des lœss calcaires connus dans l'axe de la vallée du Rhône (2 à 5 % de sables grossiers, 10 à 20 % de sables fins, 35 à 75 % de silts, 10 à 20 % d'argiles). Du point de vue minéralogique, l'illite est dominante, mais relativement moins abondante en surface qu'en profondeur; la kaolinite est présente partout en quantité à peu près égale, tandis que la vermiculite n'apparaît que dans les sols les plus évolués et les plus acides.

L'épaisseur des limons est relativement irrégulière (1 à 4 m à Tourdan, 1,5 m à Faramans, 0 à 1 m sur la terrasse des Feuges, 1,5 à plus de 3 m sur la terrasse de Sardieu). La vallée morte du Dolon est colmatée par plus de 16 m de limons jaunes.



Illustration 9 – Répartition départementale des Lœss, lehm et limons

4.3.3. Argiles résiduelles d'altération

L'essentiel de la formation est située dans le secteur du plateau de Chambaran (Illustration 10). L'altération se produit sur les alluvions caillouteuses qui couronnent les collines molassiques du Bas-Dauphiné. Ce résidu d'altération comprend des cailloutis à galets siliceux (quartzite, grès, silex) arrondis et de grande taille (décimétriques à demi-métriques). Ces galets sont souvent patinés de rouge violacé et enrobés d'une abondante matrice argileuse, légèrement sableuse, non calcaire et bariolée, de couleur jaune et rouge-orangé. Le colmatage argileux des horizons profonds intéresse une épaisseur pouvant aller jusqu'à 10-15 m. Ces alluvions altérées se distinguent aisément par leur faciès (calibre et composition) des poudingues miocènes sur lesquels elles reposent parfois. Leur limite inférieure n'est presque jamais observable en place, par suite de nombreux glissements locaux dus à la nature argileuse du matériel, mais on la situe facilement avec une faible marge d'incertitude.

Des formations d'altération identiques sont présentes sur le massif du Taillefer où des argiles sont issues de la désagrégation superficielle d'une surface aplanie du socle cristallin (nord de la Motte).

L'ensemble de la formation affleure sur 79 km².

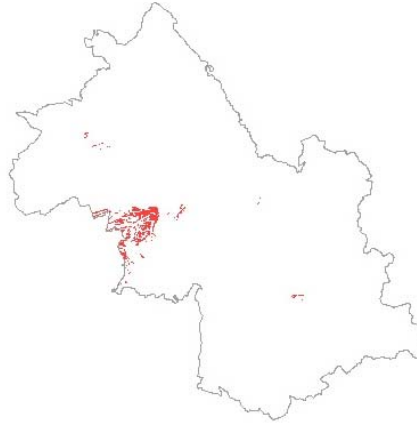


Illustration 10 – Répartition départementale des Argiles résiduelles d'altération

4.3.4. Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires

Ces alluvions sont situées dans les grandes vallées (Rhône, Isère, Romanche, Drac...) mais tapissent également le fond des talwegs de petites rivières (Illustration 11). Cette formation est constituée de sables et de galets mélangés à une fraction argileuse plus ou moins importante. La granulométrie a tendance à être plus grossière dans les secteurs alpins, là où la compétence des cours d'eau est la plus grande.

Ces alluvions, présentes sur 514 km² dans le département, peuvent être localement regroupées avec des alluvions d'origine glaciaire. Il n'est pas possible de leur attribuer une épaisseur moyenne, celle-ci pouvant varier de quelques mètres dans les petits cours d'eau à plusieurs dizaines de mètres dans la vallée du Rhône.



Illustration 11 – Répartition départementale des Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires

4.3.5. Alluvions lacustres et tourbeuses

Cette unité, d'épaisseur métrique à plurimétrique (20 à plus de 150 m), regroupe les principales formations de remblaiement des lacs et marais post-wurmien. Il s'agit d'argiles grises plus ou moins litées, à niveaux silteux ou sableux. Elle présente localement de grosses lentilles argilo-caillouteuses ou graveleuses compactes. Dans le secteur de l'île Cremieu s'intercalent aux argiles des tourbes qui succèdent aux craies lacustres. Dans le Trièves central, les dépressions ou ravins sont remplis par des argiles à nombreux éléments anguleux cristallins.

Ces dépôts se rencontrent soit dans les fonds de vallées et les couloirs d'écoulement fluvio-glaciaires (vallée de Lavours, vallée de Furans, haute vallée de l'Isère...), soit dans les surcreusements du substratum ou dans les dépressions de dépôts glaciaires (Lac de Bart, Lac de la Tuilerie de La Mure, Lac de Valbonnais...). La superficie de la formation est d'environ 60 km² (Illustration 12).



Illustration 12 – Répartition départementale des Alluvions lacustres et tourbeuses

4.3.6. Alluvions fluviales et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires

Cette formation est l'une des plus étendues du département avec une superficie avoisinant 1 349 km² (Illustration 13). Elle matérialise l'avancée des glaciers au cours des grandes glaciations du Quaternaire. Elle occupe majoritairement les dépressions du nord-ouest du département et ponctuellement la périphérie des vallées alpines, notamment dans le Trièves (Vallée du Drac). D'un point de vue lithologique, la formation est peu différenciée des alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires quoique parfois un peu plus argileuse, les sables et graviers restant dominants.

Les épaisseurs sont très variables, de quelques mètres jusqu'à 50 m.

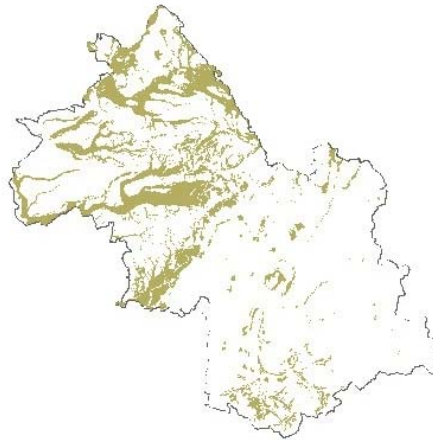


Illustration 13 – Alluvions fluviales et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaire

4.3.7. Moraines

Les moraines sont issues du démantèlement des Alpes par les glaciers qui ont recouvert le département de l'Isère durant les grandes glaciations quaternaires. Elles correspondent à un sédiment hétérogène et hétérométrique, constitué de blocs, cailloux et graviers emballés dans une matrice argileuse ou sablo-argileuse. D'une surface de 1 531 km², cette formation est la plus importante par sa répartition (Illustration 14). Son épaisseur varie de 1 m à plusieurs dizaines de mètres.

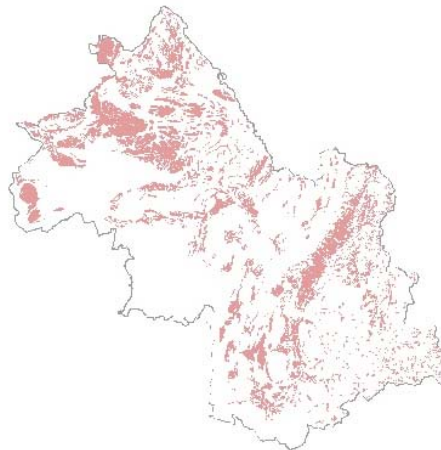


Illustration 14 – Répartition départementale des Moraines

4.3.8. Formations argilo-caillouteuses du Pliocène

Située dans la région du Bas Dauphiné, cette formation, épaisse au maximum d'une centaine de mètres, est constituée principalement de galets de quartzites patinés d'origine alpine pouvant atteindre une grande taille (0,40-0,50 m de grand diamètre). Les galets sont emballés dans une matrice argileuse rougeâtre provenant de la décomposition de roches métamorphiques et éruptives. Vers la base de la formation,

au-dessous de la limite d'altération, on trouve intacts des galets autres que les quartzites.

La formation se présente comme une vaste nappe d'épandage inclinée en direction du Rhône, soit d'est en ouest. Les alluvions ont souvent glissé sur les pentes en raison de leur nature argileuse. Il est donc difficile de préciser quelles étaient leurs altitudes originelles de base, ce qui rend délicat leur délimitation exacte. La superficie de cette formation est estimée à environ 165 km² (Illustration 15).

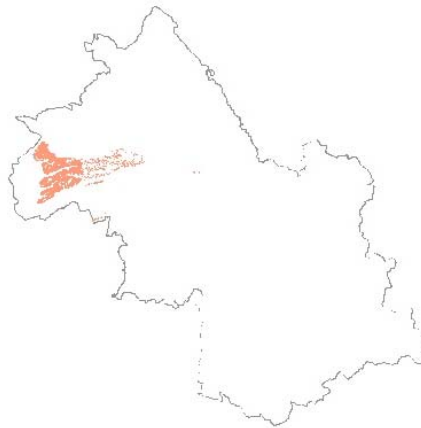


Illustration 15 – Répartition départementale des Formations argilo-caillouteuses du Pliocène

4.3.9. Argiles bleues du Pliocène inférieur marin

Ce sont des argiles bleues, marines à la base et lagunaires au sommet dans lesquelles s'intercalent des bancs de lignites (tranchée de l'autoroute A7 à Roussillon). Ces argiles passent latéralement à des sables (faciès astien).

La puissance de la formation n'est pas précisée. Sa superficie est de 1,2 km² seulement, localisée en bordure de la vallée du Rhône (Illustration 16).



Illustration 16 – Répartition départementale des Argiles bleues du Pliocène inférieur marin

4.3.10. Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène

Cette formation du domaine péri-alpin occupe la moitié occidentale du département (Illustration 17). Les dépôts miocènes constituent la quasi-totalité du substratum anté-quadernaire à l'est de la vallée du Rhône. Ils forment l'ossature de la plupart des collines. Dans les régions les plus basses, ces dépôts sont recouverts par les formations glaciaires.

Les sédiments du Miocène présentent une grande hétérogénéité de faciès, les trois principaux étant les suivants :

- faciès sablo-gréseux : dit de Saint-Fons, c'est un faciès de sable fin calcaire et micacé, jaune clair ou gris, consolidé irrégulièrement en molasse, d'origine alpine. Dans la masse s'intercalent des lentilles à galets d'argiles ferrugineuses, jaunes et micacées. Certains secteurs, comme la région d'Auberives, présentent un sable blanc ou un calcaire kaolinique comportant des minéraux caractéristiques des sables molassiques alpins tel que la glauconie (Courbassière, Pont-de-Beauvoisin) ;
- faciès argileux et marneux : vers le haut de la série s'intercalent des couches d'argile souvent épaisses d'une dizaine de mètres et d'extension géographique probablement importante mais impossible à cartographier en raison du manque d'affleurement. Des marnes gris-bleuâtre, plus ou moins plastiques, affleurent dans le Bas-Dauphiné et à Royans ;
- faciès à galets : situé au sommet de la série et épais d'une dizaine de mètres, il se situe essentiellement dans le nord-est du département (Eyzin-Pinet, Moidieu). Il s'agit d'un ensemble argilo-sableux, caillouteux, groupant toutes les roches d'origine alpine. Il est plus ou moins consolidé en conglomérat par un ciment argilo-calcaire. C'est la manifestation vers l'ouest des grands épandages détritiques que l'on a coutume de désigner sous le nom de « delta de Voreppe » et qui correspond à la fin du remblaiement miocène.

La puissance de cette formation est très inégale mais peut atteindre plusieurs centaines de mètres. Sa surface d'affleurement est de 702 km².

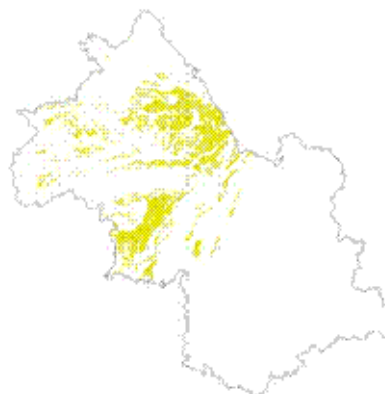


Illustration 17- Répartition départementale des Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène

4.3.11. Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène

Cette formation, répartie de façon hétérogène, affleure localement dans le département. Elle est composée de calcaires, de marnes et d'argiles vertes à rouges. Dans le vallon de la Charmette, les argiles évoluent vers un faciès plus sableux accompagnées de galets et graviers calcaires ou siliceux. À l'extrémité nord-est du Dévoluy et à l'ouest de l'étang du Carre, entre Carisieu et Soleymieu, affleurent des conglomérats à matrice argileuse ou marneuse rouge.

L'épaisseur de cette formation peut atteindre une centaine de mètres. La superficie de ses zones d'affleurement dans le département ne dépasse pas 1,8 km² (Illustration 18).

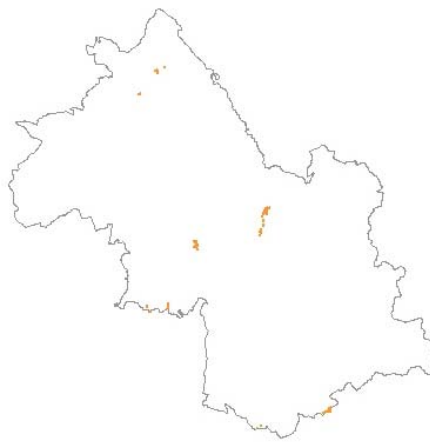


Illustration 18 – Répartition départementale des argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène

4.3.12. Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur

Les *Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur* occupent le centre du département et sont alignés selon une bande orientée NE-SO (Illustration 19). Cette formation est composée de craie marneuse et de lauze marneuse du Sénonien, où la glauconie peut être localement abondante. Dans la région de Sassenage et d'Engins, la base de la formation comprend un niveau métrique de grès glauconieux localement conglomératique.

Dans les secteurs de la vallée du Furon, du bassin de Méaudre et celui de Villard-de-Lans, des calcaires blancs ou jaunâtres et des calcaires à silex du Maastrichtien ont été reconnus mais n'ont pas pu être différenciés du reste de la formation.

L'épaisseur de la série est d'environ 200 m et sa superficie dans le département est évaluée à 24 km².

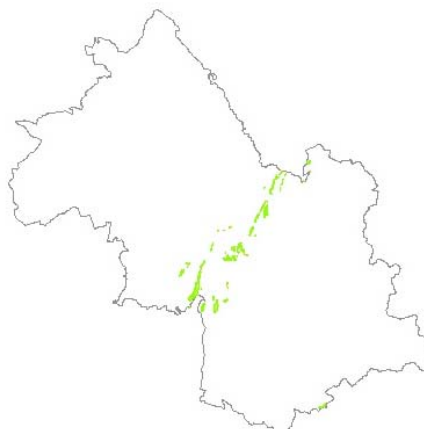


Illustration 19 – Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur

4.3.13. Calcaires argileux du Crétacé inférieur

Cette formation correspond aux *Calcaires argileux du Crétacé inférieur* qui occupent 123 km² dans la partie centrale du département (Illustration 20). Les bancs de calcaires argileux gris à noir sont séparés par des joints marneux, formant une série monotone de niveaux décamétriques à lits contournés et disloqués, généralement plus riches en marnes, déterminant parfois des vires. La glauconie est présente dans de nombreux secteurs. Dans la région de Chichilianne se développe une série de schistes feuilletés, très homogènes, légèrement gréseux, gris, à patine rousse à la base et grise au sommet. L'essentiel de la formation est daté de l'Hauterivien - Barrémien.

La puissance de la formation atteint et dépasse parfois 200 m.

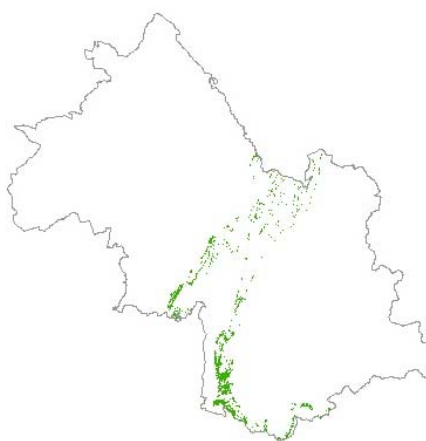


Illustration 20 – Répartition départementale des Calcaires argileux du Crétacé inférieur

4.3.14. Grès et sables verts glauconieux de l'Albien

L'Albien est presque toujours représenté à sa base par un conglomérat phosphaté et glauconieux, recouvert par des sables et des grès verts (glauconieux), sauf aux Près de Rencurel où les grès sont absents. A la Balme de Rencurel, dans la vallée de la Bourne, le niveau basal a été autrefois exploité pour ses phosphates. A la Fauge, au sud-est de Villard-de-Lans, le Crétacé moyen débute par des marnes sableuses épaisses recouvertes par des sables et des grès glauconieux sombres épais de 50 mètres. La série se termine par les sables clairs du Cénomaniens. Au nord-est de Saint-Martin-en-Vercors, les sables glauconieux albiens atteignent leur épaisseur maximale (100 m).

Cette formation, d'une superficie de 3 km², affleure uniquement dans le Vercors (Illustration 21).



Illustration 21 – Répartition départementale des Grès et sables verts glauconieux de l'Albien

4.3.15. Marnes du Crétacé inférieur

Cette formation, qui s'étend sur 35 km² (Illustration 22), est caractérisée par des marnes bleutées à rares intercalations marno-calcaires en petits bancs mal délimités, datés du Berriasien - Valanginien. Au sud du département, ces marnes sont jaunissantes et leur puissance n'excède pas 60 m. Cette formation est très puissante dans la Chartreuse orientale où elle atteint de 700 à 900 m. Dans la Chartreuse occidentale (chaînon de la Grande Sure), son épaisseur se réduit fortement et ne dépasse guère 100 m. Des passées puissantes d'une dizaine de mètres et formées de petits bancs argilo-calcaires gris décimétriques, alternés de marnes s'y intercalent à plusieurs niveaux. Dans le massif du Vercors affleurent de minces couches marno-sableuses, habituellement grises ou noires.



Illustration 22 – Répartition départementale des Marnes du Crétacé inférieur

4.3.16. Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger

Les *Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger* sont essentiellement représentés dans le secteur subalpin selon une bande discontinue s'étirant du massif de la Chartreuse jusqu'au Trièves, en passant par le Vercors (Illustration 23). Il s'agit, dans le secteur du massif de la Chartreuse, de calcaires marneux « café au lait » en bancs de 10 cm à 1 m, alternant avec des marno-calcaires.

Plus au sud, dans le Trièves et le Vercors, affleurent des marno-calcaires de teinte grise à noire, datés du Bajocien. Le sommet cet étage devient plus marneux, annonçant les « Terres Noires » du Callovien-Oxfordien.

La superficie totale de la formation est de 112 km² et son épaisseur peut atteindre 250 m.



