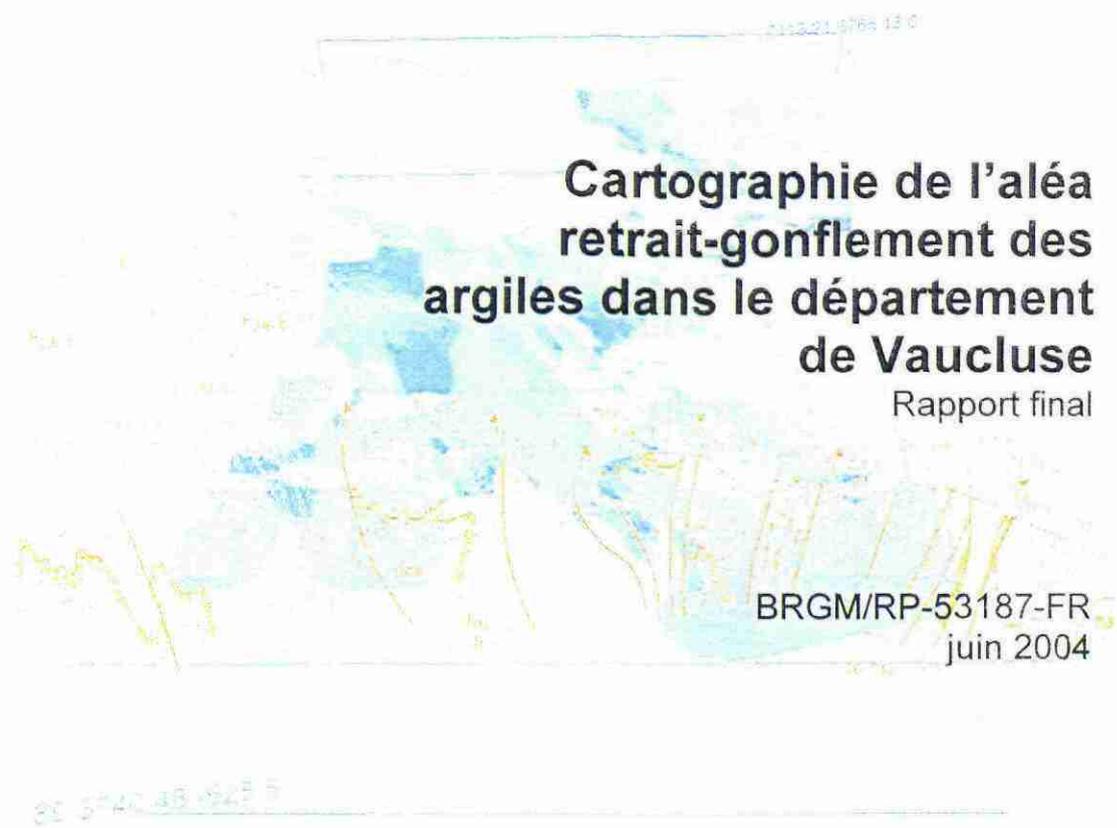




DOUBLE
Document public



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Rapport final

BRGM/RP-53187-FR
juin 2004



Document public



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Rapport final

BRGM/RP-53187-FR
juin 2004

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 02RIS353

N. Marçot, G. Gonzalez
Avec la collaboration de
S. Fournet et L. Simplet



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

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

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 illustrations, 7 annexes et 4 planches hors-texte.

© BRGM, 2004, 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 sont susceptibles de provoquer 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 dernièrement au cours de l'été 2003.

Le Vaucluse fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 941 sinistres déclarés liés à la sécheresse y ont été recensés dans le cadre de la présente étude. 27 communes sur les 151 que compte le département ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 1998, soit un taux de sinistralité de 18 %. Par ailleurs, d'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance, le Vaucluse est situé en 26^{ème} position des départements français en terme de coût total d'indemnisation pour ce phénomène, et en 41^{ème} position en égard au nombre d'occurrences de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (en distinguant par commune et par période).

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, il a été demandé par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le Vaucluse dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement. Réalisée dans le cadre de sa mission de Service Public sur les risques naturels, cette étude s'intègre dans un vaste programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux, qui devrait concerner au total une trentaine de départements parmi les plus touchés par le phénomène.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur, en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM à Marseille. Le financement en a été assuré à hauteur de 50% par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de Vaucluse.

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations argileuses ou marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000. Les formations ainsi identifiées, au nombre de trente, 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 (941 au total) en calculant pour chaque formation sélectionnée une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée, afin de permettre des comparaisons fiables entre les formations.

Sur cette dernière carte, les zones d'affleurement des formations argileuses sont caractérisées par trois niveaux d'aléa (fort, moyen, faible).

Sur l'ensemble du département,

- seulement 1,8 % de la superficie départementale est classée en aléa fort ;
- 15,04 % en aléa moyen ;
- 51,76 % en aléa faible ;
- 29,44 % de la surface correspond à un aléa a priori nul (y compris le réseau hydrographique).

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'altération localisée des calcaires 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 Vaucluse, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l'échelle 1/125 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le point de départ pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique de sol à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans tous les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa fort, 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 sinistre.

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. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE	19
2.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses	19
2.2.2. Caractérisation 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.....	20
2.2.6. Détermination des densités de sinistres	21
2.2.7. Carte d'aléa	21
3. PRÉSENTATION DU DÉPARTEMENT DE VAUCLUSE.....	23
3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE	23
3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE.....	26
3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE REGIONAL	29
3.3.1. Le domaine alluvial.....	29
3.3.2. Le domaine karstique	30
3.3.3. Le domaine des bassins tertiaires et crétacé supérieur	31
3.3.4. Le domaine des systèmes captifs profonds	31
3.3.5. Conséquences sur les problèmes de retrait-gonflement	31
3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE.....	32
3.5. URBANISATION DU DÉPARTEMENT	36
4. IDENTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS GÉOLOGIQUES ARGILEUSES ET MARNEUSES.....	39
4.1. CADRE GÉOLOGIQUE DÉPARTEMENTAL.....	39
4.1.1. Le Couloir rhodanien	39
4.1.2. Le Domaine subalpin.....	40
4.2. OBJECTIFS, DOCUMENTS UTILISÉS ET PROCÉDURES DE RÉALISATION	44
4.2.1. Méthode utilisée	44
4.2.2. Etablissement de la carte des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse	46
4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES OU MARNEUSES	50
4.3.1. Cagneules, dolomies et gypse du Trias (1).....	51
4.3.2. Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur) – (2).....	51
4.3.3. Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur - (3).....	52
4.3.4. Marnes gargasiennes - (4)	53
4.3.5. Grès, sables et marnes de l'Aptien et de l'Albien - (5)	54

4.3.6. Calcaires grès et sables du Cénomaniens et du Turonien - (6)	55
4.3.7. Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, du Paléocène et de l'Éocène - (7)	56
4.3.8. Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien - (8)	57
4.3.9. Argiles, marnes et sables de l'Éocène moyen terminal (Bartonien supérieur) et de l'Éocène supérieur (Ludien) – (9)	58
4.3.10. Sables et argiles verts de Mormoiron – (10)	59
4.3.11. Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien) – (11)	59
4.3.12. Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien) – (12)	60
4.3.13. Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur) – (13)	60
4.3.14. Sables, marnes et calcaires du Stampien - (14)	60
4.3.15. Argiles du Maronnier (Stampien) – (15)	61
4.3.16. Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien) – (16)	62
4.3.17. Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien) – (17)	63
4.3.18. Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien) – (18)	63
4.3.19. Argiles et sables de l'Oligocène supérieur – (19)	65
4.3.20. Marnes sableuse, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien – (20)	66
4.3.21. Marnes bleues du Burdigalien - (21)	67
4.3.22. Sables, marnes et grès du Miocène moyen - (22)	67
4.3.23. Marnes du Tortonien marin - (23)	68
4.3.24. Marnes, sables, molasses sableuses du Tortonien lacustre et marin - (24)	69
4.3.25. Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène - (25)	69
4.3.26. Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal – Pliocène - (26)	70
4.3.27. Marnes bleutées du Plaisancien marin - (27)	71
4.3.28. Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien) – (28)	71
4.3.29. Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire) – (29)	72
4.3.30. Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire) – (30)	73
5. CARACTÉRISATIONS LITHOLOGIQUE, MINÉRALOGIQUE ET GÉOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES OU MARNEUSES ET ÉLABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ	77
5.1. GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉLABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ	77
5.1.1. Critères retenus	77
5.1.2. Méthode de classification	77
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE	78
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème	78
5.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse	79
5.3. CARACTÉRISATION MINÉRALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES	80
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	80
5.3.2. Source des données	81

5.3.3. <i>Caractérisation minéralogique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse</i>	84
5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE	91
5.4.1. <i>Définition du critère géotechnique et barème</i>	91
5.4.2. <i>Source de données</i>	94
5.4.3. <i>Caractérisation géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse</i>	96
5.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ	101
5.5.1. <i>Détermination d'un degré de susceptibilité</i>	101
5.5.2. <i>Susceptibilité des formations argileuses et marneuses</i>	101
5.5.3. <i>Carte de susceptibilité</i>	102
6. INVENTAIRES DES COMMUNES SINISTRÉES ET DES SINISTRES	
SÉCHÈRESSE - DÉTERMINATION DU CRITÈRE DENSITÉ DE SINISTRES	107
6.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE.....	107
6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES	109
6.2.1. <i>Localisation des communes sinistrées</i>	109
6.2.2. <i>Analyse des périodes reconnues en état de catastrophe naturelle</i>	110
6.3. COLLECTES DES DONNÉES DE SINISTRES.....	115
6.4. RÉPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GÉOLOGIQUE ET DENSITÉS DE SINISTRES	120
6.5. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE À LA SURFACE URBANISÉE.....	123
6.5.1. <i>Détermination de la densité de sinistres par formation</i>	124
6.5.2. <i>Détermination du critère densité de sinistres</i>	127
7. ELABORATION DE LA CARTE D'ALÉA.....	129
7.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA	129
7.2. CARTE D'ALÉA	130
7.3. SYNTHÈSE DE L'ALÉA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LE VAUCLUSE	136
8. CONCLUSIONS.....	137

Liste des illustrations

Illustration 1 : Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche .	13
Illustration 2 : Cadre géographique du département de Vaucluse	24
Illustration 3 : Géomorphologie du département de Vaucluse	25
Illustration 4 : Carte du réseau hydrographique et bassins versants dans le département de Vaucluse.....	28
Illustration 5 : Données météorologiques (source Météo France)	34
Illustration 6 : Ecart à la normale sur la ville de Crapentras (d'après Berthelot, Génin et Goudron 2004).....	34
Illustration 7 : Précipitations à Châteauneuf-du-Pape des 8 et 9 septembre 2002 (données Météo-France, cumuls de 06h TU à 06h TU)	35
Illustration 8 : Urbanisation du département de Vaucluse	37
Illustration 9 : Schéma structural de la Provence d'après Gouvernet, Guieu et Rousset (1979)	41
Illustration 10 : Carte géologique synthétique de Vaucluse réalisée à partir des cartes géologiques éditées par le Brgm à l'échelle du 1/50 000, numérisées.....	42
Illustration 11 : Schéma stratigraphique de Vaucluse	43
Illustration 12 : Grille d'assemblage des 15 cartes géologiques éditées par le Brgm, à l'échelle du 1/50 000, couvrant le département de Vaucluse	46
Illustration 13 : Carte synthétique interprétée des formations argileuses ou marneuses sur le département de Vaucluse	49
Illustration 14 : Liste des formations argileuses ou marneuses de Vaucluse	50
Illustration 15 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement	79
Illustration 16 : Note lithologique des formations argileuses et marneuses	80
Illustration 17 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la minéralogie de la phase argileuse de la formation géologique	81
Illustration 18 : Localisation des prélèvements d'argiles effectués dans le cadre de l'étude	83
Illustration 19 : Répartition des données minéralogiques recueillies sur le département de Vaucluse et hors département.....	84
Illustration 20 : Synthèse des données minéralogiques et note minéralogique	90
Illustration 21 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation géologique	92
Illustration 22 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur de bleu de la formation géologique	93
Illustration 23 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation géologique	93
Illustration 24 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation géologique	94
Illustration 25 : Origine des données géotechniques	95
Illustration 26 : Répartitions des mesures utilisées pour la caractérisation des formations argileuses par type d'essai géotechnique	96
Illustration 27 : Tableau représentant une synthèse des nombres de valeurs recensées par formation argileuse et par type d'essai géotechnique	97
Illustration 28 : Synthèse des données géotechniques et note géotechnique	99

Illustration 29: Barème d'évaluation de la susceptibilité globale d'une formation argileuse.....	101
Illustration 30 : Degré de susceptibilité des formations	102
Illustration 31 : Comparaison de la superficie des terrains en fonction de leur susceptibilité.....	103
Illustration 32 : Classement des formations par susceptibilité et surfaces d'affleurement	104
Illustration 33 : Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles	105
Illustration 34 : Carte des communes sinistrées.....	111
Illustration 35 : Périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour chaque commune.....	113
Illustration 36 : Evolution de la sinistralité sur plus de dix ans dans le Vaucluse	114
Illustration 37 : Classement des communes en fonction du nombre de sinistres recueillis	115
Illustration 38 : Nombre de sinistres recensés par commune.....	117
Illustration 39 : Carte de répartition par commune des sinistres recensés	118
Illustration 40 : Liste des 20 communes les plus sinistrées de Vaucluse	119
Illustration 41 : Carte de localisation des sinistres recensés dans le département	121
Illustration 42 : Répartition des sinistres par formation géologique	122
Illustration 43 : Cartographie des zones urbanisées	125
Illustration 44 : Densité de sinistres par formation ramenée à 100 km ² de surface urbanisée et détermination de la note densité de sinistres	126
Illustration 45 : Classement des formations par densité de sinistres ramenée à la surface urbanisée et rappel de la susceptibilité	128
Illustration 46 : Comparaison de la superficie des terrains en fonction de leur niveau d'aléa.....	130
Illustration 47 : Calcul du niveau d'aléa des formations argileuses et marneuses	131
Illustration 48 : Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des argiles	132
Illustration 49 : Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa.....	133

Liste des annexes

Annexe 1 : Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles	145
Annexe 2 : Liste des 27 communes de Vaucluse reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols et dates des périodes de reconnaissance - Etat à fin mai 2004	151
Annexe 3 : Liste des sinistres "sécheresse" recensés dans le cadre de cette étude .	155
Annexe 4 : Répartition de la superficie de chaque commune suivant la classe d'aléa et rappel des données de base de la sinistralité	177
Annexe 5 : Liste et coordonnées des bureaux d'études ayant fourni des données géotechniques	183
Annexe 6 : Résultats des analyses minéralogiques réalisées au cours de cette étude lors des prélèvements sur le terrain	189
Annexe 7 : Résultats des analyses géotechniques réalisées au cours de cette étude lors des prélèvements sur le terrain	217

Liste des cartes hors-texte

Planche 1 : Cartographie synthétique des formations argileuses ou marneuses dans le département de Vaucluse

Planche 2 : Cartographie de la susceptibilité des argiles au retrait-gonflement dans le département de Vaucluse

Planche 3 : Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Planche 4 : Cartographie issue de la carte d'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

1. Introduction

Les phénomènes de retrait-gonflement de certains sols argileux sont susceptibles de provoquer 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, tout dernièrement, au cours de l'été 2003.

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

Sous un climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont souvent déconsolidées, humidifiées et ont 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) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue de façon notable. Dans ce contexte, les sinistres surviennent donc surtout lorsqu'une période de sécheresse intense ou prolongée provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol, soumise à évapotranspiration.

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), près de 5 000 communes françaises, réparties dans 75 départements, ont été reconnues en état de catastrophe naturelle à ce titre. A fin 2002, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France en application de la loi de 1982, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 3,3 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation de catastrophes naturelles derrière les inondations¹.

Dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ce sont surtout les départements des Bouches du Rhône et de Vaucluse qui ont été particulièrement affecté par ce phénomène. Le département de Vaucluse, classé en 26^{ème} position en terme de coûts cumulés d'indemnisation, a une superficie de 3585 km². Il comptait en 1999 une

¹ Source : Caisse Centrale de Réassurance, octobre 2003

population de 500 000 habitants. Au total, à la date du 30 mai 2004, 27 communes sur les 151 que compte le département y ont été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de 1989 à 2000, soit un taux de sinistralité de 18%.

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 et du Développement Durable 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 aux communes (pour l'établissement ultérieur de Plans de Prévention des Risques prenant en compte l'aléa retrait-gonflement), aux particuliers et surtout aux maîtres d'ouvrages 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 le diagnostic des futures déclarations de sinistres.

La présente étude a été réalisée par le Service Géologique Régional Provence-Alpes-Côte d'Azur en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 50% par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) de Vaucluse le 16 septembre 2002.

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la mission de service public du BRGM sur les risques naturels et s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui doit concerner au moins trente-trois départements français parmi les plus touchés par le phénomène.

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.

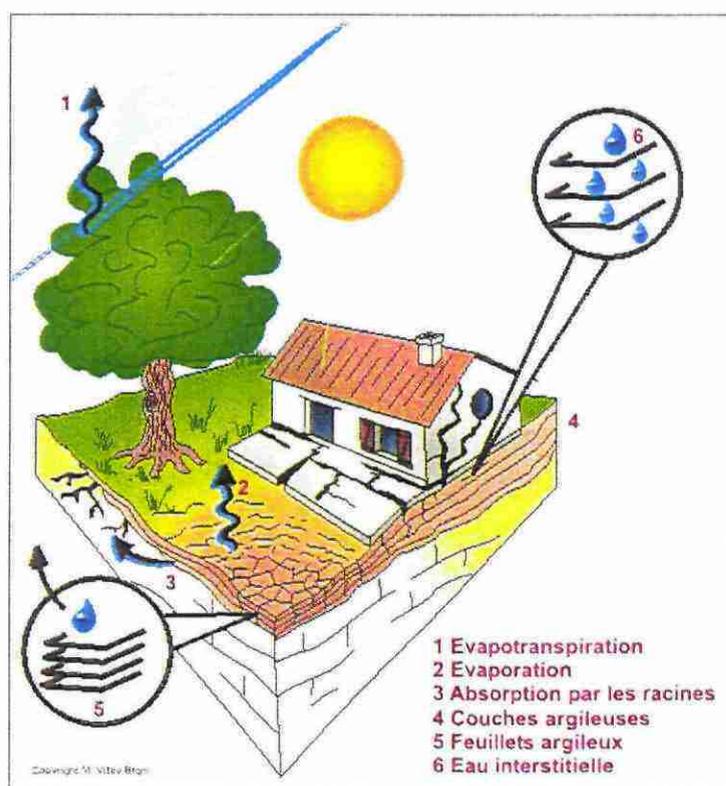


Illustration 1 : Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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 déclenchant permet de déterminer l'occurrence du phénomène (autrement dit l'aléa et non plus seulement la susceptibilité).

2.1.1. Facteurs de prédisposition

2.1.1.1. *Nature du sol*

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

La procédure d'étude de la nature du sol, basée sur l'exploitation des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 éditées par le BRGM, comporte un inventaire des formations affleurantes à sub-affleurantes, à composante argileuse ou 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, dans le département de Vaucluse, 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. De même, des formations essentiellement sableuses peuvent contenir des lentilles argileuses non cartographiées.

Concernant la nature des formations géologiques, les éléments qui influent sur la susceptibilité au retrait-gonflement sont en premier lieu la lithologie de la formation

(c'est-à-dire principalement la proportion de matériau argileux, autrement dit d'éléments fins inférieurs à 2 μm).

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

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

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

2.1.1.2. Contexte hydrogéologique

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

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur permet généralement d'éviter la dessiccation de la tranche superficielle de sol. Inversement, un rabattement

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

2.1.1.3. Géomorphologie

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

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

2.1.1.4. Végétation

Il est avéré que la présence de végétation arborée à proximité d'une maison peut constituer un facteur déclenchant du phénomène de retrait-gonflement, même s'il n'est souvent qu'un facteur aggravant de prédisposition. En effet, les racines soutirent par succion (mécanisme d'osmose) l'eau du sol. Cette succion crée un gradient de la teneur en eau du sol, qui peut se traduire par un tassement localisé du sol autour de l'arbre. Si la distance au bâtiment n'est pas suffisante, cela entraînera des désordres dans les fondations. On considère en général que l'influence d'un arbre adulte se fait sentir jusqu'à une distance égale à une fois ou une fois et demi 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 a besoin de 300 litres d'eau par jour en été (Habib, 1992). En France, les arbres considérés comme les plus dangereux du fait de leur influence sur les phénomènes de retrait seraient les chênes, les peupliers, les saules, les cyprès et les cèdres. Des massifs de buissons ou d'arbustes situés près des façades (et notamment la vigne vierge) peuvent cependant aussi causer des dégâts.

2.1.1.5. Défauts de construction

Ce facteur de prédisposition, dont l'existence peut être révélée à l'occasion d'une sécheresse exceptionnelle, se traduit par la survenance ou l'aggravation des désordres. L'importance de ce facteur avait déjà été mise en évidence par les études menées en 1990 par l'Agence Qualité Construction et en 1991 par le CEBTP, lesquelles montraient que la plupart des sinistres concernaient des maisons individuelles dépourvues de chaînage horizontal et fondées sur semelles continues peu ou non armées et peu profondes (40 à 80 cm).

L'examen de dossiers d'expertises réalisées dans le département de Vaucluse confirme que de nombreuses maisons déclarées sinistrées présentent des défauts de conception ou de réalisation des fondations (souvent trop superficielles, hétérogènes ou fondées dans des niveaux différents) et il est probable que des fondations réalisées dans les règles de l'art auraient pu, dans de tels cas, suffire à limiter fortement, voire à éviter l'apparition de ces désordres. Cependant, l'examen des dossiers de sinistres montre que des constructions fondées sur semelles ancrées à plus de 0,80 m d'épaisseur ont aussi été affectées par le phénomène. Par ailleurs, il est à noter que les désordres ne se limitent pas aux maisons récentes, mais concernent aussi des bâtiments anciens qui semblaient avoir été épargnés jusque là.

2.1.2. Facteurs de déclenchement

2.1.2.1. Phénomènes climatiques

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

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

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

2.1.2.2. Facteurs anthropiques

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

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. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

2.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses

La cartographie des formations argileuses ou marneuses du département a été réalisée à partir des cartes géologiques du BRGM et des coupes de forage de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) complétées et actualisées par quelques données ponctuelles des rapports d'expertise de sinistres. Cette cartographie a été réalisée à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), numérisée, puis synthétisée et présentée sur document papier en planche hors-texte à l'échelle 1/110 000..

Dans une première étape, ont été cartographiées toutes les formations argileuses ou marneuses du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, pour en dresser un inventaire et synthétiser les différentes cartes géologiques prises en compte. En raison du grand nombre de ces formations, ont été réalisés, dans une seconde étape, des regroupements en considérant que des natures lithologiques voisines laissent supposer des comportements semblables vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. La carte d'interprétation réalisée permet d'obtenir une vue plus synthétique du sujet.

2.2.2. Caractérisation minéralogique et géotechnique des formations

La synthèse des notices des cartes géologiques a permis de définir les caractéristiques des formations argileuses et marneuses, et en particulier de répertorier la présence éventuelle d'argiles gonflantes. Ces données ont été complétées par une revue bibliographique. Enfin le traitement synthétique de dossiers d'expertise a permis de caractériser au mieux chacune des formations identifiées en fonction de sa proportion moyenne de minéraux argileux gonflants.

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de données bibliographiques, de nombreux rapports d'expertise, obtenus auprès de bureaux d'étude (FONDASOL, ERG, CETE, JUVENTIN, HYDROSOL), de mutuelles d'assurance ou directement auprès des communes concernées.

Les données disponibles ont été complétées par une campagne spécifique d'échantillonnage et d'analyse afin de permettre une meilleure hiérarchisation des formations sur la base des critères minéralogiques et géotechniques.

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 climatologiques et de la répartition spatiale des déficits pluviométriques n'est pas apparue comme un élément discriminant à l'échelle d'un département comme le Vaucluse. 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, de rapports du BRGM sur la gestion des eaux et de la bibliographie. Le rôle joué par ce facteur dans le déclenchement ou l'aggravation de certains sinistres apparaît plus ou moins à la lecture de certains rapports d'expertises. Ce rôle est cependant difficile à mettre en évidence à une échelle départementale dans la mesure où il 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.

Quant à la géomorphologie, il apparaît également que c'est un élément important qui conditionne la susceptibilité au retrait-gonflement. Ceci est souvent mis en évidence par une concentration de sinistres sur les versants des vallées. Mais l'examen des rapports d'expertise montre que nombre de ces sinistres survenus en zone de pente s'expliquent en réalité par un défaut de conception ou de réalisation des fondations, les phénomènes de retrait-gonflement ne faisant que révéler ces défauts ou aggraver les désordres occasionnés. Pour ces différentes raisons, 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 ou marneuses du département, après évaluation du degré de sensibilité de ces formations. Les critères utilisés pour établir cette hiérarchisation sont pour l'essentiel liés à la caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique de ces formations.

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

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

Pour ce faire, un recensement des sinistres sécheresse a été effectué auprès des 25 communes du département qui ont bénéficié sur une période de dix ans (1989 à 1998) de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols (soit plus de 16,5 % des communes du département). Deux communes supplémentaires ayant fait état d'un arrêté de reconnaissance en 2002 ont aussi été interrogées.

Enfin, suite à l'été caniculaire de l'année 2003, 41 communes ont introduit une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse. Parmi ces 41 communes, 27 communes n'avaient jusqu'alors pas été affectées ou n'avaient pas fait l'objet d'un classement en catastrophe naturelle pour des épisodes de sécheresse précédents, et ont été sollicitées.

2.2.6. Détermination des densités de sinistres

Afin d'obtenir la carte départementale d'aléa retrait-gonflement, il a été nécessaire de déterminer, pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée (par superposition avec la carte des formations argileuses ou marneuses du département). Ceci a permis de déterminer le nombre de sinistres recensés pour chacune des formations géologiques sensibles 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 a paru nécessaire de pondérer ces densités de sinistres en tenant compte du taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux a été calculé après numérisation du contour des zones urbanisées du département (à partir des cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000, ce qui ne représente qu'une approximation de la réalité).

2.2.7. Carte d'aléa

La carte départementale d'aléa a dès lors été établie à partir des contours de la carte d'interprétation des formations argileuses ou marneuses : chacune de ces formations a été caractérisée par une classe d'aléa prenant en compte à la fois son degré de susceptibilité et la densité de sinistres la concernant. Cette carte est également numérisée et a été présentée à l'échelle 1/110 000 (mais son échelle de validité est le 1/50 000).

3. Présentation du département de Vaucluse

Le département de Vaucluse est un département relativement peu étendu (superficie de 3 585 km²). Le Rhône et La Durance correspondent aux limites respectives ouest et sud du département (Illustration 2). Ailleurs, les limites du département sont artificielles ou historiques (canton de Valréas, enclave vauclusienne dans le département voisin de la Drôme).

L'activité agricole, fruitière et maraîchère est essentiellement concentrée dans la grande plaine du Comtat. On y trouve aussi les voies de communication importantes vers l'Espagne, l'Italie et l'Europe du nord (RN7, autoroute A7, chemin de fer, voie navigable, aérodromes), des sols propices à l'agriculture, la présence d'eaux superficielles et souterraines abondantes, des zones industrielles anciennes ou récentes implantées le long de l'axe autoroutier ou à proximité. L'industrie est axée sur l'agro-alimentaire, la papeterie et la transformation de matières minérales extraites du sous-sol du département (argiles, sables siliceux, calcaires, gypse). Enfin, on notera l'importance de la viticulture dans le Nord du département, au pied du mont Ventoux et du massif du Lubéron.

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Le département de Vaucluse est un pays de contraste frappant entre des plaines et des reliefs montagneux environnants (Illustration 3).

• REGION DES PLAINES

Les plaines représentent environ 45% de la superficie totale du département. Elles sont localisées essentiellement dans sa partie occidentale. La plus importante est la grande plaine du Comtat qui, par extension, recouvre la plaine alluviale du Rhône sensu stricto, au sud de Bollène, les plaines d'Orange et les plaines alluviales de la basse vallée de la Durance, en aval de Cavaillon. A cet ensemble, se raccordent en autant de ramifications, la plaine alluviale de la Durance, de Cavaillon à Pont-de-Mirabeau, la plaine alluviale de la basse vallée du Coulon, en aval des Beaumettes, et les plaines alluviales des moyennes vallées de l'Aigues et de l'Ouvèze.

La région des plaines est caractérisée par des altitudes inférieures à 100 m (altitude la plus basse 13 m), excepté en amont de Travaillan (Aigues), de Violès (Ouvèze) et de Cheval-Blanc (Durance) où l'altitude peut atteindre les 130 m.

• REGION DES RELIEFS MONTAGNEUX

Le trait orographique majeur est représenté par le Mont-Ventoux qui culmine à 1 909 m. Il fait partie d'une ligne de crêtes orientées est-ouest qui se poursuit à l'est dans les départements voisins de la Drôme et des Alpes-de-Haute-Provence, par le plateau d'Albion (1 393 m) et la montagne de Lure (1 826 m).