Illustration 23 – Répartition départementale des calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger

4.3.17. « Terres Noires » du Callovien-Oxfordien

Les « Terres Noires » proprement dites sont des marnes noires franches, à patine brunâtre d'âge callovo-oxfordien. D'une superficie de 43 km², elles s'observent sur la marge orientale du massif de la Chartreuse, sur les pentes du Grésivaudan et dans le Trièves (Illustration 24). Les affleurements sont souvent discontinus, altérés superficiellement et recouverts par d'abondants placages quaternaires. À leur sommet, de petits bancs de calcaires marneux brunâtres peuvent venir s'intercaler dans les marnes noires. La puissance de la formation peut atteindre 400 m.

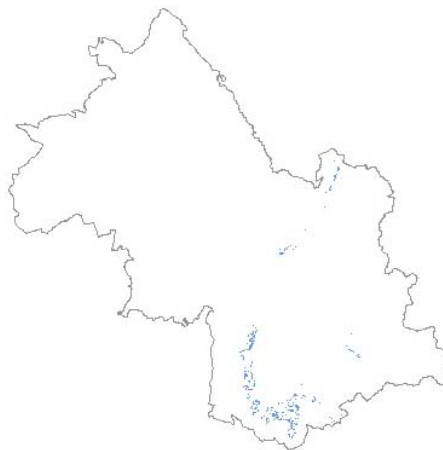


Illustration 24 – Répartition départementale des « Terres noires » du Callovien-Oxfordien

4.3.18. Formation de Bramefarine (Bajocien)

La *Formation de Bramefarine* daté du Bajocien forme une zone de collines en rive gauche du Grésivaudan (Bramefarine, Montraillant, Fort de Montavie...). Sa superficie est de 98 km² (Illustration 25). Elle se caractérise par une alternance irrégulière de calcaires argileux fortement sableux et micacés et de schistes plus argileux montre une cassure noire ou bleutée et une patine grise ou gris-marron nervurée de rouille. L'épaisseur des bancs est très variable, de 0,3 à 0,6 m, et les passées schisteuses ont une épaisseur conséquente pouvant parfois atteindre 2,5 m (SW de Montoucher). Cependant, la plupart des bancs calcaires sont centimétriques ou décimétriques et se débitent en dalles, plaquettes ou baguettes suivant l'intensité de la schistosité, séparés par de minces délits schisteux.

Prise dans son ensemble, la *Formation de Bramefarine* constitue une masse compacte, imperméable, d'épaisseur difficile à chiffrer étant donné le manque de repères lithologiques et l'intensité du plissement. Deux galeries effectuées par E.D.F. au Cheylas (Château du Villard, 500 m) et entre Allevard et Répidon (3 996 m) n'ont recoupé que cette formation et son épaisseur doit donc être comprise entre 600 et 1 000 m.

On retrouve cette formation plus au sud, sur une bande allant des Deux-Alpes au col de la Valette.

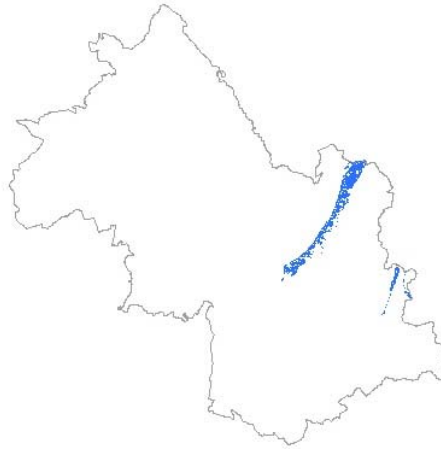


Illustration 25 – Répartition départementale de la Formation de Bramefarine

4.3.19. Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien

Les *Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien* se répartissent d'est en ouest dans le secteur alpin du département. La formation est représentée par des schistes argileux noirs s'altérant en gris ou en brun-roux, à intercalations de petits bancs centimétriques ou de nodules très durs, siliceux et ferrugineux. Cet étage a donné naissance à la dépression d'Allevard qui est en continuité avec la longue gouttière qui borde plus au sud les massifs cristallins depuis Vizille.

La base de l'Aalénien montre des marnes roussâtres à petits bancs de calcaires bleutés très durs, localisées notamment sous le hameau de Moret et au-dessus de Saint-Pierre-d'Allevard.

L'extension géographique de cette formation dans le département atteint 26 km² (Illustration 26) et son épaisseur varie de 100 à 200 m.

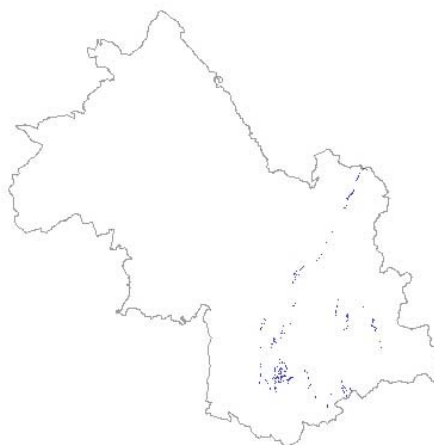


Illustration 26 – Répartition départementale des Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien

4.3.20. Schistes et calcaires argileux du Lias

L'essentiel du Lias calcaire est constitué par une succession monotone de bancs de calcaires argileux gris ou noirs à pâte fine, bien réglés, à patine grise ou rousse. On peut assez souvent y reconnaître une succession de termes repères, peu distincts les uns des autres, d'épaisseur très inégale et dont les limites, le plus souvent diffuses, sont d'un isochronisme incertain (ils n'ont pas été distingués cartographiquement). Les principaux niveaux sont les suivants :

- calcaires en petits bancs, de 10 à 20 cm d'épaisseur, à surfaces plus ou moins corrodées et gauffrées et à joints très marneux. Leur puissance n'excède pas 50 m ;
- calcaires à patine grise, en bancs parallèles épais de 50 cm, à joints marneux centimétriques à décimétriques. Cet ensemble peut atteindre une centaine de mètres en bordure du massif du Pelvoux et dépasse 300 m dans le Beaumont méridional ;
- calcaires gris à joints bruns, en bancs de 30 à 50 cm, dont la base et le sommet sont plus argileux et à patine brune. Leur puissance varie de quelques mètres à environ 20 m ;
- calcaires gris en gros bancs, puissants de 10 à 20 m et formés de bancs épais de 2 m en moyenne, séparés par des joints marneux noirs de 0,5 à 1 m. Ce niveau n'est individualisé que dans le Beaumont méridional.

Cette formation est favorable au développement d'une schistosité rousse ou noire. Sa superficie est de 122 km². Elle est localisée dans le sud-est du département (Illustration 27).

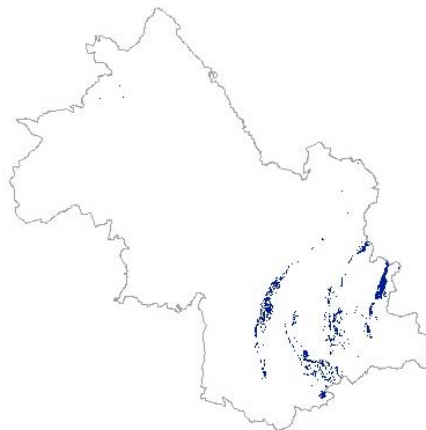


Illustration 27 – Répartition départementale des Schistes et calcaires argileux du Lias

4.3.21. Marnes noires et marno-calcaires du Lias

La formation des *Marnes noires et marno-calcaires du Lias* occupe la région de Beaumont et de la Mure, ainsi que les massifs des Écrins et de Belledonne (Illustration 28). Dans son ensemble, il s'agit d'une épaisse série de marnes noires ou grises,

finement détritiques à la base, où viennent s'intercaler de rares bancs calcaires à patine rousse ou ocre. Vers le haut de la série, ces marnes peuvent progressivement passer à des marno-calcaires sombres sans litage net que l'on peut rapporter au Toarcien.

La puissance de la formation est comprise entre 100 et 300 m et sa superficie est de 49 km².



Illustration 28 – Répartition départementale des Marnes noires et marno-calcaires du Lias

4.3.22. Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias

Le Trias est représenté par des cargneules et des gypses ou anhydrites parfois épais surmontés d'argilites versicolores et de dolomies jaunes (sud du pic Mas de La Grave, pics Buffe d'en Haut, Mont-Falcon) ou claires à brunes (crête de la Lavey). Située dans la zone ultra-dauphinoise, la puissance de la formation varie de 10 à 70 m. Sa superficie est légèrement supérieure à 19 km² (Illustration 29).

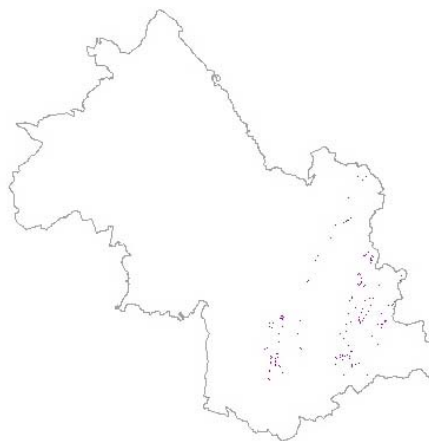


Illustration 29 – Répartition départementale des Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias

4.3.23. Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien

C'est un ensemble puissant de grès plus ou moins grossiers, d'argilites rouges et de pélites vertes ou violettes, à niveaux conglomératiques à galets de quartz ou de roches cristallines. Cette série détritique est appelée communément « *Grès d'Alleverd* » (Montagne du Collet et Mont Mayen). Le Permien apparaît au Crêt Luisant et se poursuit en couverture sur le rameau externe jusqu'à la forêt de Pipay. Sur le rameau interne, il forme la lèvre du synclinal médian, de la Montagne des Fanges jusqu'au Pré du Mollard. Deux petits affleurements sont à signaler le long du synclinal médian sur la Montagne de CombeGrasse. Au sud du département, la formation est présente à l'est de la Salette-Fallavaux, au sommet des Rouchoux. La superficie de la formation est de 8 km² (Illustration 30).



Illustration 30 – Répartition départementale des Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien

4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES

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

4.5. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

L'abaissement du niveau des nappes en période de sécheresse ou, au contraire, leur élévation après une période de précipitations peut éventuellement se traduire par des modifications de teneur en eau (dessiccation ou imbibition) dans certaines formations superficielles argileuses ou marneuses, et contribuer ainsi au déclenchement de mouvements de terrain différentiels.

Globalement, les variations piézométriques des principales nappes du département jouent un rôle limité dans la variation de teneur en eau des sols argileux de surface, phénomène qui est plus imputable à l'action prépondérante de l'évapotranspiration. Il n'est cependant pas exclu que des petites nappes superficielles (localisées dans des alluvions ou des lentilles sableuses discontinues), puissent jouer localement un rôle plus important. En effet, dans le cas d'une nappe à faible profondeur, les phénomènes de remontées capillaires atténuent la dessiccation de la zone non saturée. Inversement, en cas de baisse généralisée du niveau de la nappe, la dessiccation de la zone non saturée sera d'autant plus importante. Par ailleurs, dans le cas d'une alternance de couches argileuses et sableuses, les niveaux sableux seront sujets à des fluctuations rapides de teneur en eau, qui influenceront directement sur la teneur en eau des argiles sus-jacentes, donc sur le retrait ou le gonflement de ces dernières.

Le climat, la géomorphologie et la géologie sont très contrastés entre les domaines alpin et péri-alpin. Ces paramètres conditionnent fortement la présence ou non d'aquifères dans le département de l'Isère.

Le secteur des massifs cristallins (ceux de la Vanoise, de Belledonne, des Grandes Rousses, de Pelvoux et de l'Oisans) ne renferme pas de grands systèmes aquifères. Les seules ressources notables en eaux souterraines se situent au droit des vallées lorsque les dépôts suffisamment épais et perméables peuvent constituer des magasins aquifères (vallées de la Romanche, de l'Isère et du Drac) néanmoins caractérisés par de faibles réserves. Les principales ressources proviennent des eaux de surface.

Le secteur des massifs subalpins du Vercors, de la Chartreuse et de l'île Cremieu où dominent les calcaires, alternant localement avec des marnes en fond de vallées, se distingue par de nombreuses circulations karstiques, en liaison avec une forte pluviométrie qui affecte ses zones.

Le secteur du domaine péri-alpin (Bas-Dauphiné) se caractérise, sur le plan hydrogéologique, par des nappes alluviales étendues formées dans les dépôts fluvioglaciers (Bièvre-Valloire, Vallées de Vienne, Bassin de la Bourbre), et fluviales (Vallée du Rhône). Le substratum de ces dépôts est constitué par les formations tertiaires du Miocène qui forment tout le soubassement du Bas-Dauphiné. Lorsqu'elles présentent un faciès sableux, ces formations constituent un aquifère à grande réserve.

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, 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 23 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, 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 vingt-trois formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

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. Cette caractérisation lithologique des formations est établie sur la base de l'expertise du géologue régional et 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. Le barème d'attribution des notes lithologiques est le suivant (Illustration 31) :

Type de formation	Susceptibilité	Note lithologique
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 31 - Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation

5.2.2. Caractérisation lithologique

Sur la base de ces critères, le tableau de l'illustration 32 permet de synthétiser les différentes notes lithologiques attribuées aux vingt-trois formations potentiellement sujettes au retrait-gonflement, à partir des descriptions issues des notices des cartes géologiques à 1/50 000.

Numéro	Notation	Formation	Note lithologique
1	C-E	Colluvions et éboulis	2
2	OEx	Loess, lehm et limons	2
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	2
4	Fz	Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires	1
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	3
6	Fgy	Alluvions fluviales et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1
7	Gy	Moraines	2
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	2
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	4
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	1
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	3
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	2
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	2
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	1
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	4
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	2
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	3
18	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	2
19	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	3
20	lsa	Schistes et calcaires argileux du Lias	2
21	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	3
22	t	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	1
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	1

Illustration 32 - Note lithologique des formations argileuses retenues

5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE

5.3.1. 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), des vermiculites 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 %. Une note minéralogique a été attribuée à chacune de ces formations en utilisant le barème suivant (Illustration 33).

% 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 33 - Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants

5.3.2. Caractérisation minéralogique

D'une façon générale, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne présentent aucune caractérisation qualitative ou quantitative des minéraux argileux composant les formations géologiques retenues. De rares rapports d'expertise de bâti sinistré, réalisés à la demande des compagnies d'assurance, peuvent parfois indiquer la nature minéralogique des argiles sans la quantifier.

Afin de caractériser au mieux les vingt-trois formations argileuses recensées dans le département de l'Isère, une campagne d'échantillonnage a été menée par le BRGM pour chacune d'entre elles. L'annexe 4 présente les vingt-trois analyses minéralogiques par diffraction des rayons X effectuées par le laboratoire Géosystèmes de l'Université Lille 1. Ces données ont été complétées par l'examen des notices des cartes géologiques au 1/50 000 et par une synthèse bibliographique (thèses, publications scientifiques...). Par ailleurs, pour les formations d'extension régionale, des données ont pu être recueillies dans les départements voisins où la carte d'aléa est établie ou en cours de réalisation. Ceci concerne les départements du Rhône et de la Drôme (Renault *et al.*, 2008), de Vaucluse (Marçot *et al.*, 2004), des Alpes-de-Haute-Provence (Marçot *et al.*, 2005), et de l'Ain (en cours de réalisation).

Concernant les formations superficielles, celles-ci sont par définition très hétérogènes et ont pour origine principale la formation sous-jacente, dont elles reprennent ainsi les caractéristiques. Il faudrait, pour les caractériser pleinement, multiplier les analyses, en de nombreux points et à différentes profondeurs, ce qui exigerait un budget dépassant largement le cadre de ce projet.

Les données existantes sur les différentes formations sont résumées ci-après (Illustration 34), sachant que le nombre d'échantillons analysés n'est pas toujours clairement exprimé dans la bibliographie scientifique consultée.

N°	Code	Formation	Note minéralogique	Données minéralo en Isère	Données minéralo autres départements (Ain, Rhône, Alpes-de-Haute-Provence, Drôme, Vaucluse)
1	C-E	Colluvions et éboulis	2	Analyse BRGM (ST 05) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 13 % (3+10) interstratifiés non-gonflants = 30 % illite = 35 % ; chlorite = 10 % ; kaolinite = 12 %	Analyses dans la Drôme : Analyse 1 : interstratifiés-smectites = 67 % ; illite = 16 %, kaolinite 17 % Analyse 2 : interstratifiés-smectites = 36 % ; illite = 18 %, kaolinite 46 %
2	Oex	Loess, lehm et limons	2	Feuille 747 : illite partout dominante (relativement moins abondante en surface qu'en profondeur), kaolinite présente partout en quantité à peu près égale, vermiculite uniquement dans les sols les plus évolués et les plus acides. Analyse BRGM (ST 04) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 5 % (5+0) Interstratifiés non-gonflants = 25 % illite = 45 % ; chlorite = 13 % ; kaolinite = 12 %	Analyse dans le Rhône : interstratifiés-smectites = 60 % ; illite = 20 %, kaolinite 20 %
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	2	Analyse BRGM (ST 07) interstratifiés non-gonflants = 33 % illite = 15 % ; chlorite = 33 % ; kaolinite = 19 %	Analyse dans la Drôme : smectite ou vermiculite = 55 % ; illite = 13 %, kaolinite 32 %
4	Fz	Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires	1	Analyse BRGM (ST 17) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 2 % (2+0) illite = 73 % ; chlorite = 25 %	Coussot (1993) - Rhéologie des boues et laves torrentielles - étude de dispersions et suspensions concentrées. CEMAGREF - dans une lave torrentielle du torrent de Pousset : illite (65 %), chlorite (25 %), kaolinite (10 %) -dans une lave torrentielle du torrent de Manival : kaolinite (35 %), interstratifiés (30 %), illite (25 %), chlorite (10 %).

N°	Code	Formation	Note minéralogique	Données minéralo en Isère	Données minéralo autres départements (Ain, Rhône, Alpes-de-Haute-Provence, Drôme, Vaucluse)
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	2	Analyse BRGM (ST 23) interstratifiés non-gonflants = 26 % illite = 50 % ; chlorite = 22 % ; kaolinite = 2 %	Analyse dans le Rhône smectite ou vermiculite = 84 % illite = 3 % ; kaolinite = 13 %
6	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1	Analyse BRGM (ST 06) interstratifiés non-gonflants = 10 % illite = 41 % ; chlorite = 19 % ; kaolinite = 30 %	<p>Analyse dans l'Ain interstratifiés illite/smectite riches en feuillets smectitiques assimilables aux smectites (55 %), illite (25 %), kaolinite (15 %), interstratifiés chlorite/smectite (5 %).</p> <p>Analyse dans la Drôme smectite ou vermiculite = 16 % illite = 42 % ; kaolinite = 31 % ; chlorite = 11 %</p> <p>Bornand (1974) - sur une boue gris-foncé des terrasses actuelles de l'Isère, bassin amont du Rhône : illite (60 %), chlorite en cours de vermiculitisation (25 %), montmorillonite (10 %), kaolinite (5 %). - sur des galets et sables gris peu argileux du Würm récent : illite (60 %), chlorite en cours de vermiculitisation (15 %), montmorillonite (10 %), interstratifiés gonflants (surtout chlorite-montmorillonite, parfois illite-montmorillonite, voire chlorite-vermiculite et illite-vermiculite) (10 %), kaolinite (5 %). - sur des sables argileux et galets du Riss : illite (75 %), interstratifiés gonflants (surtout chlorite-montmorillonite, parfois illite-montmorillonite, voire chlorite-vermiculite et illite-vermiculite) (15 %), kaolinite (10 %), montmorillonite (traces) - sur des argiles à cailloutis du Riss : illite (75 %), interstratifiés gonflants (surtout chlorite-montmorillonite) (15 %), kaolinite (10 %) - sur des sables et argiles dans cailloutis du Mindel : illite (65 %), interstratifiés gonflants (surtout chlorite-montmorillonite) (20 %), kaolinite (15 %)</p> <p>Analyse dans le Rhône interstratifiés-smectites = 29 % ; illite = 38 %, kaolinite 33 %</p>

N°	Code	Formation	Note minéralogique	Données minéralo en Isère	Données minéralo autres départements (Ain, Rhône, Alpes-de-Haute-Provence, Drôme, Vaucluse)
7	Gy	Moraines	2	Analyse BRGM (ST 02) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite + vermiculite) = 40 % (10+0+30) illite = 25 % ; chlorite = 5 % ; kaolinite = 30 %	Analyse dans le Rhône smectite ou vermiculite = 40 % illite = 27 % ; kaolinite = 33 %
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	3	Analyse BRGM (ST 03) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite + vermiculite) = 94 % (74+0+20) illite = 2 % ; chlorite = 2 % ; kaolinite = 2 %	Analyses dans le Rhône Analyse 1 : smectite ou vermiculite = 55 % illite = 13 % ; kaolinite = 32 % Analyse 2 : smectite ou vermiculite = 5 % ; interstratifiés-smectites = 11 % ; illite = 41 % ; kaolinite = 43 %
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	3	Analyse BRGM (ST 01) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 69 % (69+0) illite = 19 % ; chlorite = 10 % ; kaolinite = 2 %	Analyse dans la Drôme Analyse 1 : smectite ou vermiculite = 33 % ; interstratifiés-smectites = 17 % ; illite = 36 % ; kaolinite = 14 % Analyse 2 : smectite ou vermiculite = 93 % interstratifiés = 1 % ; kaolinite = 6 %

N°	Code	Formation	Note minéralogique	Données minéralo en Isère	Données minéralo autres départements (Ain, Rhône, Alpes-de-Haute-Provence, Drôme, Vaucluse)
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	3	<p>Feuille 723 Sur une analyse, les pourcentages en minéraux argileux sont les suivants : illite 30 %, chlorite 25 %, montmorillonite 45 %.</p> <p>Feuille 724 Dans les faciès sablo-gréseux du Miocène, dans la région d'Auberive, on peut trouver un calcaire kaolinique, mais comportant également des minéraux caractéristiques des sables molassiques alpins tels la glauconie.</p> <p>Feuille 747 - Dans les sables à lentilles conglomératiques des molasses sablo-gréseuses (m2s) : illite dominante, interstratifiés présents partout en proportion notable (essentiellement montmorillonite-chlorite et chlorite-vermiculite, généralement irréguliers), montmorillonite et kaolinite généralement présentes (peu abondante ou à l'état de traces), chlorite rare.</p> <p>Feuilles 747 et 771 - Dans les niveaux argileux (m2a) : illite, chlorite, kaolinite, montmorillonite et minéraux interstratifiés.</p> <p>Analyse BRGM (ST 08) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 77% (77+0) illite = 18 %; chlorite = 4 %; kaolinite = 1 %</p>	<p>Analyse dans l'Ain kaolinite (30 %), interstratifiés illite/smectite riches en feuillets illitiques (30 %), illite (25 %), kaolinite (25 %), vermiculite (20 %), chlorite (traces).</p> <p>Analyse dans le Rhône smectite ou vermiculite = 93 % interstratifiés = 4 %; kaolinite = 3 %</p>
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	4	<p>Analyse BRGM (ST 09) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 83% (83+0) illite = 12 %; chlorite = 2 %; kaolinite = 3 %</p>	<p>Analyses dans la Drôme Analyse 1 : smectite ou vermiculite = 90 % ; interstratifiés= 7 %; kaolinite = 3 % Analyse 2 : smectite ou vermiculite = 83 % illites = 10 %; kaolinite = 7 %</p>
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	4	<p>Analyse BRGM (ST 16) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 92% (92+0) illite = 6 %; kaolinite = 2 %</p>	

N°	Code	Formation	Note minéralogique	Données minéralo en Isère	Données minéralo autres départements (Ain, Rhône, Alpes-de-Haute-Provence, Drôme, Vaucluse)
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	4	Analyse BRGM (ST 10) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 94% (94+0) illite = 6 %	<p>Analyses dans le Vaucluse Analyse 1 = smectite : 98 % - illite/micas : 1,5 % ; kaolinite : 0,5 % Analyse 2 = smectite : 42 % - illite/micas : 16 % - kaolinite : 42 %</p> <p>Vaucluse Données BE (CETE) 1ère analyse - calcite=64 %; quartz=12 %; argiles=24 % dont smectite = 86 %; illite = 6 %; kaolinite = 8 % 2^{ème} analyse - calcite = 53 %; quartz = 17 %; argiles = 30 % dont smectite = 93 %; illite = 2 %; kaolinite = 5 % 3^{ème} analyse - calcite = 45 %; quartz=15 %; argiles = 40 % dont smectite = 90 %; illite=10 %; kaolinite = traces 4^{ème} analyse - calcite = 55 %; quartz = 10 %; argiles = 35 % dont smectite = 90 %; illite = 10 %; Kaolinite = traces Données BE (G. Colas - CETE) : quartz = 20%; calcite = 37 %; autres phases = 43 % dont smectite = 92 %; Illite = 6 %; kaolinite = 2 %</p>
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	3	Analyse BRGM (ST 11) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 64 % (52+13) illite = 31 %; kaolinite = 5 %	
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	3	Analyse BRGM (ST 15) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 79% (79+0) illite = 14 %; kaolinite = 7 %	
16	j1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	1	Analyse BRGM (ST 19) interstratifiés non-gonflants = 12 % illite = 74 % ; chlorite = 11 % ; kaolinite = 3 %	Analyse dans l'Ain interstratifiés illite/smectite riches en feuillets illitiques (30 %), illite (25 %), kaolinite (25 %), vermiculite (20 %), chlorite (traces).

N°	Code	Formation	Note minéralogique	Données minéralo en Isère	Données minéralo autres départements (Ain, Rhône, Alpes-de-Haute-Provence, Drôme, Vaucluse)
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	2	Analyse BRGM (ST 18) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 33 % (0+33) interstratifiés non-gonflants = 15 % illite = 50 % ; chlorite = 1 % ; kaolinite = 1 %	Analyses dans la Drôme Analyse 1 : interstratifiés-smectites = 35 % ; illite = 34 % ; kaolinite = 27 % ; chlorite = 4 % Analyse 2 : interstratifiés = 51 % ; illite = 39 % ; chlorite = 10 % Analyse 3 : interstratifiés-smectites = 31 % ; interstratifiés = 57 % ; kaolinite = 12 % Analyse dans les Alpes-de-Haute-Provence interstratifiés-smectites = 35 % ; illite = 34 % ; kaolinite = 27 % ; chlorite = 4 %
18	j2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	1	Analyse BRGM (ST 13) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 20 % (0+20) illite = 70 % ; chlorite = 10 %	
19	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	1	Analyse BRGM (ST 12) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 16% (0+16) illite = 66 % ; chlorite = 18 %	
20	lsa	Schistes et calcaires argileux du Lias	1	Analyse BRGM (ST 21) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 1% (1+0) interstratifiés non-gonflants = 3 % illite = 72 % ; chlorite = 19 % ; kaolinite = 5 %	
21	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	1	Analyse BRGM (ST 22) interstratifiés non-gonflants = 6 % illite = 67 % ; chlorite = 25 % ; kaolinite = 2 %	
22	t	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	1	Analyse BRGM (ST 20) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 2 % Interstratifiés non-gonflants = 16 % illite = 61% ; chlorite = 18 % ; kaolinite = 3 %	Analyses dans la Drôme Analyse 1 : interstratifiés-smectites = 60 % ; illite = 20 % ; kaolinite = 17 % ; chlorite = 3 % Analyse 2 : interstratifiés = 21 % ; chlorite = 79 % Analyse 3 : illite = 97 % ; kaolinite = 3 %
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	1	Analyse BRGM (ST 14) minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-smectite) = 5% (0+5) illite = 77 % ; chlorite = 15 % ; kaolinite = 3 %	

Illustration 34 – Données et notes minéralogiques des formations argileuses retenues

5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE

5.4.1. 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 aux experts, 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 utilisées dans le cadre de la présente étude.

Les principaux essais dont les résultats ont été ici utilisés 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.

5.4.2. 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 sont assez hétérogènes, en « dents de scie », en raison de l'hétérogénéité des matériaux de surface. Les teneurs en eau sont généralement plus faibles en surface, 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.

5.4.3. 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 que la susceptibilité d'une argile au retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité I_p de la manière suivante (Illustration 35) :

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 35 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation

L'expérience acquise au travers des études déjà réalisées montre cependant que ces coupures sont mal corrélées avec les valeurs de bleu (paragraphe suivant) et que des adaptations sont nécessaires. En particulier, les seuils à 12 et 25 semblent plutôt devoir être décalés vers 15 et 30.

5.4.4. 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.*, 1998) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu notée Vb (Illustration 36) :

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 36 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation

5.4.5. 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 37) :

Retrait linéaire	Susceptibilité	Note
$RI < 0,4$	faible	1
$0,4 \leq RI < 0,65$	moyenne	2
$0,65 \leq RI < 0,75$	forte	3
$RI \geq 0,75$	très forte	4

Illustration 37 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation

Aucune valeur de retrait linéaire n'a toutefois pu être collectée dans le cadre de la présente étude.

5.4.6. Coefficient de gonflement (Cg)

L'essai de gonflement à l'œdomètre (ASTM 90) consiste à mesurer une amplitude de gonflement à la suite d'un apport d'eau. Il est par conséquent fortement conditionné par l'état initial de saturation en eau du sol considéré. En effet, pour un même sol, le gonflement relatif sera d'autant plus grand que le sol était initialement plus sec. Cette observation souligne l'intérêt d'associer ces essais avec la réalisation d'un profil hydrique. Ainsi la pression de gonflement ne constitue pas une caractéristique intrinsèque du sol, les valeurs dépendant fortement de l'état de saturation initial du sol considéré. Le potentiel de gonflement peut cependant être caractérisé par le coefficient de gonflement Cg (pente de la droite de déchargement observée dans un essai œdométrique) qui permet d'évaluer le potentiel de gonflement des formations argileuses identifiées (Illustration 38) :

Coefficient de gonflement	Susceptibilité	Note
$Cg < 0,025$	faible	1
$0,025 \leq Cg < 0,035$	moyenne	2
$0,035 \leq Cg < 0,055$	forte	3
$Cg \geq 0,055$	très forte	4

Illustration 38 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation

Aucune valeur de ce paramètre n'a pu être obtenue dans l'Isère, bien que des résultats d'essais de gonflement aient été consultés.

5.4.7. Caractérisation géotechnique

Les sources des données ici présentées proviennent principalement de dossiers de bureaux d'études qui nous ont aimablement permis de consulter leurs archives (Hydrogéotechnique, SAGE, Fondasol...), des archives du CETE (Centre d'études techniques de l'Équipement) de Lyon, et des tableaux de synthèse par formation géologique issus des études menées pour la construction de la LGV Lyon-Turin, fournies par Réseau Ferré de France (RFF). Nous remercions donc ces organismes pour leur précieuse collaboration.

Quelques autres résultats nous ont été fournis par les communes en retour de courrier d'enquête. Ces analyses sont principalement issues de bureaux d'étude géotechnique. Par ailleurs, 15 analyses ont été réalisées spécifiquement dans le cadre de cette étude par le BRGM.

Le tableau ci-dessous (Illustration 39) récapitule l'ensemble des données recueillies et attribuées aux formations argileuses du département de l'Isère, ou de départements limitrophes mais concernant des formations géologiques similaires, d'extension régionale.

Origine des données	Indice de plasticité	Valeur de bleu
BRGM		15
CETE	77	8
Commune	1	3
Fondasol	54	83
Hydrogéotechnique	79	116
RFF	4	1
SAGE	181	164
Données recueillies dans le cadre d'études similaires dans l'Ain	50	
Données recueillies dans le cadre d'études similaires dans la Drôme	325	153
Données recueillies dans le cadre d'études similaires dans le Rhône	160	93
Données recueillies dans le cadre d'études similaires en Savoie	149	1
Données recueillis dans le cadre d'études similaires en Haute-Savoie	3	
Données recueillis dans le cadre d'études similaires dans les Alpes-de-Haute-Provence	10	6
Données recueillis dans le cadre d'études similaires dans le Vaucluse		1
Total	1093	644

Illustration 39 - Bilan des données géotechniques recueillies et exploités

En définitive, les données dont nous avons pu disposer permettent de caractériser la totalité des formations.

Toutes les valeurs géotechniques recueillies pour les formations argileuses retenues ont été synthétisées dans le tableau de l'illustration 40. Elles permettent d'attribuer une note géotechnique pour chacune d'entre elles.

Code	Notation	Formation	Note géotech	Données recueillies dans l'Isère										Données recueillies dans les départements voisins (Ain, Drôme, Rhône, Savoie, Haute-savoie, Alpes-de-Haute-Provence, Vaucluse)			
				Vb (g/100 g)					Ip					Vb (g/100 g)		Ip	
				Nb éch.	Min	Moy	Max	Nb éch.	Min	Moy	Max	Nb éch.	Moy	Nb éch.	Moy	Nb éch.	Moy
1	C-E	Colluvions et éboulis	2	1	2,66	2,66	2,66	2,66	17	11	19,41	33	14	3,10	14	18,10	
2	OEX	Loess, lehm et limons	1	2	1,34	1,42	1,49	1,11	11	7	11,45	20	28	1,99	56	16,01	
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	1	1	1,00	1,00	1,00	1,00					1	2,46			
4	Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	1	208	0,03	0,54	4,03	117	2	15,44	48	58	1,96	332	18,12		
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	2	1	1,27	1,27	1,27					1	5,30				
6	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1	85	0,02	0,81	5,14	81	3	16,54	48	103	2,20	205	14,29		
7	Gy	Moraines	1	55	0,07	0,54	3,80	98	2	14,35	41	26	0,70	31	10,40		
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	2	2	2,27	3,33	4,39	13	11	22,62	37	3	3,10				
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	2	1	0,93	0,93	0,93	2	27	28,00	29	6	3,10	16	19,00		
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	1	9	0,05	0,55	2,15	36	11	22,69	45	3	1,66	8	17,38		
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	2	1	2,18	2,18	2,18					2	7,00	2	19,00		
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	1	1	2,05	2,05	2,05										
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	2	2	4,10	4,21	4,32	4	11	19,25	28	5	4,10	10	17,10		
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	1	1	1,10	1,10	1,10										
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	2	1	3,56	3,56	3,56	4	30	31,25	35						
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	1														
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	2														
18	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	1	3	0,13	0,52	1,00	1	8	8,00	8						
19	j1	Argillites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	1	1	0,80	0,80	0,80										
20	Isa	Schistes et calcaires argileux du Lias	1	8	0,11	0,28	0,80										
21	I1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	1	1	0,90	0,90	0,90										
22	t	Argillites, dolomies, cagneules, gypse et anhydrite du Trias	1	1	1,05	1,05	1,05					2	2,30				
23	r	Conglomérats, grès et pétilles violettes ou vertes du Permien	1	1	0,90	0,90	0,90										

Illustration 40 - Synthèse des données géotechniques recueillies

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. La moyenne ainsi obtenue est potentiellement comprise entre 1 et 4. Les classes de susceptibilité déterminées à partir de la valeur moyenne ainsi calculée sont les suivantes (Illustration 41) :

Note moyenne	Degré de susceptibilité
valeur ≤ 2	faible
$2 < \text{valeur} \leq 3$	moyen
valeur > 3	fort

Illustration 41 - Barème d'attribution d'un niveau de susceptibilité d'une formation argileuse

Moyennant ce traitement, les notes de susceptibilité attribuées aux vingt-trois formations retenues comme argileuses sont les suivantes (Illustration 42) :

Code	Notation	Formation	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Indice de susceptibilité	Niveau de susceptibilité
1	C-E	Colluvions et éboulis	2	2	2	2,00	Faible
2	OEx	Loess, lehm et limons	2	2	1	1,67	Faible
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	2	2	1	1,67	Faible
4	Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	1	1	1	1,00	Faible
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	3	2	2	2,33	Moyen
6	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1	1	1	1,00	Faible
7	Gy	Moraines	2	2	1	1,67	Faible
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	2	3	2	2,33	Moyen
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	4	3	2	3,00	Moyen
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	1	3	1	1,67	Faible
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	3	4	2	3,00	Moyen
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	2	4	1	2,33	Moyen
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	2	4	2	2,67	Moyen
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	1	3	1	1,67	Faible
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	4	3	2	3,00	Moyen
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	2	1	1	1,33	Faible
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	3	2	2	2,33	Moyen
18	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	2	1	1	1,33	Faible
19	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	3	1	1	1,67	Faible
20	Isa	Schistes et calcaires argileux du Lias	2	1	1	1,33	Faible
21	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	3	1	1	1,67	Faible
22	t	Argilites, dolomies, carnageules, gypse et anhydrite du Trias	1	1	1	1,00	Faible
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	1	1	1	1,00	Faible

Illustration 42 - Susceptibilité des formations argileuses retenues

6.2. SYNTHÈSE

Aucune formation argileuse n'apparaît comme fortement susceptible dans le département de l'Isère, et ceci par comparaison avec d'autres départements traités selon la même méthodologie et en appliquant les mêmes critères de hiérarchisation. Néanmoins, 8 formations sont jugées moyennement susceptibles, et 15 faiblement susceptibles. Au final, 5,76 % du département est classé en susceptibilité moyenne au phénomène de retrait-gonflement, et 66,61 % en susceptibilité faible. 27,62 % de la surface départementale est donc considérée comme *a priori* non argileuse, et donc non susceptible (Illustration 43).