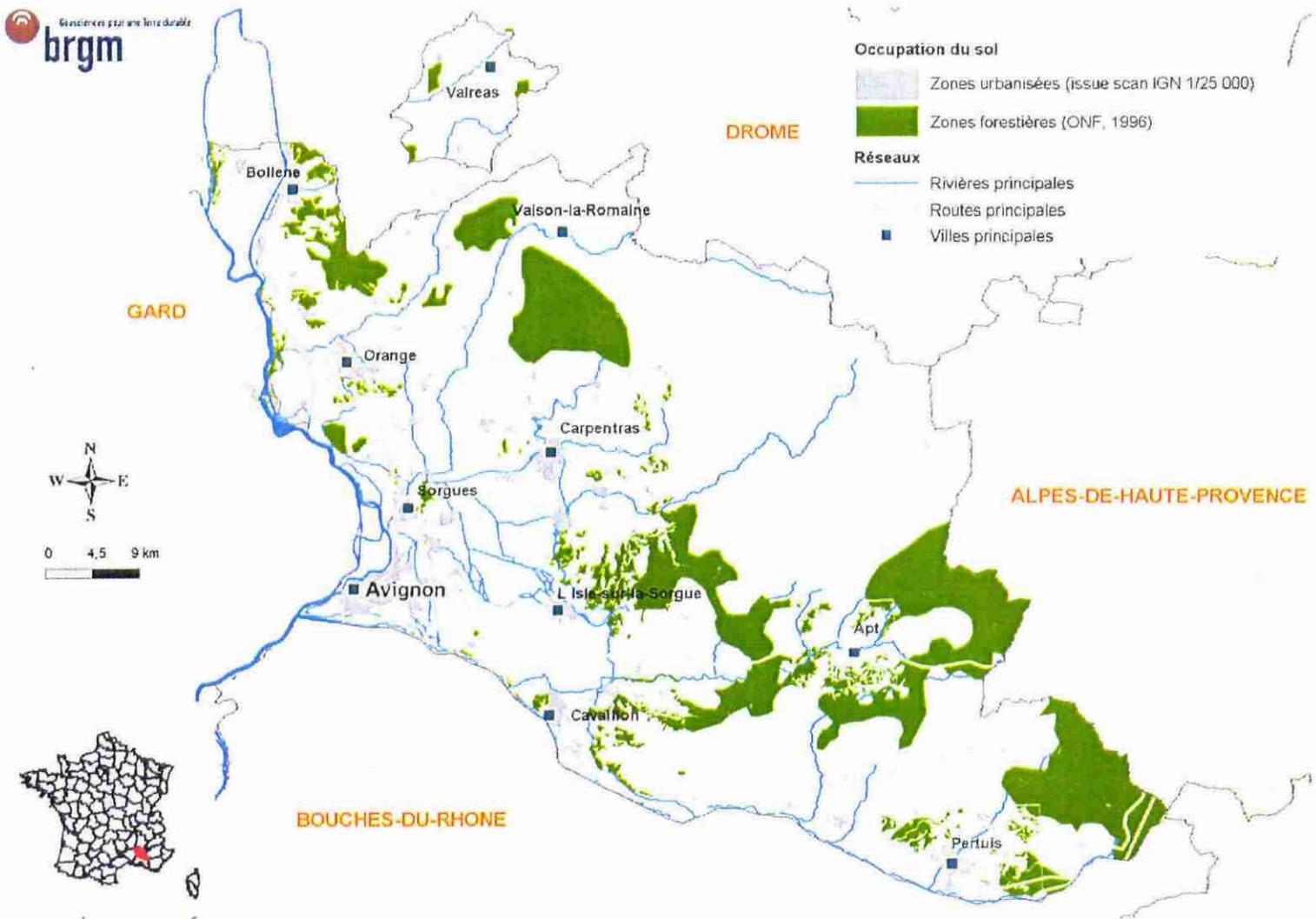


Illustration 2 : Cadre géographique du département de Vaucluse

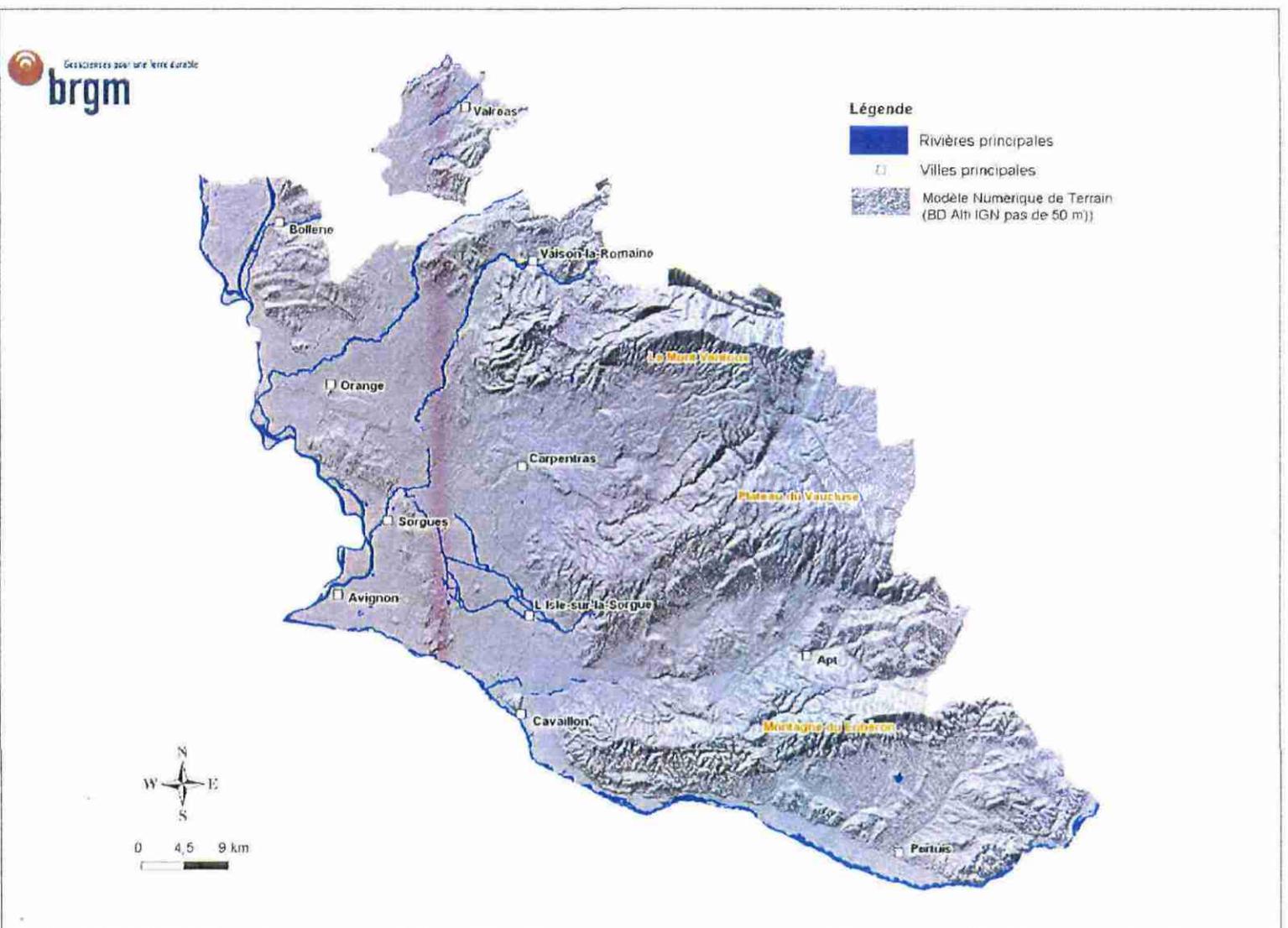


Illustration 3 : Géomorphologie du département de Vaucluse (d'après le Modèle Numérique de Terrain de l'IGN)

Son versant nord, abrupt, est bordé par la rivière le Toulourenc, alors que son versant sud, moins pentu, se prolonge par le plateau d'Albion ou de Saint-Christol, d'altitude comprise entre 600 et 1 200 m. Ce plateau est limité au sud par les Monts de Vaucluse qui culminent à l'est, au signal de Lagarde d'Apt, à 1256 m. Cet ensemble constitue une unité géographique homogène, bien définie, bordée au sud par le bassin d'Apt.

La montagne du Luberon représente le relief le plus méridional du département sur lequel s'appuie au nord le bassin d'Apt. Cette chaîne, d'une longueur de 45 km pour une largeur de 5 km est orientée est-ouest. A l'ouest, on distingue le Petit-Luberon qui atteint l'altitude de 720 m et à l'est le Grand-Luberon qui culmine à 1 125 m.

• SECTEURS PARTICULIERS

Ces sont des reliefs généralement rocheux qui émergent des plaines, accentuant ainsi les contrastes topographiques :

- le massif de Suzette, dans lequel se dressent les dentelles de Montmirail (altitude moyenne 500 m);
- le massif d'Uchaux, au nord d'Orange - le massif de Châteauneuf-du-Pape, plus au sud,
- les collines de Bédarrides, Sorgues, Châteauneuf-de-Gadagne, Caumont, Thouzon, la colline de Calavon.

Ce peut être également des zones de moyenne altitude transitoires entre plaines et reliefs, comme la bordure orientale du bassin de Carpentras, le pays d'Apt, le pays d'Aygues ou le bassin de Valréas.

3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le département de Vaucluse appartient au grand bassin versant du Rhône, fleuve qui constitue, à l'ouest, sa limite administrative. Le Rhône reçoit plusieurs affluents dont les parties hautes et actives des bassins se trouvent à l'extérieur du département.

Du nord au sud on rencontre quatre bassins importants : le Lez, l'Aigues, l'Ouvèze et la Durance. A l'intérieur de ces deux derniers, on peut distinguer, outre un sous bassin formé par l'Ouvèze amont jusqu'à Bédarrides, les sous-bassins de l'Auzon, de la Nesque et des Sorgues, pour ce qui concerne l'Ouvèze, et du Coulon (Calavon) pour la Durance (Illustration 4).

– Le Rhône

Le Rhône qui prend sa source dans le massif du St-Gothard, en Suisse, a une longueur de 812 km dont 522 km en France et 65 km en Vaucluse. Son débit est compris entre 1 000 et 3 000 m³/s en régime normal, qui est atteint 9 mois par an. Le débit d'étiage est de l'ordre de 600 m³/s. Dans le département, entre Bollène au nord et la confluence avec la Durance au sud, le Rhône présente quatre seuils hydrauliques naturels : les seuils de Mornas, Châteauneuf-du-Pape, Avignon et Aramon qui sont à

l'origine de divagations et de créations de méandres et d'îles (Barthelasse, la Motte, Oiselet, etc.). La pente du fleuve, en Vaucluse, est faible, de l'ordre de 0,7 ‰.

– La Durance

Le Durance, affluent de la rive gauche du Rhône, prend sa source vers 2 300 m d'altitude, au Montgenèvre dans les Hautes-Alpes. Elle est longue de 304 km dont 90 km en Vaucluse. Actuellement, la Durance n'a plus que deux régimes très contrastés, dont le plus faible correspond au régime réservé de l'EDF à l'aval de chacun de ses barrages, soit 2 m³/s (appelé encore débit de salubrité), débit 12 à 20 fois inférieur à celui qu'on connaissait avant les aménagements hydrauliques, même à l'étiage.

– Le Lez

Le Lez prend sa source dans le département de la Drôme. Il traverse ou longe l'enclave de Valréas sur sa limite nord-ouest. Il redevient vauclusien à l'est de Bollène, qu'il traverse, puis se jette dans le Rhône au droit des falaises de Mornas. Le Lez est court-circuité par une vanne CNR au Nord de Mondragon et se jette dans le canal Donzère-Mondragon. Il ne laisse passer qu'un débit minimal dans son ancien lit qui traverse Mondragon. Son trajet en Vaucluse représente une distance de 21 km. C'est une rivière au régime torrentiel caractérisée par une grande irrégularité des débits et par des étiages estivaux particulièrement sévères. A la confluence, le débit d'étiage est de l'ordre de 1 m³/s.

– L'Aigues

L'Aigues prend sa source dans les Hautes-Alpes et pénètre dans la plaine de Valréas-Vaison, après avoir franchi la cluse de Nyons, puis se jette dans le Rhône à l'ouest d'Orange. La confluence naturelle a été déplacée de 7 km au sud, lors de l'aménagement de la chute de Caderousse par la CNR. Le bassin de l'Aigues a une superficie de 1 100 km² et une longueur de 100 km dont 43 km en Vaucluse. Sa pente moyenne est de 5,1 ‰ en plaine et de 11,2 ‰ dans sa partie montagneuse. C'est une rivière au régime torrentiel caractérisée par une grande irrégularité des débits. Son débit moyen annuel est de l'ordre de 2 m³/s, alors que les plus grandes crues peuvent atteindre 900 m³/s au niveau de sa confluence avec le Rhône.

– L'Ouvèze

L'Ouvèze prend naissance dans les Baronnies et atteint la zone des plaines à Roaix (cote 160 m) à l'ouest de Vaison. Après avoir franchi le seuil de Bédarrides où elle reçoit la Sorgue et l'Auzon, elle se jette dans le Rhône au niveau de l'île de la Barthelasse. La superficie de son bassin versant géographique couvre 1 580 km² mais, en fait, la partie efficace du bassin représente bien davantage si l'on considère l'impluvium connu de Fontaine-de-Vaucluse, qui donne naissance à la Sorgue, soit au total 2 780 km² environ. L'Ouvèze a un régime très irrégulier avec un débit moyen de 27,6 m³/s ce qui est très important par rapport à sa voisine l'Aigues, mais cette différence est due essentiellement à l'apport des Sorgues. Son débit d'étiage est de

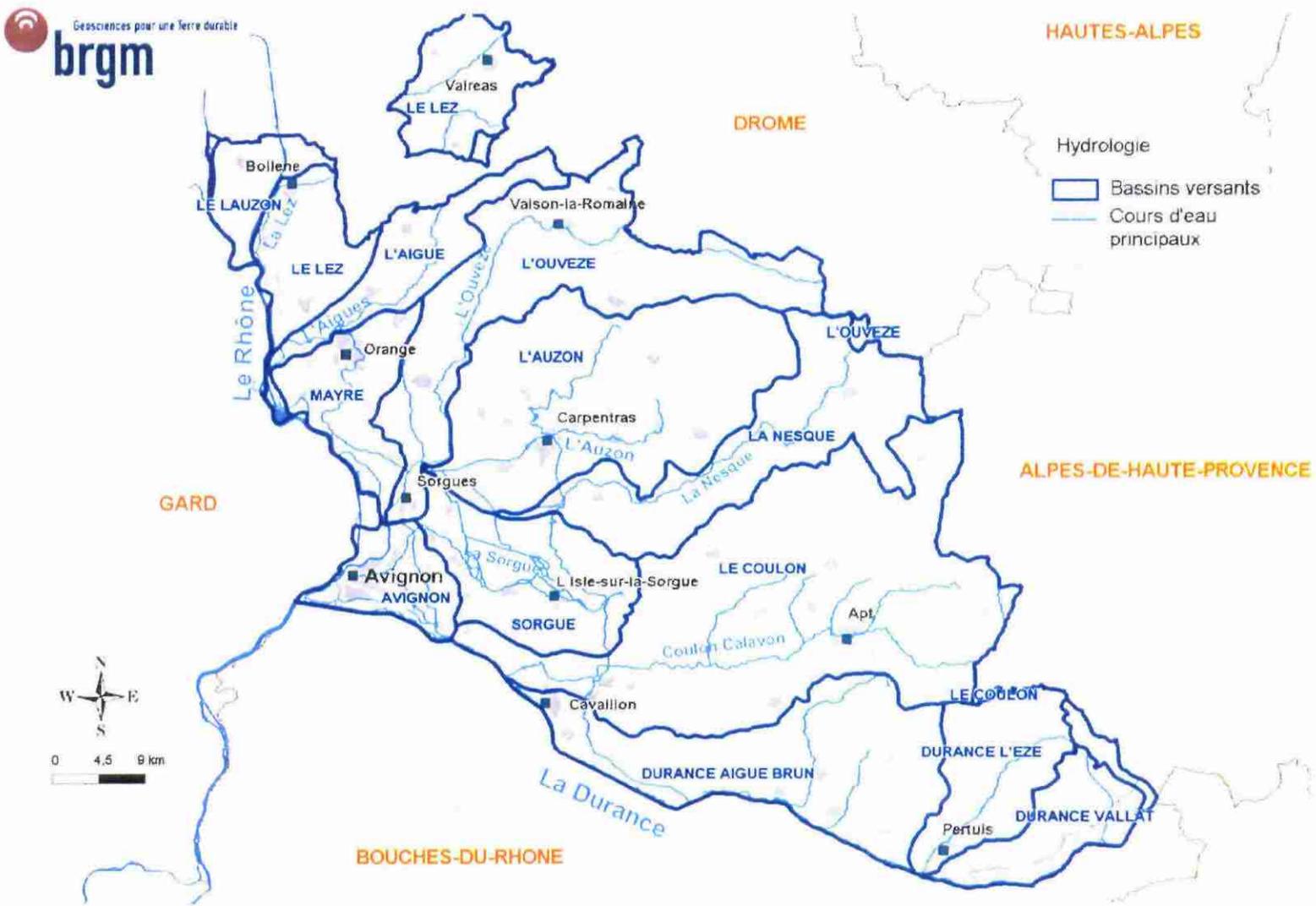


Illustration 4 : Carte du réseau hydrographique et bassins versants dans le département de Vaucluse

1 m³/s alors que les débits en crue sont de l'ordre de 400 m³/s. La crue centennale à Bédarrides a été estimée de l'ordre de 700 à 800 m³/s.

– **L'Auzon, la Nesque et la Sorgue**

L'Auzon draine le bassin de Carpentras. Son débit, à la confluence avec la Sorgue, est de l'ordre de 1 m³/s. La Nesque, dans la partie supérieure de son cours, est drainée par la Fontaine-de-Vaucluse (pertes de la Nesque) qui donne naissance à la Sorgue. La Sorgue développe la totalité de son cours en plaine. Elle y suit deux tracés différents : la Sorgue de Velleron et la Sorgue de l'Isle, qui se rejoignent à proximité de Bédarrides, avant la confluence avec l'Ouvèze. En fait, il s'agit d'un réseau dense de bras enchevêtrés et plus ou moins aménagés en canaux. Le débit de la Sorgue est lié à celui de Fontaine-de-Vaucluse : 4 m³/s au cours des étiages les plus sévères, 150 à 200 m³/s lors des crues les plus importantes et un débit moyen annuel de 24 m³/s.

– **Le Coulon ou Calavon**

Le Coulon ou Calavon, affluent de la rive droite de la Durance, prend naissance dans les Alpes-de-Haute-Provence à proximité de Banon. La superficie de son bassin versant est de 950 km² mais sa partie efficace est limitée aux affleurements des terrains tertiaires (soit environ les 3/5 du bassin versant topographique), car les précipitations tombées sur les affleurements calcaires crétacés karstifiés se retrouvent à Fontaine-de-Vaucluse. A la confluence avec la Durance, le débit moyen annuel est de 2,4 m³/s. Le Coulon est une petite rivière de type méditerranéen, caractérisée par un régime torrentiel présentant des débits irréguliers avec, notamment, des étiages sévères. La crue centennale du Coulon est estimée à Robion à 450 m³/s.

De façon générale, tous les cours d'eau Vauclusiens sont fortement influencés par un phénomène spécifique des pluies Cévenoles, qui s'étend régulièrement à l'Est du Rhône et par conséquent sur le département de Vaucluse (voir paragraphe 3.4).

3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE REGIONAL

Il existe, dans le département de Vaucluse, quatre grands domaines hydrogéologiques dont deux sont prépondérants de par la superficie qu'ils occupent et les débits mis en jeu. Il s'agit par ordre d'importance décroissante, des domaines alluvial, karstique, des bassins du Tertiaire ou du Crétacé supérieur et des domaines des systèmes captifs profonds.

3.3.1. Le domaine alluvial

Il est représenté par l'aquifère des alluvions récentes et anciennes du Rhône et de ses affluents.

Ce domaine se caractérise ainsi :

- nappe continue et libre ou localement captive sous des limons de surface,

- matériel détritique (limons, argiles, sables, graviers, galets, blocs) présentant des perméabilités et des transmissivités fortes à moyennes,
- débits importants variant évidemment en fonction de l'épaisseur mouillée des alluvions (puissance de l'aquifère),
- proximité de la nappe par rapport au sol.

Ces caractéristiques expliquent que plus de 90% des ressources sollicitées actuellement pour l'alimentation en eau potable du département proviennent de ce domaine. On distingue, à l'intérieur de ce dernier, plusieurs systèmes en fonction de la situation géographique et des connaissances actuelles sur les eaux souterraines.

Par ordre d'importance, les principaux systèmes sont :

- le système alluvial du Rhône et des zones de confluence avec ses affluents,
- le système alluvial de la Durance,
- le système alluvial de l'Aigues et de l'Ouvèze,
- le système alluvial de la plaine des Sorgues,
- le système alluvial du Coulon.

3.3.2. Le domaine karstique

Le principal système de ce domaine est celui de Vaucluse dont l'exutoire principal, la Fontaine de Vaucluse, est par l'importance de son débit, une des premières sources du monde.

Le système Vaucluse : c'est un système aquifère très étendu, constitué par des terrains d'âge crétacé, qui affleurent au nord-est sur les plateaux de Vaucluse, le Mont-Ventoux, la Montagne de Lure (dans le département voisin des Alpes-de-Haute-Provence), ainsi qu'au sud, dans le flanc nord hydrogéologique du Luberon. Ces terrains calcaires fissurés sont le siège de la karstification qui permet aux eaux infiltrées de s'accumuler en profondeur pour rejaillir à Fontaine-de-Vaucluse. Au total, le bassin d'alimentation de la Fontaine de Vaucluse a été évalué à 1230 km² et s'étend au-delà du champ de fractures de Banon (04).

La source elle-même se situe au pied d'une falaise de 350 m de haut.

La gamme de débits varie de 4 m³/s (1967) à plus de 150 m³/s et le débit moyen de la source Fontaine est de 24 m³/s.

- ◆ Le système Sud-Luberon : ce système est localisé au versant sud hydrogéologique du massif karstique du Luberon, le versant nord participant à l'alimentation de l'aquifère de la Fontaine de Vaucluse.

- ◆ Le système Groseau : il représente un système annexe du système Vaucluse. En effet, la source du Groseau (Malaucène) draine la terminaison nord-occidentale du Mont-Ventoux.

3.3.3. Le domaine des bassins tertiaires et crétacé supérieur

Par l'importance des affleurements et des possibilités hydrogéologiques, il s'agit du troisième grand domaine hydrogéologique du département. Il correspond aux bassins de Valréas, de Carpentras, d'Apt et du Pays d'Aigues situé entre Luberon et Durance. On rattache également à ce domaine les terrains aquifères du Crétacé supérieur, tels les sables blancs des bassins de Carpentras, d'Apt et d'Uchaux, situés sur la bordure sud-est du grand bassin subsidés de Valréas.

3.3.4. Le domaine des systèmes captifs profonds

A ce domaine correspond, en fait, le prolongement en profondeur, notamment sous la grande plaine de Vaucluse, des deux domaines précédents : le domaine karstique lié à l'aquifère calcaire crétacé et le domaine des bassins tertiaires, représenté essentiellement par les aquifères plus ou moins marneux et molassiques du Miocène et l'aquifère sablo-gréseux du Crétacé supérieur au nord de la faille de Nîmes. De ces deux systèmes captifs, le plus connu est sans conteste le plus superficiel, c'est-à-dire celui qui correspond aux terrains du domaine des bassins tertiaires. Ce système est très sollicité dans le bassin de Carpentras depuis plusieurs années déjà où l'on compte plusieurs centaines de forages. Le système sous-jacent est en général peu connu, du fait de sa profondeur (la profondeur des forages à réaliser est supérieure à 200-300 m), mais aussi parce que, jusqu'à présent, en Vaucluse, les ressources en eaux souterraines superficielles sont abondantes et de bonne qualité.

Un autre système captif, plus profond encore, existe sous la plaine de Vaucluse : c'est celui du réservoir calcaire et dolomitique du Jurassique supérieur qui a été atteint au sondage géothermique d'Avignon.

3.3.5. Conséquences sur les problèmes de retrait-gonflement

Les fluctuations des niveaux piézométriques des nappes et des circulations de faible profondeur, voir leur assèchement complet, se répercutent sur l'état d'hydratation des sols. Ils peuvent donc jouer un rôle important dans l'apparition des désordres sur les constructions de la commune.

Sur les communes de Cucuron et de Cabrières-d'Aigues, par exemple, trois formations montrent la présence de nappes plus ou moins profondes, ayant eu un impact sur certains sinistres recensés² :

² Argisol Habiat – département de Vaucluse – Commune de Cucuron et de Cabrières-d'Aigues : Les dommages liés à la sécheresse et réhydratation des sols – Hydrosol Ingenierie, février 2002.

- les marnes du Miocène et les argiles de l'Oligocène : ces formations sont globalement imperméables. On note cependant quelques écoulements dans la frange superficielle altérée et des circulations plus profondes dans des niveaux plus sableux ;
- les sables de l'Helvétien et les sables gris du Tortonien : ces formations sont globalement perméables et sont le siège d'une nappe plus ou moins profonde en fonction de la position du niveau de base imperméable (argile de l'Oligocène) ;
- les terrains de couverture : des nappes existent dans les alluvions et éboulis à proximité des ruisseaux temporaires. Elles sont soumises à des variations saisonnières importantes pouvant entraîner le tarissement de puits.

D'autre part, la présence ou non de canaux d'irrigation, utilisés pour s'assurer la maîtrise de l'eau, joue un rôle dans l'alimentation ou la ré-alimentation des sols en eau, notamment dans les riches plaines alluvionnaires situées à l'ouest d'une ligne reliant les communes de Valréas, Carpentras et Cavaillon.

La Durance alimente en eau à partir de Serre-Ponçon et à travers les canaux d'irrigation une grande partie des cultures de Vaucluse. La dotation globale du Vaucluse à partir de la Durance pour les canaux d'irrigation représente 650 millions de m³ annuellement. Le débit prélevé est de 33 m³ par seconde. Les surfaces irriguées à partir de la Durance sont de 26 000 ha environ. Les restitutions à la Durance, aux rivières vauclusiennes ainsi qu'aux nappes représentent près de 80 % des débits prélevés. La nappe de la Durance est rechargée par l'irrigation gravitaire et contribue également à l'alimentation en eau par forage de nombreux usagers domestiques, agricoles et industriels.

Le Rhône participe également à travers quelques associations à l'irrigation d'une partie du Vaucluse (1020 ha), pour un débit prélevé de 6,3 m³ par seconde. Les restitutions en rivière ou nappe sont également conséquentes sur les périmètres desservis par les réseaux d'irrigation. Sa nappe contribue également, à l'alimentation de nombreux usages domestiques, agricoles et industriels.

3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE

D'une manière générale, le climat du département de Vaucluse est de type méditerranéen ; cependant, en fonction du relief et de la situation géographique du lieu considéré, il peut présenter différents aspects :

- ◆ Apt est en climat méditerranéen humide
- ◆ le Sud-Luberon (Pays d'Aigues) se trouve, comme la Basse-Provence, en climat méditerranéen tempéré ;
- ◆ les Monts de Vaucluse, le Mont-Ventoux et le plateau d'Albion sont, au contraire, sous climat de type montagnard.

Le climat vauclusien est ainsi fortement influencé par la présence des couloirs rhodanien et durancien et de l'unité topographique Mont-Ventoux/Monts de Vaucluse.

Le vent dominant, en Vaucluse, est le Mistral. Il prend naissance au nord, à l'entrée du couloir rhodanien, à la faveur des reliefs voisins (Massif Central et Préalpes du nord) en présence d'une dépression sur la Méditerranée occidentale.

Une grande partie des précipitations qui arrosent le département, a pour origine des perturbations issues de la zone de cyclogénèse située en Méditerranée, au niveau du golfe de Gênes ; elles abordent les côtes de Provence suivant le secteur sud-est. Le module pluviométrique moyen qui en résulte est compris entre 600 mm au sud (basse vallée de la Durance) et 1 100 mm (Saint-Christol). Le nombre moyen annuel de jours de précipitations supérieures ou égales à 0,1 mm sur la période 1931-1960 est de 87 à Orange et 109 au Mont-Ventoux. Ces faibles valeurs sont à mettre en relation avec les durées annuelles moyennes d'insolation qui sont comprises entre 2 400 et 2 750 heures. Le nombre annuel moyen de jours d'insolation continue et d'insolation nulle sont respectivement de 64 et 30 à Orange, alors qu'immédiatement au nord du département, à Montélimar, on passe à 42 et 35. Par ailleurs, le nombre moyen annuel de jours de neige au Mont-Ventoux est de 59 alors qu'en plaine, à titre de comparaison, on trouve 2,9 jours à Orange, soit 20 fois moins environ.

Les températures moyennes annuelles, comprises entre 9 et 14,5 °C, subissent fortement l'influence du relief. Ainsi, les isothermes épousent l'allure générale de ce dernier et pénètrent profondément à l'intérieur des couloirs rhodanien et durancien. Au cours de la période 1931-1960, la température moyenne journalière a été de 13,5 °C à Orange (minimum 8,4 °C maximum 18,6 °C) et de 9,8 °C au Mont-Ventoux (minimum 4,1 °C, maximum 15,4 °C), alors que le minimum absolu enregistré a été de -26,8 °C au Mont-Ventoux (février 1956).

Le graphique présenté sur l'illustration 5 donne les normales de températures et de précipitations à Carpentras sur la période 1971-2000 (données Météo France). Il montre que les précipitations sont assez variables au cours de l'année, le mois d'octobre étant le plus pluvieux et le mois de juillet en général le plus sec.

Au cours de la période 1971-2000, la température moyenne journalière a été de 13,1 °C à Carpentras (température la plus basse enregistrée : -15,4 °C et température la plus élevée : 41,6 °C).

L'illustration 6 représente les écarts de précipitation entre les moyennes annuelles depuis 1951 et les normales climatiques, calculées pour la période 1961/1990 pour le poste d'enregistrement de Carpentras.

Ces courbes montrent notamment quatre événements majeurs : la sécheresse de 1965 à 1967, l'année 1978, la sécheresse de 1988 à 1991 et celle de 1997-98.

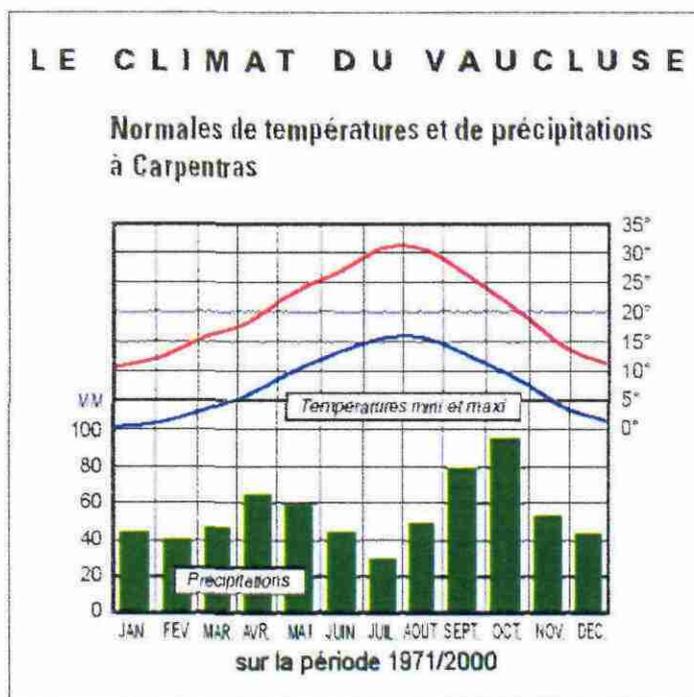


Illustration 5 : Données météorologiques (source Météo France)

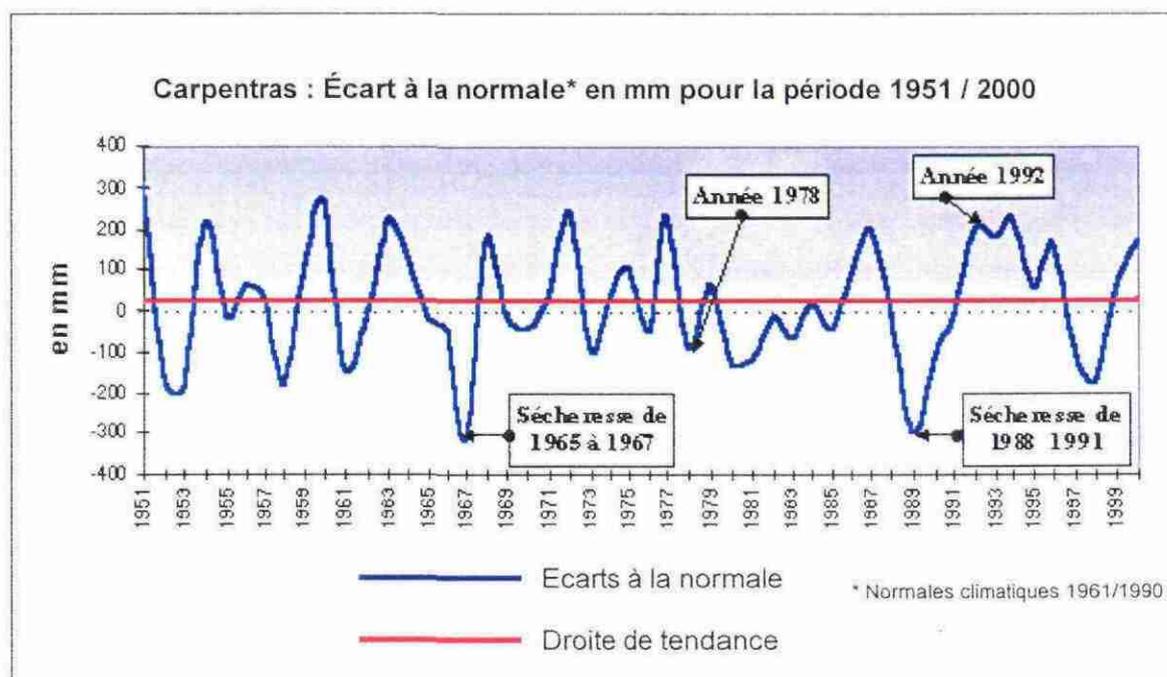


Illustration 6 : Ecart à la normale sur la ville de Carpentras (d'après Berthelot, Génin et Goudron 2004)

En ce qui concerne l'influence des pluies Cévenoles sur le département, à titre d'exemple, les 8 au 9 septembre 2002, un épisode de pluies diluviennes a frappé le Languedoc. Dans la nuit, ces pluies violentes et abondantes ont gonflé les cours d'eau qui ont rapidement débordé, provoquant des inondations, des coulées de boue, et des dégâts d'une ampleur exceptionnelle. Le département du Gard a été cruellement touché (le montant des dégâts a été évalué à 1,2 milliard d'euros), ainsi qu'une partie de l'Hérault et du Vaucluse. Quelques jours plus tard, l'état de catastrophe naturelle a été déclaré pour ces départements sinistrés. Cet épisode a principalement affecté le Gard, le Vaucluse, l'Hérault, la Lozère, et dans une moindre mesure les Bouches-du-Rhône, l'Ardèche et la Drôme. L'illustration 7 montre les précipitations exceptionnelles enregistrées dans le Vaucluse à Châteauneuf-du-Pape les 8 et 9 septembre 2002 suite à l'épisode en Languedoc.

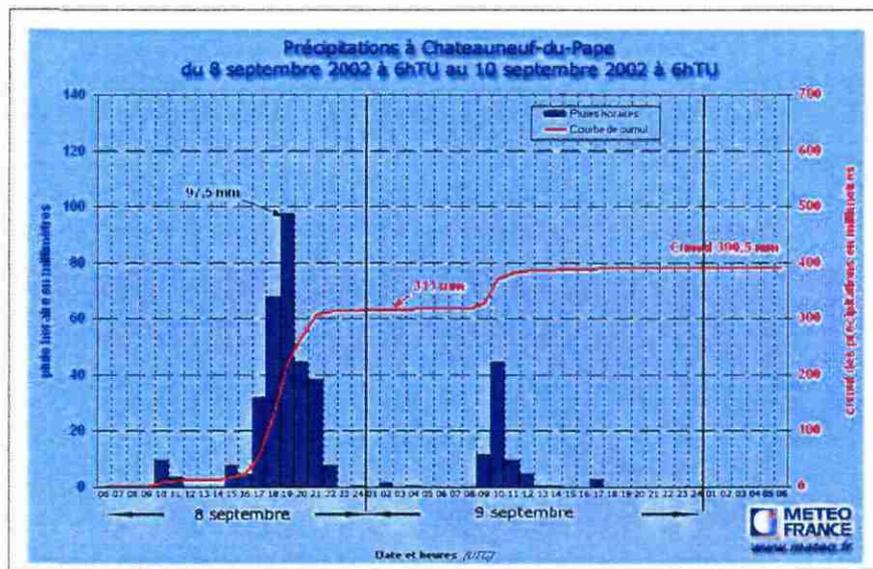


Illustration 7 : Précipitations à Châteauneuf-du-Pape des 8 et 9 septembre 2002 (données Météo-France, cumuls de 06h TU à 06h TU)

3.5. URBANISATION DU DÉPARTEMENT

Le département de Vaucluse comprend 3 arrondissements, 22 cantons, 151 communes. Avignon est la préfecture du département. Apt et Carpentras en sont les sous-préfectures. La superficie totale du département est d'environ 3 585 km². La commune la plus étendue de Vaucluse est celle de Sault, avec 111,15 km². La plus petite commune est celle de Saint-Pantaléon, avec 0,78 km². Les communes dont la superficie dépasse 50 km² sont celles de : Avignon, Beaumont-de-Pertuis, Bédoin, Bollène, Bonnieux, Cheval-Blanc, Pernes-les-Fontaines, Pertuis, Saint-Saturnin-lès-Apt et Valréas. Les communes de Grillon, Richerenches, Valréas et Visan dissociées géographiquement des autres communes du département, sont entièrement enclavées dans le département voisin de la Drôme.

La Vaucluse a vu sa population doubler en 50 ans, et compte aujourd'hui 499 685 habitants.

La carte présentée page suivante (Illustration 8) est issue de la numérisation des zones urbanisées réalisée par le Brgm, à partir des cartes scannées IGN au 1/25 000. Les zones urbanisées ainsi identifiées représentent une superficie totale de 145,69 km², soit 4,1% de la surface totale du département. Cette carte fait apparaître le caractère rural et dispersé du département, voire semi-désertique pour ce qui concerne les monts du Vaucluse, du Ventoux et du Lubéron, et sur le reste du territoire, une densité humaine, doublée d'une dispersion généralisée toujours en expansion. Les principales concentrations de population se retrouvent sur Avignon (85 935 habitants), et sur les agglomérations d'Orange, Carpentras, Cavaillon, Pertuis et Bollène (respectivement 27 989 habitants, 26 090 habitants, 24 563 habitants, 17 833 habitants et 14 130 habitants).

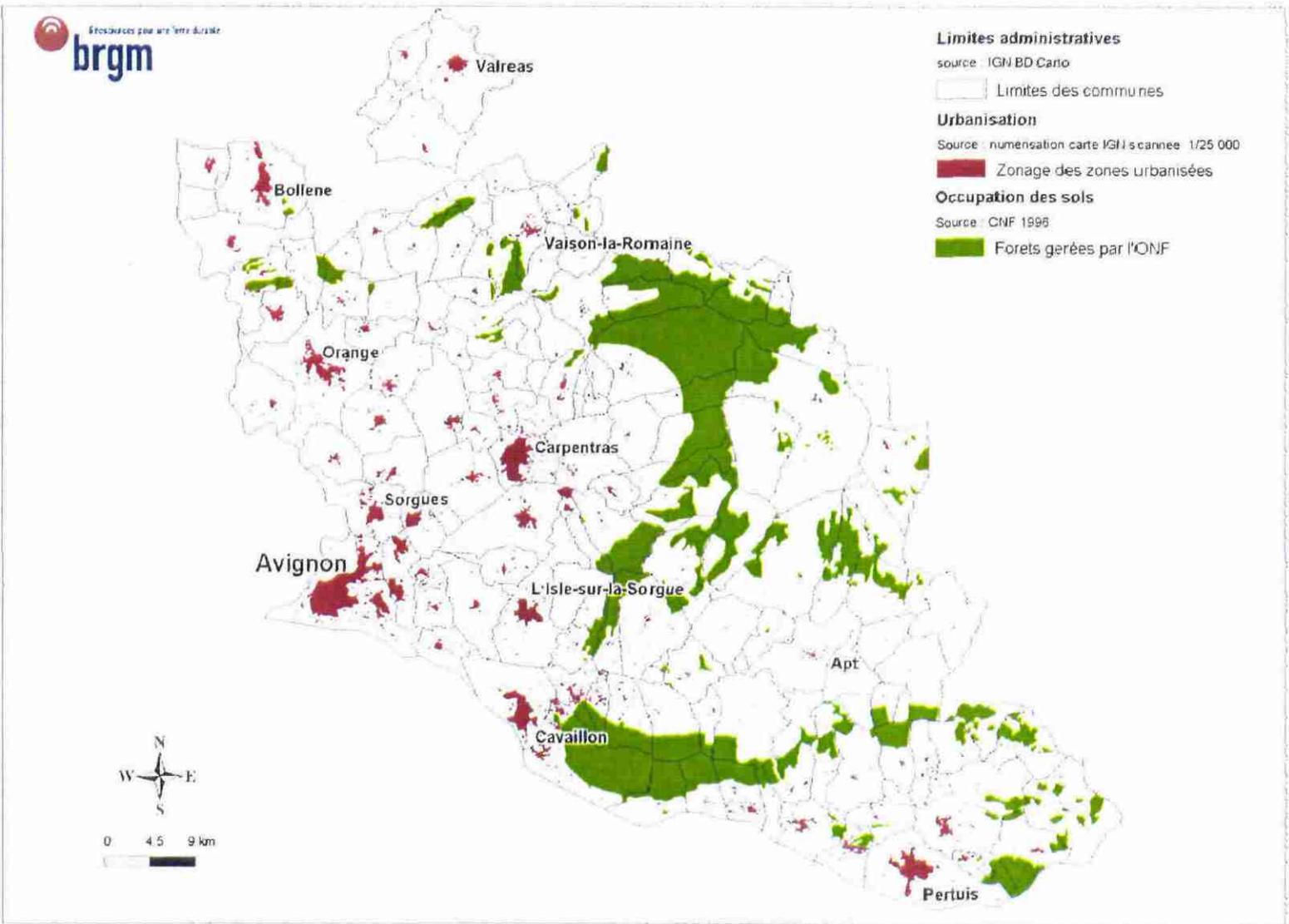


Illustration 8 : Urbanisation du département de Vaucluse

Cartographie de l'alea retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

4. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses

4.1. CADRE GÉOLOGIQUE DÉPARTEMENTAL

Le sous-sol du département de Vaucluse est constitué de terrains très variés d'origine sédimentaire, s'étageant du Trias au Quaternaire, avec une exception très marginale la lherzolite du Luberon qui est une roche endogène basique, d'origine volcanique.

Le département couvre deux grands domaines géologiques bien distincts qui coïncident avec les domaines géographiques précédemment décrits : le Couloir rhodanien et la Provence subalpine, à l'est (Illustration 9).

4.1.1. Le Couloir rhodanien

Il est largement occupé par les alluvions récentes ou anciennes du Rhône, de la Basse-Durance et de leurs affluents (Lez, Aigues, Ouvèze, Sorgues, Coulon), qui reposent généralement sur des terrains tertiaires (principalement miocènes ou oligocènes). Ceux-ci constituent des bassins (bassins de Carpentras et de Valréas) dont l'auréole borde les reliefs de l'unité Mont-Ventoux/Monts de Vaucluse et des Baronnies. Ces bassins sont principalement détritiques : argiles, marnes, sables, molasses avec deux faciès particuliers à la région : la pierre du Midi (molasse miocène) et le safre (sable marneux miocène). Ces terrains tertiaires reposent sur un substratum crétacé calcaire qui constitue localement des paléoreliefs émergeant des formations plus récentes (rocher des Doms à Avignon, rocher de Cavaillon, collines de Mont-de-Vergues, Caumont, Thouzon, Védène et Châteauneuf-du-Pape).

La structure profonde du couloir rhodanien est peu connue dans le détail. Cependant l'existence même de ces pointements calcaires crétacés implique un compartimentage par failles, comme c'est le cas à l'affleurement de Roquemaure et Châteauneuf-du-Pape (faille de direction est-ouest) et dans le massif de Suzette, traversé par la faille de Nîmes (accident crustal de direction nord-est/sud-ouest). Le compartimentage par les failles a été également mis en évidence par la géophysique pétrolière (horst de Loriol au nord le long de la faille de Nîmes, fossé de Monteux, bordé par la faille de Pernes).

A l'intérieur du Couloir rhodanien, on peut distinguer **quatre grandes unités structurales** correspondant aux bassins néogènes de Valréas-Vaison et Carpentras et aux massifs d'Uchaux et de Suzette.

Bassin de Valréas-Vaison : c'est une cuvette miocène constituée de molasses bioclastiques, de marnes, de marnes sableuses (safre) et de grès dont l'épaisseur peut dépasser 700 m au centre du bassin sud de Valréas. Celui-ci est séparé de la région

de Vaison par une digitation pliocène issue de la grande ria du Rhône et axée sur la vallée de l'Aigues, elle-même localisée sur une faille.

Bassin de Carpentras : il correspond à la région du bas comtat Venaissin et comporte quelques buttes témoins miocènes reposant sur un substratum crétacé (collines de Châteauneuf-du-Pape - Courthézon, de Bédarrides - Sorgues, de Saint Saturnin-lès-Avignon - Caumont) et recouvertes en partie de terrasses anciennes. Il est limité à l'est et au nord-est par le rebord des plateaux de Vaucluse et les pentes du Mont-Ventoux. Le Miocène s'enfonce graduellement sous les alluvions de la plaine rhodanienne et son épaisseur dépasse 300 m d'épaisseur au centre du bassin (nord de Monteux). Ses faciès sont surtout marneux et sableux (safre). Sur les bordures est et sud du bassin, dans les parties où affleurent les terrains anté-miocènes, on peut distinguer :

- les collines de Mormoiron constituées de Crétacé moyen, d'Éocène et d'Oligocène dont les bancs de pendage ouest s'ennoient sous le Miocène ;
- le massif de Pernes-lès-Fontaines, dont la structure anticlinale profonde a été démontrée par géophysique pétrolière et qui est daté de l'Oligocène, surmonté de terrains miocènes burdigaliens.

Massif de Suzette : il est divisé en deux parties de direction tectonique oblique séparées par la faille de Nîmes. On distingue au nord l'anticlinal de Séguret et au sud les dentelles de Montmirail, des Sarrazines et des Florets qui correspondent à une série de plis à cœurs anticlinaux jurassiques et synclinaux crétacés (marnes valanginiennes). Le pli méridional laisse apparaître dans sa zone axiale, une bande de Trias très disloquée (cargneules ruiniformes, argiles, dolomies et gypses).

Massif d'Uchaux : situé dans l'axe du Couloir rhodanien, au nord d'Orange, il est constitué principalement de grès, de sables et de calcaires du Crétacé supérieur, affectés par des failles de direction sud-ouest/nord-est.

4.1.2. Le Domaine subalpin

Il recouvre les reliefs de l'est du département : Mont-Ventoux, montagne de Lure, plateaux d'Albion et de Saint-Christol, monts de Vaucluse et massif du Luberon. Ce domaine est principalement constitué d'une série très épaisse de calcaires dont un faciès particulier, les calcaires Urgoniens, joue un grand rôle morphologique, tectonique et hydrogéologique.

Mont Ventoux - Montagne de Lure : ces reliefs forment le rebord septentrional, chevauchant vers le nord du plateau d'Albion. Il s'agit de terrains datés du Crétacé inférieur, essentiellement calcaires.

Plateau d'Albion - Saint Christol et Monts de Vaucluse : ils sont essentiellement constitués de calcaires bédouliens à faciès urgonien à l'ouest et à faciès de transition à l'est. Cette unité, bordée à l'ouest par la faille nord-sud de Fontaine-de-Vaucluse, est parcourue par des failles subméridiennes engendrant des fossés remplis de terrains Crétacé moyen et surtout de l'Oligocène (fossés de Sault, de Murs, ...). L'ensemble de

cette zone est affecté d'importants phénomènes karstiques liés à la tectonique dont l'aboutissement se manifeste par l'existence de l'exutoire de Fontaine-de-Vaucluse. Au sud, ces calcaires s'ennoient sous les terrains plus récents du bassin d'Apt et réapparaissent dans le massif du Luberon.

Massif du Luberon : ce massif crétacé de direction ouest-est sépare le bassin synclinal d'Apt du synclinal dissymétrique de Cucuron (pays d'Aigues) et délimite les domaines subalpins et provençaux. A l'est de la Cluse de Lourmarin, le Grand Luberon correspond à un pli anticlinal à coeur berriasien érodé et déversé vers le sud sur le Miocène de Cucuron (flèche du chevauchement estimée à 800 m environ). A l'ouest, la structure plusieurs fois chevauchante vers le sud, a été reconnue par un sondage pétrolier.

Signalons l'existence, dans le massif du Grand Luberon, d'une roche volcanique très profonde, la lherzolite à grenats, qui affleure à la faveur d'une faille et dont le processus de formation rappelle celui des kimberlites d'Afrique du Sud.

SCHEMA STRUCTURAL DE LA PROVENCE

- 1. Faille - 2. Chevauchement ou charriage (triangles dans l'unité en recouvrement) - 3. Faille à rejet vertical (barbelures du côté relevé) - 4. Contour géologique - 5. Quaternaire - 6. Dépôts continentaux ponto-pliocènes - 7. Oligo-Miocène - 8. Jurassique et Crétacé - 9. Trias (uniquement figuré dans les grands affleurements : « arcs triasiques » et bordure sud de la couverture) - 10. Permien (et Houiller de Barles et du Toulonnais) - 11. Primaire



(GOUVERNET, GUIEU ET ROUSSET, 1979 - PROVENCE, in Collection des Guides géologiques régionaux, Ed. MASSON)

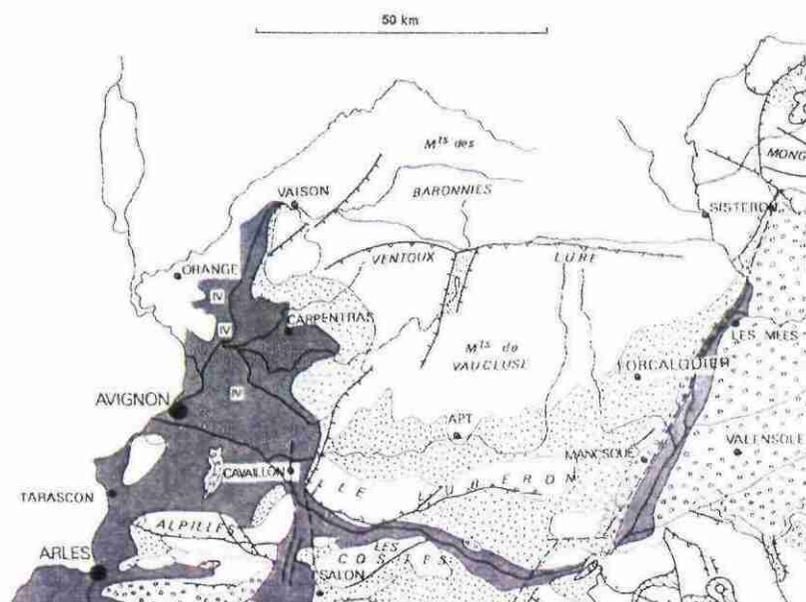


Illustration 9 : Schéma structural de la Provence d'après Gouvernet, Guieu et Rousset (1979)

La carte présentée page suivante (Illustration 10) a été réalisée à partir des cartes du Brgm à l'échelle du 1/50 000 numérisées. Les 200 formations existantes sur l'ensemble du département ont été regroupées par ères et systèmes de périodes géologiques (Illustration 11).

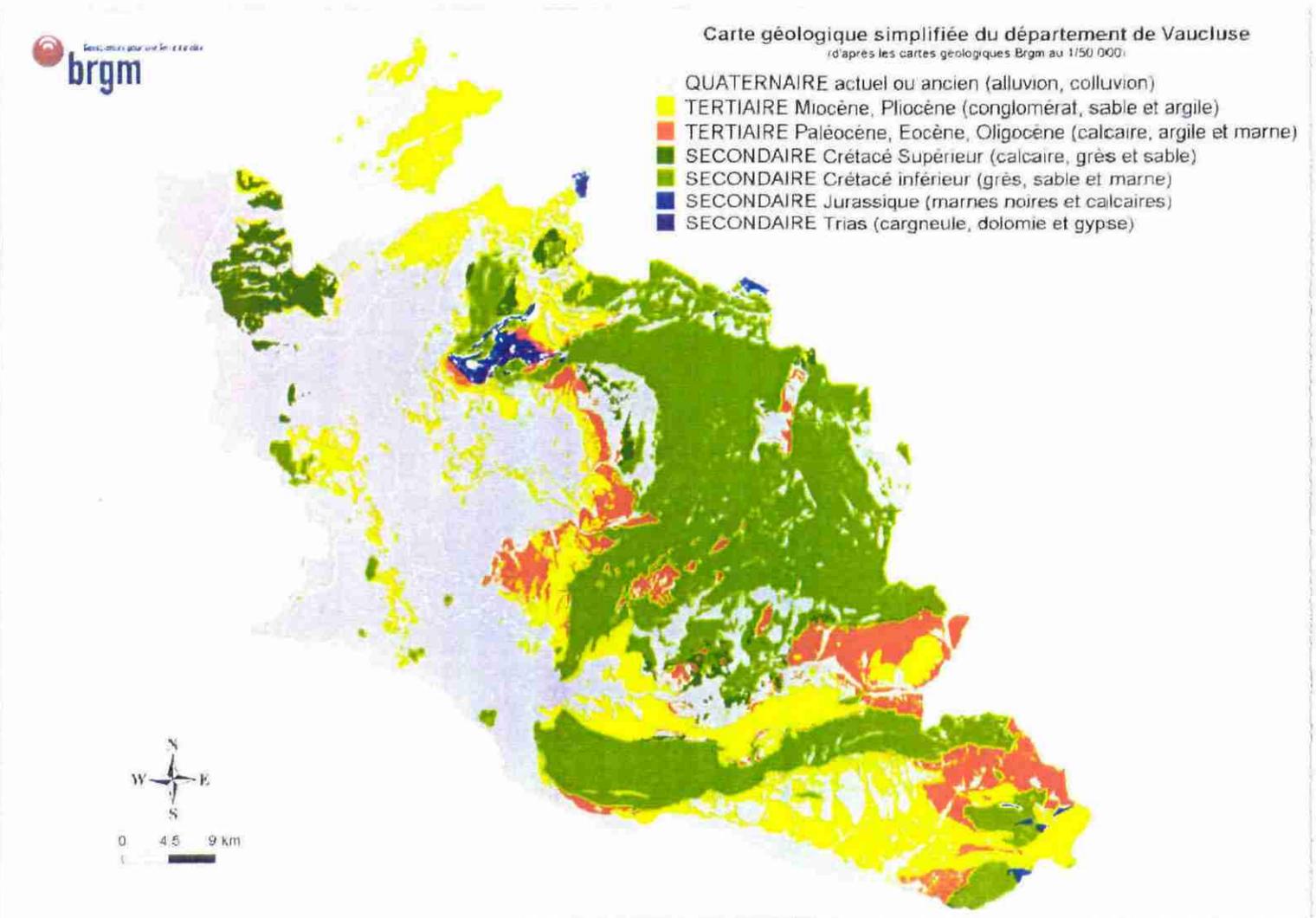


Illustration 10 : Carte géologique synthétique de Vaucluse réalisée à partir des cartes géologiques éditées par le Brgm à l'échelle du 1/50 000, numérisées.

ERE	SYSTEME OU PERIODE	ETAGE	LITHOLOGIE
QUATERNAIRE			Alluvions récentes et anciennes
TERTIAIRE	NEOGENE	PLIOCENE	ASTIEN - PLAISANCIEN Sables, marnes sableuses, argiles, marnes, conglomérats
		MIOCENE	TORTONIEN SERRAVALIEN LANGHIEN Marnes sableuses, sables calcaires, marnes
			BURDIGALIEN Molasses, conglomérats, calcaires, marnes
	PALEOGENE	OLIGOCENE	OLIGOCENE SUPERIEUR Argiles, marnes
			STAMPIEN Conglomérats, calcaires argileux à lignite, argiles, sables, gypse, dolomies
	PALEOGENE	EOCENE	LUDIEN Marnes, sables
			LUTETIEN YPRESIEN Peu différenciés (sables, grès, calcaires) Peu représenté en Vaucluse
		PALEOCENE	THANETIEN
			MONTIEN
	SECONDAIRE	CRETACE SUPERIEUR	MAESTRICHTIEN CAMPANIEN Non représenté en Vaucluse
SANTONIEN Argiles, marnes, sables			
CONIACIEN Calcaires gréseux, calcaires, sables			
TURONIEN CENOMANIEN Grès, marnes Marnes, sables, grès			
CRETACE INFERIEUR		ALBIEN Grès, sables ocreux	
		APTIEN Marnes, calcaires <i>Faciès urgonien</i>	
		BARREMIEN Calcaires bioclastiques ou à Rudistes, calcaires, marnes	
		HAUTERIVIEN VALANGIEN BERRIASIEN Calcaires, marno-calcaires, marnes Calcaires, marno-calcaires Calcaires	
JURASSIQUE		JURASSIQUE SUP. Argiles schisteuses, marno-calcaires, calcaires	
TRIAS		KEUPER Argiles, argiles dolomitiques, gypses	
		MUSCHELKALK Dolomies, cargneules	

Illustration 11 : Schéma stratigraphique de Vaucluse

4.2. OBJECTIFS, DOCUMENTS UTILISÉS ET PROCÉDURES DE RÉALISATION

4.2.1. Méthode utilisée

L'objectif visé est de disposer d'une carte des formations géologiques argileuses ou marneuses du département de Vaucluse, afin d'identifier les zones de susceptibilité au retrait-gonflement.

La cartographie des formations géologiques du département de Vaucluse a été réalisée essentiellement à partir des 15 cartes géologiques du BRGM en tout ou partie, couvrant le territoire du département (Illustration 12). Pour cela, l'ensemble des 15 cartes a été harmonisé et vectorisé (sous Microstation puis converties sous Mapinfo).

L'harmonisation a consisté d'une part à assurer la continuité géologique entre cartes voisines notamment au niveau des bordures de cartes et d'autre part à élaborer une légende commune pour l'ensemble des cartes du département. En effet, les cartes géologiques, réalisées à des époques différentes, ne se raccordent pas toujours et ont été parfois réalisées avec une nomenclature lithostratigraphique distincte d'une carte à l'autre.

La vectorisation (ou numérisation) a consisté à réaliser la saisie en DAO (dessin assisté par ordinateur) des cartes géologiques à 1/50 000 harmonisées et à élaborer une base de données intégrant tous les éléments de la cartes et des notices géologiques.

La cartographie géologique synthétique a donc été réalisée à partir des cartes géologiques harmonisées et vectorisées à 1/50 000 (ce qui correspond à l'échelle de validité de la donnée brute). Les contours géologiques ont été localement actualisés à l'aide des données de forages provenant de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérées par le BRGM.

Les 15 cartes géologiques concernées sont les suivantes :

- **Bourg-St-Andeol** (Numéro 889 – Pascal M., Elmi S., Busnardo R., Truc G., Valleron M.-M., Lafarge D., Chedhomme J. et Combier J., 1989)
- **Valréas** (Numéro 890 - Goguel J., 1964)
- **Nyons** (Numéro 891 – Flandrin J., Rondot E., Haremboure J., Moullade M., Chiarelli A., Szendroi A., Keraudren B., Savoyat E., Wiel F., Barreyre M., Morlet J., Sendrier R., Porthault B., Ballesio R. et Truc G., 1975)
- **Pont-St-Esprit** (Numéro 913 – Damiani L., Masse J.-P., Philip J., Tronchetti G., Triat J.-M., Truc G., Vogt J. et Bazille F.)
- **Orange** (Numéro 914 - Desoignies J., Brasseur R., Henry J., Ballesio R., Demarcq G., Mennessier G., Sornay J. et Truc G., 1971)

- **Vaison-la-Romaine** (Numéro 915 – Monier P., Flandrin J., Truc G., Brasseur R., Masse J.-P., Moullade M., Porthault B., Triat J.-M., Ballesio R. et Philippe M., 1987)
- **Séderon** (Numéro 916 – Flandrin J., Gottis M., Viallix J.-R., Golenko N., Riche Ph., Parant J., Rebily G., Bejanin J., Issenmann O., Teisserenc P., Mollier M. ? Cochet E., Rivier F. et Goguel J., 1964)
- **Avignon** (Numéro 940 – Monjuvent G., Masse P.-J., Ballesio R., Masse J.-P. et Alabouvette B., 1991)
- **Carpentras** (Numéro 941- Blanc J.-J., Masse J.-P., Triat J.-M., Truc G., Anglada R., Colomb E., Clauzon G. et Rouire J., 1975)
- **Sault** (Numéro 942 – Blanc J.-J., Weydert P., Masse J.-P., Roux M., de Peyronnet P. et Rouire J., 1973)
- **Châteaurenard** (Numéro 966 – Catzigras F., Colomb E., Durand J.-P., Gervais J., Gouvernet C., Masse J.-P., Rousset C., Triat J.-M., Truc G. et Rouire J., 1977)
- **Cavaillon** (Numéro 967 – Germain C., Liouville M., de Bouchony P., Roch E., Demarcq G. et Goguel J., 1966)
- **Reillanne** (Numéro 968 – Belleville J.-M., Pachaud A., Savornin J., Destombes J.-P., Roch Ed., de Peyronnet Ph., Demarcq G. et Goguel J. (1966)
- **Salon-de-Provence** (Numéro 994 – Gouvernet C., Gueirard S., Catzigras F., Colomb E., Gervais J., Blanc J.-P., Busser T., Grégoire J.-Y., Lambert C. et Rouire J., 1968)
- **Pertuis** (Numéro 995 – Arlhac P., Catzigras F., Colomb E., Gervais J., Gouvernet C., Gueirard S., Lambert C., Mercier H., Nury D., Rousset C., Tempier C., Vincent H., Weydert P. et Rouire J., 1970)

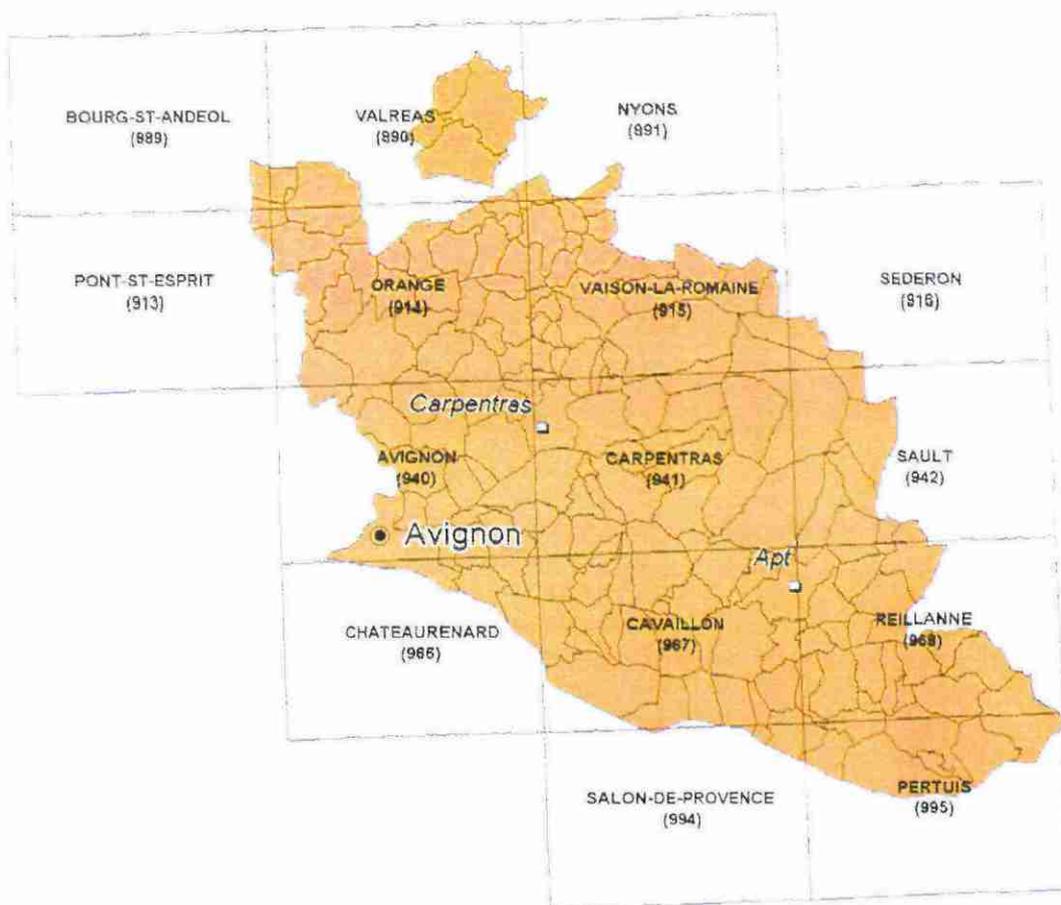


Illustration 12 : Grille d'assemblage des 15 cartes géologiques éditées par le Brgm, à l'échelle du 1/50 000, couvrant le département de Vaucluse

4.2.2. Etablissement de la carte des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse

Sur la surface couverte par le département, ont été dénombrées plus de 200 formations géologiques cartographiées à l'échelle du 1/50 000 avant toute harmonisation.

Dans un deuxième temps, à partir de cette première carte de synthèse, a été réalisée une deuxième carte à l'échelle 1/50 000 et représentée à l'échelle 1/100 000, sur laquelle n'ont été prises en compte que les formations argileuses et marneuses, qui sont au nombre de 120 (avant harmonisation). Il a également été établie une légende lithologique sommaire décrivant ces types de formations en adoptant une nomenclature lithostratigraphique.

Dans un troisième temps, à partir de cette deuxième carte brute des formations argileuses et marneuses, a été réalisée une ultime carte d'interprétation, plus synthétique, sur laquelle certaines formations ont été regroupées dans la mesure où leur nature lithologique et donc leur comportement vis à vis du phénomène de retrait-gonflement étaient supposées semblables. On aboutit ainsi aux formations géologiques identifiées comme susceptibles de contenir des minéraux argileux gonflants. Par regroupements successifs, le nombre de ces formations (ou groupes de formations) argileuses ou marneuses prises en compte est ainsi ramené à 30. Les formations superficielles de faible épaisseur (inférieur à 1 m) reposant sur des terrains argileux manifestement très sensibles au phénomène retrait-gonflement n'ont pas été représentées : dans ce cas, il a été jugé préférable d'afficher sur la carte de synthèse la formation argileuse sous jacente.

A partir de ces critères et en prenant pour support la carte géologique à 1/50 000, chacune de ces formations géologiques globalisées a fait l'objet d'une délimitation, pour aboutir à une carte synthétique qui servira de support à l'élaboration de la carte de susceptibilité au retrait-gonflement (Illustration 13).