Code	Notation	Formation	Surface (km ²)	Surface (% du département)	Niveau de susceptibilité
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	59,61	0,76	Moyen
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	165,21	2,10	Moyen
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	1,17	0,01	Moyen
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Eocène-Oligocène	1,81	0,02	Moyen
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	24,38	0,31	Moyen
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	123,56	1,57	Moyen
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	35,56	0,45	Moyen
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	43,03	0,55	Moyen
Total formations en susceptibilité moyen			454,33	5,76	
1	C-E	Colluvions et éboulis	244,46	3,10	Faible
2	OEx	Loess, lehm et limons	391,45	4,97	Faible
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	79,25	1,01	Faible
4	Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	513,82	6,52	Faible
6	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1349,25	17,12	Faible
7	Gy	Moraines	1531,30	19,43	Faible
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	702,47	8,91	Faible
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	3,06	0,04	Faible
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	112,49	1,43	Faible
18	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	98,07	1,24	Faible
19	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	26,48	0,34	Faible
20	lsa	Schistes et calcaires argileux du Lias	122,06	1,55	Faible
21	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	48,79	0,62	Faible
22	t	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	19,35	0,25	Faible
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	8,42	0,11	Faible
Total formations en susceptibilité faible			5 250,74	66,61	
Total formations argileuses			5 705,07	72,38	
Formations a priori non argileuses			2 177,29	27,62	
Total département			7 882,36	100,00	

Illustration 43 - Superficie des formations par niveau de susceptibilité

6.3. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

L'illustration 44 représente la carte départementale de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement, réalisée d'après les résultats présentés dans le tableau de l'illustration 42. 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 des formations géologiques la classe de susceptibilité définie ci-dessus. Cette carte est également présentée en carte hors-

texte à l'échelle 1/150 000. Les formations sont représentées par deux couleurs (jaune et orange) selon leur degré de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses. Cependant, on ne peut exclure qu'elles soient recouvertes localement de poches ou placages argileux non représentés sur la carte géologique.

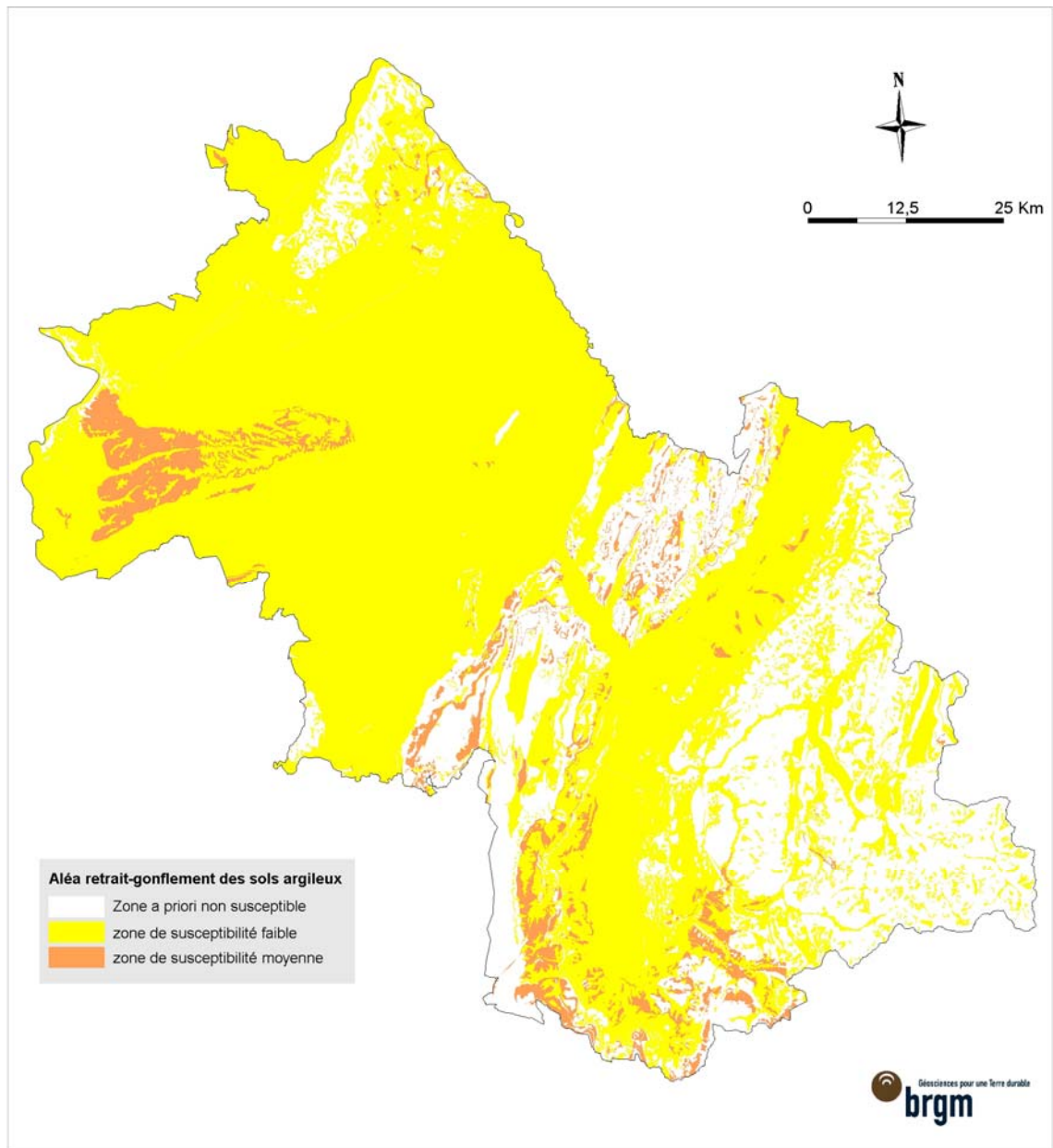


Illustration 44 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement dans le département de l'Isère

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 une centaine de 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 décadaire. 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 pas exigé d'étude géotechnique supplémentaire pour définir une nouvelle période de reconnaissance.

De surcroît, ces études préalables sont généralement très succinctes. Une visite de terrain permet de réaliser un bref audit des sinistres, de noter les dates d'apparition des premiers désordres (pour les comparer avec les chroniques pluviométriques), d'observer les pathologies et la nature des terrains, de noter la présence éventuelle de végétation arborée à proximité du bâti sinistré et de recueillir le témoignage des propriétaires. L'examen de la carte géologique du BRGM à l'échelle 1/50 000, complété 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 ne constituent donc qu'une première approche, souvent très sommaire, 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

Au 30 juin 2009, 6 des 533 communes du département ont déjà été reconnues une fois en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, soit un taux de sinistralité de 1,12 %. Les périodes reconnues sont comprises entre juillet 2003 et septembre 2005. Le nombre total d'occurrences (nombre d'arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle en distinguant à la fois par commune et par période) s'élève donc actuellement à 6 dans le département.

A ce jour (fin juin 2009), 5 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris dans le département de l'Isère, dont les dates s'échelonnent entre le 11 janvier 2005 et le 26 juin 2008. L'illustration 45 présente les communes concernées par les différents arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse au cours de cette période.

Numéro INSEE	Communes	Date de début	Date de fin	date de l'arrêté	Date de parution au JO
38077	Chapelle-de-Surieu	01-juil-05	30-sept-05	26-juin-08	05-juil-08
38090	Château-Bernard	01-juil-03	30-sept-03	22-nov-05	13-déc-05
38187	Gua	01-juil-03	30-sept-03	09-janv-06	22-janv-06
38229	Meylan	01-juil-03	30-sept-03	11-janv-05	01-févr-05
38421	Saint-Martin-d'Hères	01-juil-03	30-sept-03	11-janv-05	01-févr-05
38536	Vernioz	01-juil-03	30-sept-03	30-mars-06	02-avr-06

Illustration 45 - Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre de mouvements différentiels de sols liés au retrait-gonflement des argiles (prim.net, juin 2009)

D'après les données disponibles sur le site internet www.prim.net du ministère en charge de l'environnement, ce nombre d'occurrences reconnues place le département à la 76^{ème} position des départements français les plus touchés, loin derrière certains du Sud-Ouest (1 412 occurrences reconnues en Haute-Garonne, 1 253 dans le Gers, 1 072 en Dordogne, par exemple). On constate qu'aucun arrêté n'avait été pris sur ce département avant l'été 2003. En effet, le secteur centre-est de la France (en particulier les régions Bourgogne, Franche-Comté et Rhône-Alpes) avait été largement épargné jusque là par le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux, mais la sécheresse de l'été 2003 s'est traduite par une occurrence significative de sinistres liés aux tassements différentiels.

La carte de l'illustration 46 permet de localiser les 6 communes qui ont fait l'objet d'un arrêté de reconnaissance à ce jour, ainsi que le nombre respectif de sinistres par commune localisés dans le cadre de la présente étude. Cette carte montre que le département de l'Isère est relativement peu concerné par le phénomène de retrait-gonflement.

Le montant des indemnités versées pour les sinistres sécheresses dans ce département pour la période 1989-2003 et dans le seul cadre du régime des catastrophes naturelles ne dépasserait pas 75 500 euros (en coûts actualisés) d'après la CCR (données septembre 2008), ce qui place l'Isère à la 83^{ème} position des départements français de ce point de vue. Par ailleurs, dix communes, qui n'avaient pu être reconnues en état de catastrophe naturelle pour l'été 2003, ont bénéficié de la procédure exceptionnelle d'indemnisation instaurée par la loi de finance 2006. Sur 19 dossiers introduits à ce titre, 12 ont été considérés comme éligibles et ont bénéficié d'une indemnisation totale de 165 000 euros.

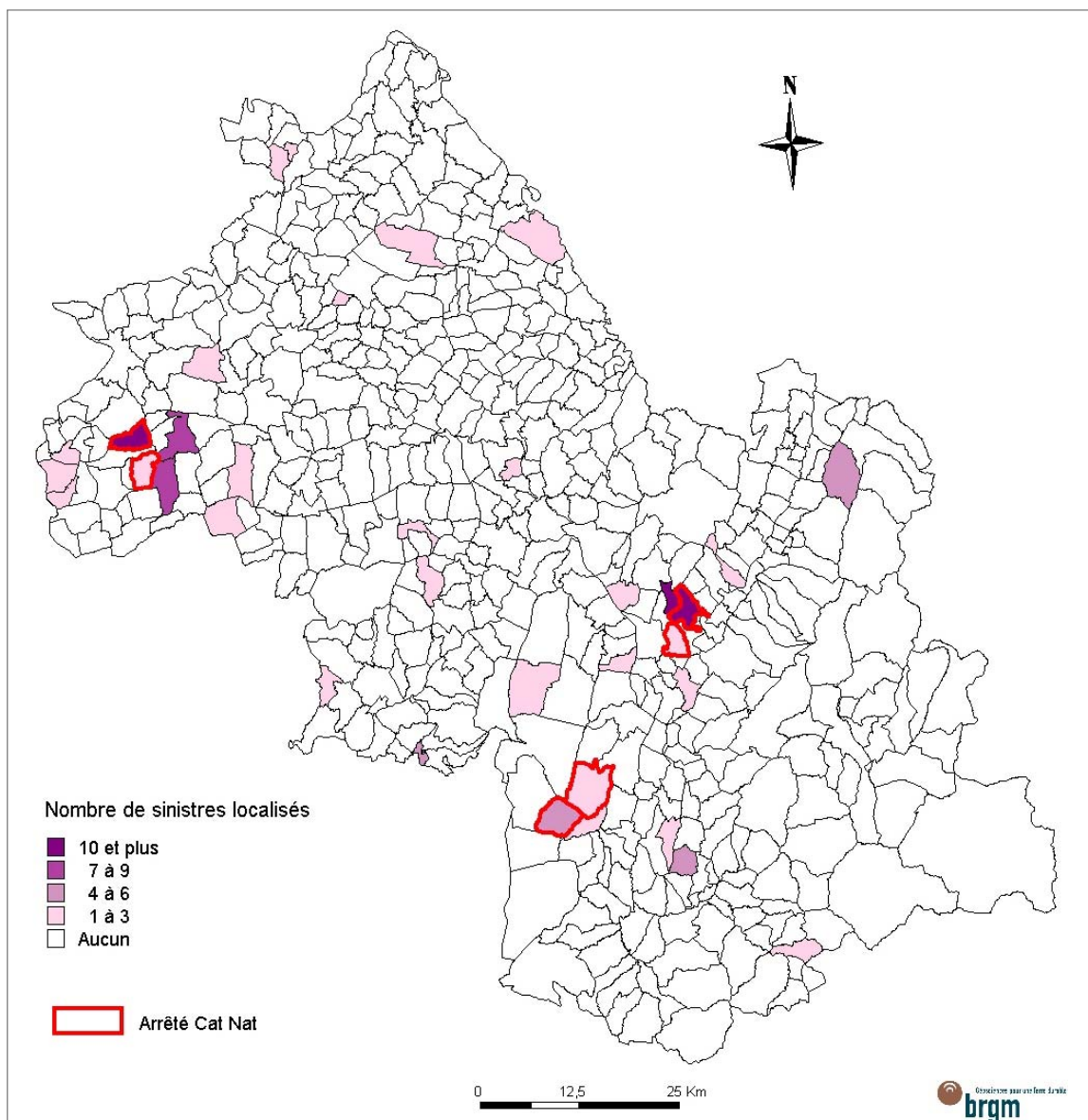


Illustration 46 - Communes concernées par des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés.

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

Sur les 6 communes reconnues en état de catastrophe naturelle pour les tassements différentiels liés à la sécheresse, 5 l'ont été pour la période correspondant à l'été 2003 et une pour l'été 2005. Parmi les sinistres localisés, 65 ont pu être datés grâce aux informations fournies par les bureaux d'études ou les mairies. Cela permet de constater que si les sinistres recensés lors de l'étude sont apparus pour la plupart durant l'été 2003 (41 sinistres), 24 ont toutefois été signalés comme étant soit plus

récents (12 en 2004, 3 en 2005, 2 en 2006, 1 en 2007 et 1 en 2008), soit plus anciens (1 en 1990, 2 en 1995, 1 en 1998 et 1 en 2001), bien qu'un seul arrêté ait été pris à ce jour pour ces périodes (de juillet à septembre 2005).

Il faut noter que certaines déclarations de sinistres sont tardives, ce qui peut en partie expliquer que les périodes de déficit hydrique et les dates de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne soient pas vraiment corrélées. En effet, après une période de dessiccation intense et profonde des sols, le retour à un état hydrique normal est lent et il subsiste souvent en profondeur des zones de sol argileux anormalement desséchées qui restent sensibles à des variations saisonnières, même de faible amplitude. En d'autres termes, un déficit hydrique intense est nécessaire pour amorcer les premiers mouvements différentiels du sol mais ensuite, la structure du sol et du bâti ayant été fragilisée, de faibles amplitudes hydriques suffisent à provoquer la réouverture ou l'aggravation des premières fissures. C'est pourquoi certains propriétaires réagissent avec retard et déclarent des sinistres à une période où les précipitations sont revenues à un niveau normal. Ceci pourrait également expliquer une partie des sinistres signalés comme postérieurs à l'été 2003.

7.3. COLLECTE DES DONNÉES DE SINISTRES

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de sources d'informations complémentaires, à savoir la consultation de l'ensemble des communes du département, le recueil des données auprès de la Caisse centrale de réassurance (CCR) ainsi que des bureaux d'études géotechniques. La majorité des sinistres recensés a pu être localisée avec une précision suffisante pour l'étude.

L'enquête effectuée auprès de l'ensemble des communes du département s'est faite par envoi d'un courrier, en collaboration avec la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture de l'Isère (DDEA, anciennement DDE), aux maires des 533 communes. Un courrier de relance a ensuite été envoyé à toutes les communes n'ayant pas encore répondu. Le taux de réponse final atteint près de 80 %, ce qui est très satisfaisant compte tenu de l'ampleur limitée des conséquences du retrait-gonflement des sols argileux dans ce département. Les 6 communes reconnues en état de catastrophe naturelle ont répondu à l'enquête, rassemblant à elles seules 31 sinistres sur les 99 déclarés par l'ensemble des mairies du département de l'Isère. Tous les sinistres ont pu être localisés et ils se répartissent dans 34 communes.

En définitive, ce sont 102 sites de sinistres, répartis dans 35 communes, qui ont été recensés et localisés. En effet, 3 sinistres supplémentaires, ont été recensés par l'intermédiaire des bureaux d'étude (Fondasol, SAGE). La localisation des sinistres a été effectuée sur fonds topographiques de l'IGN à 1/25 000. Ce travail a été réalisé grâce aux plans de localisation renvoyés par les communes, ou figurant dans les dossiers préfectoraux et ceux des différents bureaux d'étude, ainsi que par la consultation des sites internet www.cadastre.gouv.fr, www.maporama.fr, www.viamichelin.fr et www.pagesjaunes.fr.

Ce résultat peut être considéré comme largement représentatif de la sinistralité actuelle dans le département.

Le nombre de sinistres par commune est très variable, mais la majorité des communes sont très peu sinistrées : 51,4 % des communes concernées ne comptent qu'un seul sinistre recensé ; 17,1 % d'entre elles en comptent 2 ; 14,3 % en comptent entre 3 et 5 ; 10,4 % entre 6 et 10 ; seules 5,7 % des communes touchées comptent plus de 10 sinistres. Les deux communes où ont été recensés plus de 10 sinistres sont celles de Corenc (11 sinistres) et Meylan (12 sinistres).

30,4 % des sinistres (soit 31 d'entre eux) sont effectivement localisés dans les communes reconnues en état de catastrophe naturelle, alors que les 69,6 % restants (soit 71 sinistres) se répartissent dans 29 communes qui n'ont encore jamais été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse.

D'un point de vue géographique, on constate que les communes situées dans le quart sud-est du département (secteur des massifs cristallins) ont une sinistralité nulle d'après l'étude de recensement. Sur le reste du territoire, la répartition des sinistres est clairsemée, hormis deux secteurs. Un premier, situé au nord-ouest du département, est affecté par une trentaine de sinistres concernant essentiellement les *Formations argilo-caillouteuses du Pliocène*. Un deuxième secteur, localisé au nord-est de Grenoble fait état d'une vingtaine de sinistres. Ils sont à rapporter aux formations des *Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires* ainsi qu'aux "*Terres noires*" du *Callovien – Oxfordien*.

La liste des sinistres avec leurs coordonnées en projection Lambert II étendu 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 données recueillies indique que la totalité des sinistres localisés est répartie sur les formations argilo-marneuses retenues comme potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement, mais il est vrai que ces dernières occupent près de 72,4 % de la surface du département (illustrations 47 et 48).

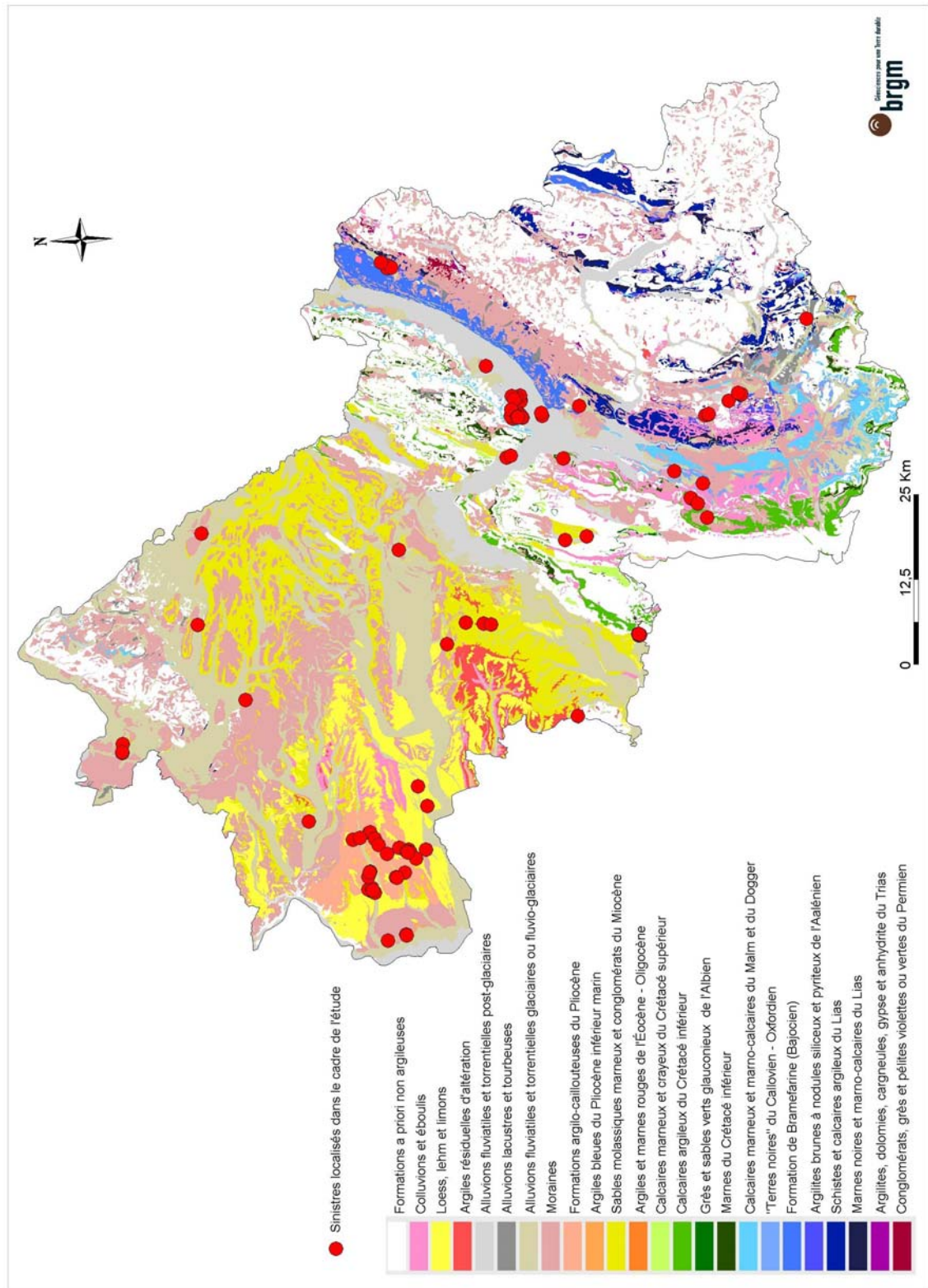


Illustration 47 - Répartition géologique des sinistres localisés

Rappelons 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. Par ailleurs, il peut arriver que des sinistres attribués au retrait-gonflement des argiles soient dus en réalité à d'autres phénomènes (séismes, tassement de remblais ou de sols compressibles, fluages sur des colluvions instables, défauts de construction, choc thermique sur les enduits de façade, etc.). On peut d'ailleurs noter à ce sujet que l'Isère est relativement concernée par le risque sismique, en particulier pour les communes situées dans la chaîne des massifs subalpin, classée en aléa moyen pour ce type de risque. Dans un passé récent, le département a connu deux séismes significatifs causant des dégâts matériels (5 avril 1962 avec magnitude de 5,3 à Corrençon-en-Vercors, 11 janvier 1999 avec magnitude de 3,5 dans les secteurs de Saint-Pierre et Notre-Dame-de-Mésage, Laffrey, St-Jean-de-Vaulx).

Parmi les formations retenues comme argileuses au sens large, 3 se distinguent par un nombre de sinistres supérieur à 15 :

- les *Formations argilo-caillouteuses du Pliocène* avec 21 sinistres
- les *Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires* avec 20 sinistres
- les *Moraines* avec 17 sinistres

Il faut cependant noter que ces formations affleurent assez largement sur le département, ce qui modère en réalité la densité de sinistres de chacune d'elles.

Parmi les formations argilo-marneuses retenues, 11 ne comptent aucun sinistre recensé à ce jour. Il faut cependant noter que cette absence de sinistres peut en partie s'expliquer par des surfaces d'affleurement relativement réduites ce qui induit un faible nombre de constructions exposées. De plus, la majorité de ces formations est située dans le secteur alpin du département qui est très peu urbanisé.

7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE BATIE

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 et cela pourrait donc 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. C'est pourquoi les densités de sinistres par formation géologique ont été rapportées à 100 km² de surface effectivement bâtie, conformément à la méthodologie retenue au niveau national.

7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation

Les contours des zones bâties du département ont été obtenus à partir des données de la couche « bâti » de la BDTopo de l'IGN, mise à disposition par la DDEA de l'Isère dans le cadre de cette étude. Le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux affectant essentiellement les structures légères correspondant aux habitations individuelles, il a été choisi d'exclure de ce calcul de surface les bâtiments industriels, agricoles et commerciaux, religieux, sportifs, administratifs ou de transport, ainsi que les châteaux et divers monuments. Au final, les seuls bâtiments pris en compte dans le calcul sont ceux correspondant à la catégorie « autre » et à la nature « autre » de la BDTopo.

La surface totale des zones bâties du département a été ainsi estimée à environ 65,6 km², soit 0,83 % de la superficie départementale (Illustration 49).

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses avec celle des zones bâties permet d'estimer la surface totale occupée par les zones bâties dans les formations retenues comme argileuses à plus de 62 km², soit près de 1,1 % 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 48.

Code	Notation	Formation	Surface (km ²)	Surface (% du département)	Nombre de sinistres	Densité de sinistres pour 100 km ² de formation	Superficie du bâti (km ²)	Taux d'urbanisation (%)
1	C-E	Colluvions et éboulis	244,46	3,10	2	0,82	0,98	0,40
2	OEx	Loess, lehm et limons	391,45	4,97	6	1,53	2,64	0,67
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	79,25	1,01	0	0,00	0,10	0,13
4	Fz	Alluvions fluviales et torrentielles post-glaciaires	513,82	6,52	20	3,89	15,70	3,06
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	59,61	0,76	2	3,36	0,52	0,87
6	Fgy	Alluvions fluviales et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1 349,25	17,12	15	1,11	20,10	1,49
7	Gy	Moraines	1 531,30	19,43	17	1,11	14,96	0,98
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	165,21	2,10	21	12,71	0,74	0,45
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	1,17	0,01	0	0,00	0,09	7,81
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	702,47	8,91	9	1,28	5,52	0,79
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	1,81	0,02	3	165,86	0,01	0,48
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	24,38	0,31	0	0,00	0,04	0,16
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	123,56	1,57	1	0,81	0,09	0,08
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	3,06	0,04	0	0,00	0,02	0,54
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	35,56	0,45	0	0,00	0,09	0,24
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	112,49	1,43	2	1,78	0,14	0,12
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	43,03	0,55	4	9,30	0,18	0,41
18	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	98,07	1,24	0	0,00	0,28	0,28
19	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	26,48	0,34	0	0,00	0,07	0,25
20	lsa	Schistes et calcaires argileux du Lias	122,06	1,55	0	0,00	0,11	0,09
21	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	48,79	0,62	0	0,00	0,07	0,14
22	t	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	19,35	0,25	0	0,00	0,02	0,09
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	8,42	0,11	0	0,00	0,00	0,03
Total formations argileuses			5 705,07	72,38	102	1,79	62,47	1,09
Formations <i>a priori</i> non argileuses			2 177,29	27,62	0	0,00	3,09	0,14
Total département			7 882,36	100,00	102	1,29	65,56	0,83

Illustration 48 - Nombre de sinistres et surface bâtie par formation

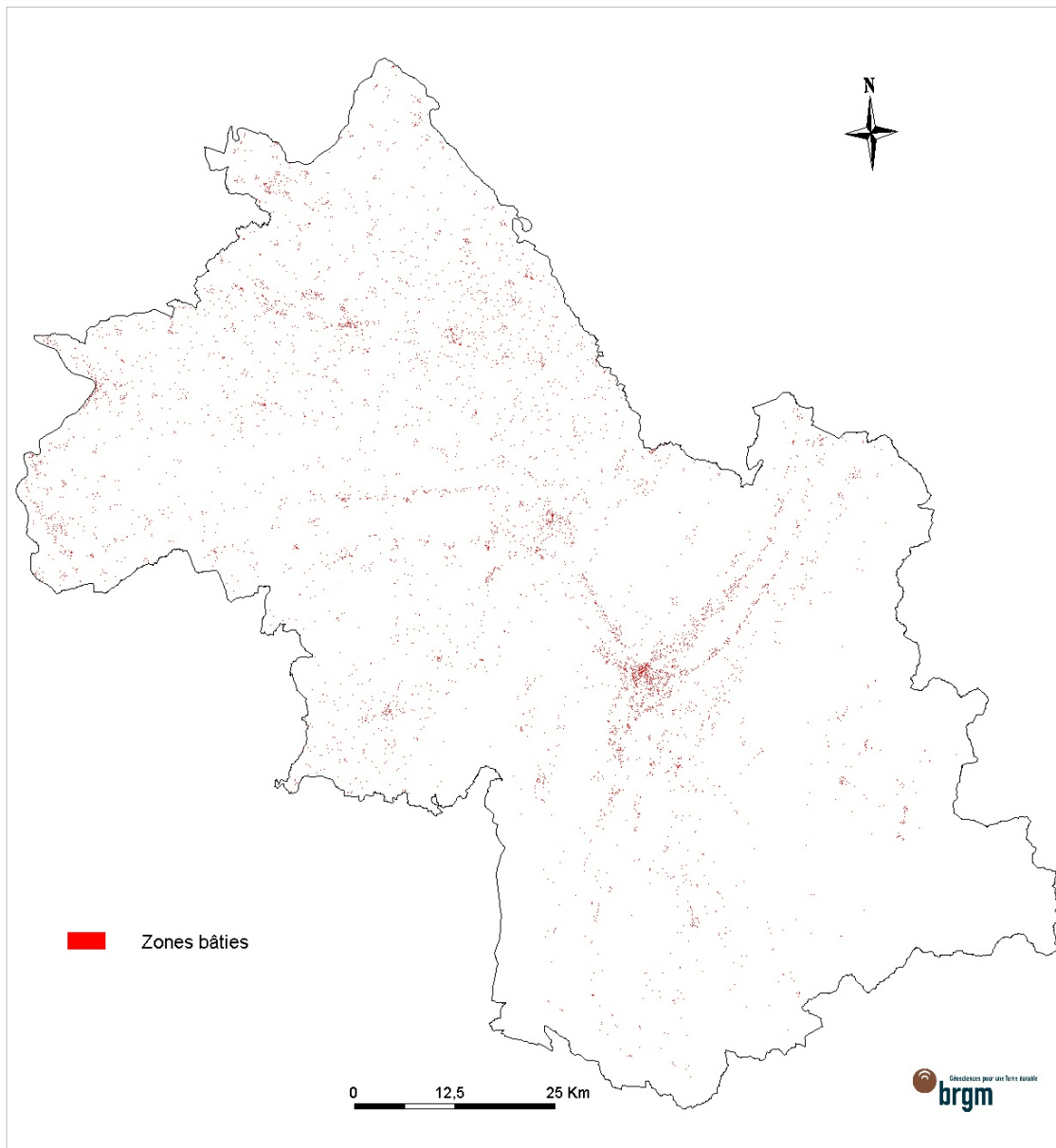


Illustration 49 - Carte des zones bâties sur le département de l'Isère (source des données : BD Topo IGN)

7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres

Les éléments décrits dans la méthodologie, permettent de calculer des densités de sinistres par formation géologique, en prenant en compte la surface bâtie de la formation. Les résultats indiquent que la prise en compte du taux d'urbanisation

modifie sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques en termes de densité de sinistres, dans la mesure où ce taux varie d'une formation à l'autre (Illustration 48). Les densités de sinistres rapportées à 100 km² de formation argileuse réellement bâtie sont présentées dans le tableau de l'illustration 50.

La densité moyenne ainsi obtenue pour les formations argileuses est de l'ordre de 163 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement bâti.

Il est important de noter que pour 13 des 23 formations considérées, le critère de sinistralité ne peut être jugé comme significatif en raison de la trop faible surface bâtie qu'elles présentent. La prise en compte d'un seul sinistre pourrait faire immédiatement passer la densité de sinistres d'une valeur nulle à forte.

En revanche, la sinistralité a été jugée significative pour la formation des *Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène* et celle des "*Terres noires*" du *Callovien - Oxfordien* bien que celles-ci présentent également une surface bâtie particulièrement restreinte. Ce choix est justifié par le fait que ces 2 formations comptent respectivement 3 et 4 sinistres, ce qui semble confirmer l'existence d'une sinistralité vraiment significative.

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, des valeurs seuil de la densité de sinistres pour 100 km² de formation argileuse bâtie ont été choisies suivant la répartition des formations argileuses autour de la sinistralité moyenne. Les coupures utilisées pour l'attribution de notes caractérisant la sinistralité sont les suivantes :

- *note 1* : moins de 200 sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité sensiblement inférieure à la moyenne des zones argileuses) ;
- *note 2* : entre 200 et 1 000 sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité de sinistres moyenne à importante) ;
- *note 3* : plus de 1 000 sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité de sinistres très importante).

Les notes de sinistralité ainsi attribuées sont précisées dans le tableau de l'illustration 50.

Trois formations, affectées par une susceptibilité moyenne, obtiennent une note de densité de sinistres maximale de 3 :

- les *Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène* (plus de 34 000 sinistres pour 100 km² bâtis) ;
- les *Formations argilo-caillouteuses du Pliocène* (plus de 2 800 sinistres pour 100 km² bâtis) ;
- Les "*Terres noires*" du *Callovien - Oxfordien* (plus de 2 200 sinistres pour 100 km² bâtis).

Code Notation	Formation	Surface (km²)	Surface (% du département)	Nombre de sinistres	Surface bâtie (km²)	Densité de sinistres pour 100 km² urbanisés	Note de sinistralité	Niveau de susceptibilité
1	C-E	244,46	3,10	2	0,98	204,46	2	Faible
2	OEx	391,45	4,97	6	2,64	227,28	2	Faible
3	Rs	79,25	1,01	0	0,10	0,00	NS	Faible
4	Fz	513,82	6,52	20	15,70	127,35	1	Faible
5	Lz	59,61	0,76	2	0,52	384,68	2	Moyen
6	Fgy	1 349,25	17,12	15	20,10	74,63	1	Faible
7	Gy	1 531,30	19,43	17	14,96	113,66	1	Faible
8	P2	165,21	2,10	21	0,74	2 832,76	3	Moyen
9	p1	1,17	0,01	0	0,09	0,00	NS	Moyen
10	m2-5	702,47	8,91	9	5,52	163,03	1	Faible
11	e-g	1,81	0,02	3	0,01	34 666,08	3	Moyen
12	C1-6	24,38	0,31	0	0,04	0,00	NS	Moyen
13	nCA	123,56	1,57	1	0,09	1 052,77	NS	Moyen
14	n6G	3,06	0,04	0	0,02	0,00	NS	Faible
15	n1-6	35,56	0,45	0	0,09	0,00	NS	Moyen
16	J1-7	112,49	1,43	2	0,14	1 423,51	NS	Faible
17	j3-5	43,03	0,55	4	0,18	2 269,13	3	Moyen
18	J2	98,07	1,24	0	0,28	0,00	NS	Faible
19	J1	26,48	0,34	0	0,07	0,00	NS	Faible
20	Isa	122,06	1,55	0	0,11	0,00	NS	Faible
21	l1-4	48,79	0,62	0	0,07	0,00	NS	Faible
22	t	19,35	0,25	0	0,02	0,00	NS	Faible
23	r	8,42	0,11	0	0,00	0,00	NS	Faible
Total formations argileuses		5 705,07	72,38	102	62,47	163,29		
Formations a priori non argileuses		2 177,29	27,62	0	3,09	0,00		
Total département		7 882,36	100,00	102	65,56	163,29		

Illustration 50 – Sinistralité et notes de densité de sinistres

Il est à noter que ce niveau de sinistralité reste particulièrement faible par rapport à celui obtenu jusqu'à présent dans une soixantaine de départements parmi les plus sinistrés et déjà couverts par une carte d'aléa retrait-gonflement (mais les comparaisons avec la plupart de ces départements est délicate car l'urbanisation y a parfois été évaluée avec d'autres outils, moins précis). Par comparaison avec les départements limitrophes où l'étude est achevée à la date du présent rapport, on constate que la densité moyenne de sinistres est nettement plus faible en Isère. Ainsi, dans le département du Rhône, la densité moyenne est de 727 sinistres pour 100 km² de surface bâtie, et de 1 218 dans le département de la Drôme. Elle est naturellement très inférieure à celle calculée dans plusieurs départements de la région Ile-de-France (Essonne, Val-de-Marne et Seine-Saint-Denis) où elle atteint en moyenne 9 000 sinistres pour 100 km² de surface bâtie argileuse, avec des pointes allant jusqu'à plus de 50 000 sinistres pour 100 km² bâtis dans certaines formations argileuses particulièrement réactives.