Formations argileuses

- Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)
- Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)
- Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)
- Marnes bleutées du Plaisancien marin
- Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal - Pliocène
- Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène
- Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin
- Marnes du Tortonien marin
- Sables, marnes et grès du Miocène moyen
- Marnes bleues du Burdigalien
- Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien
- Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur
- Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)
- Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)
- Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)
- Argile du Maronnier (Stampien)
- Sables, marnes et calcaires du Stampien
- Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inf.)
- Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)
- Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)
- Sables et argiles verts de Mormoiron
- Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)
- Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien
- Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène
- Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomani
- Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien
- Marnes Gargasiennes
- Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur
- Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien)
- Cargneules, dolomies et gypse Triasiques

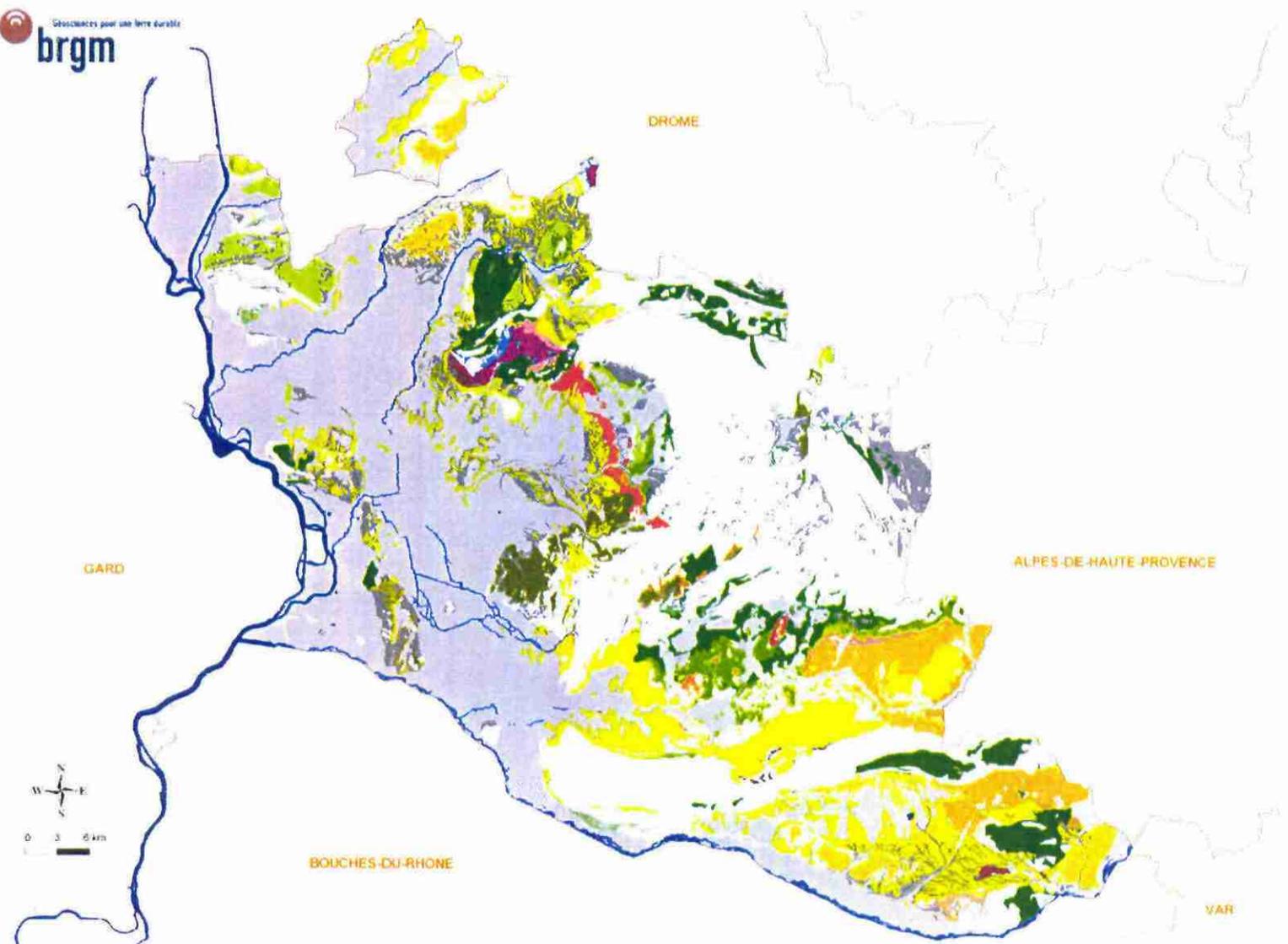


Illustration 13 : Carte synthétique interprétée des formations argilleuses ou marneuses sur le département de Vaucluse

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES OU MARNEUSES

Ce chapitre dresse un inventaire des 30 formations ou groupes de formations géologiques argileuses ou marneuses sélectionnées dans le département de Vaucluse et caractérise leur nature lithologique (Illustration 14).

Ces formations couvrent la quasi totalité du territoire de Vaucluse hormis, bien évidemment, les massifs calcaires du Luberon et des Monts de Vaucluse.

D'un point de vue stratigraphique, elles concernent quasiment tous les étages géologiques représentés dans le département, depuis le Trias à la base jusqu'au Quaternaire.

Les formations argileuses ou marneuses sont décrites depuis les plus anciennes jusqu'aux plus récentes. Une carte géologique synthétique de ces formations est présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/110 000.

N°	Nom de la formation géologique	Age	Superficie de la formation (km²)	% de la superficie totale
30	Alluvions et cônes de déjection	Quaternaire	1319,50	36,80
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification	Quaternaire	246,68	6,88
28	Conglomérats, argiles et sables	Quaternaire	5,72	0,16
27	Marnes bleutées	Asien (Plaisancien)	12,25	0,34
26	Sables, marnes, argiles et limons	Miocène et Pliocène terminal	4,49	0,13
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats	Miocène Terminal et infra-Pliocène	62,22	1,74
24	Marnes, sables, molasse sableuses	Tortonien lacustre et marin	40,04	1,12
23	Marnes	Tortonien marin	5,87	0,16
22	Sables, marnes et grès	Miocène moyen	177,17	4,94
21	Marnes bleues	Burdigalien	8,91	0,25
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires	Burdigalien	140,26	3,91
19	Argiles et sables	Oligocène Supérieur	8,13	0,23
18	Calcaires, marnes et sables	Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	1,22
17	Marnes sableuses et argileuses de Viens	Oligocène inférieur (Stampien)	8,58	0,24
16	Calcaires	Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2,68
15	Argile du Maronnier	Stampien inférieur	1,17	0,03
14	Sables, marnes et calcaires	Stampien	7,34	0,20
13	Marnes et argiles	Eocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	0,15
12	Argiles, marnes et calcaires	Eocène supérieur (Ludien)	13,30	0,37
11	Marnes, dolomies et sables	Eocène supérieur (Ludien)	0,39	0,01
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	Eocène supérieur (Ludien)	8,01	0,22
9	Argiles, marnes et sables	Eocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	0,27
8	Argiles vertes et marnes vertes	Bartonien	1,65	0,05
7	Calcaires, sables et argiles	Crétacé supérieur, Paléocène et Eocène	11,77	0,33
6	Calcaires, grès, marnes et sables	Turonien et du Cénomaniens	54,91	1,53
5	Grès, sables et marnes	Albien et de l'Apvien	53,12	1,48
4	Marnes Gargasiennes	Gargasien	40,43	1,13
3	Calcaires argileux et marneux	Crétacé inférieur	129,75	3,62
2	Marnes noires et calcaires argileux	Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxtordien supérieur)	4,25	0,12
1	Calcaires, dolomies et gypse	Trias	12,22	0,34
Total formations argileuses			2530,93	70,59
999	Réseau hydrographique		30,11	0,84
1000	Formations à priori non argileuses		1024,30	28,57
Total département			3585,34	100,00

Illustration 14 : Liste des formations argileuses ou marneuses de Vaucluse

4.3.1. Cargneules, dolomies et gypse du Trias (1)

Dans le Vaucluse, ces formations ne sont présentes qu'au nord-est de Beaumes-de-Venise et au nord de Mérindol.

Au nord-est de Beaumes-de-Venise, les couches d'argilites dolomitiques gypseuses ocre, de dolomies massives grises cargneulisées et de calcaires dolomitiques en petits bancs forment le cœur de deux structures diapiriques à Suzette et à Propiac (carte géologique de Vaison-la-Romaine). A l'est, au sud des dentelles de Montmirail (carte géologique d'Orange), les faciès sont plus argileux avec des formations argileuses et dolomitiques ocre rouge ou jaune peu consolidées avec par endroit de grandes masses de gypse. On y trouve également un ensemble de dolomies et de cargneules en blocs ruiniformes.

Au nord de Mérindol, les formations du Trias affleurent à la faveur d'extrusions de type diapirique qui jalonnent le grand accident de Propiac-Mérindol-Condorcet. L'affleurement de la Montagne présente des terrains très reconnaissables dans le paysage, grâce à leurs teintes vives jaune orangé ou ocre. Ils sont constitués par des gypses, des cargneules, des dolomies et des marnes.

4.3.2. Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur) – (2)

Cette formation comprend trois termes d'âge bathonien, oxfordien supérieur s.s. et argovien.

Les marnes noires et les calcaires en plaquettes bathoniens, appartenant au *membre inférieur des Terres Noires*, sont représentés dans le département par un minuscule affleurement d'un peu plus d'un hectare au sud de la montagne de Buisse sur la carte géologique de Nyons.

Les principaux affleurements de marnes de l'Oxfordien supérieur sont localisés au sud des dentelles de Montmirail (massif de Suzette) sur les cartes d'Orange et de Vaison-la-Romaine. La formation, épaisse de 200 m, s'enrichit en bancs calcaires dans sa partie supérieure.

L'**Oxfordien supérieur s.s.** est représenté par d'autres affleurements de taille modeste (quelques hectares) voire minuscules (un demi hectare) disséminés sur le département :

- au sud de Malaucène et au sud-ouest de Brantes sur la carte de Vaison-la-Romaine ;
- à l'ouest du pont Mirabeau sur la carte de Pertuis ;
- à nord-ouest de Beaumont-de-Pertuis sur la carte de Reillane ;
- au nord du département, à l'est de la Montagne sur la carte de Nyons.

L'Argovien (Oxfordien supérieur) constitué de calcaire gris noduleux et de calcaire argileux est représenté par de petits affleurements de quelques hectares :

- à l'ouest du pont Mirabeau sur la carte de Reillanne (un affleurement) ;
- au nord-est de Beaumont de Pertuis sur la carte de Pertuis (un affleurement) ;
- au nord de la Montagne sur la carte de Nyons (5 petits affleurements)

Son épaisseur est donnée de 50 à 70 m au sud du département et de 50 à 250 m au nord où il est fortement tectonisé avec de très fortes variations d'épaisseur.

4.3.3. Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur - (3)

Cette formation comprend les termes marneux du Berriasien, du Valanginien, de l'Hauterivien inférieur et moyen, du Barrémien, du Barrémien-Bédoulien et du Bédoulien.

Berriasien : calcaires argileux grumeleux et calcaires sublithographiques

Le Berriasien calcaire est très modestement représenté à l'ouest et au nord-ouest de la Montagne, les lits argileux se développent vers le sommet de la formation qui atteint de 40 à 100 m d'épaisseur.

A l'ouest de Malaucène, il est constitué de calcaires argileux à Calpionelles (60 à 70 m), ainsi qu'au nord du mont Ventoux à Brantes.

Sur le flanc sud du Luberon, les calcaires argileux atteignent 400 m et 160 m dans le massif de Beaumont où les calcaires argileux sont intercalés entre deux unités de calcaires sublithographiques.

Valanginien : calcaires et marnes

Le Valanginien est présent dans le Vaucluse dans le même secteur que le Berriasien. Cette formation essentiellement marneuse forme d'importantes dépressions dans le paysage. Son épaisseur varie de 100 à 250 m. Au sud, la partie inférieure est composée de marnes bleues.

Hauterivien inférieur : calcaires légèrement argileux beige en bancs réguliers

Hauterivien moyen : calcaires marneux et marnes en feuillets

Ces calcaires hauteriviens affleurent au sud du département, sur le flanc nord du Luberon et dans la région de Beaumont-de-Pertuis (60 à 100 m d'épaisseur).

Hauterivien : marnes grises et calcaires argileux

Cette formation, indifférenciée, affleure au nord du département, essentiellement sur la carte de Vaison-la-Romaine.

Dans le massif de Suzette, les couches de cette formation sont généralement marneuses à la base et de plus en plus calcaires vers le sommet. A l'inverse, en face nord du mont Ventoux, la base de l'étage est très calcaire, puis évolue en une succession d'alternances marno-calcaires.

Barrémien : calcaires argileux

Cette formation constitue le cœur de l'anticlinal du Lampourdier. Elle comprend des calcaires argileux, intercalés de marnes bleutées.

Le Barrémien argileux est bien caractérisé dans la région de Fontaine-de-Vaucluse, dans les Baronnies et dans la montagne de Bluye, au nord de Séguret.

Les calcaires argileux se présentent en bancs, bien lités, d'épaisseur décimétriques à métriques.

Son épaisseur est souvent supérieure à 200 m, jusqu'à 600 m dans le massif du Ventoux.

Barrémien-Bédoulien : calcaires argileux en dalles à silex bruns, dits "de Vaison".

Cette formation légèrement argileuse affleure largement dans la région de Séguret dans le massif de Suzette.

Bédoulien : calcaires argileux

Cette formation épaisse de 150 m affleure à Châteauneuf-du-Pape. Elle est plus largement représentée dans la région de Murs où son épaisseur n'est que 4 à 5 m.

Bédoulien terminal : calcaires marneux

Au sud de Flassan, le Bédoulien terminal est représenté par 4 à 5 m de calcaires argileux.

4.3.4. Marnes gargasiennes - (4)

En raison d'une convergence de faciès, donc de comportement mécanique supposé identique, les marnes du Bédoulien ont été regroupées avec les marnes du Gargasien.

Bédoulien (Aptien inférieur) : marnes à D. deshayesi

Les marnes du Bédoulien au sud de Gargas, présentent un faciès voisin des marnes gargasiennes, gris-bleu et jaunes (couleur d'altération). Leur épaisseur est de 30 m.

Gargasien (Aptien supérieur) : marnes bleu-noir pyriteuses

Le Gargasien affleure largement au nord d'Apt, entre Gordes et Oppedette. Son épaisseur diminue vers l'est de 70 à 20 m.

Les marnes gargasiennes sont également présentes à l'est de Mormoiron en une succession d'affleurements alignés nord-sud, au nord de Bédoin,

Dans la partie nord du massif de Suzette, l'épaisseur des marnes argileuses bleuâtres du Gargasien atteint 150 m.

Le sommet de cette formation marneuse présente l'apparition d'une fraction sableuse qui annonce les formations du Clansayésien (partie terminale de l'Aptien). Les marnes se chargent avec ces éléments détritiques de glauconie et parfois de **montmorillonite**.

4.3.5. Grès, sables et marnes de l'Aptien et de l'Albien - (5)

Clansayésien : sables et grès verts et faciès rutilant

Le Clansayésien est constitué de marnes sableuses et glauconieuses, intercalées de grès marneux ou de calcaires gréseux en bancs de 0,15 à 0,3 m d'épaisseur.

Au sud du département, en continuité avec le Gargasien, il affleure dans le même secteur que lui.

Au sud-est de Roussillon, à la Blancherie, il contient un banc de 1 m d'argile riche en **montmorillonite**.

Son épaisseur est de 15 à 25 m ; au sud de Gignac et vers l'est elle atteint 60 m.

Au nord du département, au sud de la centrale de Tricastin, en rive droite du Rhône, des grès verts, marneux, glauconieux et sableux (80 m) ont été rattachés à l'Aptien supérieur.

Albien : sables ocreux glauconieux

A l'est de Carpentras, au pied des monts de Vaucluse, l'Albien est marno-sableux ou gréseux, glauconieux, à stratifications entrecroisées.

Au sud du département, il présente les mêmes faciès, et affleure en continuité avec le Clansayésien, et dans le même secteur que ce dernier.

Son épaisseur est d'une vingtaine de mètres.

Aptien supérieur-Albien : marnes sableuses et grès

A l'est de Vaison-la-Romaine, les marnes argileuses de l'Aptien supérieur n'ont pas été distinguées des marnes sableuses et des grès de l'Albien.

Albo-Aptien : sidérolitique du Coulon

Il s'agit d'un complexe constitué d'argiles sableuses jaunes à rouge sang, d'argiles jaunes, de lentilles de sables blancs, de concrétions et de blocs d'hématite. Il est localisé, à l'ouest d'Apt, dans les dolines du karsts urgonien. Son épaisseur, très variable, ne dépasse pas 25 m.

Cénomaniens inférieurs : grès et sables bariolés à faciès de Pied Bousquet

D'âge incertain, probablement daté en parti de l'Albien supérieur, ce sont au nord du Coulon, des grès tendres de teintes vives et des sables rouges (25 m), au sud du Coulon, des argiles et des sables blancs avec des niveaux de sables argileux roses (70 m).

Dans la région de Bédoin, l'ocriation a concerné indifféremment les dépôts albiens et cénomaniens. Les faciès d'altération sont représentés par des sables ocres et blancs siliceux (exploités). Au sud sud-est de Malaucène, les sables blancs sont piégés dans des dépressions karstiques de l'urgonien. Peu étendus, ils ont été cartographiés en Éocène par commodité.

4.3.6. Calcaires grès et sables du Cénomaniens et du Turonien - (6)

Cénomaniens inférieurs : grès et sables, calcaires gréseux, marnes sableuses

Au sud de Rustrel, le Cénomaniens est gréseux, grès-argileux, glauconieux, vert. Son épaisseur varie de 20 à 80 m en rive gauche du haut Calavon.

A Mormoiron, le Cénomaniens inférieur comprend trois horizons :

- marnes sableuses, glauconieuses à intercalations de bancs calcaires et niveaux ligniteux (20 m) à la base,
- grès jaunes calcitiques à débris coquilliers (40 m),
- au sommet 10 m de sables et grès roux, à débit en boules.

Plus au nord, le Cénomaniens, constitué de calcaires gréseux et de marnes sableuses, affleure dans deux dépressions : le synclinal d'Eygalières (épaisseur 750 m) et le bassin de Bédoin où les grès verts vraconiens (Albien terminal) ont été regroupés avec le Cénomaniens inférieur.

Au nord de Sault, dans le fossé d'Aurel, l'épaisseur du Cénomaniens est de 150 à 200 m avec 40 m de marnes très sableuses à la base, puis une alternance de marnes sableuses et calcaires argilo-gréseux.

Cénomaniens supérieurs ou Turonien : sables blancs et grès siliceux

Cette formation forme de petits affleurements discontinus entre, d'ouest en est, Saint-Pantaléon, Roussillon, Gargas et Gignac. Elle est constituée de sables blancs, siliceux, légèrement kaoliniques, de 10 à 20 d'épaisseur.

Cénomaniens : marnes et calcaires glauconieux

Autour du dôme du Lampourdier, au nord-ouest de Châteauneuf-du-Pape, le Cénomaniens est constitué de marnes grès-glauconieuses gris-noir (5 m au moins) et de calcaires argilo-gréseux et glauconieux.

Cénomaniens : grès et grès calcaires, passées ligniteuses, marnes

Cette formation calcaro-gréseuse, et marneuse avec passées ligniteuses est présente au nord de Sablet, au sud d'Orange et à Mondragon.

Turonien inférieur et moyen : calcaires gréseux et grès

A Uchaux, cette formation présente des variations latérales et verticales de faciès très nombreuses. Dans l'ensemble, il s'agit d'un puissant complexe calcaréo-gréseux reposant sur quelques bancs de marnes grises feuilletées passant latéralement à des grès calcaires voire à des grès roux.

Turonien moyen et supérieur : calcaires blancs à niveaux marneux, calcaires gréseux et grès

En continuité et dans le même secteur que la formation précédente, le Turonien supérieur et moyen comprend deux niveaux à prédominance marneuse (marnes sableuses, calcaire argilo-silteux) encadrant des calcaires gréseux. Ces niveaux sont parfois difficilement discernables.

Turonien : marnes à *Spongia pilula*

Il s'agit d'un niveau de marnes sableuses grises qui forment la partie supérieure du Turonien dans la région de Mondragon. Ses affleurements sont de très petites dimensions.

4.3.7. Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, du Paléocène et de l'Éocène - (7)

Coniacien et Santonien : sables, argiles, marnes à lignites

Le Santonien est présent dans le massif d'Uchaux (formations du synclinal de Noyères au nord et du synclinal de Piolenc au sud). Il surmonte, sans limite précise, un Coniacien supérieur de faciès assez comparable.

La formation de Piolenc est constituée de sables blancs argileux avec intercalations de grès ferrugineux, d'argiles gypseuses, d'argiles ligniteuses et de gros bancs de lignite.

La formation de Noyères est constituée de sables blancs et roux consolidés alternant avec des niveaux d'argile très pure (exploitée intensivement).

Coniacien et Santonien : calcaire argileux à Rudistes

Il s'agit d'une lentille de calcaire argileux à Rudistes présente dans la formation de Noyères décrite précédemment.

Rognacien (= Danien) non différencié : calcaires, grès, argilites rouges

Au sud de Meyrargues, il existe de petits affleurements de Rognacien dégagés de la couverture oligocène ; les divers niveaux de cette formation calcaro-argileuse n'ont pas été différenciés.

Éocène inférieur (probablement Crétacé supérieur) : sables et argiles colorées

Les sables siliceux, blancs, jaunes, roses, de couleurs très vives, renferment de façon très irrégulière des bancs d'argiles assez pures. Cette formation fluvio-lacustre, qui peut atteindre 80 m d'épaisseur, n'est représentée dans le département que par un minuscule affleurement de 0,75 hectare au nord-est de Bollène.

Éocène inférieur et moyen : calcaires lacustres, marnes argileuses et sables

Au nord du Luberon, sous Saint-Hilaire, l'Éocène inférieur est représenté par un calcaire blanc à silex.

Au sud du Luberon, les calcaires lacustres à l'ouest de la ferme des Borrys appartiennent au Lutétien. Plus à l'ouest, entre Mérindol et la ferme de l'Aumône, s'étend un ensemble de marnes argileuses et de sables rougeâtres, avec des bancs calcaires intercalés.

A Orgon, les sables et les argiles rougeâtres de l'Éocène inférieur (épaisseur 30 m) reposent sous les calcaires lutétiens (épaisseur 25 m).

Lutétien : calcaires

Le Lutétien est représenté

- au nord du Luberon par des calcaires argileux, des calcaires fins à grains de quartz et des calcaires à silex
- au nord de Goult par des cailloutis de calcaires et de silex, des marnes vertes et rouges, des calcaires pisolithiques et des marnes et calcaires crayeux blancs.

Lutétien : marnes, sables fluviatiles et conglomérats à Microdium

Dans le secteur de Murs, une formation fluviatile du Lutétien (5 à 8 m) est constituée de niveaux conglomératiques en chenaux dans des limons de crues.

4.3.8. Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien - (8)

Bartonien : argiles vertes à attapulгите de Mormoiron

Dans les carrières du Roussan et de la Jouvette à Mormoiron, les exploitations ont mis à l'affleurement la couche supérieure (4 m) d'argiles vertes, non carbonatées, à **attapulgite** quasi exclusive et smectite en dessous.

On en retrouve l'équivalent, plus à l'est, dans le bassin d'Apt, vers les Jean-Jean.

Bartonien : argiles de la Rouquette

Dans les carrières de sables de Mormoiron, un niveau lenticulaire d'argiles **smectitiques** est présent à la base des sables à gravillons latéritiques du Bartonien supérieur : ce sont les argiles de la Rouquette.

Bartonien : marnes vertes, argiles sableuse, calcaires à gypse, argiles vertes, sable glauconieux

Cette formation forme la base de la butte de la Perréal entre Saint-Saturnin-d'Apt et Gargas.

4.3.9. Argiles, marnes et sables de l'Éocène moyen terminal (Bartonien supérieur) et de l'Éocène supérieur (Ludien) – (9)

Bartonien : marnes sableuses marmorisées et encroûtements polyphasés de la Font du Loup

Ces marnes sableuses, peu épaisses, ont été attribuées au Bartonien par analogie avec les secteurs plus méridionaux du bassin de Carpentras - Mormoiron.

Ludien (Éocène supérieur) : calcaires à grains de quartz, à Cyrènes et Potamides de Caromb

Cette formation affleure au nord de Caromb. Ces calcaires argileux blanchâtres en plaquettes sont intercalés dans des grès.

Ludien (Éocène supérieur) : conglomérat de Crillon-le-Brave

Le conglomérat de Crillon-le-Brave est constitué d'une alternance de marnes argileuses et de lentilles de conglomérats. Les blocs calcaires qui sont présents dans les conglomérats peuvent atteindre jusqu'à 2 m de diamètre.

Ce complexe conglomératique est largement développé au nord-est de Crillon-le-Brave où il occupe toute la colline du Four-de-la-Chaux. L'épaisseur peut atteindre environ 200 m.

Ludien (Éocène supérieur) : marnes jaunes et calcaires à Limnées de Méthamis

Au sud de Méthamis affleure cette formation marneuse qui est *pro-parte* l'équivalent latéral du complexe détritique de Mormoiron.

Ludien (Éocène supérieur) : lignites et calcaires de Méthamis

A Méthamis (rive gauche de la Nesque), affleure un complexe carbonaté, argileux et ligniteux d'une vingtaine de mètres d'épaisseur accompagné de paléosols, de marnes palustres et de calcaires lacustres.

Ludien (Éocène supérieur) : lignites et calcaires de Graveson

Il s'agit d'argiles vertes tachetées de rouge, à **smectites et attapulгите**. Le taux d'**attapulгите** augmente vers le haut, pouvant atteindre 100%.

Leur épaisseur est de 5 à 8 m.

4.3.10. Sables et argiles verts de Mormoiron – (10)

Ludien (Éocène supérieur) : sables et argiles verts à smectites de Mormoiron

Il s'agit d'une puissante accumulation (80 à 100 m) de sables et d'argiles à niveaux conglomératiques d'origine fluviale. Dans les sables et argiles verts, les **smectites** alumino-ferrifères dominent, accompagnées d'**attapulгите**.

Vers le nord, la série argilo-sableuse de Mormoiron passe latéralement aux importants conglomérats de Crillon-le-Brave.

4.3.11. Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien) – (11)

Ludien (Éocène supérieur) : sables blancs à quartz rose de Sénanque

C'est une épaisse accumulation (jusqu'à 20 m) de sables argileux remaniés du Crétacé mais dont la fraction argileuse à **smectites** paraît autochtone. Ces affleurements sont minuscules au nord de l'abbaye de Sénanque.

Ludien (Éocène supérieur) : marnes et dolomies blanches de la Débruge, gypse

Cette formation qui constitue en partie la butte de Le Perréal, au nord de Gargas, est épaisse de 20 à 40 m.

Les niveaux d'argiles vertes qui alternent avec des bancs de gypse massif, sont épais de 1 à 2 m.

Des disques aplatis de gypse et des masses de pyrite jaune se trouvent en lentilles dans les argiles vertes dolomitiques à **smectites et attapulгите** qui ont été exploitées comme bentonites.

4.3.12. Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien) – (12)

Ludien (Éocène supérieur) : calcaires à Charas, marnes vertes et gypse

Cette formation (de plus de 20 m d'épaisseur), mal caractérisée à Le Perréal, au nord de Gargas, est constituée d'argiles vertes, de marnes jaunes, de calcaires blancs et de lentilles de gypse.

Ludien (Éocène supérieur) : marnes rouges à paléosols de Ferrière

Ces marnes rouges, épaisses de 15 m, affleurent au sud-est de Venasque.

Ludien (Éocène supérieur) : marnes beiges à débris de silex de Sénanque

Ces marnes épaisses de 15 m affleurent également au nord de l'Abbaye de Sénanque.

Ludien (Éocène supérieur) : marnes blanches à oncholites de Murs

A Murs, des marnes blanches ou beige (20 m) caractérisent le sommet du Ludien.

A Bézaure, des passées gypseuses apparaissent dans les marnes.

Ludien (Éocène supérieur) : argiles sableuses

Entre Goult et Roussillon, l'Éocène supérieur (120 m) débute par des conglomérats, surmontés de marnes sableuses intercalées de niveaux d'alluvions mal cimentées.

A l'est entre Apt et Viens, les conglomérats sont surmontés de quelques mètres de sables rouge vif et d'environ 80 m de sables argileux couleur saumon comprenant des lentilles (1,8 m de puissance) de graviers et de galets calcaires.

4.3.13. Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur) – (13)

Éocène : marnes blanches sans fossiles

Dans la partie nord-est du massif d'Uchaux, l'âge éocène a été attribué à des marnes blanches, calcaires, grumeleuses, à silex blonds sans fossiles (2 petits affleurements).

Stampien inférieur : argilites saumon et grès micacés rouges ou bleutés

Une épaisse série d'argilite, interstratifiée de grès micacés, constitue le soubassement de la Trévaresse.

4.3.14. Sables, marnes et calcaires du Stampien - (14)

Stampien moyen : calcaires et marnes de Sainte-Marguerite

Cette formation comprend :

- 30 m de calcaires en bancs à passées marneuses,
- 40 m de marnes versicolores à passées de brèches,
- 13 m de calcaires bien lités avec des marnes.

Stampien supérieur : gypse de Notre-Dame-de-Groseau

Le gypse lenticulaire (jusqu'à 30 m d'épaisseur) est intercalé dans un ensemble de marnes vertes et de calcaires en plaquettes (de 25 à 40 m d'épaisseur).

Stampien supérieur et moyen non différenciés : conglomérats, marnes, grès, gypse, **montmorillonite**, calcaires

Cette formation qui affleure au nord-est du massif de Suzette comprend trois assises :

- une série rouge avec des conglomérats, des sables et des grès (épaisseur variable, jusqu'à 200 m),
- une série blanche avec du gypse à intercalations d'argiles vertes **montmorillonitiques** (40 m),
- une argile verdâtre (**montmorillonite** bien cristallisée) à minces niveaux de gypse, surmontée de laminites carbonatées algaires.

Stampien supérieur et moyen non différenciés : alternances de calcaires marneux et de marnes calcaires

Au nord de la Durance, entre Pertuis et la Bastidonne, affleure une alternance de calcaires marneux et de marnes calcaires.

Sannoisien inférieur : sables glauconieux

L'épaisseur de cette formation constituée de sables glauconieux, d'argiles vertes et de marnes rouges, varie de 0 à 30 m.

Sannoisien inférieur : calcaires à Cyrènes

Ces calcaires argileux, blancs comprennent des niveaux de marnes (épaisseur de 2,5 à 10 m).

4.3.15. Argiles du Maronnier (Stampien) – (15)

Sannoisien inférieur : argile du Maronnier

Les argiles du Maronnier **montmorillonitiques**, vertes, alternent régulièrement avec des lits de gypse (épaisseur totale 30 m).

4.3.16. Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien) – (16)

Sannoisien supérieur : niveau de Pradengue et niveau de la Mort d'Imbert

Le niveau de Pradengue est présent à l'ouest du Calavon : argiles rouges et brunes intercalées de grès argileux avec minces lits de gypse (épaisseur totale 25 m).

Au col de la Mort d'Imbert, on trouve des gypses compacts, anciennement exploités, superposés à un doublet de marnes rouges sableuses épaisses de deux fois 8 à 10 m. Ces deux niveaux sont séparés par des argiles bleues (exploitées autrefois pour la fabrication de tuiles) épaisses de 7 à 8 m.

Sannoisien supérieur : calcaire de La Fayette

Ce calcaire est décrit dans les notices géologiques comme un calcaire en plaquettes, mais il a été observé sur le terrain des niveaux marneux.

Stampien : calcaire de Campagne-Calavon, de Fontaine-de-Vaucluse et de Montfuron

Le calcaire de Campagne-Cavalon comprend de haut en bas :

- des calcaires en plaquettes,
- des calcaires en minces feuillets,
- des calcaires à débit rhomboédrique sur des marnes à fragments de palmiers silicifiés.

L'épaisseur totale est de 100 m.

Le calcaire de Montfuron et de Fontaine de Vaucluse comprend de haut en bas :

- des calcaires en plaquettes, bitumineux, à lits de silex noirs, de 125 m d'épaisseur à Saint-Martin-des-Eaux.
- des marnes grises, des grès micacés en bancs épais, des bancs calcaires feuilletés (épaisseur totale de 100 à 120 m dans la région de Manosque).
- des calcaires finement feuilletés ou se débitant en petits cubes, des brèches et des cargneules alternant avec des marnes bitumineuses (épaisseur totale de 125 m).

Stampien : niveau de Caseneuve et niveau de Bois d'Asson

A l'ouest du Calavon, un complexe d'argiles vertes alterne avec des grès tendres, verdâtres et rougeâtres (50 m) : niveau de Caseneuve.

A l'est du département, des argiles sableuses à intercalations de grès et de rares bancs de calcaires montrent la présence de lignite sur les deux flancs du Luberon et de

soufre à Biabaux. L'épaisseur de cette formation, dite niveau de Bois-d'Assau, varie de 125 m à plus de 250 m à Manosque.

Stampien : calcaires de Vachères

Entre Auribeau et Saignon, cette formation est représentée par un complexe de calcaires en petits bancs, à silex plats, intercalés de lignite au nord de Saint-Martin-de-Castillon. La partie inférieure est constituée de calcaires gaufrés, intercalés de marnes à minces lits de gypse.

A l'ouest de Vachères, la formation est épaisse de 10 à 20 m ; elle atteint 350 m dans la « fosse » de Manosque avec des calcaires en bancs minces, intercalés de marnes blanchâtres. Des lignites sont présents à Gaude et à Bois-d'Asson, ainsi que des schistes bitumineux non exploités à la base de la masse calcaire.