8. Carte d'aléa

8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA

L'aléa retrait-gonflement des sols argileux est, par définition, la probabilité d'occurrence du phénomène. Le niveau d'aléa a été ici évalué, de manière purement qualitative, pour chaque formation argileuse, en combinant la susceptibilité et la 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 donc la valeur 1, 2 ou 3 (seules les deux premières classes apparaissent dans le département de l'Isère).

Concernant la sinistralité, le critère utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement bâti. La note de sinistralité est établie en comparant ce résultat aux valeurs seuils et vaut selon les cas 1, 2 ou 3, sauf pour treize formations de très faible extension géographique où elle a été jugée non-significative.

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 (Illustration 51) 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

Aucune formation n'est ainsi classée en aléa fort vis à vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles. En revanche, 8 formations présentent un aléa moyen, résultant d'une susceptibilité moyenne combinée avec une sinistralité moyenne à forte, ou non significative. Parmi l'ensemble de ces formations, la plus étendue est celle des *Formations argilo-caillouteuses du Pliocène* (165 km²). Ces 8 formations couvrent 5,76 % de la superficie départementale (Illustration 52 et Illustration 53).

Par ailleurs, 15 formations, couvrant 66,61 % de la superficie départementale, sont considérées comme présentant un aléa faible vis à vis du phénomène de retrait-

gonflement. Elles résultent d'une susceptibilité faible assortie d'une sinistralité faible à moyenne, ou non significative.

Code	Notation	Formation	Surface (km ²)	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Indice de susceptibilité	Niveau de susceptibilité	Note de sinistralité	Indice d'aléa	Niveau d'aléa
1	C-E	Colluvions et éboulis	244,46	2	2	2	2,00	Faible	2	4	Faible
2	OEx	Loess, lehm et limons	391,45	2	2	1	1,67	Faible	2	4	Faible
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	79,25	2	2	1	1,67	Faible	NS	NS	Faible
4	Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	513,82	1	1	1	1,00	Faible	1	3	Faible
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	59,61	3	2	2	2,33	Moyen	2	6	Moyen
6	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1349,25	1	1	1	1,00	Faible	1	3	Faible
7	Gy	Moraines	1531,30	2	2	1	1,67	Faible	1	3	Faible
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	165,21	2	3	2	2,33	Moyen	3	7	Moyen
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	1,17	4	3	2	3,00	Moyen	NS	NS	Moyen
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	702,47	1	3	1	1,67	Faible	1	3	Faible
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	1,81	2	4	2	2,67	Moyen	3	7	Moyen
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	24,38	2	4	1	2,33	Moyen	NS	NS	Moyen
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	123,56	2	4	2	2,67	Moyen	NS	NS	Moyen
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	3,06	1	3	1	1,67	Faible	NS	NS	Faible
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	35,56	4	3	2	3,00	Moyen	NS	NS	Moyen
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	112,49	2	1	1	1,33	Faible	NS	NS	Faible
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	43,03	3	2	2	2,33	Moyen	3	7	Moyen
18	J2	Formation de Brametarine (Bajocien)	98,07	2	1	1	1,33	Faible	NS	NS	Faible
19	J1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	26,48	3	1	1	1,67	Faible	NS	NS	Faible
20	Isa	Schistes et calcaires argileux du Lias	122,06	2	1	1	1,33	Faible	NS	NS	Faible
21	I1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	48,79	3	1	1	1,67	Faible	NS	NS	Faible
22	t	Argilites, dolomies, cagneules, gypse et anhydrite du Trias	19,35	1	1	1	1,00	Faible	NS	NS	Faible
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	8,42	1	1	1	1,00	Faible	NS	NS	Faible

Illustration 51 – Niveau d'aléa des formations

Code	Notation	Formation	Surface (km ²)	Surface (% du département)	Niveau de susceptibilité
5	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	59,61	0,76	Moyen
8	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	165,21	2,10	Moyen
9	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	1,17	0,01	Moyen
11	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène-Oligocène	1,81	0,02	Moyen
12	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	24,38	0,31	Moyen
13	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	123,56	1,57	Moyen
15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	35,56	0,45	Moyen
17	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	43,03	0,55	Moyen
Total formations en aléa moyen			454,33	5,76	
1	C-E	Colluvions et éboulis	244,46	3,10	Faible
2	OEx	Loess, lehm et limons	391,45	4,97	Faible
3	Rs	Argiles résiduelles d'altération	79,25	1,01	Faible
4	Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	513,82	6,52	Faible
6	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	1349,25	17,12	Faible
7	Gy	Moraines	1531,30	19,43	Faible
10	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	702,47	8,91	Faible
14	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	3,06	0,04	Faible
16	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	112,49	1,43	Faible
18	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	98,07	1,24	Faible
19	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	26,48	0,34	Faible
20	lsa	Schistes et calcaires argileux du Lias	122,06	1,55	Faible
21	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	48,79	0,62	Faible
22	t	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	19,35	0,25	Faible
23	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	8,42	0,11	Faible
Total formations en aléa faible			5 250,74	66,61	
Total formations argileuses			5 705,07	72,38	
Formations a priori non argileuses			2 177,29	27,62	
Total département			7 882,36	100,00	

Illustration 52 - Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa

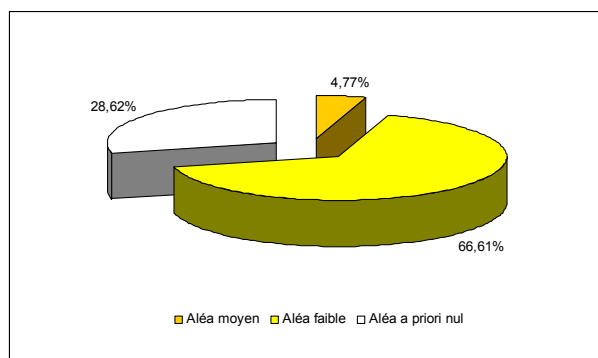


Illustration 53 – Répartition des superficies par niveau d'aléa

8.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa qui ressort de l'étude 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 54 et en carte hors-texte à l'échelle 1/150 000 (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 issus des cartes géologiques à la même échelle.

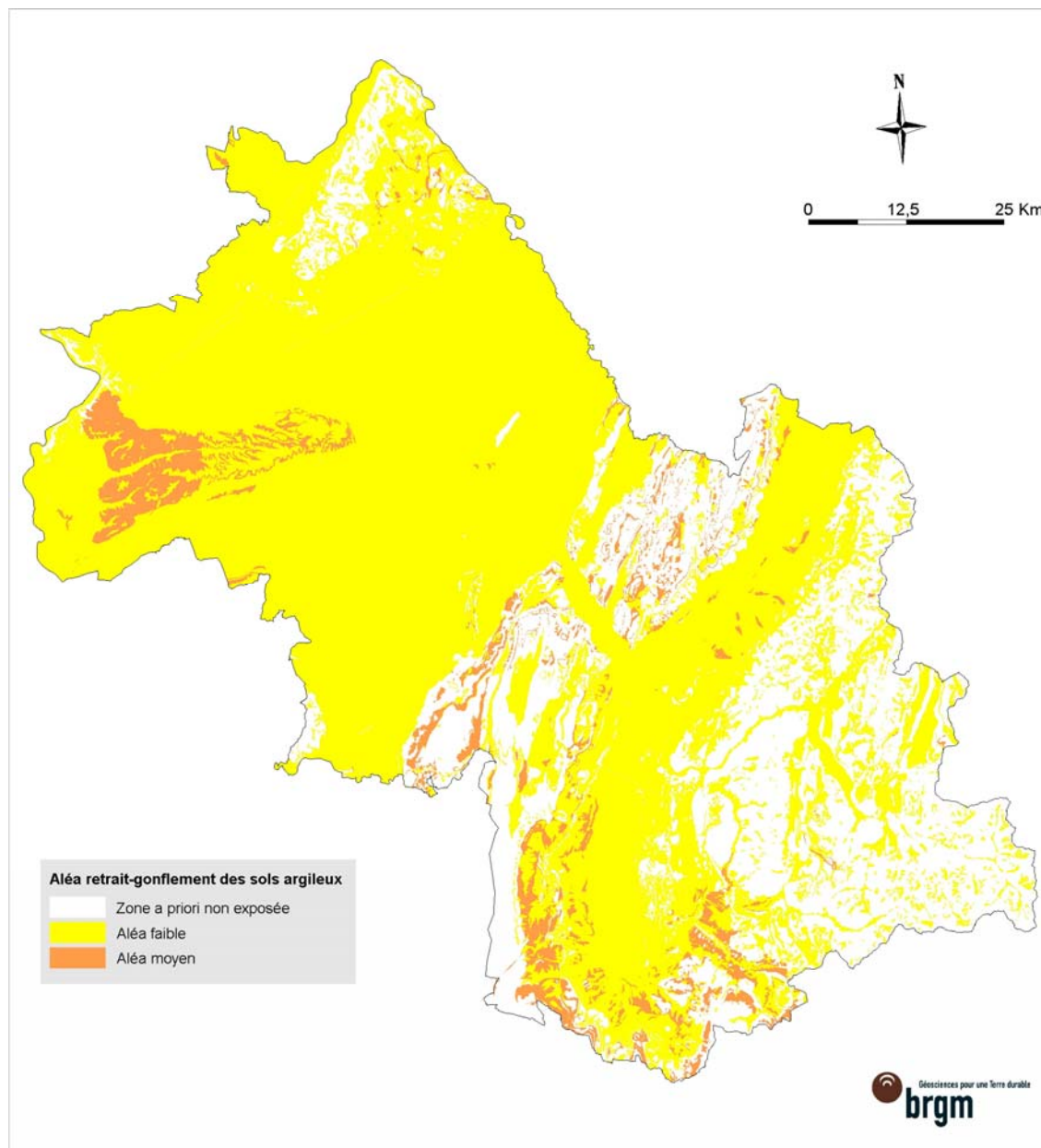


Illustration 54 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement de l'Isère

Les formations retenues sont représentées par deux couleurs (jaune et orange) correspondant à leur niveau d'aléa retrait-gonflement (respectivement faible et moyen). Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent près de 28 % 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 l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses ou à l'altération localisée de formations carbonatées. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Il est à noter que cette carte départementale d'aléa est identique à la carte de susceptibilité établie précédemment, sur la seule base d'une caractérisation physique des formations identifiées comme argileuses. Lorsque le critère de densité de sinistre a été jugé significatif, celui-ci n'a fait que confirmer une susceptibilité faible à moyenne ou a été insuffisant pour influencer la note d'aléa finale.

8.3. COHERENCE AVEC LES DEPARTEMENTS LIMITOPHES

Parmi les départements directement limitrophes de l'Isère, seuls deux disposent d'ores-et-déjà d'une carte d'aléa publiée (Illustration 55). Il s'agit des départements de la Drôme (26) et du Rhône (69). Dans l'ensemble les résultats sont relativement cohérents, avec cependant quelques discontinuités dans la Drôme au niveau de la valeur de l'aléa et de la limite des formations argileuses. Une partie de la formation des *Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène* a en effet été redéfinie à la frontière avec la Drôme.

Discontinuité dans le niveau d'aléa

- Pour la formation des *Colluvions et éboulis*, le niveau d'aléa (faible) déterminé dans l'Isère correspond à celui du département du Rhône. Dans la Drôme, les colluvions et éboulis sont deux formations distinctes, qualifiées respectivement en aléa moyen et en aléa faible. Cette différence d'interprétation dans les regroupements joue donc sur la différence de niveau d'aléa lorsque la formation des *Colluvions et éboulis* est en contact avec la formation *Colluvions polygéniques du Quaternaire* de la Drôme.
- Pour les *Formations argilo-caillouteuses du Pliocène*, le niveau d'aléa est reconnu comme moyen en Isère, alors que la formation correspondante dans la Drôme a été reconnue en aléa faible (*Formations argilo-caillouteuses du Pliocène et alluvions anciennes*). Cette différence est issue d'une variation de facies au sein de cette formation du Pliocène. Ainsi, les notes de sinistralité et susceptibilité attribuées dans la Drôme sont faibles, alors qu'elles sont respectivement forte et moyenne en Isère, en raison d'une argilosité plus importante.
- Pour ce qui est des *Calcaires argileux du crétacé inférieur*, qui correspondent aux *Marnes et marno-calcaires du Valanginien* dans la Drôme, on peut noter qu'ils ont été classés en susceptibilité moyenne dans les deux départements. Le niveau d'aléa final a été conditionné par la sinistralité, classé en faible dans la Drôme et non significative en Isère.

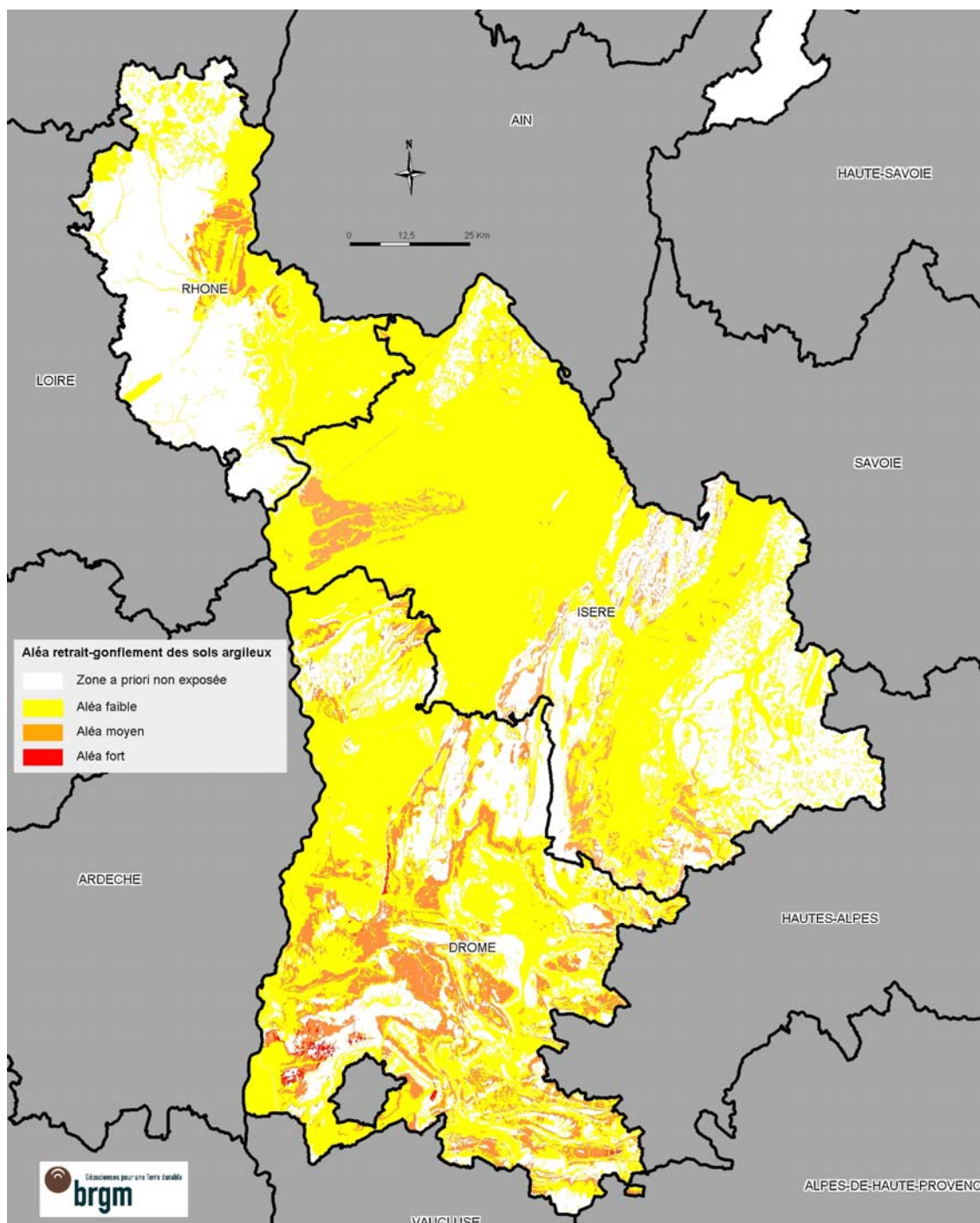


Illustration 55 – Juxtaposition des cartes d'aléa limitrophes à l'Isère

Discontinuité dans la limite des formations argileuses

- La formation des *Calcaires argileux et marnes du Barrémien* classée en aléa faible dans la Drôme n'a pas été considérée comme argileuse au niveau de la partie septentrionale du plateau de Glandasse en Isère. D'après la description de la notice géologique au 1/50 000 de la carte 844, cette formation noté n4a2B, correspond à des calcaires bioclastiques lités ou massifs du Barrémien inférieur.

Formation argileuse modifiée

- Une partie de la formation des *Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène* a été supprimée en Isère, en raison d'une présence d'argile trop infime pour pouvoir occasionner des phénomènes de retrait-gonflement des sols. Cette évolution du facies vers le sud de la formation du Miocène a été révélée par l'analyse d'une discontinuité au niveau des limites des formations argileuses de la Drome (aléa nul) et de l'Isère (aléa faible). La valorisation des données BSS et des essais géotechnique a permis de valider la suppression. Ce secteur concerne la formation m2bs issue de la feuille de Romans-sur-Isère (795), décrite comme des sables, marnes et conglomérats molassiques de l'Helvétien supérieur à Tortonien supérieur à faciès sableux dominant.

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 de l'Isère. La démarche retenue est fondée essentiellement sur une interprétation de la carte géologique 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 la Mer (MEEDM) 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 plus de soixante départements. D'autres études départementales sont en cours de réalisation, le programme devant à terme couvrir 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 à l'échelle 1/50 000 et d'observations bibliographiques existantes. La carte synthétique recense en définitive 23 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 smectite, vermiculite 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 du recensement des sinistres, en calculant pour chaque formation une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement bâtie, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre elles. Au total, 102 sinistres répartis dans 35 communes du département ont ainsi été recensés et localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

En appliquant au département de l'Isère la méthodologie mise au point au niveau national, aucune formation ici identifiée comme argileuse n'a été classée en aléa fort. Seuls deux niveaux d'aléa (moyen et faible) ont donc été distingués afin de caractériser les formations argileuses ou marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur une superficie départementale totale de 7 882 km²,

- 5,8 % a été classé en aléa moyen ;
- 66,6 % a été considéré en aléa faible ;
- 27,6 % correspondent 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 l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses mais présentant des lentilles argileuses ou à l'altération localisée de formations carbonatées. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département de l'Isère, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous forme de planche hors-texte à l'échelle 1/150 000, 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 (PPRN), 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

ASTM D 4546 - 90 (1995) - One-dimensional swell or settlement potential of cohesive soils, vol. 4.08, pp. 693–699

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

DIREN (1999) – Synthèse hydrogéologique départementale. Département de l'Isère. *DIREN*, 5 fascicules

Chiron J.C., Kerrien Y. (1979) – Notice explicative, Carte géol. France (1/250 000), Feuille Lyon (29), *Ed. BRGM*

Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., avec la collab. de **Ducieux 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., Ducieux 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.