4.3.17. Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien) – (17)

Stampien : marnes de Viens

Dans la région de Viens, ces marnes rouges et vert clair, accompagnées de minces lits de grès sableux sont épaisses de 10 m.

A l'est du Calavon, les grès deviennent plus grossiers. L'épaisseur de la formation est de 120 à 150 m.

Stampien : marnes sableuses versicolores de la Grande-Bastide

Au Nord du Thor affleurent des faciès lacustres comprenant des calcaires, des marno-calcaires, des sables ou grès tendres et des marnes (épaisseur totale de 10 à 20 m).

4.3.18. Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien) – (18)

Stampien : calcaires bréchiques des Pâtis

La partie inférieure de la formation est constituée d'une masse de dolomies blanches. Les **smectites** dominant. Les dolomies sont recouvertes de calcaires argileux et d'argilites sableuses à 100% de **smectites**. L'épaisseur de la formation varie de 10 à 50 m.

Stampien : calcaires à *Brotia laurae* (mollusque)

Il s'agit d'un complexe carbonaté et argilo-sableux, à niveaux ligniteux.

Vers Malemort et Mazan, la formation calcaire à **smectites** et sépiolite s'achève par des calcaires argileux et ligniteux avec une lentille de sable roux (2 à 3 m).

Les niveaux des calcaires à *Brotia lauræ* montrent de très nombreuses variations latérales :

- au sud de Pernes-les-Fontaines : calcaires en bancs très épais,
- à Murs : calcaires massifs à faciès palustres peu épais alternant avec des calcaires lacustres en plaquettes,
- en direction de Sénanque : calcaires à débris de plaquettes roulées et brisées,

Stampien : sables et grès verts de la Valette-de-Pernes

Cette formation, épaisse de 20 à 80 m, est représentée par des marnes sableuses fines chenalisées par des sables et grès verts grossiers. Les argiles sont constamment : kaolinite-illite et **smectites**.

Stampien : calcaires de l'Isles-sur-Sorgues et de Velleron, niveaux gypseux

A l'est de Velleron, cet ensemble calcaire (épais de 10 à 80 m), présente de nombreux passages latéraux de faciès.

La base est constituée de calcaires riches en matière organique, en bancs réguliers. Au-dessus, s'installe le complexe évaporitique avec de grandes masses de gypse.

Les lentilles de gypse s'insèrent dans un ensemble carbonaté blanc, à lits de silex noirs et à joints d'argiles orangées à smectites.

Un troisième terme est constitué de calcaires lacustres en plaquettes avec des bancs de laminites argilo-carbonatées, papyracées.

Au nord de Sault, dans le fossé d'Aurel, l'Oligocène, épais de 125 m, montre de bas en haut : des marnes bleuâtres, des sables et marnes sableuses avec de minces niveaux de grès blancs, des marnes argileuses jaunâtres et versicolores, des calcaires à Limnées puis des calcaires en plaquettes à silex noirs.

Au sud de Sault, l'Oligocène est représenté par des argilites blanchâtres et des calcaires argileux en plaquettes.

Stampien : marnes et grès verts de Murs

Cette formation détritique, épaisse de 30 à 40 m, est intercalée de niveaux calcaires ou gréseux.

La base comprend des grès verts en chenaux, surmontés de marnes bleues, intercalées de niveaux laminés calcaréo-argileux. Des calcaires en plaquettes apparaissent vers le milieu de la formation.

Stampien : marnes et calcaires de Venasque

Cette série (de 30 à 40 m d'épaisseur) de marnes vertes et de calcaires blancs massifs constitue l'ossature de tous les reliefs compris entre Venasque et la Roque-sur-Pernes.

4.3.19. Argiles et sables de l'Oligocène supérieur – (19)

Oligocène terminal : sable des Figons, sable très fin argileux à lentilles gréseuses

A l'est de Pertuis, ce sable très fin, argileux, d'épaisseur variable (2 à 10 m) contient des lentilles et des boules de grès.

Oligocène non différencié : argilites rouges à intercalations de lentilles conglomératiques

Au Nord de la formation précédente, affleurent des argilites rougeâtres avec des intercalations de lentilles conglomératiques à ciment argileux.

Oligocène : complexe de Suzette à cargneules et à gypse

La série, lithologiquement très complexe, affleure dans la partie sud-ouest du massif de Suzette (région de Montmirail). Elle présente souvent des variations latérales de faciès.

On y distingue depuis le sommet :

- une molasse sableuse en bancs indurés à passées d'argiles sableuses ;
- des argiles bariolées à gypse et des marnes beiges avec passées de calcaire argileux, de calcaire lacustre, de grès micacés, de sables fins et de grès argileux ;
- une alternance d'argiles bariolées, de marnes, de calcaires et de grès avec passées de calcaires glauconieux, de calcaires lacustres sublithographiques, de grès calcaires et de grès à ciment ferrugineux ;
- à la base, des conglomérats, des argiles sableuses rouges et des calcaires gréseux rouges.

Oligocène non différencié : argilites rouges, calcaire blanc

Au nord de Mirabeau, des argilites rouges sont représentées sur le revers sud du pli de Beaumont et se chargent vers l'ouest de lentilles de conglomérats calcaires.

A l'est et au sud-est de Bonnieux, des argiles blanches sont associées à de minces niveaux calcaires. Les argiles grises affleurant dans la « combe » de Lourmarin sont attribuées à l'Oligocène.

4.3.20. Marnes sableuse, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien – (20)

Burdigalien : sables marneux de la Cluse de Lourmarin

Au débouché sud de la « combe » de Lourmarin, la base du Burdigalien passe à un sable vert argileux glauconieux.

Burdigalien : molasse sablo-marneuse

Les molasses calcareuses et gréseuses du Burdigalien sont plus calcaires vers Sivergues et plus marno-sableuses vers Reillanne. Elles varient sans cesse d'épaisseur : de 10 à 100 m.

Au sud de Saint-Paul-Trois-Châteaux, la base du Burdigalien, transgressif et discordant, prend le faciès de molasse verdâtre de Saint-Restitut (épaisseur allant jusqu'à 80 m)

Burdigalien : marnes sableuses et molasses calcaires et quartzo-calcaires

L'épaisseur du Burdigalien varie de 0 à 50 m, hormis dans le bassin de Malaucène, où elle peut dépasser 250 m.

La série burdigalienne classique se compose essentiellement de calcaires bioclastiques et de calcaires marneux ; ces faciès se superposent ou forment des lentilles tellement imbriquées les unes dans les autres qu'elles sont rarement différenciées sur les cartes géologiques.

Le faciès calcaire classique (ou molasse calcaire) prédomine largement. Il est constitué de nombreux débris organiques marins, avec des grains de quartz et de glauconie.

Le faciès calcaire marneux est une variante du précédent distingué cartographiquement dans la série de Crillon-le-Brave et dans celle de Malaucène.

De Gigondas à Beaumes-de-Venise, la base de l'étage est parfois marneuse et surmontée par une molasse calcaire.

Dans la région de Saumane, 6 formations ont pu être distinguées :

- molasse inférieure de Saumane (50 m),
- molasse supérieure de Saumane (60 m),
- marnes et calcaires argileux gris-beige (15 m),
- calcaires argileux consolidés (20 à 25 m),
- molasse calcaire (20 m),

- calcaires grossiers 10 à 15 m).

La molasse calcaire burdigalienne est bien représentée au nord du Luberon depuis Gordes au nord-ouest, en passant par Ménerbes, Lacoste, Bonnieux et Buoux à l'est.

D'une manière générale, il s'agit d'une molasse gris verdâtre dont la fraction calcaire et la granulométrie varient irrégulièrement. Vers Buoux, aux « combes » de Bonnieux et de Lourmarin les bancs deviennent plus calcaires. Vers les Beaumettes, le faciès est grès-marneux.

Vers Reillanne, la base des molasses calcareuses et gréseuses devient plus marno-sableuses.

Dans le fossé d'Aurel, le Burdigalien, épais de quelques mètres jusqu'à 30 m, est représenté par des calcaires grossiers.

Burdigalien : marnes et calcaires argileux gris beige

Des marnes et calcaires argileux gris beige (15 m d'épaisseur) en petits bancs friables, s'altérant facilement, donnent dans la zone de Venasque des combes cultivées.

Un faciès sablo-limoneux apparaît localement, notamment dans la colline de Châteauneuf-de-Gadagne : alternance de lits minces d'argiles ou de silts et de sables limoneux et argileux (10 m d'épaisseur environ).

Burdigalien : calcaires argileux consolidés

Présente entre Venasque et l'Isle-sur-la-Sorgue, cette formation est épaisse de 20 à 25 m.

4.3.21. Marnes bleues du Burdigalien - (21)

Burdigalien : marnes bleues

Dès le sommet du faciès calcaire classique se développent des marnes bleues meubles : « marnes bleues de Faucon » dans les bassins de Faucon – Mollans - Malaucène et de Valréas (de 0 à 40 m d'épaisseur).

Les marnes de Caumont (280 m), silt plus ou moins argileux et finement sableux, affleurent bien dans les anciennes tuileries au nord de Saint-Saturnin-lès-Avignon.

4.3.22. Sables, marnes et grès du Miocène moyen - (22)

Helvétien supérieur : marnes sableuses, grès, calcarénites jaunes, rousses ou gris bleuté

Autour du massif d'Uchaux et dans la région de Vaqueyras, l'Helvétien est caractérisé par une série monotone de sables roux, ferrugineux à passées consolidées en grès tendres à ciment calcaire.

Au nord du Luberon, les sables et les grès de l'Helvétien sont peu marneux. Leur épaisseur varie de 50 à 150 m.

Au sud du Grand Luberon, les marnes sableuses et les sables marneux (100 à 150 m) de l'Helvétien deviennent grès-molassiques vers le haut (sur 20 m) ; vers le sud-Ouest leur épaisseur atteint 200 à 350 m.

Au nord de Pertuis, l'Helvétien est essentiellement constitué par des sables marins avec des barres de calcarénites roussâtres. Dans la dépression de Mirabeau, sa puissance est de 100 m. Il s'épaissit encore vers l'ouest, et près de la Bastidonne apparaissent des argiles calcaires bleues.

Miocène moyen : marnes gréseuses

Ces marnes (100 m d'épaisseur) finement gréseuses, tendres, homogènes, très bien litées apparaissent très localement dans la butte du Moulin-à-Vent de Châteauneuf-du-Pape et au château de Raya.

Miocène moyen : sables et grès molassiques (« safres helvétiques »)

Les sables et grès de Valréas jaunes ou grisâtres, connu localement sous le nom de « safres », épais de 180 à 250 m, sont consolidés de manière aléatoire.

Plus au sud, leur épaisseur dépasse 100 m dans la dépression d'Entrechaux, au cœur du synclinal de Puyméras

Ils affleurent aussi largement dans les plateaux du Comtat au nord de Monteux, où leur faciès n'est jamais franchement marneux en surface. Par contre, ils montrent des couches d'argiles plus ou moins sableuses en profondeur, et à différents niveaux, sur des épaisseurs variables, localement fortes (140 m au nord-ouest de Monteux, dans le sondage des Beaumettes). A Sarriens, ils ont été reconnus sur une épaisseur de plus de 300 m sans avoir été traversés en totalité.

Au sud-est de Carpentras, affleurent de minces bandes de sables et de marnes sableuses helvétiques.

4.3.23. Marnes du Tortonien marin - (23)

Tortonien marin : marnes de Cabrières

Au nord et au nord-est de Cucuron, les marnes bleues de Cabrières présentent des passages latéraux marno-molassiques.

Tortonien marin : marnes bleues de Saint-Pantaléon

A l'est de Valréas, la moitié inférieure du Tortonien marin passe latéralement aux Marnes bleues de Saint-Pantaléon (épaisseur 15 m).

Les marnes bleues et les sables marins affleurent au centre de la cuvette synclinale de Puyméras et au Nord de Vaison-la-Romaine avec, à la base, des marnes bleu foncé plus ou moins sableuses surmontées d'assises marno-sableuses. Le sommet de la formation est constitué par des sables gris.

4.3.24. Marnes, sables, molasses sableuses du Tortonien lacustre et marin - (24)

Tortonien marin : marnes, sables, molasses sableuses

Les marnes sableuses et les sables marneux de Visan (20 à 40 m) s'étendent jusqu'à Valréas.

Le Tortonien marin est bien représenté au nord de Cairanne avec des sables gris et des marnes sableuses au sommet. La partie inférieure est représentée par des marnes bleues souvent plastiques, finement sableuses.

Dans la dépression de Mirabeau-La Bastidonne, la partie inférieure du Tortonien marin est constituée de 15 m environ de sables molassiques.

Tortonien lacustre à marnes dominantes et sables

Au sud de Valréas, le Miocène supérieur lacustre est représenté par des sables gris épais de 15 à 40 m.

Une formation identique affleure dans la région de Mirabel-aux-Baronnies, intercalée de conglomérats et de cailloutis.

A l'est et au Nord de Cairannes, le Miocène supérieur lacustre présente un faciès assez constant : sables et marnes sableuses grises entrecoupées de passées conglomératiques.

Au nord de Cucuron, le Tortonien inférieur marin est constitué de marnes et de sables gris.

4.3.25. Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène - (25)

Tortonien lacustre : calcaire blancs ou gris

Le Tortonien lacustre calcaire forme les plateaux qui s'étendent au sud de Lourmarin : calcaire gris des Ratavoux, épais de 30 m environ. En direction de Pertuis, les calcaires lacustres alternent avec des travertins tendres, des grès et des marnes sableuses (épaisseur totale 10 m environ). On retrouve des intercalations de calcaires

lacustres au sein des molasses sableuses qui couronnent le Tortonien au sud-est de Mirabeau. Les calcaires lacustres sont également présent au nord de Cucuron.

Tortonien supérieur conglomératique : sables à galets, conglomérats

Cette formation affleure sur le massif de Rasteau-Saint-Roman : série monotone de conglomérats avec intercalations de marnes, avec à la base des limons et cailloutis.

Formation de Valensole (Miocène terminal)

L'extrémité sud-est du département présente la terminaison de la formation de Valensole : poudingues à gros éléments de calcaires roulés et impressionnés, avec localement lentilles d'argile.

Miocène terminal conglomératique (Tortonien supérieur continental anciennement « Pontien supérieur »)

Le Miocène terminal conglomératique du massif de Visan - Vinsobres est constitué de 80 à 120 m de conglomérats stratifiés, à galets impressionnés, emballés dans des marnes et des sables clairs.

De Lourmarin à Pertuis, le Miocène terminal continental est constitué des mêmes conglomérats accompagnés de limons rouges.

Infra-Pliocène ? : sables à cailloutis et blocs

Ces colluvions de pentes apparaissent dans le fond du vallon de Mataronnes, au nord de Vaison-la-Romaine. Elles sont constituées de marnes sableuses et de conglomérats imbriqués en lentilles irrégulières (épaisseur totale de 0 à 30 m)

Elles sont également présentes en îlots minuscules dans la montagne de Sorgues, dans la colline de Châteauneuf-de-Gadagne et à la base du versant molassique au nord de Sarrians.

4.3.26. Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal – Pliocène - (26)

Pliocène : sables marins et saumâtres, marnes, argiles micacées

Les sables marins et saumâtres, fins, à stratification entrecroisée, du Pliocène (5 à 50 m) sont présents entre Châteauneuf-du-Pape et Bédarrides.

Miocène terminal continental à limons dominants (Tortonien supérieur continental anciennement « Pontien supérieur »)

Vers Cucuron, au pied du Luberon, on rencontre à la base du Miocène supérieur continental des limons rouges, avec une faune dite du Mont Luberon.

4.3.27. Marnes bleutées du Plaisancien marin - (27)

A Bollène et à Visan, les marnes bleutées du Plaisancien affleurent dans les parties basses de la topographie actuelle. Ces marnes furent exploitées à Bollène. A Visan, les faciès marneux passent à un sable grossier à graviers et galets perforés.

A l'est de Villedieu, elles affleurent dans le ravin des Mataronnes.

Les marnes bleues sont bien représentées près de la ferme Les Argiles, à l'ouest de Mérindol, où elles sont très fossilifères.

Elles sont présentes dans la région de Bédarrides sous leur aspect classique, de teinte grise, très plastiques. Elles sont constituées d'illite, de chlorite, de kaolinite, de **montmorillonite**, de quartz, de feldspath et de calcite.

Les affleurements sont dispersés : Vaucroze au sud de Bédarrides, colline de Châteauneuf-du-Pape, Saint-Geniès-de-Comolas où elles furent autrefois exploitées.

Leur épaisseur maximale probable est de 400 m.

4.3.28. Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien) – (28)

Astien (Plaisancien) : argiles et sables littoraux, milieu saumâtre

A l'est de Buisson et au sud de Saint-Roman-de-Malegarde, affleurent les formations plaisanciennes représentées par des dépôts saumâtres : sables littoraux, marnes et argiles calcaires.

Plus au nord, la partie inférieure saumâtre du Plaisancien (marnes à Congéries inférieures) n'affleure guère qu'en quelques points près de La Chapelle-Saint-Ferréol. La partie supérieure saumâtre du Plaisancien (marnes à Potamides basteroti) n'est visible qu'à l'est de Visan.

Astien (Plaisancien) : conglomérats fluviatiles polygéniques à galets impressionnés, marnes

Cette formation fluvio-lacustre, épaisse de 200 m, affleure largement entre Marabel-au-Baronnies et Villedieu. Elle est constituée de marnes d'eau douce parfois ligniteuses et de conglomérats fluviatiles polygéniques à galets de calcaires impressionnés.

Des dépôts continentaux du Plaisancien supérieur sont visibles au nord du massif de Rasteau-Saint-Roman : marnes dulcaquicoles avec intercalations de conglomérats fluviatiles à galets impressionnés

Des conglomérats (peu épais, de quelques mètres) dit « conglomérats du Puget », difficiles à distinguer des cailloutis du Miocène terminal, forment des lambeaux près de Puget, aux Borrys et au nord-est de Mérindol.

4.3.29. Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire) – (29)

Haut glacis de Saint-Estève (Quaternaire ancien)

Le haut glacis de Saint-Estève est représenté à l'est de Bédoin. Il s'agit de la plus haute terrasse alluviale du bassin de Bédoin.

Epandages locaux, colluvions (Riss) : limons et cailloutis

Les hauts glacis d'épandage rissiens se distinguent par leur position topographique et par l'altération plus poussée du matériel. Aux alentours de Pertuis, les limons et les cailloutis rissiens occupent des fonds de vallons ou des hauts de versants.

Colluvions würmiennes

Entre Orange et Caumont-sur-Durance, tous les versants façonnés dans les couches néogène sableuses et marneuses sont tapissés sur de grandes étendues par une couverture colluviale plus ou moins épaisse qui masque presque entièrement les formations en place sous-jacentes. C'est un limon plus ou moins sableux ou argileux, sans structure, irrégulièrement chargé en galets de quartzites avec, localement, des cailloutis calcaires. Leur épaisseur est très variable : de 10 à 15 m.

Epandages locaux, colluvions (Würm) : cailloutis, limons

Ces épandages détritiques s'interposent dans le bassin de Bédoin en particulier, entre les cônes et les terrasses.

Ils sont particulièrement bien représentés dans le sud-est du département dans la région de Pertuis. Dans la plupart des talwegs, les limons et les cailloutis proviennent de glissements sur les pentes.

Cailloutis résiduels (Quaternaire)

Ce sont des formations résiduelles ou faiblement remaniées, indifférenciées, peu développées et formées aux dépens du substrat sous-jacent ou proche.

On les observe à l'ouest du département sur les massifs d'Uchaux, de Rasteau, de Montmirail.

Argiles de décalcification remplissant des poches karstiques (Quaternaire)

Les remplissages de poches karstiques, constitués de cailloutis et d'argiles de décalcification garnissent le fond des dépressions fermées au niveau de Saint-Christol.

Glissement de la combe du Pétard (Quaternaire)

Sur le flanc nord du mont Ventoux, au-dessus de Saint-Léger-du-Ventoux, un glissement de terrain très important affecte les calcaires fins à silex du Barrémo-Bédoulien.

Colluvions d'âge indéterminé : limons, cailloutis (Quaternaire)

Quand ils ne sont pas la proie du ravinement, la plupart des versants sur matériels argileux ou sableux dominés par des corniches carbonatées, sont recouvertes de colluvions.

Les colluvions, constituées de limons et de cailloutis, ont des épaisseurs variables.

D'une façon générale, les colluvions limoneuses sont très développées sur les substrats marneux où elles assurent la transition entre les éboulis de versants et les alluvions de la zone d'épandage (par exemple : sur les marnes oligocènes du bassin de Sault).

On les retrouve dans les fonds de vallons à circulation temporaire qui entaillent les collines de Pernes, les collines de Mormoiron et les plateaux de Vaucluse et également sur les versants à faible pente du plateau d'Albion.

4.3.30. Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire) – (30)

Alluvions fluviales villafranchiennes : graviers et galets à intercalations sableuses et limoneuses

Dans la région de Bollène, la haute terrasse du Rhône n'est représentée que par le lambeau du sommet de la colline de Saint-Restitut. Ce dépôt est constitué de galets de quartzite alpins disséminés.

Les hautes terrasses alluviales tapissent les plateaux sommitaux de Châteauneuf-du-Pape et de Châteauneuf-de-Gadagne. Leurs épaisseurs varient de 2 à 15 m, les matériaux sont très hétérométriques.

Haute terrasse (Mindélien-Quaternaire)

Au nord de Mérindol, les dépôts mindéliens sont constitués par des placages de plusieurs mètres d'épaisseur de cailloutis et de galets emballés dans une matrice argileuse.

On les retrouve entre Carpentras, Sarrians et Sablet, dans la région de Bédoin.

Ils sont constitués de cailloutis à matrice sablo-limoneuse, d'épaisseur variable, souvent inférieure à 10 m.

Alluvions de la moyenne terrasse (Riss) : cailloutis et graviers

Les terrasses du niveau supérieur des vallées (Riss) sont très démantelées et ne subsistent que sous forme de lambeaux aux environs de Grignan et de Taulignan (vallée du Lez), entre Valréas et Visan.

Ces alluvions, constituées de galets, de graviers et de sables, sont bien représentées dans les vallées de l'Aygues et de l'Ouvèze. Elles sont également présentes dans la plaine du Comtat, le long du Rhône et à l'est de Carpentras.

Cônes de déjection würmiens (Quaternaire)

Ces cônes de déjections sont constitués de matériel torrentiel à caractère périglaciaire : limons et cailloutis. Ils se développent au débouché des vallons entaillés dans les unités de relief calcaire. Le glacis-cône de Saint-Saturnin-lès-Apt en fournit un excellent exemple.

Quelques petits affleurements sont observés entre Vaison-la-Romaine et Savoillan.

Ils également bien développés en bordure de la Durance.

Alluvions de la basse terrasse (Würm) : cailloutis, graviers, sables (Quaternaire)

Ces alluvions (galets, graviers, sables) sont présentes dans les massifs calcaires sur la rive gauche du Rhône, dans le bassin versant de ses affluents (Lez, Coronne, Hérin, Aygues, Ouvèze...). Leur épaisseur varie de 5 à 10 m.

Dans la région de Carpentras, ce sont des cailloutis principalement calcaires, avec des silex rouges et verts, avec des intercalations de lentilles sableuses ou graveleuses. Ils affleurent bien dans le bassin tertiaire de Carpentras le long des vallées de la Mède, de l'Auzon et de la Nesque. Leur épaisseur est de l'ordre de 10 à 12 m.

Sur la rive droite du Coulon, ce sont de vastes placages de cailloutis, riches en galets de calcaires. On en retrouve des lambeaux au Sud-Ouest d'Apt.

De l'ouest de Mérindol s'étend une nappe inclinée de cailloux polygéniques plus ou moins roulés. La haute terrasse de la Durance est située sur le plateau entre Cadenet et Lourmarin.

Les alluvions descendues du Luberon, formées de calcaire et de silex, de limons argileux rouges, de sables et fragments de roches molassiques, forment un vaste plan incliné, à l'est de Cabrières-d'Aigues. Leur épaisseur maximale est de 10 m.

Cônes de déjection récents (Quaternaire)

Dans le secteur de Sablet, ces formations, peu épaisses en général, occupent des zones basses, formées aux dépens des alluvions. Déposées au pied des collines, par des cours d'eau au régime régulier et partiellement alimentées par voies colluviales, elles présentent une granulométrie assez fine (sables et limons).

Les bassins versants des torrents qui ravinent le versant nord du mont Ventoux sont recouverts – dans leurs sections médiane et inférieure – par du matériel détritique, hétérométrique et grossier.

Au nord d'Isles-sur-la-Sorgue, les cônes de déjection post-wurmiens sont constitués de cailloutis contemporains des alluvions récentes.

Alluvions tourbeuses récentes (Quaternaire)

Ces alluvions tourbeuses récentes sont cantonnées dans les bas-fonds au voisinage de la vallée de la Durance, et dans la vallée de Jouques.

Alluvions récentes : cailloutis, graviers, sables et limons (Quaternaire)

Le Rhône et la Durance déposaient, avant que les grands barrages ne modifient profondément leur régime, des alluvions de granulométrie variée : galets, graviers roulés, sables, limons de débordement.

Les alluvions fluviales des lits mineurs sont creusés dans la basse plaine alluviale dont ils remanient, en surface, les cailloutis sous-jacents aux limons.

Dans la vallée du Rhône, ces alluvions sont constituées la plupart du temps de graviers et de galets, avec la présence de limons comme dans les plaines de Pernes et l'Isle-sur-la-Sorgue.

Les épandages alluviaux récents qui se développent dans la vallée de la Durance sont constituées de cailloutis, graviers, sables et limons. Leur puissance peut atteindre une trentaine de mètres.

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses ou marneuses et élaboration de la carte de susceptibilité

5.1. GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉLABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

5.1.1. Critères retenus

Les critères de susceptibilité au phénomène retrait-gonflement, tels que le contexte hydrogéologique, la topographie, la végétation ou le type de fondation des bâtis, 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 exploités dans le cadre d'une cartographie à l'échelle départementale.

Les critères retenus pour l'élaboration de la carte de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement sont donc essentiellement liés à la nature lithologique des formations affleurantes à sub-affleurantes, complétée par la caractérisation de ces formations en fonction de la nature minéralogique des argiles présentes et du comportement géotechnique du matériau.

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 ou 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 ou marneuses ainsi identifiées, en fonction de leur plus ou moins grande susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de caractéristiques quantifiables, estimées pour chacune des 30 formations ou groupes de formations sélectionnés :

- ◆ 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) ou, à défaut, estimée à partir de considérations sur les conditions de dépôt paléogéographiques de la formation

- ◆ le comportement géotechnique du matériau, évalué à partir de :
 - l'étendue de son domaine plastique (caractérisée par son indice de plasticité) ;
 - la réactivité du sol vis à vis de l'eau (caractérisée par la valeur de bleu);
 - l'importance du retrait possible (en terme de volume) en cas de dessèchement (caractérisée par les mesures de retrait linéaire) ;
 - le potentiel de gonflement du sol (évalué par le coefficient de gonflement).

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les diverses formations, la règle adoptée a consisté à utiliser des *valeurs seuils*, couramment admises dans la littérature, reprenant les quatre degrés de sensibilité (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 argileuses ou marneuses identifiées. Après calcul les résultats de cette classification sont synthétisés dans les colonnes *Lithologie*, *Minéralogie* et *Géotechnique* de l'illustration 30.

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, qui est très forte pour bon nombre de formations de Vaucluse. 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, par exemple d'origine alluviale, présentant des termes argileux discontinus, sous forme de poches ou de lentilles.

Il faut noter que cette caractérisation lithologique des formations est établie sur la base de l'expertise du géologue régional et qu'elle ne peut être totalement dépourvue d'une certaine subjectivité dans son appréciation. Sa valeur relative en vue d'une hiérarchisation des formations argileuses est cependant difficilement contestable. Le barème utilisé pour distinguer les différentes classes lithologiques est le suivant (Illustration 15) :

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

Illustration 15 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la nature lithologique de la formation géologique

5.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse

Les principaux éléments ayant permis la caractérisation lithologique des formations ont été détaillés lors de la description de ces formations dans le paragraphe 4.3. Les notes lithologiques attribuées à chacune des formations sont présentées sur l'illustration 16.

La classification suivant la note lithologique met en évidence le fait que, parmi les 30 formations géologiques argileuses ou marneuses du département, sept d'entre elles obtiennent une note de 4, qui correspond aux formations essentiellement argileuses de plus de 3 m d'épaisseur.

Six formations obtiennent une note de 3, ce qui signifie que leur composante argileuse est dominante dans la formation.

Quatorze formations obtiennent une note de 2, ce qui signifie que le terme argileux n'est pas prédominant.

Seules les formations alluviales et la formation de calcaires, sables à galets et conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène ont une note de 1, ce qui traduit bien le fait que l'argile y est minoritaire par rapport aux autres éléments plus grossiers (sables et graviers notamment).

N°	Nom de la formation géologique	Note lithologique
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	1
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	2
27	Marnes bleuées du Plaisancien marin	4
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	2
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	1
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	2
23	Marnes du Tortonien marin	3
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	2
21	Marnes bleues du Burdigalien	4
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	2
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	2
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	2
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	3
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	2
15	Argile du Maronnier (Stampien)	4
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	3
13	Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	3
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	4
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	3
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	4
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	2
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	4
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	2
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomaniens	2
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	2
4	Marnes Gargasiennes	4
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	2
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	3
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	2

Illustration 16 : Note lithologique des formations argileuses et marneuses

5.3. CARACTÉRISATION MINÉRALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème

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, lorsque ceux-ci comportent des smectites au sein de leur structure, par exemple smectites/illite ou illite/smectites. La vermiculite est aussi connue pour sa sensibilité au phénomène de retrait-gonflement. La caractérisation minéralogique des argiles se détermine par des analyses de diffractométrie aux rayons X.

Le critère minéralogique est basé sur le pourcentage moyen de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) présents dans la phase argileuse. Les notes de 1 à 4 sont attribuées en fonction des coupures suivantes (Illustration 17) :

Teneurs en minéraux argileux gonflants	Evaluation de la susceptibilité	Note attribuée
< 25 %	faible	1
de 25 à 49 %	moyenne	2
de 50 à 80 %	forte	3
> 80 %	très forte	4

Illustration 17 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la minéralogie de la phase argileuse de la formation géologique

5.3.2. Source des données

De manière générale, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, ne contiennent jamais de caractérisation des minéraux argileux composant les formations géologiques identifiées comme susceptibles. De même, les expertises de sinistres se basent assez rarement, pour effectuer leur diagnostic, sur des analyses aux rayons X, qui sont relativement coûteuses. Quelques données ont cependant pu être recueillies mais leur prise en compte doit se faire avec certaines précautions, dans la mesure où les conditions des analyses diffractométriques aux rayons X ne sont pas toujours précisées dans les documents ou extraits de documents dont nous disposons, et certains résultats ne sont donc pas comparables entre eux. Par exemple, certains résultats se réfèrent aux seuls minéraux argileux, tandis que d'autres incluent des minéraux autres tels que le quartz ; par ailleurs, ce n'est pas systématiquement la fraction de l'échantillon inférieure à 2 µm qui est analysé.

La caractérisation minéralogique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse a donc été réalisée essentiellement à partir de données issues de l'examen des notices des cartes géologiques et d'une revue bibliographique. Plusieurs notices de cartes, et notamment les plus récentes d'entre elles, fournissent en effet des résultats qualitatifs sur la composition minéralogique de la phase argileuse, en mentionnant au moins les minéraux dominants, sous forme de plages de valeurs, voire en indiquant directement des résultats d'échantillonnage.

Des analyses diffractométriques aux rayons X ont été menées sur des échantillons prélevés sur le département. 13 prélèvements ont été effectués sur des formations argileuses pour lesquelles les données recueillies auprès des communes ou des bureaux d'étude n'étaient pas suffisantes pour les caractériser.