Coussot P. (1993) - Rhéologie des boues et laves torrentielles - étude de dispersions et suspensions concentrées. *CEMAGREF*

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 Seine-Saint-Denis. BRGM/RP-51198-FR, 125 p., 7 fig., 13 tabl., 2 ann., 5 pl. h.-t.

Donsimoni M. (2008) – Carte géologique harmonisée du département de l'Isère. Notice technique. BRGM/RP-5624-FR, 401 p., 4 fig., 3 tab. 1 ann., 3 pl. h.-t.

Habib P. (1992) – Les sécheresses de 1989 et 1990. *Rev. Fr. Géotech.*, 58, p. 7-30

Marçot N., Gonzalez G., Fournel S., Simplet L. (2004) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse. *Rapport BRGM/RP-53187-FR*, 221 p., 49 ill., 7 ann., 4 pl. h.-t.

Marçot N., Gonzalez G. avec la collaboration de **Belotti A. et Ducreux G.-H** (2006) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Alpes-de-Haute-Provence. *Rapport BRGM/RP-54213-FR*, 203 p., 45 ill., 6 ann., 3 pl. h.-t.

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/RP-50376-FR*, 273 p., 32 fig., 11 tabl., 6 ann., 3 cartes h.-t.

Renault O. avec la collaboration de **Brouard T., Doucet M., Gonzalez G., Saint Martin M.** (2008) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de la Drôme. *Rapport BRGM/RP-56648-FR*, 93 p., 23 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

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.

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., 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 R 39967*, 89 p.

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) - Étude des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti – rapport final. *Rapport BRGM/RP-54862-FR*, 378 p., 308 ill.

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., 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

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.

Audiguier M., Geremew Z., Laribi S., Cojean R. (2007) – Caractérisation au laboratoire de la sensibilité au retrait-gonflement des sols argileux. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 67-82

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, pp. 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

Bigot G. et Zerhouni M. (2000) – Retrait, gonflement et tassement des sols fins. *Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées*, n° 229, pp. 105-114

Bordes M., Després R. (2008) – Exemples concrets et illustrés des effets des périodes de sécheresse prolongée sur des constructions situées sur des sols argileux à fort aléa. *Symposium international Sécheresse et Construction, Marne-la-Vallée, 1-3 sept. 2008, éd. du LCPC, Paris*, pp. 367-375

Bozozuk M. (1962) – Soil shrinkage damages shallow foundations at Ottawa, Canada. *Division of Building Research NRCC Canada*, Research paper 63

Bréda N., Granier A., Aussenac G. (2004) – La sécheresse de 2003 dans le contexte climatique des 54 dernières années : analyse écophysiological et influence sur les arbres forestiers. *Rev. For. LVI, février 2004*, pp. 109-131

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

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
- Dumas P., Chavarot A., Legrand H., Macaire A., Dimitrov C., Martin X., Queffelec C.** (2005) : Rapport particulier sur les risques de subsidence dus à la sécheresse – Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. *Inspection générale des Finances* n° 2005-M-020-07, *Conseil général des Ponts et Chaussées* n° 2004-0304-01, *Inspection générale de l'Environnement* n° IGE/05/006
- Filliat G.** (1981) – La pratique des sols et fondations – Éditions du Moniteur. N°/ISBN : 2-86282-162-4
- Fityus SG., Smith DW., Allman MA.** (2004) - An expansive soil test site near Newcastle. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(7), pp. 686-695
- Flavigny E.** (1992) – Discussion de l'article « Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». *Rev. Fr. Géotech.*, n° 57, 59, pp. 75-78
- Gillot J.S.** (1987) – Clay in engineering geology. *In Elsevier (Éd.): Developments in Geological Engineering*, 41, 469 p.
- Gouvenot D., Modaresi A.** (2007) – L'état de sécheresse exceptionnelle et ses conséquences sur l'habitat. *Experts*, n° 75, juin 2007, pp. 54-58
- 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, 136 p.
- 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
- Jacquard C.** (2007) – Pathologie des fondations superficielles sur sols argileux. Retour d'expérience en Midi-Pyrénées. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 155-164
- 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, pp. 29-41

- Madsen M.T., Müller-Vonmoos M.** (1989). The swelling behaviour of clays. *In Elsevier (Éd.) : Applied Clay Science*, 4, pp. 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, pp. 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, pp. 93-104
- Mantho A.T.** (2005) – Échanges sol – atmosphère : application à la sécheresse. *Thèse de doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées*, 250 p.
- 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, pp. 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.
- Philipponat G.** (1978) – Désordres dus à la présence de sols gonflants dans la région parisienne. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 364, p. 1-15
- Philipponat G.** (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Rev. Fr. Géotech.*, 57, pp. 5-22

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

Plat E., Vincent M., Le Roy S., Fleureau J.-M., Masrouri F., Pantet A. (2008) – Suivi expérimental des profils hydriques et des déformations dans deux sols argileux sujets au retrait-gonflement. *Symposium international Sécheresse et Construction, Marne-la-Vallée, 1-3 sept. 2008, éd. du LCPC, Paris*, pp. 195-201

Plat E., Le Roy S., Vincent M. avec la collab. de **Sulcas E., Lecat L., Hemmati S., Surdyk N., Dubus I.** (2008) – Suivi de l'évolution en profondeur de la dessiccation des sols argileux en période de déficit hydrique. Rapport final de phase 3. Rapport BRGM/RP-56886-FR, 111 p., 98 ill.

Richards B.G., Peter P., Emerson W.W. (1983) – The effects of vegetation on the swelling and shrinking of soils in Australia. *Geotechnique. Vol. XXXIII*, pp. 127-139

Robinet J.C., Pakzad M., Plas F. (1994) – Un modèle rhéologique pour les argiles gonflantes. *Rev. Fr. Géotech.*, 67, pp. 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, pp. 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, pp. 65-85

Skempton A.W. (1954) – A foundation failure due to clay shrinkage caused by poplar trees. *Proc. Instn. Civ. Engrs. Part I*, 3, Jan., pp. 66-83

de Solère H. (2007) – Retour d'expérience de la sécheresse 2003. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 21-26

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

Tessier D., Blaise F., Coquet Y., Courbet C., Priem J., Lemaire Y., Trillaud, S. (2006) – Analyse comparative de politiques de prévention du risque de « sécheresse géotechnique » - Modélisation et visualisation du phénomène. Rapport final. *INRA, Unité de Sciences du Sol, Versailles*, 288 p.

Tessier D., Coquet Y., Lefèvre Y., Bréda N. (2007) – Rôle de la végétation dans les processus de propagation de la sécheresse dans les sols argileux. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 21-26

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, pp. 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) – 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, ppp. 511-516

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

Cartes géologiques à 1/50 000

N° de la carte d'après le tableau d'assemblage de la France	Nom de la carte géologique à 1/50 000	Dates des levés et tracés géologiques	Date de publication de la carte	N° d'édition	Auteurs
699	MONTLUEL	1960 - 1975	1978	1ère	David L., Mongereau N., Walter B., Enay R., Mangold C.
700	BELLEY	1953 - 1985	1990	1ère	Kerrien Y., Monjuvent G., Gaillard C., et al.
722	GIVORS	1952 - 1967	1968	1ère	Peterlongo J., Chenevoy M., de Montjamont M. (coord.), David L., Muller N.
723	BOURGOIN-JALLIEU	1975 - 1980	1986	1ère	Boissier J., David L., Mongereau N. (coord.), et al.
724	LA TOUR-DU-PIN	1969 - 1973	1976	1ère	Enay R., Pierre G., Rampoux J.P., Gigout M. (coord.)
746	VIENNE	1964 - 1968	1970	1ère	Chenevoy M., de Montjamont M., Mongereau N., Walter B., David L. (coord.)
747	LA COTE-SAINT-ANDRE	1972 - 1975	1980	1ère	Monjuvent G., Fournier D.
748	VOIRON	1967 - 1969	1970	1ère	Bravard C., Gidon M. (coord.), Steinfatt E., Graverot R.
749	MONTMELIAN	1963 - 1967	1969	1ère	Gidon M., Barfáty J.C.
750	LA ROCHETTE	1940 - 1978	1983	1ère	Antoine P., Barbier R., Barfáty J.C., et al.
770	SERRIERES	1964 - 1972	1976	1ère	Chenevoy M., Lorenchet de Montjamont M., Mongereau N., et al.
771	BEAUREPAIRE	1972 - 1973	1976	1ère	Fournier D., Monjuvent G.
772	GRENOBLE	1973 - 1974	1978	2ème	Arnaud H., Bravard Y., Fournier D. Gidon M., Monjuvent G.
773	DOMENE	? - ?	2000	2ème	Barfáty J.C., Ménot R.P., Gidon M., Debon F., Fourneaux J.C.
774	SAINT-JEAN-DE-MAURIENNE	1938 - 1973	1977	1ère	Barbier R., Barfáty J.C., Bordet P., et al.
795	ROMANS-SUR-ISERE	1969 - 1972	1975	1ère	Monjuvent G., Arnaud H., Arnaud-Vanneau A.
796	VIF	? - ?	1967	1ère	Barfáty J.C., Antoine P., Giorod J.P., et al. ; Debelmas J. (coord.)
797	VIZILLE	1955 - 1968	1972	1ère	Barfáty J.C. (coord.), Bordet P., Bornuat M., et al.
798	LA GRAVE	1950 - 1970	1976	1ère	Barbier R., Barfáty J.C., Bordet P., et al.
820	LA CHAPELLE-EN-VERCORS	1954 - 1966	1967	1ère	Arnaud H., Audebaud E., Sarrot Reynault J., Monjuvent G., Debelmas J. (coord.)
821	LA MURE	1945 - 1982	1989	1ère	Barfáty J.C. (coord.), Aprahamian J., Debelmas J., et al.
822	SAINT-CHRISTOPHE-EN-OISANS	1945 - 1976	1984	1ère	Barfáty J.C., Debelmas J., Gidon P., et al.
844	MENS	1966 - 1971	1974	1ère	Monjuvent G., Arnaud H., Gonnard R.
845	SAINT-BONNET	1974 - 1977	1980	1ère	Arnaud H., Gidon M. (coord.), Buffet G., et al.

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.prim.net> : site internet du le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, sur la prévention des risques majeurs, affichant les risques naturels et technologiques ainsi que les reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle

Sites internet utilisés pour la localisation des sinistres :

- <http://www.cadastre.gouv.fr>;
- <http://www.pagesjaunes.fr>;
- <http://www.mappy.fr>;
- <http://www.maporama.fr>;
- <http://www.claritas.fr>.

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

Bilan des sinistres localisés et formations géologiques concernées

- Nombre de sinistres localisés par commune
- Liste des sinistres localisés et formations géologiques concernées

Nombre de sinistres localisés par commune

Code INSEE	Commune	Nombre de sinistres localisés	Superficie (Km ²)
38022	LES AVENIERES	1	2995
38034	BEAUREPAIRE	1	1846
38037	BELLEGARDE-POUSSIEU	7	1679
38059	BRIE-ET-ANGONNES	1	970
38077	LA CHAPELLE-DE-SURIEU	3	1122
38085	CHARVIEU-CHAVAGNEUX	2	865
38090	CHATEAU-BERNARD	4	1827
38114	CLONAS-SUR-VAREZE	1	683
38126	CORENC	11	650
38128	CORPS	1	1122
38149	DOMARIN	1	299
38187	LE GUA	1	2848
38225	MEAUDRE	2	3387
38229	MEYLAN	12	1232
38235	MIRIBEL-LANCHATRE	1	965
38238	MOIDIEU-DETOURBE	1	1804
38245	MONTAGNE	1	878
38259	MONTSEVEROUX	7	1648
38265	LA MOTTE-D'AVEILLANS	3	978
38275	SERRE-NERPOL	2	1316
38298	LE PEAGE-DE-ROUSSILLON	1	741
38307	PISIEU	1	1876
38316	PONT-DE-CHERUY	1	251
38319	PONT-EN-ROYANS	6	290
38368	SAINT-BLAISE-DU-BUIS	1	544
38374	SAINT-CHEF	1	2716
38382	SAINT-EGREVE	2	1088
38387	SAINT-GEOIRS	2	693
38421	SAINT-MARTIN-D'HERES	2	926
38425	SAINT-MAURICE-L'EXIL	1	1282
38431	SAINT-NAZAIRE-LES-EYMES	1	849
38439	SAINT-PIERRE-D'ALLEVARD	4	2709
38486	SEYSSINS	1	800
38499	SUSVILLE	5	991
38536	VERNIOZ	10	1132

Liste des sinistres localisés

Commune	X_L2E (m)	Y_L2E (m)	Formation argileuse	Date des premiers désordres
BEAUREPAIRE	811 638	2 042 610	OEx	2003
BELLEGARDE-POUSSIEU	803 945	2 044 275	m2-5	
	804 817	2 045 525	P2	
	804 827	2 045 097	P2	
	804 991	2 045 610	P2	
	805 215	2 042 833	OEx	
	805 258	2 045 400	P2	
	805 539	2 046 756	OEx	
BRIE-ET-ANGONNES	870 218	2 020 365	Fgy	
CHARVIEU-CHAVAGNEUX	819 404	2 087 318	Gy	
	819 493	2 087 324	Gy	
CHATEAU-BERNARD	853 879	2 001 647	Gy	2005
	855 878	2 002 998	C-E	2003
	856 647	2 003 981	C-E	2004
	856 722	2 004 018	nCA	2003
CLONAS-SUR-VAREZE	791 911	2 048 409	Gy	2004
CORENC	868 343	2 030 136	Gy	2003
	868 503	2 029 554	Gy	2003
	868 525	2 028 874	Fgy	2003
	868 548	2 029 356	Fgy	2003
	868 644	2 029 437	Fz	2003
	868 743	2 030 427	Gy	2003
	868 856	2 029 890	j3-5	2005
	868 865	2 029 047	Fgy	2003
	869 111	2 030 147	j3-5	2003
	869 162	2 029 295	Fz	2003
	869 618	2 030 320	j3-5	2003
CORPS	882 975	1 987 093	Lz	2001
DOMARIN	827 170	2 069 286	Fgy	
LA CHAPELLE-DE-SURIEU	801 103	2 047 074	P2	
	801 153	2 047 224	P2	2004
	801 837	2 045 915	P2	2004
LA MOTTE-D'AVEILLANS	868 847	2 001 889	Gy	2003
	868 925	2 001 403	Gy	1995
	869 008	2 001 437	Gy	1990
LE GUA	860 639	2 006 414	j3-5	
LE PEAGE-DE-ROUSSILLON	792 835	2 045 709	Gy	2003
LES AVENIERES	851 487	2 075 688	Gy	2004
MEAUDRE	850 527	2 022 419	Fz	
	851 085	2 019 274	m2-5	
MEYLAN	868 506	2 028 666	Fgy	
	870 893	2 028 935	Fz	
	871 037	2 028 953	Fz	
	871 132	2 029 314	Fz	
	871 147	2 029 046	Fz	
	871 169	2 029 197	Fz	
	871 173	2 029 943	Fz	
	871 192	2 029 016	Fz	
	871 299	2 029 120	Fz	
	871 343	2 029 574	Fz	
	871 648	2 030 231	Fz	

Commune	X_L2E (m)	Y_L2E (m)	Formation argileuse	Date des premiers désordres
MEYLAN	871 687	2 029 006	Fz	
MIRIBEL-LANCHATRE	858 883	2 002 252	Gy	1998
MOIDIEU-DETOURBE	809 344	2 060 025	Fgy	2003
MONTAGNE	824 826	2 020 600	m2-5	
MONTSEVEROUX	804 638	2 048 541	P2	2003
	805 946	2 049 760	P2	2003
	806 640	2 053 570	P2	2003
	806 804	2 050 322	OEx	2003
	806 918	2 052 503	P2	2003
	807 726	2 051 145	P2	2003
	807 791	2 050 991	P2	2003
PISIEU	814 499	2 044 002	Fgy	2003
PONT-DE-CHERUY	820 650	2 087 247	Fgy	2004
PONT-EN-ROYANS	836 581	2 011 648	m2-5	
	836 640	2 011 532	m2-5	
	836 699	2 011 476	m2-5	
	836 815	2 011 684	e-g	
	836 838	2 011 701	e-g	
	836 861	2 011 667	NA	
SAINT-BLAISE-DU-BUIS	849 103	2 046 791	Gy	2008
SAINT-CHEF	838 102	2 076 295	Fgy	2003
SAINT-EGREVE	862 612	2 031 047	Fz	2006
	862 924	2 030 388	Fz	2006
SAINT-GEOIRS	835 301	2 039 719	m2-5	2004
	838 486	2 036 980	m2-5	
SAINT-MARTIN-D'HERES	868 765	2 025 811	Fz	
	869 130	2 025 961	Fz	2003
SAINT-MAURICE-L'EXIL	792 672	2 045 647	Gy	2003
SAINT-NAZAIRE-LES-EYMES	875 993	2 034 028	Lz	2003
SAINT-PIERRE-D'ALLEVARD	890 400	2 048 506	Fgy	2007
	890 420	2 047 877	Fgy	2003
	890 747	2 048 373	Fgy	1995
	891 179	2 049 446	Fgy	2004
SERRE-NERPOL	838 159	2 033 304	Fgy	2003
	838 332	2 034 368	m2-5	2003
SEYSSINS	862 523	2 022 676	Fz	
SUSVILLE	870 979	1 998 445	Gy	2005
	871 858	1 996 671	J1-7	2004
	871 881	1 996 640	Fz	2004
	871 895	1 996 683	J1-7	2004
	872 118	1 997 108	Gy	2004
VERNIOZ	798 939	2 050 297	OEx	2003
	799 222	2 050 853	P2	2003
	799 259	2 050 552	OEx	2003
	799 319	2 050 882	P2	2003
	799 366	2 051 206	P2	2003
	799 412	2 051 253	P2	2003
	799 595	2 050 719	P2	2003
	801 262	2 051 280	P2	2003
	801 945	2 051 099	P2	2003
	802 039	2 050 998	P2	2003