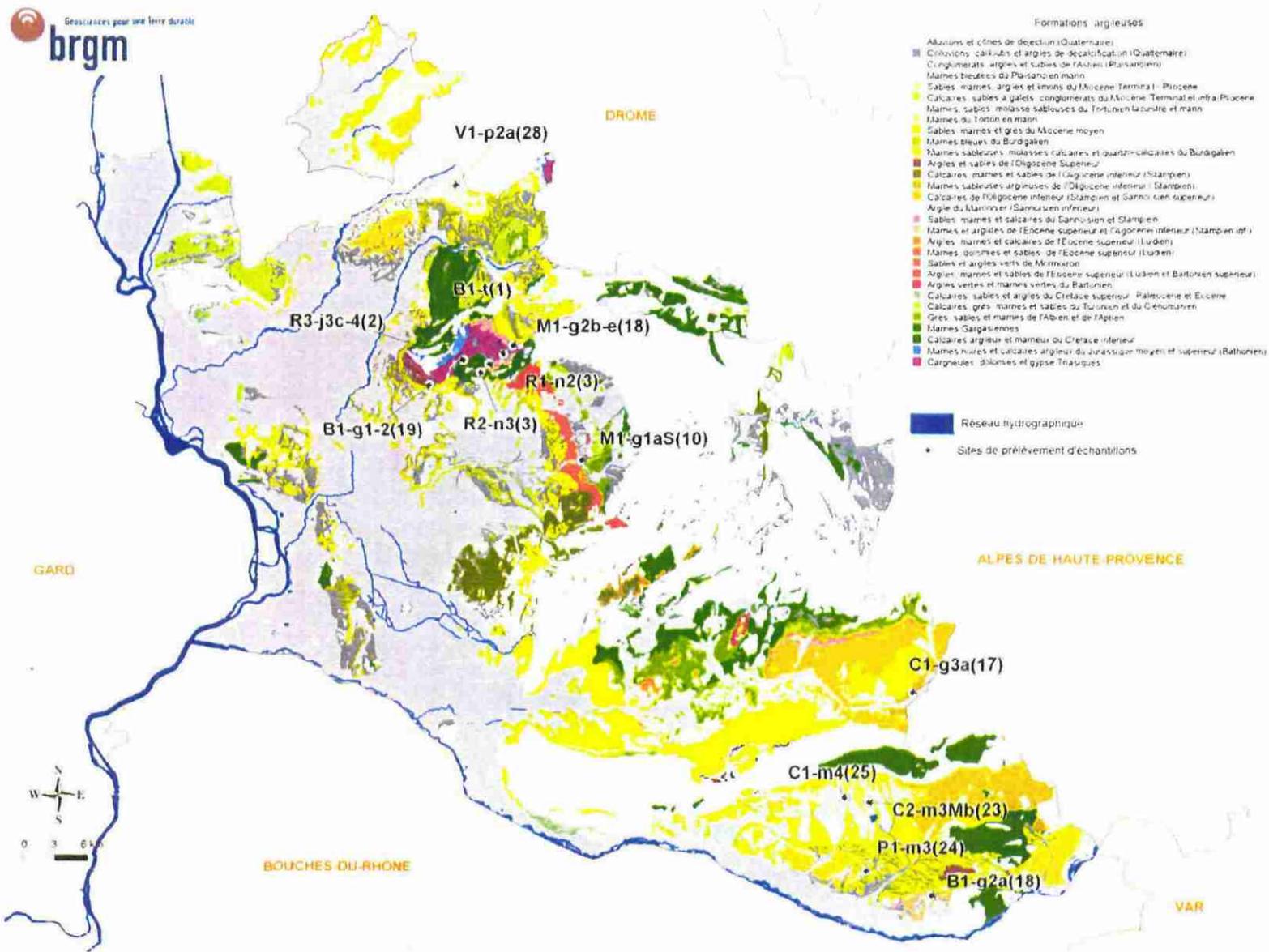
Les essais effectués sur les 13 échantillons afin de mettre en évidence le pourcentage et la nature des argiles ont été réalisés par diffractométrie aux Rayon X (diffractomètre SIEMENS D5000) automatisé. La fraction phylliteuse est déterminée à partir de lames orientées normales, glycolées pendant 12 heures en tension de vapeur puis chauffées à 490°C pendant 4 heures. Il faut bien tenir compte que les pourcentages indiqués sont des valeurs relatives des phases phylliteuses présentes dans la fraction dite « < 2 microns » de l'échantillon (Annexe 6).

Ainsi, 11 formations argileuses ont été analysées (Illustration 18) :

- 1 - la formation des *Cargneules, dolomies et gypse Triasiques* : échantillon B1-t(1)
- 2 - la formation des *Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)* : échantillon R3-j3c-4(2)
- 3 - la formation des *Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur* : échantillons R1-n2(3) et R2-n3(3)
- 10 - la formation des *Sables et argiles verts de Mormoiron* : échantillon M1-g1aS(10)
- 17 - la formation des *Marnes sableuses argileuses de l'Oligocène inférieur (Stampien)* : échantillon C1-g3a(17)
- 18 - la formation des *Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)* : échantillons M1-g2b-e(18) et B1-g2a(18)
- 19 - la formation des *Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur* : échantillon B1-g1-2(19)
- 23 - la formation des *Marnes du Tortonien marin* : échantillon C2-m3Mb(23)
- 24 - la formation des *Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin* : échantillon P1-m3(24)
- 25 - la formation des *Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène* : échantillon C1-m4(25)
- 28 - la formation des *Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)* : échantillon V1-p2a(28)

Ces données ont été complétées par celles issues d'études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement déjà menées par le BRGM dans des départements voisins ou en cours. Ceci concerne en particulier les départements des Bouches-du-Rhône et des Alpes-de-Haute-Provence. Ces données contiennent en particulier des résultats de diffractométries aux rayons X, effectuées sur des échantillons prélevés par le BRGM dans le cadre d'études départementales de l'aléa retrait-gonflement. La prise en compte de ces données acquises hors département nécessite bien entendu une extrême prudence mais peut permettre d'orienter le jugement en cas d'absence totale de données locales (Illustration 19).

Illustration 18 : Localisation des prélèvements d'argiles effectués dans le cadre de l'étude



Cartographie de l'aéa retrait-gonflement des argilles dans le département de Vaucluse

Sur 96 données de diffractométrie aux Rayons X :



Illustration 19 : Répartition des données minéralogiques recueillies sur le département de Vaucluse et hors département

Il est à noter que les données recueillies sont pour l'essentiel des résultats d'analyse diffractométrique aux rayons X, valeurs factuelles qui permettent une hiérarchisation des matériaux selon un critère quantitatif objectif, mais qui présentent l'inconvénient de n'avoir un intérêt que purement local et ne sont pas nécessairement représentatifs de l'ensemble de la formation géologique, lorsque celle-ci présente de fortes variabilités spatiales. C'est pourquoi la prise en compte de ces valeurs a été complétée par une analyse plus qualitative, basée sur l'expertise du géologue régional et qui permet d'évaluer la composition probable de la phase argileuse des formations en fonction de ses conditions de mise en place et d'évolutions pédogénétiques ultérieures.

5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse

L'ensemble des données ayant servi à la caractérisation minéralogique des formations argileuses ou marneuses du département est synthétisé sur l'illustration 20. La détermination du pourcentage moyen de minéraux gonflants a été faite en prenant en compte l'ensemble des données recueillies. Les analyses réalisées sur le département sont privilégiées, mais le nombre d'échantillons, leur répartition géographique et leur représentativité sont également pris en compte dans le calcul de la note minéralogique. Les données extraites de dossiers d'expertise réalisées par des bureaux d'études sont notées « données BE ».

Deux formations n'ont pas reçu de note minéralogique en raison d'un manque de données, il s'agit :

- de la formation n° 12 : des *Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur* ;
- de la formation n° 6 : des *Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomaniens*.

Six formations ont été caractérisées par une note minéralogique maximale (4). Il s'agit des *Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin*, des *Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur*, des *Argiles du Maronnier (Stampien)*, des *Sables et argiles verts de Mormoiron*, des *Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien* et des

Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur. Ces formations n'affleurent que sur environ 190 km² dans le département, et leur caractérisation s'est appuyée en plus des données du département, sur des données extérieures au Vaucluse (en particulier sur des données provenant des Bouches-du-Rhône).

Une note minéralogique de 3 a été attribuée à seize formations pour lesquelles on notera aussi la part importante de données provenant du département voisin des Bouches-du-Rhône.

Quatre formations ont reçu une note minéralogique de 2 : il s'agit des *Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)*, des *Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène*, des *Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien* et des *Cargneules, dolomies et gypse Triasiques*.

Enfin seules deux formations se sont vues attribuer une note minéralogique de 1 : les *Marnes sableuses argileuses de l'Oligocène inférieur (Stampien)* et les *Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)*.

N°	Nom de la formation argileuse	Note minéralogique	Données minéralogiques dans le Vaucluse	Données minéralogiques hors département : département des Bouches-du-Rhône	Données minéralogiques hors département : département des Alpes-de-Haute-Provence
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	2	- Données BE (G. Colas – CETE) : Argiles : 67% dont smectite : 56% - illite : 36% - kaolinite : 8%	- Carte d'Arles : Formation d'altération (illite et faibles proportions de complexes gonflants) - Carte d'Istres : argiles représentées par de l'illite, kaolinite, chlorite et des inter-stratifiés illites-montmorillonites - Données CCR : Smectite=62%; Illite=25%; Kaolinite=13% - Données BE (G. Colas - CETE) : Quartz=12%; Carbonates = 54%; autres phases=34% dont Smectite=77%; Illite=13%; Kaolinite=7%; Chlorite= 3% - Données BE (CETE) : 1 ^{ère} analyse - Fraction argileuse : Montmorillonite=81%; Illite=11%; Kaolinite=8% / 2 ^{ème} analyse - Fraction argileuse : Montmorillonite=28%; Chlorite=16%; Illite=33%; Kaolinite=23% - Données BE (Geosite) : 1 ^{ère} analyse - Calcite=51%; Quartz=22%; autres phases=27% dont Smectite=46%; Illite=36%; Kaolinite=18% / 2 ^{ème} analyse - Quartz=16%; Calcite=35%; autres phases=49% dont Smectite=50%; Chlorite=2%; Illite=41%; Kaolinite=7% / 3 ^{ème} analyse - Quartz=28%; Calcite=44%; autres phases=28% dont Chlorite=50%; Mica-Illite=50% - Données BE (Juventin) : 1 ^{ère} analyse - 77% de smectite, 7% de chlorite, 18% d'illite / 2 ^{ème} analyse - 81% de smectite, 4% de chlorite, 15% d'illite	
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	3	- Données bibliographiques : montmorillonite dominante, trace de chlorite et de complexes gonflants + passées marno-sableuses riches en montmorillonite	- Données CCR : 15% d'argiles dont 85% de smectite et 32% d'argiles dont 100% de smectite - Données BE (CETE) : 1 ^{ère} analyse - Calcite=58%; Quartz=20%; Argiles=22% dont Smectite=67%; Illite=18%; Kaolinite=10% / 2 ^{ème} analyse - Calcite=60%; Quartz=17%; autres phases=23% dont Smectite=87%; Illite=6%; Kaolinite=7% / 3 ^{ème} analyse - Calcite=40%; Quartz=50%; Argiles=10% dont Smectite=60%; Chlorite=5%; Illite=25%; Kaolinite=10% / 4 ^{ème} analyse - Calcite=50%; Quartz=10%; Argiles=10% dont Smectite=85%; Chlorite<5%; Illite=10%; Kaolinite<5% / 5 ^{ème} analyse - Calcite=80%; Quartz=10%; Argiles=10% dont Smectite=95-100%; Illite<2%; Kaolinite=traces / 6 ^{ème} analyse - Calcite=45%; Quartz=40%; Feldspath=traces; Argiles=15% dont Smectite=85%; Illite=5%; Kaolinite=10% / 7 ^{ème} analyse - Calcite=75%; Quartz=10%; Argiles=15% dont Smectite=85%; Illite=traces; Kaolinite=5% / 8 ^{ème} analyse - Fraction<2microns : Smectite=70%; Illite=15%; Kaolinite=15% / 9 ^{ème} analyse - Calcite=50%; Quartz=40%; Argiles=10% dont Smectite=90%; Illite=10%; Kaolinite=traces / 10 ^{ème} analyse - Smectite=70%; Illite=15%; Kaolinite=15% / 11 ^{ème} analyse - Smectite=65%; Illite=20%; Kaolinite=15% / 12 ^{ème} analyse - Smectite=67%; Illite=18%; Kaolinite=10%; Chlorite=5% / 13 ^{ème} analyse - Calcite=45%; Quartz=30%; Argiles=25% dont Smectite=92%; Illite=4%; Kaolinite=4% / 14 ^{ème} analyse - Calcite=44%; Quartz=26%; Argiles=30% dont Smectite=99%; Kaolinite=1% / 15 ^{ème} analyse - Calcite=10%; Quartz=75%; Argiles=15% dont Smectite=100%; Kaolinite=traces / 16 ^{ème} analyse - Calcite=50%; Quartz=40%; Argiles=10% dont Smectite=95%; Illite=5%; Kaolinite=traces - Données BE (Geosite) : 1 ^{ère} analyse - Calcite=40%; Quartz=40%; autres phases=20% dont Smectite=90%; Illite=6%; Kaolinite=4% / 2 ^{ème} analyse - Quartz=20%; Calcite=52%; autres phases=28% dont Smectite=86%; Illite=7%; Kaolinite=7% - Données BE (G. Colas - CETE) : 1 ^{ère} analyse - Quartz=6%; Calcite = 80%; autres phases=14% dont Smectite=25%; Illite=29%; Kaolinite=46% / 2 ^{ème} analyse - Quartz=8%; Calcite = 73%; autres phases=19% dont Smectite=93%; Illite= 3%; Kaolinite= 4% / 3 ^{ème} analyse - Quartz=9%; Calcite = 59%; autres phases=32% dont Smectite=95%; Illite= Traces ; Kaolinite= Traces / 4 ^{ème} analyse - Quartz=12%; Calcite = 46%; autres phases=42% dont Smectite=82%; Illite= 9% ; Kaolinite= 9% / 5 ^{ème} analyse - Quartz=15%; Calcite = 63%; autres phases=22% dont Smectite=91%; Illite= 6% ; Kaolinite= 3% / 6 ^{ème} analyse - Quartz=52%; Calcite = 10%; autres phases=38% dont Smectite=98%; Illite= traces; Kaolinite= traces / 7 ^{ème} analyse - Quartz=36%; Calcite = 48%; autres phases=16% dont Smectite=95%; Illite= 3%; Kaolinite= 2%	- Carte d'Entrevaux : Présence de smectites dans les colluvions Quaternaires
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	3	- Données bibliographiques : Traces de minéraux gonflants		- Données bibliographiques : étude de la cartographie retrait-gonflement dans les Alpes-de-Haute-Provence : illite/smectite = 60 à 70% ; illite (?) = 20 à 25% ; kaolinite = 10% ; chlorite = 0 à 5%. Smectites et interstratifiée = 30 à 40%, illite = 30 à 50% ; chlorite et kaolinite = 5 à 30%
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	3	- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : smectite : 93% - illite/micas : 1% - kaolinite : 6%		
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	2	- Carte d'Avignon : pM (argiles marines) : illite, chlorite, kaolinite, montmorillonite		
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	3	- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 88% - illite/micas : 5% - kaolinite et chlorite : 7%		- Carte de Digne : Présence de smectites dans le miocène continental - Données bibliographiques : étude de la cartographie retrait-gonflement dans les Alpes-de-Haute-Provence : smectites et montmorillonites = 60% ; illite = 20%; kaolinite = 12% ; chlorite = 8%
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	4	- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite + vermiculite probable : 93% - illite/micas : 4% - kaolinite : 3%	- Données BE (Juventin) : 45% d'argile dont 81% de smectite, 37% d'argile dont 77% de smectite, 49% d'argiles dont 86% de smectite	
23	Marnes du Tortonien marin	3	- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 77% - illite/micas : 8% - kaolinite : 15%		

N°	Nom de la formation argileuse	Note minéralogique	Données minéralogiques dans le Vaucluse	Données minéralogiques hors département : département des Bouches-du-Rhône	Données minéralogiques hors département : département des Alpes-de-Haute-Provence
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	3	- Données BE (GEOSITE dossier 9788) : Calcite=15%; Quartz=33%; Autres phases (argile, feldspaths, dolomite)=52% dont Smectite=70%; Illite=16%; Chlorite=7%; Kaolinite=7%	- Données BE (CETE) : Calcite=60%; Quartz=19%; Feldspath=traces; Argiles=21% dont Smectite=84%; Illite=8%; Kaolinite=8%	- Données bibliographiques : étude de la cartographie retrait-gonflement dans les Alpes-de-Haute-Provence : smectite = 60% ; illite = 25% ; kaolinite = 5% ; chlorite = 10%
21	Marnes bleues du Burdigalien	3	- Carte d'Avignon : m2M (marnes de Caumont : silt argileux) : illite, chlorite, traces de montmorillonite - Données CCR : Smectite=55%; Illite=30%; Chlorite=10%; Kaolinite=5% - Données CCR: Smectite=50%; Illite=35%; Chlorite=10%; Kaolinite=5%		
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	3		- Données BE (Juventin) : Quartz=21%; Calcite=24%; autres phases=55% dont Smectite=89%; Illite=6%; Kaolinite=5% - Université Sciences et Technique Saint Jérôme : Illite=30%; Chlorite=8%; Smectite=62%; Illite=16%; Chlorite=11%; Smectite=73%; Illite=29%; Chlorite=11%; Smectite=60% - Données BE (CEREGE) et CCR : 1 ^{ère} analyse - Argile=47%; Smectite (fraction argileuse)=80%; Smectite (échantillon)=38% / 2 ^{ème} analyse - Argile=31%; Smectite (fraction argileuse)=10%; Smectite (échantillon)=3.1% - Données BE (G. Colas - CETE) : Quartz= 19% ; Carbonnate = 57% ; autres phases=24% dont Smectite= 0-10% ; Illite= 55-65% ; Kaolinite = 35-45%	
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	4	- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite + vermiculite probable : 90% - illite/micas : 7% - kaolinite : 3%		
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	3	- Carte de Carpentras : g2c (marnes sableuses fines, kaolinite, illite, smectites) - Carte de Carpentras : g2b (Calcaires argilo-sableux (smectite), éventuellement surmontés de marnes palustres) - Carte de Carpentras : g2a (Dolomie (smectite) surmontée par des calcaires argileux et argiles sableuses (100% smectite) - Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 58% - illite/micas : 26% - kaolinite et chlorite : 16%	- Données CCR et CEREGE : 10% d'argiles dont 90% de smectites	- Carte de la Javie : Présence de smectites dans les marnes Oligocène
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	1	- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 6% - illite/micas : 68% - kaolinite : 26%		- Carte de Manosque : Présence de smectites dans les marnes de Viens
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	3	- Données bibliographiques : 56% de smectite		- Carte de Manosque : Présence de smectites dans les calcaires de Vachères
15	Argile du Maronnier (Stampien)	4	- Carte de Cavaillon : g1c (Argile du Maronnier, montmorillonitique) - Carte de Reillane : g1c(A) (Argile du Maronnier, verte à gypse (smectite) - Carte de Sault : g1c (Argile du Maronnier, verte (smectite)		

N°	Nom de la formation argileuse	Note minéralogique	Données minéralogiques dans le Vaucluse	Données minéralogiques hors département : département des Bouches-du-Rhône	Données minéralogiques hors département : département des Alpes-de-Haute-Provence
14	Sables, marnes et calcaires du Sannoisien et Stampien	3	- Carte de Vaison-la-Romaine : g2b-e (Série blanche: gypse et intercalations d'argiles vertes montmorillonitiques, argile verdâtre (montmorillonites bien cristallisées), marnes et calc, marnes rouges et jaunâtres) - Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Illite/micas : 52% - kaolinite : 25% - chlorite : 23%	- Données CCR : 49% argile dans l'échantillon, 75% smectite dans fraction argileuse et 37% de smectite dans l'échantillon - Dossier BE (G. Colas - CETE) : Smectite=70%; Chlorite=5%; Illite=20%; Kaolinite=5% - Données CCR : 35% d'argiles dont 50 à 60% de smectite - Dossier BE (G. Colas - CETE) : Quartz= 5%; Calcite = 80%; autres phases=15% dont Smectite= 78%; Illite= 22%	
13	Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	3		- Carte de Châteaurenard : sables et marnes marmorisées (smectite + kaolinite)	
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	-			
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	3	- Carte de Carpentras : g1cD, g1cD(1) Marnes et dolomies de la Débruge (smectite et attapulgite) - Carte de Carpentras : g1c2 Sables argileux de Sénanque (smectites)		
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	4	- Carte de Carpentras : g1aS (Sables et argiles verts à smectite de Mormoiron)		
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	3	- Carte de Carpentras : g1b-c (Marnes et dolomies à Sépiolite de Blauvac, à lits d'argiles vertes (smectite)) - Carte de Carpentras : g1a2 (Lignite et calcaire, argiles vertes à smectites et attapulgite de Gravezon) - Carte de Vaison-la-Romaine : (e7)g1aA (Argiles vertes à smectites de Mormoiron)		
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	4	- Carte de Carpentras : e6aA (argiles de la Rouquette à smectites) - Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 93% - palygorskite : 7%		
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	3		- Données BE (CETE) : Fraction<2microns : Smectite=65%; Illite=20%; Kaolinite=15%	
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomani	-			
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien)	2	- Données bibliographiques : Présence de minéraux gonflants		- Carte d'Entrevaux : Présence de smectites dans les marnes de l'Aptien moyen et Supérieur
4	Marnes Gargasiennes	3		- Données BE (CETE) : 1 ^{ère} analyse - Calcite=60%; Quartz=5%; Dolomie=traces; Argiles=35% dont Smectite=90%; Illite=5%; Kaolinite=5% / 2 ^{ème} analyse - Quartz= 12%; Calcite = 64%; autres phases=24% dont Smectite= 34%; Illite= 30% ; Chlorite= 6% ; Kaolinite = 30% / 3 ^{ème} analyse - Calcite=60%; Quartz=5%; Dolomie=traces; Argiles=35% dont Smectite=90%; Illite=5%; Kaolinite=5% - Données BE (Geosite) : Calcite=60%; Quartz=10%; autres minéraux=30% dont Smectite=20%; Illite=40%; Kaolinite=40% - Données BE (G. Colas - CETE) : 1 ^{ère} analyse - Quartz= 12%; Calcite = 64%; autres phases=24% dont Smectite= 34%; Illite= 30% ; Chlorite= 6% ; Kaolinite = 30% / 2 ^{ème} analyse - Quartz= 4%; Calcite = 83%; autres phases=13% dont Smectite= 50%; Illite= 14% ; Chlorite= 6% ; Kaolinite = 30% / 3 ^{ème} analyse - Quartz= 11%; Calcite = 67%; autres phases=22% dont Smectite= 35%; Illite= 27% ; Chlorite= 5% ; Kaolinite = 33%	- Carte de Sault : Présence de smectites dans les marnes Gargasiennes

N°	Nom de la formation argileuse	Note minéralogique	Données minéralogiques dans le Vaucluse	Données minéralogiques hors département : département des Bouches-du-Rhône	Données minéralogiques hors département : département des Alpes-de-Haute-Provence
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	4	<p>- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 98% - illite/micas : 1,5% - kaolinite : 0,5%</p> <p>- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Smectite : 42% - illite/micas : 16% - kaolinite : 42%</p>	<p>- Données BE (CETE) : 1^{ère} 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</p> <p>- Données BE (G. Colas - CETE) : Quartz=20%; Calcite = 37%; autres phases=43% dont Smectite=92%; Illite=6%; Kaolinite=2%</p>	
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	1	<p>- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Illite/micas : 51% - kaolinite : 39% - chlorite : 10%</p>		
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	2	<p>- Analyse sur échantillons prélevés dans le cadre de l'étude : Illite/micas : 21% - chlorite : 79%</p>		

Illustration 20 : Synthèse des données minéralogiques et note minéralogique

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.

5.4.1.1. Généralités sur les expertises de sinistres

Les expertises de sinistres qui ont pu être consultées montrent 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 très utiles aux experts, pour diagnostiquer les causes d'un sinistre, mais ne sont pas pertinents pour caractériser la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement.

Les études de 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 de micropieux, si les résultats de l'expertise indiquent qu'une reprise 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 utilisés dans le cadre de la présente étude pour caractériser le comportement géotechnique du matériau vis à vis du phénomène de retrait-gonflement sont finalement au nombre de quatre : l'indice de plasticité, la valeur de bleu, le coefficient de gonflement et le retrait linéaire. 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.

5.4.1.2. Indice de plasticité (IP)

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 (Wl) et la limite de plasticité (Wp) du matériau. Il représente donc l'étendue du domaine plastique et donne une indication sur l'aptitude du matériau argileux à acquérir de l'eau. On considère généralement (Chassagneux et al., 1998) que la susceptibilité d'une argile vis-à-vis du retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité (IP) de la manière suivante (Illustration 21) :

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

5.4.1.3. 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 (LCPC, 1979), 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 pour 100 g de matériau.

On considère généralement (Chassagneux et al., 1996) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (VB) (Illustration 22) :

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 22 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur de bleu de la formation géologique

5.4.1.4. Essais oedométriques (Cg)

L'essai de gonflement à l'oedomètre (norme XP P 94-091) 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 oedométrique*) pour lequel on propose la coupure suivante qui permet de quantifier de façon relative le potentiel de gonflement des formations argileuses identifiées (Illustration 23) :

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

Illustration 23 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation géologique

Pour le département de Vaucluse, une seule valeur a été fournie par un bureau d'étude, ce qui est très insuffisant pour permettre une caractérisation sur la base de ce critère.

5.4.1.5. Retrait linéaire (RI)

La valeur du retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait possible d'un sol, en terme de volume, lors de son assèchement. Initialement le sol est saturé en eau, puis on l'assèche progressivement. Son volume total diminue lorsque la teneur en eau

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. Pendant la deuxième phase les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher : l'élimination en eau ne fait plus varier le volume mais se traduit par une désaturation du sol. La teneur en eau correspondant au changement de phase est appelée limite de retrait. Plus cette limite est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit sera grand.

Le retrait linéaire, noté RI, correspond à la pente de la droite donnant le tassement de l'échantillon en fonction de la teneur en eau, dans la partie où cette teneur en eau reste supérieure à la limite de retrait. Les coupures suivantes ont été proposées (Mastchenko, 1998) pour caractériser le potentiel de gonflement avec ce paramètre (Illustration 24).

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 24 : Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation géologique

Les valeurs de retrait linéaire disponibles pour les formations argileuses ou marneuses de Vaucluse se sont révélées cependant peu nombreuses. Le nombre de données qui a pu être recueilli à l'occasion de la présente étude (moins de 20) est en tout cas insuffisant pour permettre une classification des formations sur la base de ce seul critère.

5.4.2. Source de données

Les données géotechniques qui ont pu être recueillies et dont la synthèse figure dans ce paragraphe proviennent de plusieurs sources :

- des rapports directement issus des dossiers de procédures de classement des communes en catastrophe naturelle fournis par la CCR (22 dossiers) et par les communes concernées (9 dossiers) ;
- des rapports d'expertise qui ont été aimablement communiqués par les principaux bureaux d'études suivants (principalement Fondasol, Hydrosol, Solen...) dont les adresses figurent en annexe 5 (Illustration 25) :

Origine de la donnée	Nombre de dossiers
C.E.T.E. méditerranée	5
Fondasol	148
G.I.A.	4
Hydrosol	40
E.R.G.	4
SOLEN	12
Juventin	1

Illustration 25 : Origine des données géotechniques

- des dossiers d'expertise avec études de sol communiquées par plusieurs mutuelles d'assurance (Maif, Maaf, Matmut, Groupama) ;
- des prélèvements supplémentaires effectués dans le cadre de l'étude (13 prélèvements).

Au total, 304 dossiers d'études de sols ont donc été recensés et utilisés.

Cependant, sur les 304 dossiers d'études de sol ainsi recueillis, seuls 243 d'entre eux sont potentiellement utilisables, soit 80% des données recueillies, car certaines expertises non localisées avec précision ou sans identification de propriétaires n'ont pu être géoréférencées en l'absence de réponse des communes concernées.

Parmi les 243 dossiers identifiés et localisés, ont pu être retenues 233 valeurs d'essais (tous types d'essais confondus : valeur de bleu, indice de plasticité, retrait linéaire et coefficient de gonflement) dans le département de Vaucluse.

Les essais d'identification en laboratoire consistent généralement en une détermination des limites d'Atterberg (indice de plasticité) souvent accompagnées des mesures de poids volumique et de teneur en eau. Des essais spécifiques, de type œdométriques, sont parfois mis en œuvre pour déterminer la pression et le coefficient de gonflement, mais leurs conditions d'exécution sont susceptibles de varier d'un laboratoire à un autre. Les essais au bleu de méthylène permettant d'approcher la susceptibilité d'une argile ou d'une marne au phénomène de retrait-gonflement (à partir de sa capacité d'adsorption) sont relativement peu fréquents.

En plus des données issues des différentes recherches sur le département, ont été intégrées 129 valeurs supplémentaires (Vb, Ip, Cg et RI) provenant des travaux

identiques en cours sur les Bouches-du-Rhône, ainsi que 38 valeurs provenant d'une étude antérieure sur les Alpes-de-Haute-Provence

Les mesures utilisées pour la caractérisation géotechnique des formations argileuses se répartissent de la façon suivante (Illustration 26) :

Essai géotechnique	Nombre de mesures	Dont mesures propres au Vaucluse
Valeur de bleu	121	79
Indice de plasticité	208	138
Retrait linéaire	38	15
Coefficient de gonflement	33	1
Total	400	233

Illustration 26 : Répartitions des mesures utilisées pour la caractérisation des formations argileuses par type d'essai géotechnique

5.4.3. Caractérisation géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département de Vaucluse

Les principales données géotechniques recueillies lors de l'étude sont issues du dépouillement des différents rapports d'expertise auxquels nous avons eu accès. Le nombre de mesures réellement utilisées est au nombre de 400. Elles ont été synthétisées pour chacune des formations argileuses identifiées (Illustration 27), en précisant systématiquement le nombre d'essais pris en compte, leur classement selon l'indice de plasticité calculé à partir des limites d'Atterberg, ainsi que ses valeurs moyennes, ce qui permet de se rendre compte de la fiabilité des données exploitées.

En définitive, les données disponibles permettent de caractériser la totalité des formations argileuses ou marneuses du département grâce à la synthèse des divers types d'essais disponibles. Cependant, dans la mesure où le nombre de valeurs disponibles pour chaque essai est généralement faible (moins de 10 pour la moitié des formations), il n'est souvent pas significatif à lui seul (Illustration 27).

	Type de valeur (résultats d'essais)			
	Valeur de Bleu	Indice de plasticité	Retrait linéaire	Coefficient de gonflement
Nombre de formations avec moins de 10 valeurs	23	19	26	26
Nombre de formations avec plus de 10 valeurs	3	7	0	0
Nombre de formations sans aucune valeur	4	11	16	20
Nombre moyen de valeur disponible par formation (pour les formations qui disposent de valeurs)	4,2	9,8	2,2	3,8

Illustration 27 : Tableau représentant une synthèse des nombres de valeurs recensées par formation argileuse et par type d'essai géotechnique

Les fourchettes de résultats disponibles figurent dans le tableau de l'illustration 28.

Quatre classes de susceptibilité ont été distinguées (faible, moyenne, forte, très forte) pour rendre compte d'une hiérarchisation du comportement géotechnique des formations. Dans le département, aucune formation n'a reçu la note maximale correspondant à une susceptibilité géotechnique très forte.

La classification retenue fait apparaître au moins 7 formations dont la susceptibilité vis-à-vis du retrait-gonflement a été considérée comme forte (indice 3) au vu du comportement géotechnique. Il s'agit principalement :

- Des *Argiles et sables de l'Oligocène supérieur* (valeur de bleu égale à 6)
- Des *Marnes sableuses et argileuses de l'Oligocène supérieur* (valeur de bleu égale à 6,2)
- Des *Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur* (dont l'indice de plasticité atteint une valeur moyenne de 35,7)
- Des *Sables et argiles verts de Mormoiron* (dont l'indice de plasticité atteint une valeur moyenne de 27,8)
- Des *Argiles, sables et marnes de l'Éocène supérieur* (dont l'indice de plasticité atteint une valeur moyenne de 25,2)
- Des *Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien* (dont la valeur de bleu est en moyenne de 8,1)
- Des *Grès, sables et marnes de l'Aptien – Albien* (dont la valeur de bleu atteint une valeur moyenne de 6,1)
- Des *Marnes Gargasiennes* (coefficient de gonflement égal à 0,078)

Trois formations (les *Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)*, les *Argile du Maronnier (Stampien)* et les *Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène*) n'ont pu être caractériser sur le plan géotechnique faute de valeur disponible.

N°	Nom de la formation géologique	Note géotechnique	Données du Vaucluse incluant les données provenant des départements voisins (Bouches-du-Rhône et Alpes-de-Haute-Provence)															
			Valeur de Bleu (Vb) - g / 100 g				Indice de Plasticité (Ip) - %				Retrait linéaire (RI)				Coefficient de gonflement			
			nb éch.	moy	min	max	nb éch.	moy	min	max	nb éch.	moy	min	max	nb éch.	moy	min	max
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	2	19	3,9	0,2	11,3	27	23,8	7	45	3	0,4667	0,28	0,66				
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	2	8	3,0	1,4	4,8	32	25,644	13,5	56	13	0,5615	0,11	1,6	9	0,031	0,013	0,048
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	2	1	4,1	4,1	4,1									1	0,080	0,080	0,080
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	1	1	1,8	1,8	1,8	2	12,5	12	13								
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	-																
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	2	2	4,4	2,7	6,0	1	7,9	7,9	7,9					4	0,0228	0,01	0,038
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	2	3	2,7	2,2	3,7	3	21,267	11	39,3	1	0,35	0,35	0,35	9	0,0404	0,013	0,08
23	Marnes du Tortonien marin	2	1	3,3	3,3	3,3												
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	1	1	2,8	2,8	2,8	1	9	9	9								
21	Marnes bleues du Burdigalien	2	1	5,8	5,8	5,8	1	20	20	20								
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	2	8	4,4	1,2	11,0					3	0,4067	0,18	0,59				
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	3	1	6,0	6,0	6,0												
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	2	4	3,5	2,0	6,0	13	23,077	11	40	3	0,4633	0,4	0,51				
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	3	1	6,2	6,2	6,2												
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	2	9	4,1	1,9	10,8	14	21,057	8	45	2	0,3365	0,22	0,453				
15	Argile du Maronnier (Stampien)	-																
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	2	5	3,3	1,2	4,6					2	0,505	0,46	0,55				
13	Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	2	1	3,7	3,7	3,7												
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	3	1	2,5	2,5	2,5	3	35,7	30	46,1								
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	-																
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	3	4	5,6	0,8	10,7	17	27,765	9	54								
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	3					8	25,175	21	29	2	0,6525	0,6525	0,6525				
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	3	3	8,1	3,0	16,1	1	16	16	16								
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	2	11	3,1	1,9	6,1	12	19,65	11,8	30	1	0,34	0,34	0,34	2	0,01	0,01	0,01
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomani	2	3	5,9	1,0	15,0	3	12,667	10	18								
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	3	10	6,1	2,3	11,3	20	20,854	0,1	37	2	0,54	0,5	0,58	4	0,062	0,045	0,085
4	Marnes Gargasien	3	16	4,4	0,9	11,3	40	25,095	10	45	5	0,352	0,15	0,53	1	0,078	0,078	0,078
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	2	5	4,1	3,4	6,4	10	17,1	12	25	1	2,6	2,6	2,6	3	0,054	0,035	0,077
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	2	1	3,5	3,5	3,5												
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	1	1	0,4	0,4	0,4												

Illustration 28 : Synthèse des données géotechniques et note géotechnique

5.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

5.5.1. Détermination d'un degré de susceptibilité

Au total, chaque formation reçoit donc trois notes pour les différents critères pris en compte selon les classifications énumérées ci-dessus. La note totale affectée à la formation est calculée en réalisant la moyenne de ces notes. Si un des critères n'a pas pu être déterminé, voire apprécié, pour une formation en raison d'un manque de données, la note finale de la formation est calculée par la moyenne des notes qui ont pu lui être attribuées.

La moyenne des notes obtenues pour chaque formation, permet de calculer un degré de susceptibilité globale (Illustration 29) vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Il est également compris entre 1 et 4.

Les classes de susceptibilité déterminées sont les suivantes :

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

Illustration 29: Barème d'évaluation de la susceptibilité globale d'une formation argileuse

5.5.2. Susceptibilité des formations argileuses et marneuses

Sur les 30 formations géologiques sélectionnées dans le Vaucluse ce calcul a permis d'obtenir le classement relatif suivant :

- 5 formations sont fortement susceptibles vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement ;
- 17 formations sont moyennement susceptibles au retrait-gonflement ;
- 8 formations sont peu susceptibles au retrait-gonflement.

Ce classement est représenté dans l'illustration 30.

N°	Nom de la formation géologique	Note lithologique	Note mineralogique	Note géotechnique	Moyenne	Susceptibilité
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1	2	2	1,67	faible
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalkification (Quaternaire)	1	3	2	2,00	faible
28	Conglomerats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	2	3	2	2,33	moyenne
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	4	3	1	2,67	moyenne
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	2	2	—	2,00	faible
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	1	3	2	2,00	faible
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	2	4	2	2,67	moyenne
23	Marnes du Tortonien marin	3	3	2	2,67	moyenne
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	2	3	1	2,00	faible
21	Marnes bleues du Burdigalien	4	3	2	3,00	moyenne
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	2	3	2	2,33	moyenne
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	2	4	3	3,00	moyenne
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	2	3	2	2,33	moyenne
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	3	1	3	2,33	moyenne
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	2	3	2	2,33	moyenne
15	Argile du Maronnier (Stampien)	4	4	—	4,00	forte
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	3	3	2	2,67	moyenne
13	Marnes et argilites de l'Eocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	3	3	2	2,67	moyenne
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Eocène supérieur (Ludien)	4	—	3	3,50	forte
11	Marnes, dolomies et sables de l'Eocène supérieur (Ludien)	3	3	—	3,00	moyenne
10	Sables et argiles verts de Marmoron	4	4	3	3,67	forte
9	Argiles, marnes et sables de l'Eocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	2	3	3	2,67	moyenne
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	4	4	3	3,67	forte
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Eocène	2	3	2	2,43	moyenne
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomanién	2	—	2	1,86	faible
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	2	2	3	2,33	moyenne
4	Marnes Gargasiennes	4	3	3	3,33	forte
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	2	4	2	2,67	moyenne
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	3	1	2	2,00	faible
1	Cargneules, dolomies et gypse Trasiques	2	2	1	1,67	faible

Illustration 30 : Degré de susceptibilité des formations

5.5.3. Carte de susceptibilité

La carte départementale de susceptibilité a été tracée à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, en attribuant à chacune des formations géologiques la classe de susceptibilité définie précédemment. Cette carte est présentée en carte hors-texte 2 à l'échelle 1/110 000 et sur l'illustration 33.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations a priori non argileuses, et donc théoriquement non sujettes au phénomène de retrait-gonflement. Cependant, on ne peut exclure que ces formations soient recouvertes localement de placages superficiels argileux ou contiennent des poches d'argile, non représentés sur la carte géologique actuelle, liés en particulier à l'hétérogénéité de formations essentiellement sableuses pouvant contenir localement des lentilles d'argile ou à l'altération de formations carbonatées.

Les formations argileuses ou marneuses sont représentées par trois couleurs (jaune, orange ou rouge) selon leur degré respectif de susceptibilité croissant vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement (faible, moyen ou fort).

Le graphique et le tableau présentés respectivement sur les Illustrations 31 et 32 indiquent quelles sont les superficies caractérisées par des degrés de susceptibilité faible, moyen et fort, ainsi que les zones a priori non sujettes au phénomène car correspondant à des formations considérées comme non argileuses et au réseau hydrographique.

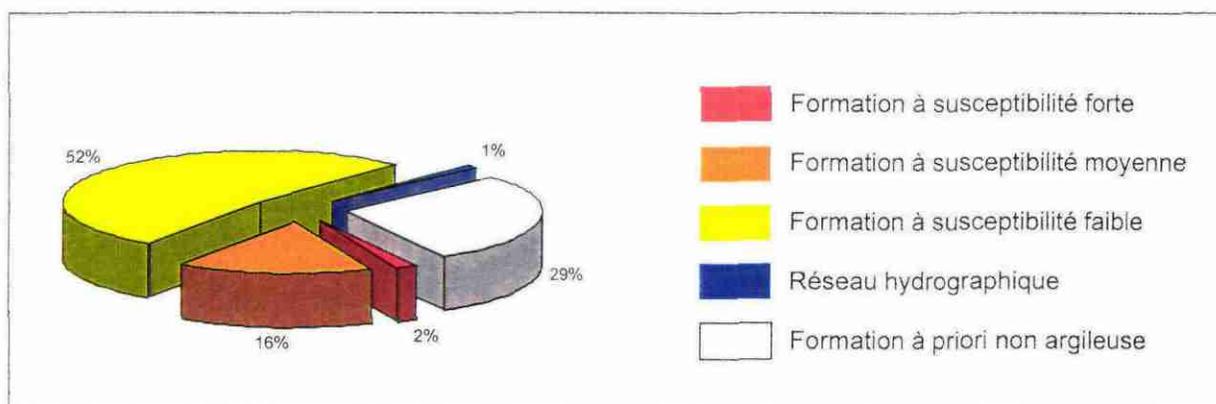


Illustration 31 : Comparaison de la superficie des terrains en fonction de leur susceptibilité

La surface d'affleurement des formations considérées comme fortement susceptibles couvre presque 2 % du département, et correspondent en grande partie aux *Marnes Gargasiennes*. Les formations de susceptibilité faible couvrent quant à elles plus de la moitié du département, tandis que celles de susceptibilité moyenne représentent moins du cinquième du département. Un peu moins du tiers du département (29 %) n'est a priori pas susceptible au retrait-gonflement des argiles, ce qui correspond aux formations considérées comme non argileuses et au réseau hydrographique.

Il apparaît donc que les surfaces caractérisées par une susceptibilité faible ou moyenne sont largement prépondérantes dans le Vaucluse : elles correspondent en grande partie à des formations souvent hétérogènes, mais dont les caractéristiques minéralogiques et géotechniques des faciès argileux sont moyennes ou élevées. Cela se traduit par des notes lithologiques relativement faibles, mais des notes minéralogiques et géotechniques moyennes à élevées.

N°	Nom de la formation géologique	Superficie (km²)	% de la superficie totale	Susceptibilité
15	Argile du Maronnier (Sannoisien inférieur)	1,17	0,03	forte
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	13,30	0,37	forte
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	8,01	0,22	forte
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	1,65	0,05	forte
4	Marnes Gargasiennes	40,43	1,13	forte
Total formations susceptibilité forte		64,55	1,80 %	
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	5,72	0,16	moyenne
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	12,25	0,34	moyenne
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	40,04	1,12	moyenne
23	Marnes du Tortonien marin	5,87	0,16	moyenne
21	Marnes bleues du Burdigalien	8,91	0,25	moyenne
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	140,26	3,91	moyenne
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	8,13	0,23	moyenne
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	1,22	moyenne
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	6,58	0,18	moyenne
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2,68	moyenne
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	7,34	0,20	moyenne
13	Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	0,15	moyenne
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	0,39	0,01	moyenne
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	0,27	moyenne
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	11,77	0,33	moyenne
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	53,12	1,48	moyenne
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	129,75	3,62	moyenne
Total formations susceptibilité moyenne		584,94	16,31 %	
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1319,50	36,80	faible
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	246,68	6,88	faible
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	4,49	0,13	faible
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	62,22	1,74	faible
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	177,17	4,94	faible
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomaniens	54,91	1,53	faible
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	4,25	0,12	faible
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	12,22	0,34	faible
Total formations susceptibilité faible		1881,44	52,48 %	
Total formations argileuses		2530,93	70,59 %	
Réseau hydrographique		30,11	0,84 %	
Formations à priori non argileuses		1024,3	28,57 %	
Total département		3585,34	100 %	

Illustration 32 : Classement des formations par susceptibilité et surfaces d'affleurement

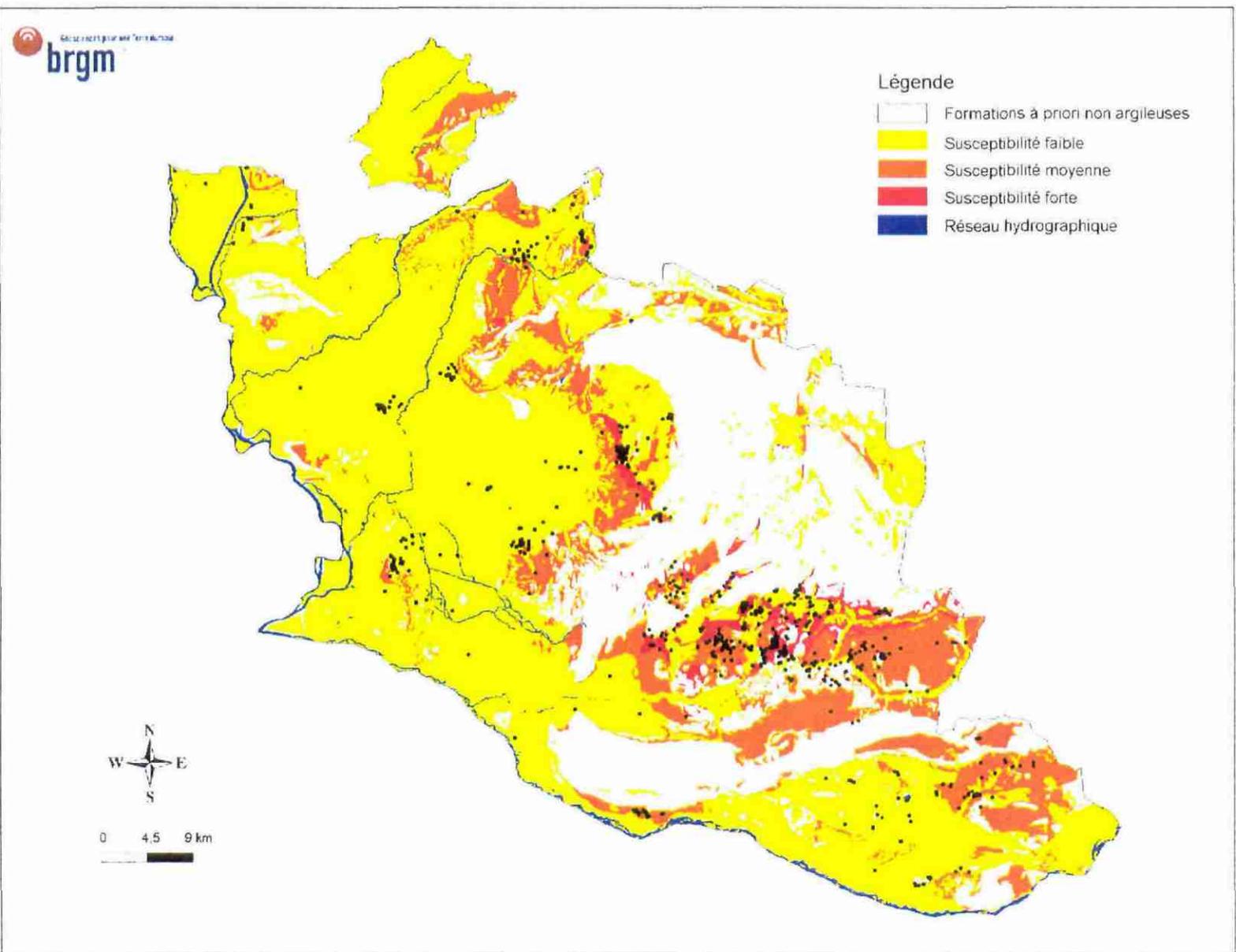


Illustration 33 : Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles

6. Inventaires des communes sinistrées et des sinistres sécheresse - détermination du critère densité de sinistres

6.1. 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, 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 transmis aux services de la Préfecture pour leur présentation 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, calculé dans 92 stations de référence au moyen d'un modèle à double réservoir, sur la base d'une réserve utile de 200 mm, dont on suit le niveau de remplissage au pas de temps décadaire. La comparaison de l'état hydrique des sols (qui dépend essentiellement des précipitations et de l'évapotranspiration) par rapport aux moyennes normales, 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 l'attribution de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour la période de l'été 2003.

Les études menées en vue de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sur une commune 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 du 1/50 000, complété éventuellement par des observations de terrain ou des sondages, permettent de préciser la nature des formations géologiques environnant les sinistres et de déterminer la formation argileuse ou marneuse en cause.

Ces dossiers techniques ne constituent donc qu'une première approche, souvent très rapide, 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.

Dans le cas du département de Vaucluse, les bureaux d'études ayant constitué les dossiers techniques pour la procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sont principalement Fondasol, Hydrosol, Geoplus, Solen et Alpes Provence Géotechnique. Sur les 247 dossiers de ce type recensés dans le cadre de cette étude, près de 90 % ont été réalisés par les deux bureaux Fondasol et Hydrosol (dont près de 46 % par le premier).

6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES

6.2.1. Localisation des communes sinistrées

A la date du 31 mai 2004, 27 communes du département de Vaucluse avaient été reconnues en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et réhydratation des sols. Ces communes représentent 18% des 151 communes que compte le département.

Par ailleurs, depuis la sécheresse de l'été 2003, 38 communes supplémentaires ont fait une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à la préfecture, qui à ce jour, n'a toujours pas aboutit. Ce qui monte à 65 le nombre de communes touchée par la sécheresse dans le Vaucluse soit 43% des 151 communes.

La liste des communes reconnues en état de catastrophe naturelle est présentée dans le tableau de l'annexe 2, ainsi que les périodes déclarées sinistrées et le nombre d'arrêtés préfectoraux pris en compte par commune. La localisation des 27 communes de Vaucluse ayant fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle, pour des problèmes de retrait-gonflement des argiles, ainsi que des 38 communes supplémentaires, donne un aperçu de la répartition géographique des zones touchées par ce phénomène (Illustration 34).

Au total, 16 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris à ce jour dans le département de Vaucluse : ce sont les arrêtés des 01/05/89, 01/06/89, 01/01/90, 01/11/90, 01/01/91, 01/10/91, 01/01/92, 01/01/94, 01/01/95, 01/04/95, 01/01/96, 01/03/97, 01/01/98, 01/03/98, 01/09/98, 01/10/98

La plupart de ces arrêtés concernent plusieurs communes et, pour l'un d'entre eux, deux périodes distinctes. Le nombre total d'occurrences ainsi reconnues dans le département (en distinguant par commune et par période) s'élève à 36 (soit plus d'une occurrence par commune si l'on se limite aux communes ayant bénéficié d'un arrêté et 0,25 occurrence par commune si l'on rapporte ces chiffres au nombre total de communes du département). D'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance (octobre 2003), ce nombre d'occurrences reconnues place le Vaucluse à la 41^{ème} position des départements français les plus touchés, certes loin derrière certains départements du Sud-Ouest (889 occurrences reconnues dans le Gers, 829 en Haute-Garonne, 740 en Dordogne, par exemple), mais restant cohérent avec le département voisin des Alpes-de-Haute-Provence (36 occurrences reconnues), alors que les Bouches-du-Rhône bénéficient d'un nombre d'occurrences de 105. Cependant, si l'on se réfère au classement des départements français en terme de coût d'indemnisation, le Vaucluse occupe la 26^{ème} place, derrière les départements côtiers tels que les Bouches-du-Rhône (7^{ème} rang) ou le Var (24^{ème} rang). Le décalage entre ces deux chiffres montre que les sinistres dans le Vaucluse sont jusqu'à présent surtout concentrés dans un petit nombre de communes.

De fait, la carte (Illustration 34) montre que les communes reconnues en état de catastrophe naturelle pour le retrait-gonflement des argiles sont situées dans

l'ensemble du département, mais avec une répartition inégale. Dans le quart sud-est du département, la proportion de communes sinistrées est très élevée, et la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle peut dépasser les 8 années. Dans le nord du département, la proportion de communes sinistrées est moins élevée, et la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle est plus variée. On notera que l'extrême nord et la bordure est du département restent peu touchés.

6.2.2. Analyse des périodes reconnues en état de catastrophe naturelle

Au total, 43 arrêtés interministériels (données www.prim.net de mai 2004) constatant l'état de catastrophe naturelle dans des communes du département de Vaucluse ont ainsi été publiés au Journal Officiel entre 1991 et 2002, au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Sur les 27 communes reconnues en état de catastrophe naturelle, 14 n'ont fait l'objet que d'un seul arrêté et 10 de deux arrêtés. Ainsi, seulement 3 communes du département ont fait l'objet de 3 arrêtés, nombre maximum d'arrêtés par communes connu dans le Vaucluse à ce jour (Blauvac, Gargas et Mérindol).

Ceci est important au regard de la mise en application du système de modulation de franchise mis en place en septembre 2000 et qui prévoit une augmentation de la franchise à chaque nouvel arrêté (compté désormais sur les 5 dernières années, suite à l'arrêté du 4 août 2003, et non plus depuis 1995 comme initialement), à défaut d'élaboration de documents de prévention de type Plans de Prévention des Risques naturels (PPR). Il est d'ailleurs à noter qu'à ce jour, aucun PPR retrait-gonflement des argiles n'a été prescrit dans le Vaucluse.

Les données fournies en annexe 2 indiquent par ailleurs que la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle varie fortement d'une commune à l'autre et d'un arrêté à l'autre. Certains arrêtés couvrent des périodes de plusieurs années consécutives, d'autres concernent quelques mois seulement. C'est pourquoi il est apparu préférable de raisonner non pas seulement en nombre d'arrêtés par commune mais plutôt en nombre de mois reconnus par commune. Ce sont ces éléments qui ont été synthétisés dans l'illustration 35.

L'analyse de ces données montre que dans certaines communes, les périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ont été continues : la fin d'une période correspondant à un arrêté était immédiatement suivie par le début de la période concernée par l'arrêté suivant.

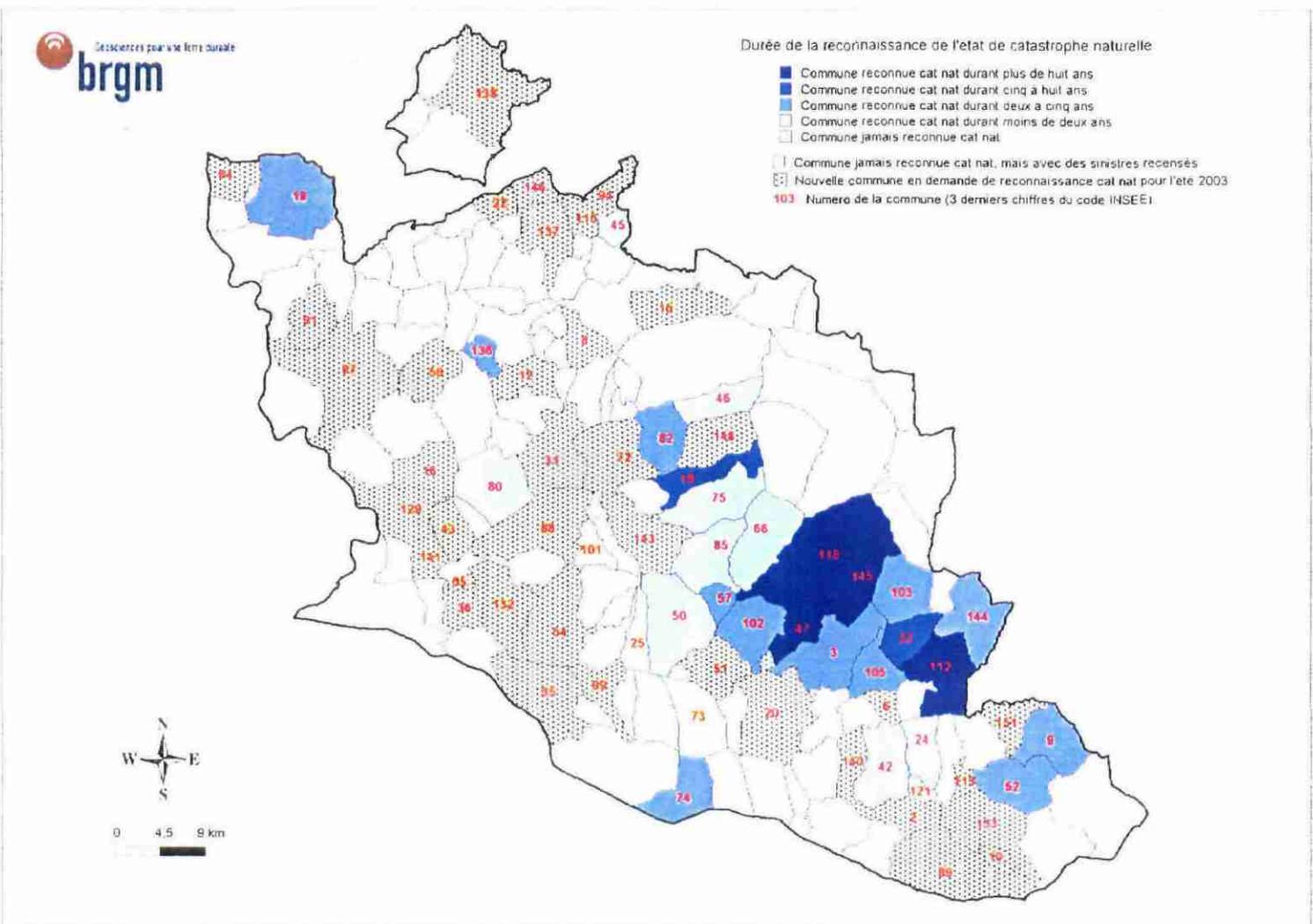


Illustration 34 : Carte des communes sinistrées

- Quatre communes ont été reconnues pendant au moins 8 ans, c'est-à-dire de façon continue entre mai 1989 et septembre 1998.
- Deux communes ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour une durée totale comprise entre 5 et 8 ans.
- Douze communes ont été reconnues en état de catastrophe naturelle entre 2 et 5 ans.
- Neuf communes concernées ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour une durée inférieure à 2 ans.

L'importance des durées de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour les communes de Vaucluse fait que le département est classé au 34^{ème} rang des départements français si l'on considère le nombre de jours reconnus en état de catastrophe naturelle multiplié par la surface des communes concernées (données CCR, octobre 2003).

Cette analyse de la durée totale par commune des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse amène au passage à s'interroger sur la signification de ces décisions dans la mesure où certaines des années incluses dans cette période (1993 à 1995 notamment) ont été particulièrement pluvieuses.

Cette analyse est par ailleurs confirmée par le graphique présentée sur l'illustration 36, qui indique, mois par mois, le nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse dans le département. Les pics de sécheresse reconnues de 1989-1991 et 1996-1997 sont bien visibles, ainsi que les creux correspondant aux années pluvieuses de 1993 et 1995, mais il reste en permanence entre 4 et 9 communes reconnues en état de catastrophe naturelle quelles que soient les conditions météorologiques.

Il faut cependant 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.

Il n'est pas exclu non plus que le gonflement des argiles, consécutif à la pluviométrie importante qu'a connue le département, notamment à la fin des années 1980 et dans la période 1994 - 1997, ait pu être ponctuellement à l'origine de certains sinistres, ou du moins ait aggravé les effets de mouvements différentiels antérieurs.

Code INSEE de la commune	Commune	Nombre d'arrêtés par commune	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	Nombre total de mois reconnus catnat
84003	Apt	2												45
84018	Blauvac	3												65
84019	Bollène	1												29
84024	Cabrières-d'Aigues	1												6
84032	Caseneuve	2												67
84042	Cucuron	1												6
84045	Faucon	1												18
84046	Flassan	1												21
84047	Gargas	3												102
84050	Gordes	2												21
84052	Grambois	2												28
84057	Joucas	1												45
84009	La Bastide-des-Jourdans	1												33
84066	Lioux	1												6
84074	Mérindol	3												30
84075	Méthamis	1												21
84080	Monteux	1												7
84082	Mormoiron	2												50
84085	Murs	2												21
84102	Roussillon	1												33
84103	Rustrel	1												29
84105	Saignon	2												40
84112	Saint-Martin-de-Castillon	2												104
84118	Saint-Saturnin-lès-Apt	2												125
84136	Vacqueyras	2												30
84144	Viens	1												33
84145	Villars	1												101

Illustration 35 : Périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour chaque commune

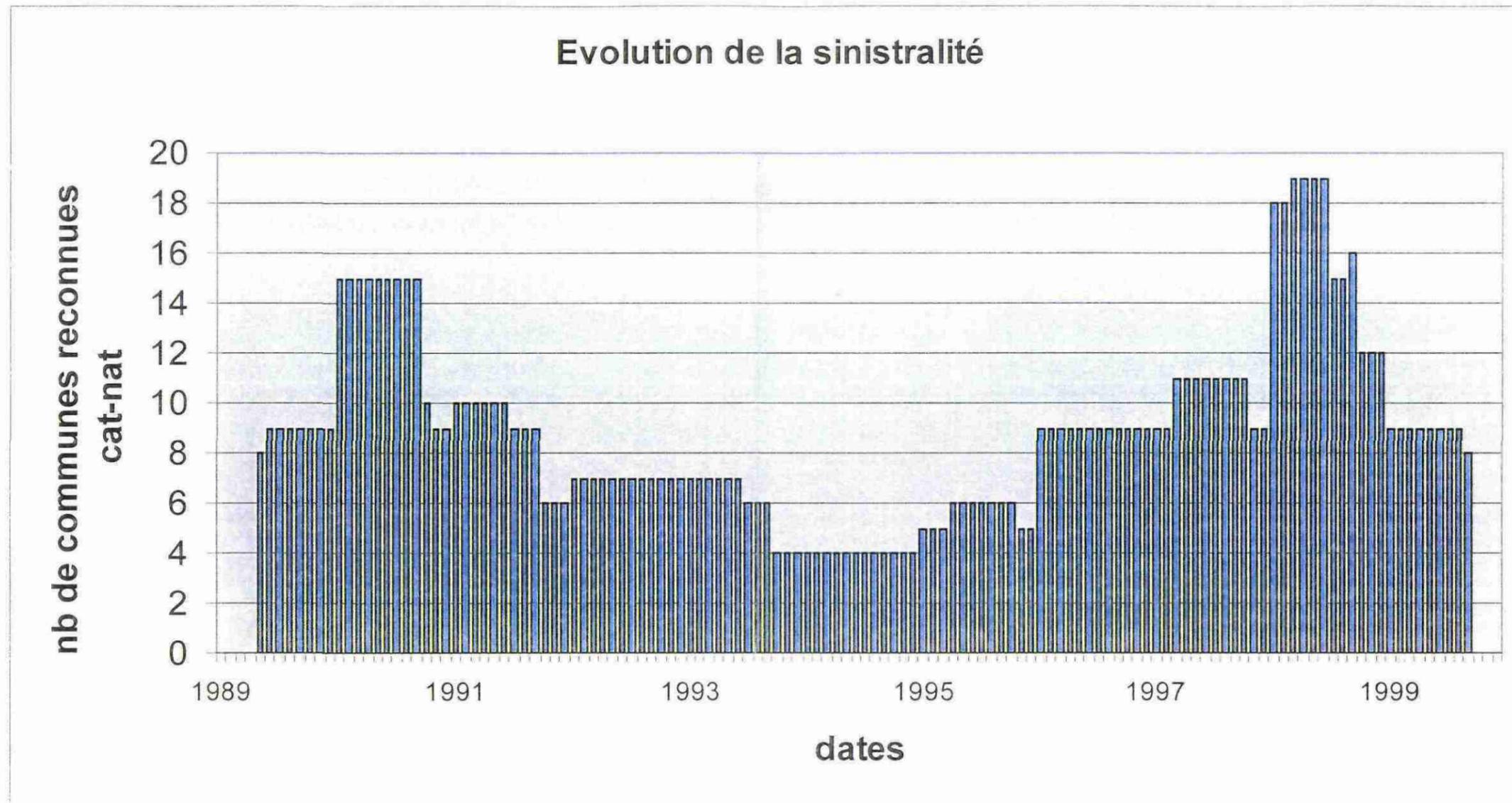


Illustration 36 : Evolution de la sinistralité sur plus de dix ans dans le Vaucluse

Cette hypothèse est cependant rarement mise en évidence par les bureaux d'études, sauf dans les cas particuliers de villas construites en période de déficit hydrique sur des sols anormalement desséchés en fond de fouille et qui ont subi des désordres lors de la réhydratation.

Quant à l'arrêt des reconnaissances de catastrophe naturelle observée depuis fin 1999, il s'explique en grande partie par la modification, survenue en décembre 2000, des critères d'évaluation du déficit hydrique, sur la base d'un bilan hydrique établi par Météo France. La mise en place de ce critère, relativement restrictif, s'est d'ailleurs traduite, dans le département, par plusieurs rejets de dossiers.

6.3. COLLECTES DES DONNEES DE SINISTRES

La plupart des adresses de sinistres ont été obtenues auprès des mairies. Sur les 65 communes sinistrées contactées (27 communes ayant eu un arrêté de catastrophe naturelle avant 2002 et 38 communes en demande de reconnaissance pour l'été 2003), 58 d'entre elles ont répondu à la demande et renvoyé des listes de sinistrés, soit plus de 87 % (sur les 27 communes reconnues en état de catastrophe naturelle, 26 ont répondu, soit 96% d'entre elles ; sur les 38 communes supplémentaires en demande de reconnaissance, 23 ont répondu, soit 60,5% d'entre elles). Ce fichier a été complété par un certain nombre de données communiquées par des bureaux d'étude (notamment FONDASOL, HYDROSOL, GEOPLUS) et des mutuelles d'assurance (MAIF, MAAF et Groupama).