Annexe 3

Liste et coordonnées des bureaux d'étude et entreprises ayant fourni des données géotechniques

Coordonnées des bureaux d'études et organismes ayant fourni des rapports :

Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement (C.E.T.E) (administrations des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer) :

25, avenue François Mitterrand
69 500 Bron
Tel : 04 72 14 30 30
Fax : 04 72 14 30 35

Hydrogéotechnique (Bureau d'étude géotechnique) :

Z.I. Les Grands Crêts
6, Rue G. Monge
38 550 Saint-Maurice-l'Exil
Tél. : 04 74 85 67 67
Fax. : 04 74 85 53 45

2402, avenue du Général de Gaulle
38130 Échirolles
Tel : 04 76 22 38 29
Fax : 04 76 22 07 11

Fondasol (Bureau d'étude géotechnique) :

58, chemin des Bruyères
69150 Décines Charpieu
Tel : 04 72 37 68 88
Fax : 04 72 37 68 52

50, espace les 3 fontaines
38140 Rives
Tel : 04 38 02 94 99
Fax : 04 76 65 37 11

S.A.G.E (Bureau d'étude géotechnique) :

2, rue Condamine
38610 Gières
Tel : 04 76 44 75 72
Fax : 04 76 44 20 18

Réseau Ferré de France (Propriétaire et gestionnaire du réseau ferroviaire français) :

78, rue de la Villette
69 425 Lyon CEDEX 03
Tél. : 04 72 84 65 70

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique :

USG

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

Annexe 4

Résultats des analyses en laboratoire réalisés au cours de cette étude

- Coordonnées des 23 échantillons prélevés (projection Lambert II étendu, en m)
- Résultats d'analyses minéralogiques
- Mesures de valeur au bleu de méthylène

Coordonnées des 23 échantillons prélevés

Sondages	Notations	Formations	X_L2E (m)	Y_L2E (m)
ST 01	p1	Argiles bleues du Pliocène inférieur marin	794 142	2 043 941
ST 02	Gy	Moraines	796 293	2 042 095
ST 03	P2	Formations argilo-caillouteuses du Pliocène	797 965	2 041 573
ST 04	OEx	Loss, lehm et limons	801 774	2 040 836
ST 05	C-E	Colluvions et éboulis	813 090	2 046 026
ST 06	Fgy	Alluvions fluviatiles et torrentielles glaciaires ou fluvio-glaciaires	821 723	2 040 325
ST 07	Rs	Argiles résiduelles d'altération	828 220	2 037 537
ST 08	m2-5	Sables molassiques marneux et conglomérats du Miocène	838 953	2 033 234
ST 09	e-g	Argiles et marnes rouges de l'Éocène - Oligocène	844 940	2 030 217
ST 10	nCA	Calcaires argileux du Crétacé inférieur	847 648	2 027 762
ST 11	n6G	Grès et sables verts glauconieux de l'Albien	852 117	2 013 686
ST 12	j1	Argilites brunes à nodules siliceux et pyriteux de l'Aalénien	889 926	2 046 803
ST 13	J2	Formation de Bramefarine (Bajocien)	884 778	2 041 268
ST 14	r	Conglomérats, grès et pélites violettes ou vertes du Permien	888 972	2 039 434
ST 15	n1-6	Marnes du Crétacé inférieur	866 402	2 031 432
ST 16	C1-6	Calcaires marneux et crayeux du Crétacé supérieur	855 858	2 025 528
ST 17	Fz	Alluvions fluviatiles et torrentielles post-glaciaires	863 200	2 030 400
ST 18	j3-5	"Terres noires" du Callovien - Oxfordien	861 652	2 007 348
ST 19	J1-7	Calcaires marneux et marno-calcaires du Malm et du Dogger	862 364	2 007 329
ST 20	t	Argilites, dolomies, cargneules, gypse et anhydrite du Trias	870 891	2 009 227
ST 21	lsa	Schistes et calcaires argileux du Lias	869 343	2 009 038
ST 22	l1-4	Marnes noires et marno-calcaires du Lias	876 783	1 998 448
ST 23	Lz	Alluvions lacustres et tourbeuses	877 948	1 990 680

Analyses minéralogiques

Prélèvements :

23 prélèvements ont été réalisés jusqu'à 1,1 m de profondeur à la tarière à main.

Analyse effectuée par :

Université Lille 1
Laboratoire Géosystèmes
UMR 8157 CNRS
59655 Villeneuve d'Ascq cedex (France)

Méthode utilisée :

La détermination, qualitative et semi-quantitative, de la fraction argileuse < 2 mm est basée sur l'utilisation de la diffraction des rayons X.

1. Principe

Le principe est basé sur la diffraction d'un faisceau incident sur une structure cristalline selon la loi de Bragg : $l = 2d \sin\theta$ où l correspond à la longueur d'onde du faisceau incident, d représente la distance inter-réticulaire du réseau cristallin analysé et θ l'angle d'incidence du faisceau. En faisant tourner selon un angle θ l'échantillon autour d'un axe perpendiculaire au faisceau incident, il est possible de déterminer les distances d (001) caractéristiques des différents minéraux argileux (Holtzappel, 1985).

2. Appareillage

L'analyse a été réalisée à l'aide d'un diffractomètre Philips de type PW 1730, muni d'une anticathode de cuivre. Les modalités expérimentales nécessitent une tension de 40 kV, une intensité de 25mA. Le balayage angulaire s'étend de 2,49 à 32,5 °2 θ pour une sensibilité réglée à 1000 coups par seconde.

3. Préparation des échantillons

La technique de préparation est décrite en détail par Holtzappel (1985). Les échantillons sont mis à déliter dans de l'eau distillée. Ils sont ensuite décarbonatés par un traitement à l'acide chlorhydrique dilué à N/5. L'excès d'acide est éliminé par rinçages successifs à l'eau distillée jusqu'à défloculation du matériel. Les suspensions obtenues sont placées en piluliers. Les micro-agrégats sont éliminés par utilisation d'un

micro-homogénéisateur. La séparation de la fraction granulométrique inférieure à 2 mm s'effectue en prélevant, à l'aide d'une seringue, la partie supérieure de la suspension (1,5 cm) après décantation pendant 1 h 15 min. Ces paramètres sont calculés d'après la loi de Stokes : $t = 190 \times \frac{X}{d^2}$ où t représente le temps de décantation, d le diamètre moyen des particules et X la profondeur de chute des particules de diamètre d. La fraction ainsi prélevée est centrifugée à 3500 tours/min. pendant 45 min, le culot obtenu est étalé à l'aide d'une lamelle sur une lame de verre rainurée afin d'orienter les minéraux argileux selon le plan (001).

L'analyse diffractométrique est réalisée sur trois préparations : (1) essai Naturel : échantillon séché à l'air libre, (2) essai Glycolé : échantillon saturé à l'éthylène-glycol pendant 12 heures sous vide afin de provoquer le gonflement de certains minéraux argileux, (3) essai Chauffé : échantillon chauffé à 490°C pendant 2 heures afin de provoquer la destruction de la kaolinite et la déshydratation des minéraux smectitiques (Holtzappfel, 1985).

4. Analyse semi-quantitative

L'identification des minéraux argileux est réalisée en confrontant la position des raies principales et des harmoniques sur les trois essais réalisés (Brindley & Brown, 1980). L'analyse semi-quantitative (Biscaye, 1965 ; Holtzappfel, 1985) est basée sur l'intégration du signal des pics principaux ($I/I_0 = 100$) caractéristiques de chacun des minéraux argileux en présence à l'aide du logiciel MacDiff (Petschick, 2000). Les minéraux smectitiques sont caractérisés par un pic à 14Å sur l'essai naturel, qui gonfle à 17Å lors de l'essai glycolé et se rétracte à 10Å pour l'essai chauffé. L'illite est caractérisée par un pic basal à 10Å pour les trois essais (naturel, glycolé et chauffé). La chlorite est déterminée par la présence de 4 pics situés à 14Å, 7.1Å, 4.75Å et 3.54Å sur les trois essais. La kaolinite est caractérisée par deux pics à 7.2Å et 3.58Å sur les essais naturel et glycolé, qui disparaissent au chauffage. La sépiolite est mise en évidence par un pic à 12.3Å sur les essais naturel et glycolé.

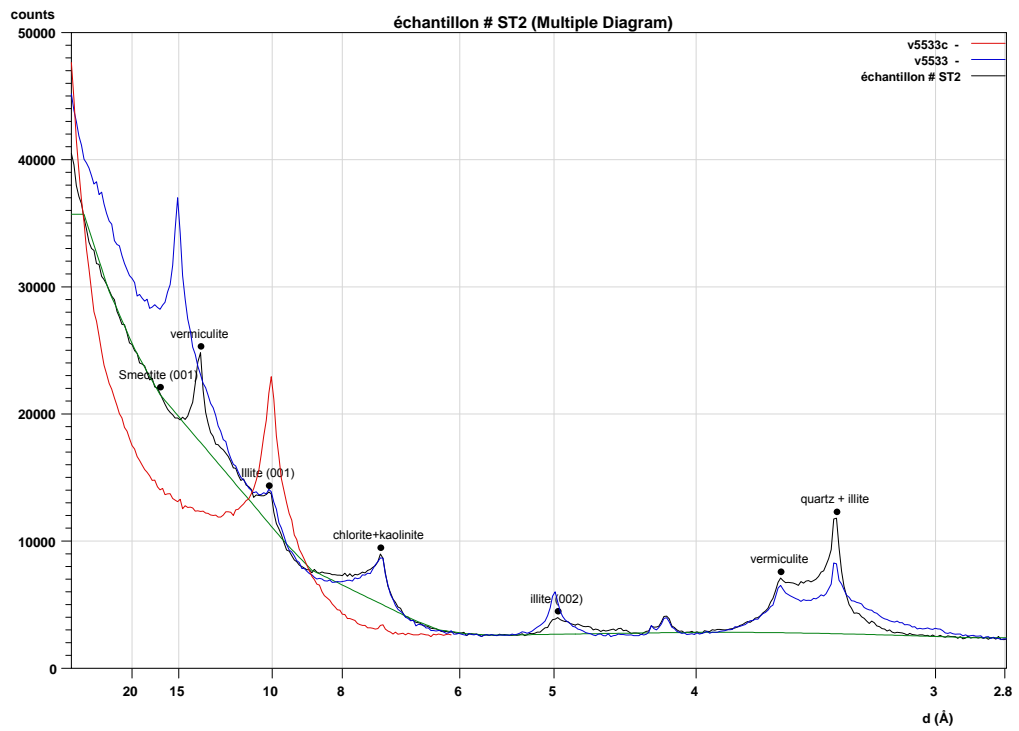
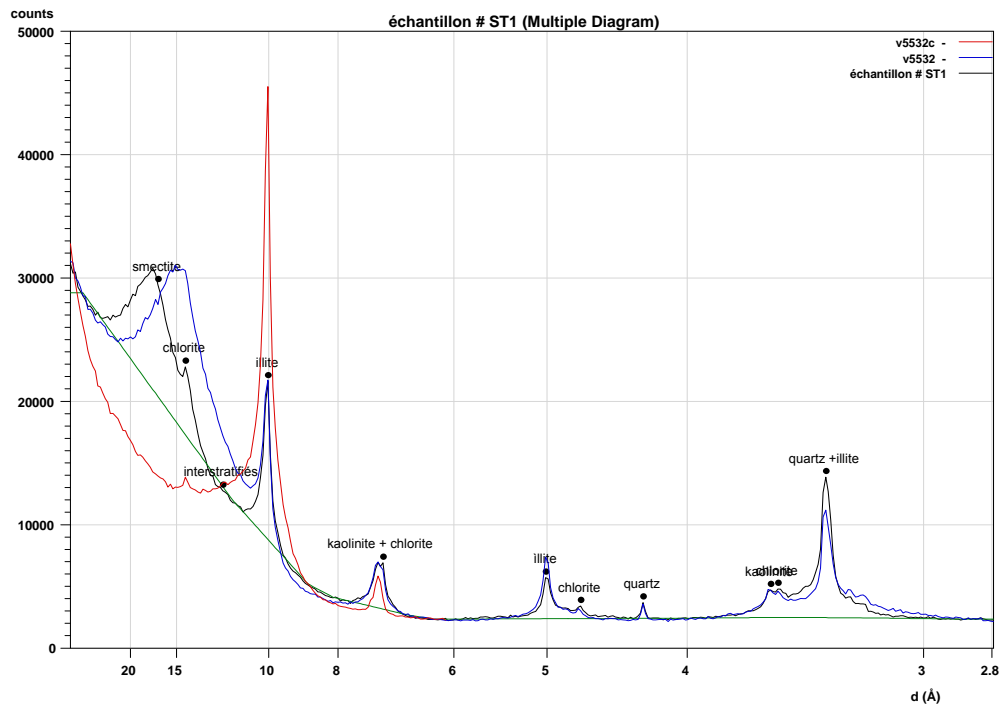
La reproductibilité de l'analyse, basée sur 3 mesures par diffraction des rayons X à partir de 5 aliquotes d'une même préparation, est de 5% (Bout-Roumazelles, 1995).

Numéro	Description de la carte géologique au 1/50 000	Minéraux gonflants % (smectite + interstratifiés illite-smectite + vermiculite)	Illite %	Interstratifiés non-gonflants	Chlorite %	Kaolinite %	Minéraux accessoires
ST01	Argiles bleues (Pliocène marin)	69% (69+0)	19%	-	10%	2%	Quartz traces
ST02	Moraines	40% (10+0+30)	25%	-	5%	30%	Quartz traces
ST03	Formation argilo-caillouteuse de Chambaran-Bonnevaux	94% (74+0+20)	2%	-	2%	2%	
ST04	Loess würmien	5% (5+0)	45%	25% (I-C*)	13%	12%	Quartz
ST05	Post-Würm (Holocène)	13% (3+10)	35%	30% (12% I-C* + 18% I-V**)	10%	12%	Quartz
ST06	Alluvions fluvio-glaciaires de la Briève	0% (0+0)	41%	10% (I-C*)	19%	30%	Quartz
ST07	Formations résiduelles de Chambaran	0% (0+0)	15%	33% (I-C*)	33%	19%	Quartz
ST08	Molasse caillouteuse	77% (77+0)	18%	-	4%	1%	Quartz
ST09	Marnes et calcaires lacustres (Oligocène)	83% (83+0)	12%	-	2%	3%	Quartz traces
ST10	Marno-calcaires (Hauterivien supérieur)	94% (94+0)	6%	-	-	-	
ST11	Sables et grès glauconieux de l'Albien	64% (52+13)	31%	-	-	5%	Quartz
ST12	Schistes argileux noirs (Aalénien)	16% (0+16)	66%	-	18%	-	Quartz traces
ST13	Formation de Bramefarine (Bajocien)	20% (0+20)	70%	-	10%	-	Quartz

Numéro	Description de la carte géologique au 1/50 000	Minéraux gonflants % (smectite + interstratifiés illite-smectite + vermiculite)	Illite %	Interstratifiés non-gonflants	Chlorite %	Kaolinite %	Minéraux accessoires
ST14	Roches sédimentaires – Houiller et Permien	5% (0+5)	77%	-	15%	3%	Quartz
ST15	Marnes de Narbonne	79% (79+0)	14%	-	-	7%	Quartz traces
ST16	Calcaires argileux (Campanien)	92% (92+0)	6%	-	-	2%	
ST17	Alluvions fluviales et lacustres récentes	2% (2+0)	73%	-	25%	-	Quartz traces
ST18	Oxfordien-Callovien (« terres noires »)	33% (0+33)	50%	15% (I-C*)	1%	1%	Quartz traces
ST19	Calcaires marneux noirs (Jurassique moyen)	0% (0+0)	74%	12% (I-C*)	11%	3%	Quartz
ST20	Cargneules ocre (Trias moyen)	2% (2+0)	61%	16% (I-C*)	18%	3%	Quartz
ST21	Calcaires marneux à belemnites (Lias)	1% (1+0)	72%	3% (I-C*)	19%	5%	Quartz
ST22	Epaisse série de marnes (Domérien)	0% (0+0)	67%	6% (I-C*)	25%	2%	Quartz
ST23	Complexe glacio-lacustre	0% (0+0)	50%	26% (I-C*)	22%	2%	Quartz

Composition minéralogique (en %) de la fraction argileuse inférieure à 2 µm. I-C* = minéraux interstratifiés illite-chlorite non-gonflants, I-V** = minéraux interstratifiés illite-vermiculite non-gonflants.

Exemples de spectres de diffraction brute



Mesures de valeur au bleu de méthylène

Prélèvements :

14 prélèvements ont été réalisés jusqu'à 1,1 m de profondeur à la tarière à main.

Analyse effectuée par :

Hydrogéotechnique
Z.I. Les Grands Crêts
6, Rue G. Monge
38 550 Saint-Maurice-l'Exil

Résultats de laboratoire :

ESSAIS D'IDENTIFICATION		Classification		Teneur en eau	Matière Organique	Valeur au bleu		Densité (T/m^3)		Granulométrie par tamisage								Sédimentométrie	Limites d'Atterberg		
Sondages	Prof (m)	11-300	94-050	W%	MO (%)	VB	VBS	γ_h	γ_d	94-056								94-051	94-060-1		
		GTR								% de passant											
										D_{max} (mm)	50 mm	20 mm	5 mm	2 mm	400 μm	80 μm	2 μm	WL%	IP	WR%	
ST01	1,00			20,9%		0,93	0,92							99							
ST07	0,80			17,9%		1,00	0,98							90							
ST09	1,00			24,5%		2,18	2,06							94							
ST10	1,00			27,1%		4,32	4,32							100							
ST11	1,00			20,0%		1,10	1,10							100							
ST12	1,00			22,2%		0,80	0,74							92							
ST13	0,90			15,0%		0,51	0,45							89							
ST14	0,50			11,2%		0,90	0,87							70							
ST15	1,00			23,8%		3,56	3,51							98							
ST16	0,80			15,2%		2,05	1,74							85							
ST20	1,00			21,9%		1,05	0,99							95							
ST21	1,10			25,2%		0,80	0,68							85							
ST22	0,80			18,7%		0,90	0,84							91							
ST23	1,10			21,9%		1,27	1,27							100							



Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009
45 060 - Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service Risques Naturels et Sécurité du
Stockage du CO₂**

Unité Risques de Mouvements de Terrain et érosion
117, avenue de Luminy - BP 167
13 276 – Marseille Cedex 09 – France
Tél. : 04 91 17 74 74

Service géologique régional Rhône-Alpes

151, boulevard de Stalingrad
69 626 – Villeurbanne Cedex – France
Tél. : 04 72 82 11 50