Nombre de sinistres localisés	Nombre de communes appartenant à cette classe	Proportion relative par rapport aux communes sinistrées (en%)
100 à 112	2	3.51%
50 à 100	2	3.51%
25 à 50	7	12.28%
10 à 25	15	26.32%
5 à 10	11	19.30%
2 à 5	6	10.53%
1	9	15.79%
Sans réponse	6	8.77%
TOTAL	58	100%

Illustration 37 : Classement des communes en fonction du nombre de sinistres recueillis

Ainsi, l'illustration 37 montre que :

- 24.6 % des communes reconnues en état de catastrophe naturelle n'ont enregistré qu'un seul sinistre ou n'ont pas répondu à l'enquête.
- 28 % des communes interrogées présentent plus de 20 sinistres localisés.
- 7 % seulement des communes ont permis de localiser 347 sinistres, soit plus de 50 sinistres chacune.
- 2 communes (Saint-Saturnin-les-Apt et Gargas) ont enregistré plus de 100 sinistres chacune.

Après élimination des doublons (bâtiment déclaré sinistré à plusieurs reprises ou dont l'adresse a été communiquée par plusieurs sources différentes) et des adresses qui n'ont pas pu être localisées, ce sont en définitive 916 sites de sinistres répartis dans 58 communes qui ont été pris en compte (Illustration 38). Ce nombre peut être considéré comme largement représentatif dans la mesure où il touche près de 82% des communes sinistrées et où il correspond à plus de 97% des 941 sinistres recensés dans le département selon les données fournies par les communes (chiffre cependant probablement sous-estimé). Les communes pour lesquelles des données de sinistres ont pu être obtenues sont localisées sur la carte de l'illustration 39, qui permet de vérifier que leur répartition couvre bien l'ensemble de la zone touchée par des arrêtés de catastrophe naturelle.

Certains de ces sites de sinistres ont pu être localisés avec précision par les mairies ou grâce aux plans de situation joints aux dossiers consultés. Pour les autres sinistres, la précision de localisation est de l'ordre du hameau, de la rue, de la place, ou du lotissement, car nous ne disposons que des plans de communes.

D'un point de vue géographique, les communes les plus sinistrées sont majoritairement présentes dans le centre et le sud du département, tandis que le nord-ouest du département est peu sinistré. Globalement, ces données montrent que l'aire affectée par le phénomène de retrait-gonflement des argiles est importante dans le département, même si l'on ne considère que les communes ayant plus de 5 maisons sinistrées (ce qui constitue déjà un nombre significatif pour des communes rurales peu habitées).

La liste des sinistres avec leurs coordonnées en projection Lambert II étendu est présentée en annexe 3. Pour des raisons de confidentialité, les noms et adresses des sinistrés, qui avaient été collectés pour supprimer les doublons, n'apparaissent pas dans ce tableau.

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Numéro INSEE	Nom de la commune	Nombre d'arrêtés cat nat	Nombre de sinistres par commune	Numéro INSEE	Nom de la commune	Nombre d'arrêtés cat nat	Nombre de sinistres par commune
84053	GRILLON	0	0	84143	VENASQUE	0	0
84097	RICHERENCHES	0	0	84145	VILLARS	1	41
84150	VISAN	0	0	84007	ALTHEN-DES-PALUDS	0	0
84064	LAPALUD	0	1	84043	ENTRAIGUES-SUR-SORGUES	0	10
84019	BOLLENE	1	22	84017	LE BEAUDET	0	0
84094	PUYMERAS	0	6	84085	MURS	2	25
84146	VILLEDU	0	0	84101	LA ROQUE-SUR-PERNES	0	1
84063	LAMOTTE-DU-RHONE	0	0	84141	VEDENE	0	23
84022	BUISSON	0	5	84007	AVIGNON	0	0
84116	SAINT-ROMAIN-EN-VIENNOIS	0	2	84092	LE PONTET	0	0
84137	VAISON-LA-ROMAINE	0	19	84142	VELLÉRON	0	0
84117	SAINT-ROMAN-DE-MALEGARDE	0	0	84103	RUSTREL	1	22
84045	FAUCON	1	31	84119	SAINT-SATURNIN-LES-AVIGNON	0	0
84098	ROAIX	0	0	84132	LE THOR	0	2
84078	MONDRAGON	0	0	84054	L'ISLE-SUR-LA-SORGUE	0	1
84096	RASTEAU	0	0	84124	SAUMANE-DE-VAUCLUSE	0	0
84106	SAINTE-CECILE-LES-VIGNES	0	0	84048	GIGNAC	0	0
84028	CAIRANNE	0	0	84050	GORGES	2	22
84111	SAINT-MARCELLIN-LES-VAISON	0	0	84144	VIENS	1	5
84044	ENTRECHAUX	0	0	84055	JONQUERETTES	0	3
84126	SEGURET	0	0	84081	MORIERES-LES-AVIGNON	0	0
84061	LAGARDE-PAREOL	0	0	84036	CHATEAUNEUF-DE-GADAGNE	0	0
84110	SANT-LEGEF-DU-VENTOUX	0	0	84057	JOUCAS	1	14
84135	UCHAUX	0	0	84025	CABRIERES-D'AVIGNON	0	0
84040	CRESTET	0	0	84062	LIGNES	0	0
84083	MORNAS	0	0	84139	FONTAINE-DE-VAUCLUSE	0	0
84099	MALAUCCENE	0	0	84102	ROUSSILLON	1	56
84021	BRANTES	0	0	84093	APT	2	35
84127	SERIGNAN-DU-COMTAT	0	0	84047	GARGAS	3	112
84125	SAVOILLAN	0	0	84032	CASENEUVE	2	31
84134	TRAVAILLAN	0	0	84034	CAUMONT-SUR-DURANCE	0	0
84015	BEAUMONT-DU-VENTOUX	0	5	84105	SAIGNON	2	31
84091	PICLENC	0	0	84112	SAINTE-MARTIN-DE-CASTILLON	2	3
84104	SABLET	0	0	84051	GOULT	0	1
84148	VICLES	0	0	84020	BONNIEUX	0	0
84049	GIGONDAS	0	0	84035	CAVAILLON	0	1
84008	LE BARROUX	0	0	84114	SAINTE-PANTALEON	0	0
84130	SUZETTE	0	0	84099	ROBION	0	1
84017	BEDOIN	0	0	84013	BEAUMETTES	0	0
84029	CAMARET-SUR-AIGUES	0	0	84071	MAUBEC	0	0
84056	LAFARE	0	0	84086	ORPEDE	0	0
84005	AUREL	0	0	84073	MENERBES	0	1
84123	SULT	0	0	84033	CASTELLET	0	0
84136	VACQUEYRAS	2	13	84088	LACOSTE	0	0
84100	LA ROQUE-ALPIC	0	0	84023	BUCIX	0	0
84095	JONQUIERES	0	18	84006	AURIBEAU	0	2
84122	SARRIANS	0	0	84128	SIVERGUES	0	0
84027	CADEROUSSE	0	0	84131	TAILLADES	0	0
84012	BEAUMES-DE-VENISE	0	0	84151	VITROLLES	0	3
84030	CAROMB	0	0	84009	LA BASTIDE-DES-JOURDANS	1	15
84041	ORILLON-LE-BRAVE	0	0	84084	LA MOTTE-D'AIGUES	0	0
84077	MODENE	0	0	84090	PEYPIN-D'AIGUES	0	0
84109	SAINTE-HIPPOLYTE-LE-GRAVEYRON	0	0	84024	CABRIERES-D'AIGUES	1	5
84120	SAINTE-TRINIT	0	0	84042	CUCURON	1	5
84046	FLASSAN	1	17	84140	VAUGINES	0	1
84004	AUBIGNAN	0	0	84038	CHEVAL-BLANC	0	0
84115	SAINTE-PIERRE-DE-VASSOLS	0	0	84058	LOURMARIN	0	0
84039	COURTHEZON	0	0	84093	PUGET	0	0
84079	MONIEUX	0	0	84014	BEAUMONT-DE-PERTUIS	0	0
84082	MORMOIRON	2	70	84052	GRAMBOIS	2	18
84031	CARPENTRAS	0	0	84065	LAURIS	0	0
84148	VILLES-SUR-AUZON	0	0	84113	SAINTE-MARTIN-DE-LA-BRASQUE	0	4
84067	LORIOL-DU-COMTAT	0	0	84074	MERINDOL	3	20
84072	MAZAN	0	6	84095	PUYVERT	0	0
84037	CHATEAUNEUF-DU-PAPE	0	0	84121	SANNES	0	1
84016	BEDARRIDES	0	0	84133	LA TOUR-D'AIGUES	0	0
84018	BLAUVAO	3	5	84026	CADENET	0	0
84080	MONTEUX	1	5	84002	ANSOUIIS	0	9
84075	METHAMIS	1	17	84075	MIRABEAU	0	0
84129	SORGUES	0	1	84147	VILLELAURE	0	0
84070	MALLEMORT-DU-COMTAT	0	0	84098	PERTUIS	0	15
84060	LAGARDE-D'APT	0	0	84010	LA BASTIDONNE	0	6

Illustration 38 : Nombre de sinistres recensés par commune

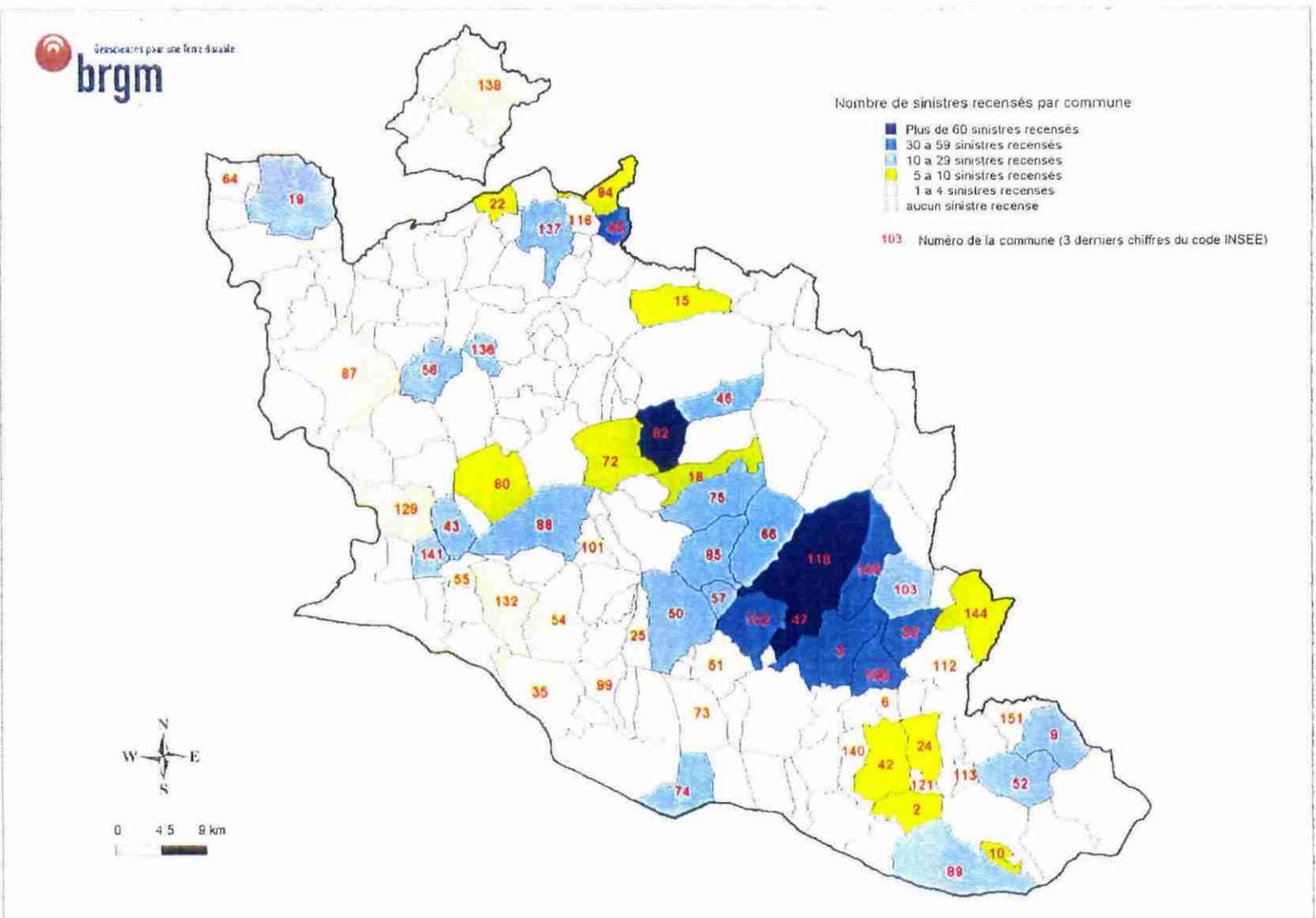


Illustration 39 : Carte de répartition par commune des sinistres recensés

Tous les sinistres déclarés n'ont pas pu être localisés. Parmi les 916 sinistres localisés dans cette étude, la proportion des 733 sinistres positionnés dans les 20 communes les plus sinistrées du département est précisée dans l'illustration 40 ; ils correspondent à 78% environ des 941 sinistres déclarés portés à notre connaissance dans tout le Vaucluse.

Ces 733 sinistres correspondent à une proportion moyenne de 98% de localisation sur ces communes les plus touchées, ce qui donne une très bonne représentation statistique des sinistres répertoriés.

Les sinistres, une fois localisés sur un plan de la commune, ont été reportés sur cartes topographiques à l'échelle 1/25 000 de l'IGN (sur fonds scannés, édition 1999), ce qui a permis de calculer automatiquement les coordonnées Lambert de chacun des sites. Ces coordonnées sont indiquées en annexe 3 (en revanche les noms et adresses des sinistrés n'ont pas été communiquées, conformément aux recommandations de la loi Informatique et Libertés). L'illustration 41 présente la répartition géographique des 916 sinistres sécheresse pris en compte dans le département de Vaucluse.

Nom de la commune	Nombre de sinistres déclarés	Nombre de sinistres localisés	Proportion de sinistres positionnés (%)
Gargas	112	111	99
Saint-Saturnin-les-Apt	109	109	100
Mormoiron	68	66	97
Roussillon	55	54	98
Villars	41	40	98
Apt	35	32	91
Caseneuve	31	31	100
Faucon	31	31	100
Saignon	31	31	100
Pernes-les-Fontaines	26	26	100
Murs	25	25	100
Vedene	23	23	100
Bollène	22	21	95
Gordes	22	20	91
Rustrel	22	22	100
Mérindol	20	20	100
Vaison-la-Romaine	19	19	100
Grambois	18	17	94
Jonquières	18	18	100

Illustration 40 : Liste des 20 communes les plus sinistrées de Vaucluse

Une première visualisation de la carte permet de constater que la répartition des sinistres semble assez bien corrélée avec des critères géologiques et/ou morphologiques (abondance des sinistres sur les zones de remplissages sédimentaires sablo-argileux). Cependant on observe aussi l'importance non négligeable que représentent les secteurs fortement urbanisés avec une densité de sinistres très élevée, ce qui justifie le calcul des densités de sinistres en fonction des surfaces urbanisées dont la carte a été représentée au chapitre 3.4. (Illustration 8).

L'analyse de ces cartes nous permet d'avoir une idée de la répartition géographique globale des sinistres. Un certain nombre de paramètres doivent être pris en compte car ces résultats font l'objet de nombreux biais qui peuvent fausser notre analyse.

- En effet, ces sinistres ont été déclarés en majorité par les communes et ne constituent donc pas des données exhaustives, certains sinistres n'étant pas forcément pris en compte, car inconnus des élus et traités directement par les experts auprès des assurances, postérieurement aux demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

- Certains sinistres comptabilisés ont par ailleurs une autre cause que le retrait-gonflement (défaut de construction), ce qui n'apparaît pas dans les expertises géotechniques consultées.

6.4. RÉPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GÉOLOGIQUE ET DENSITÉS DE SINISTRES

L'étude de l'aléa retrait-gonflement des sols implique la prise en compte de la nature géologique des terrains où se sont produits les sinistres. Les données qui seront utilisées par la suite sont exclusivement celles issues de la juxtaposition de la carte des sinistres avec la carte géologique synthétique établie dans le cadre de la présente étude.

Au total, 69 formations géologiques ont supporté des sinistres, dont 98% sont localisés sur des formations argileuses ou marneuses. Les fréquences de sinistres par formation sont données dans leur intégralité dans le tableau de l'illustration 42.

Il apparaît ainsi que 98 % des sinistres sont localisés sur des formations identifiées comme argileuses ou marneuses, mais il est vrai que ces dernières occupent 70,6 % de la surface du département. La densité de sinistres est dix-sept fois plus importante pour les formations argileuses ou marneuses que pour les formations a priori non argileuses. Ces résultats indiquent une très bonne corrélation entre la carte de répartition des sinistres et celle des faciès argileux, même si l'on aurait pu s'attendre à des résultats encore plus significatifs, surtout si on les compare avec ceux obtenus pour d'autres départements où la même méthodologie a été appliquée. En fait, la très forte hétérogénéité des formations géologiques dans le département, qui a été détaillée dans la 4^{ème} partie de ce rapport, explique en grande partie ces résultats : certaines formations, considérées comme a priori non argileuses, peuvent en effet contenir localement des lentilles ou des placages d'argile non cartographiés, sans que pour autant il soit justifié de considérer la formation comme argileuse dans son ensemble. A l'inverse, certaines formations considérées comme argileuses, présentent à la fois des faciès argileux et des faciès non argileux, ce qui diminue d'autant la densité de sinistres qui les caractérise.

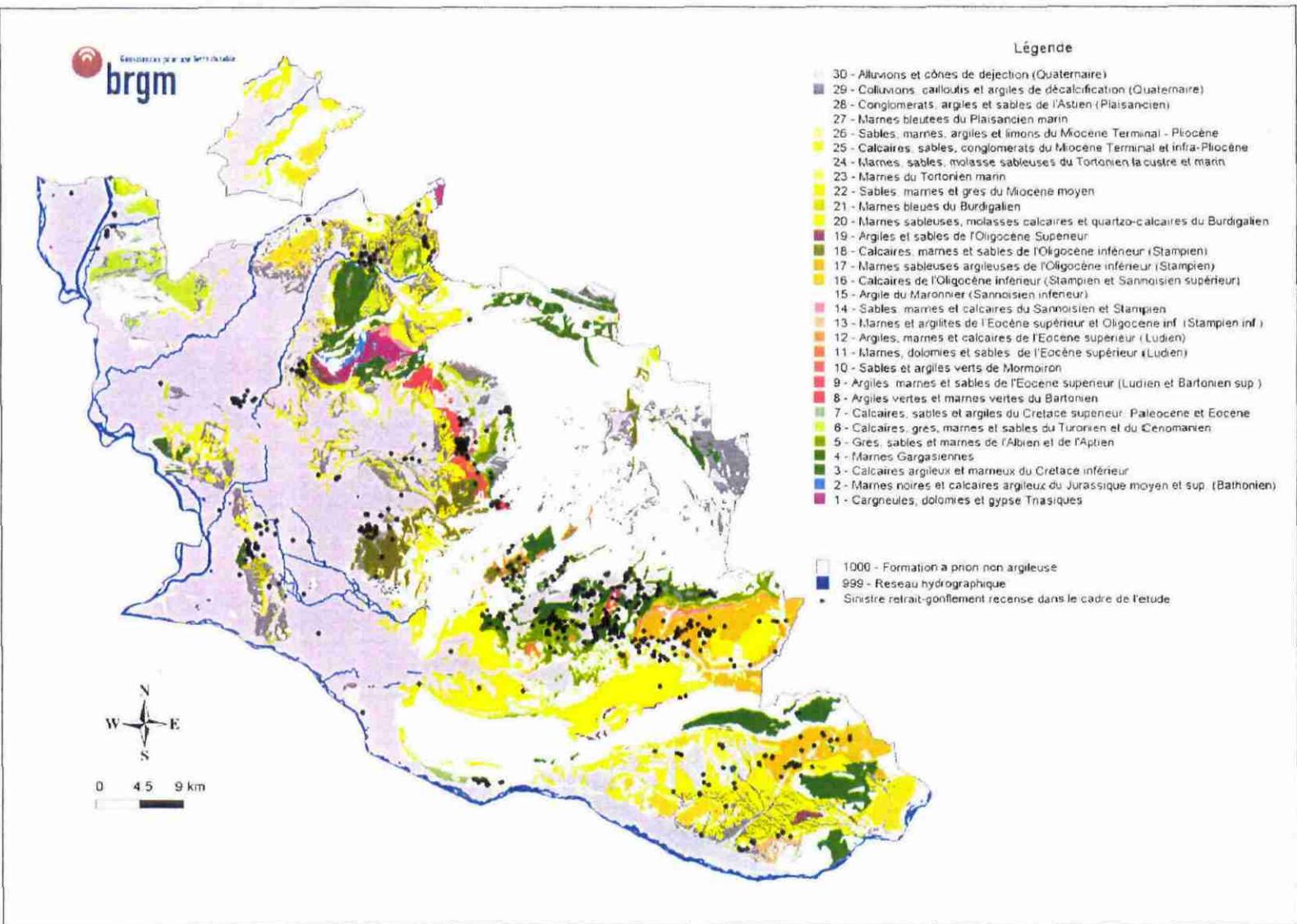


Illustration 41 : Carte de localisation des sinistres recensés dans le département

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

N°	Nom de la formation géologique	Superficie de la formation (km²)	% de la superficie totale	Nombre de sinistres	Densité de sinistres pour 100 km²
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1319,50	36,80	139	10,5
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	246,68	6,88	56	22,7
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	5,72	0,16	0	0,0
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	12,25	0,34	15	122,5
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	4,49	0,13	0	0,0
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	62,22	1,74	3	4,8
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	40,04	1,12	4	10,0
23	Marnes du Tortonien marin	5,87	0,16	6	102,2
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	177,17	4,94	34	19,2
21	Marnes bleues du Burdigalien	8,91	0,25	9	101,0
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	140,26	3,91	26	18,5
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	8,13	0,23	5	61,5
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	1,22	19	43,5
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	6,58	0,18	2	30,4
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2,68	86	89,4
15	Argile du Maronnier (Stampien)	1,17	0,03	1	85,7
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	7,34	0,20	1	13,6
13	Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	0,15	2	38,1
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	13,30	0,37	12	90,3
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	0,39	0,01	1	253,9
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	8,01	0,22	59	736,7
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	0,27	13	134,1
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	1,65	0,05	4	242,4
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	11,77	0,33	10	84,9
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomarien	54,91	1,53	6	10,9
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	53,12	1,48	99	186,4
4	Marnes Gargasiennes	40,43	1,13	277	685,1
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	129,75	3,62	7	5,4
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	4,25	0,12	0	0,0
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	12,22	0,34	0	0,0
Total formations argileuses		2530,93	70,59	896	35
999	Réseau hydrographique	30,11	0,84	0	0,00
1000	Formations à priori non argileuses	1024,30	28,57	20	2,0
Total département		3585,34	100,00	916	25,5

Illustration 42 : Répartition des sinistres par formation géologique

D'une façon générale, les 20 sinistres qui sont localisés sur des formations a priori non argileuses peuvent s'expliquer de différentes façons :

- comme cela vient d'être souligné, certaines formations considérées comme a priori non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non cartographiés. Ceci concerne en particulier les formations calcaires, localement altérés, ou pouvant présenter localement des lentilles d'argile. Par ailleurs, des

formations essentiellement sableuses peuvent contenir des lentilles d'argile, ou certains colluvions ou limons sableux ;

- quelques sinistres attribués au retrait-gonflement des argiles peuvent être dus en réalité à d'autres phénomènes (tassement de remblais ou de sols compressibles, fluages sur des colluvions instables, défauts de construction, choc thermique sur les enduits de façade, etc.) ;
- certains contours de formations géologiques peuvent être localement inexacts ou certains sinistres mal localisés.

Parmi les formations argileuses ou marneuses, deux présentent plus de 100 voir plus de 200 sinistres : il s'agit des *Alluvions et cônes de déjection Quaternaire* (129 sinistres), et des *Marnes Gargasiennes* (277 sinistres). Il faut cependant noter que la première formation affleure sur des superficies très étendues (près de 37% du département), la deuxième en revanche n'affleure que sur 40 km² soit 1% de la superficie du département, ce qui induit donc une densité de sinistres élevée pour cette formation. Deux autres formations se distinguent par des densités de sinistres élevées : des *Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien* (242 sinistres pour 100 km²) et surtout des *Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)*, caractérisées par une densité de sinistres de 254 sinistres pour 100 km², soit près de 2 fois et demie supérieure à la moyenne départementale

Seules quatre formations parmi les formations argileuses ou marneuses (les *Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)*, les *Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal – Pliocène*, les *Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)* et les *Cargneules, dolomies et gypse triasiques*) ne comptent pas de sinistres, mais cela ne peut être considéré comme significatif étant donné que cette dernière formation n'affleure que sur 0,7% de la superficie départementale.

6.5. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE À LA SURFACE URBANISÉE

Étant donné que les surfaces d'affleurement des différentes formations géologiques sont extrêmement variables, il est important de raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique (ramenées à 100 km² de surface d'affleurement). Cependant, il faut garder à l'esprit que l'urbanisation n'est pas uniforme sur l'ensemble du département et cela peut donc biaiser l'analyse sur les densités de sinistres par formation. En effet, une formation géologique s'étendant principalement en milieu très peu habité aura moins de risque de donner lieu à des sinistres sur le bâti qu'une formation très urbanisée. Cela explique que l'on ait été amené à raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique, ramenés à 100 km² de surface effectivement urbanisée.

6.5.1. Détermination de la densité de sinistres par formation

La densité d'urbanisation du département de Vaucluse présente d'importantes variations d'un point à un autre. Or ce facteur est déterminant dans l'appréciation des densités de sinistres par formation géologique. En effet, une formation présentera statistiquement une densité de sinistres d'autant plus élevée que son niveau d'urbanisation est important, et ceci même si sa sensibilité au retrait-gonflement est moyenne. Inversement, une formation très sensible mais dont les zones d'affleurement sont faiblement urbanisées, présentera une densité de sinistres relativement faible.

Les contours des zones urbanisées ont été tracés à partir des cartes topographiques IGN à l'échelle 1/25 000. Ils ont ensuite été numérisés et superposés à la carte géologique d'interprétation. Ceci a permis de calculer, pour chacune des 30 formations argileuses ou marneuses du département, la surface d'affleurement qui se trouve être réellement urbanisée. Ces zones urbanisées sont représentées en pointillés sur la carte de synthèse, hors-texte. Il est à noter que ces contours sont donnés à titre indicatif et peuvent présenter quelques décalages avec la réalité dans certains secteurs urbanisés très récemment (Illustration 43).

La surface totale des zones urbanisées du département a été ainsi estimée à 145,69 km², soit environ 4% de la superficie du département.

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, avec celle des zones urbanisées montre que la surface totale occupée par les zones urbanisées dans les formations géologiques argileuses ou marneuses est de 136,72 km², soit environ 5,44 % de leur surface totale d'affleurement. Les surfaces urbanisées sont indiquées pour chaque couche géologique argileuse dans l'illustration 44.

Ces éléments permettent de calculer des densités des sinistres par formation géologique, en prenant en compte la surface de la zone urbanisée de la formation. Il est à noter que certains des sinistres recensés se trouvent en dehors des limites des zones urbanisées, telles que nous les avons tracées, ce qui confirme que quelques maisons isolées ainsi que certains lotissements construits récemment n'ont pas été pris en compte dans la carte des zones urbanisées.

Ainsi, les formations qui présentent les densités de sinistres ramenées à 100 km² de surface urbanisée les plus élevées (supérieures à 10 000 sinistres pour 100 km²), sont, par ordre décroissant, les *Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)*, les *Marnes Gargasiennes*, les *Sables et argiles verts de Mormoiron*, les *Argile du Maronnier (Stampien)*, les *Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)*, les *Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien*, les *Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)* et les *Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien*.

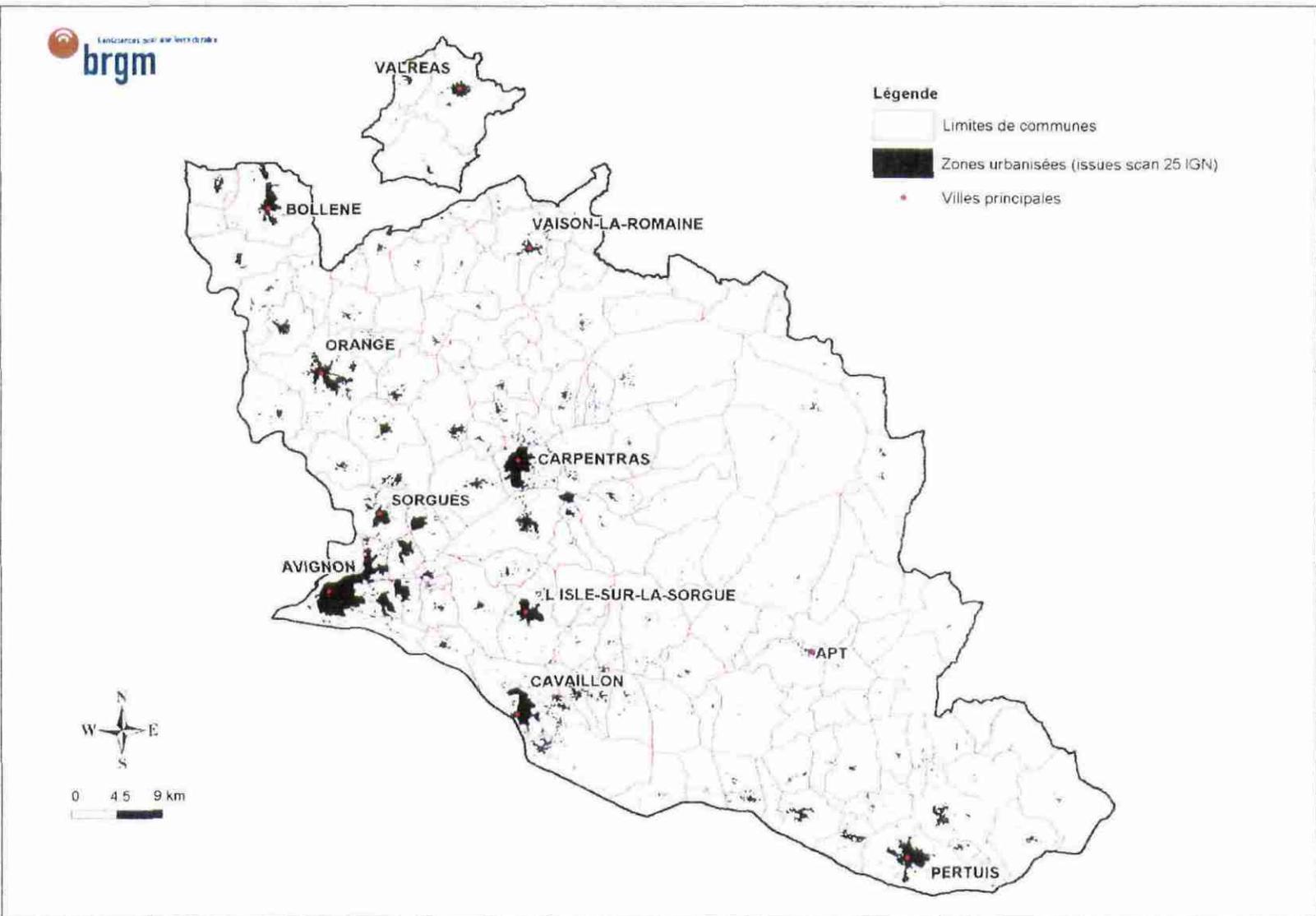


Illustration 43 : Cartographie des zones urbanisées

N°	Nom de la formation géologique	Superficie de la formation (km²)	% de la superficie totale	Surface urbanisée (km²)	Taux d'urbanisation	Nombre de sinistres	Densité de sinistres pour 100 km² (urbanisés)	Note densité de sinistres
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1 319,50	36,80	101,06	7,66	139	138	1
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	246,66	6,88	12,79	5,18	56	438	1
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	5,72	0,16	0,05	0,87	0	0	1
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	12,25	0,34	1,15	9,38	15	1 306	2
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	4,49	0,13	0,09	2,03	0	0	1
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	62,22	1,74	0,30	0,47	3	1 016	2
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	40,04	1,12	0,87	2,18	4	458	1
23	Marnes du Tortonien marin	5,87	0,16	0,11	1,84	6	5 542	3
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	177,17	4,94	11,90	6,72	34	286	1
21	Marnes bleues du Burdigalien	8,91	0,25	0,29	3,28	9	3 081	3
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	140,26	3,91	2,45	1,75	26	1 061	2
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	8,13	0,23	0,16	1,95	5	3 155	3
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	1,22	0,81	1,85	19	2 349	3
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	6,58	0,18	0,03	0,47	2	6 408	3
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2,68	0,92	0,96	86	9 334	3
15	Argile du Maronnier (Stampien)	1,17	0,03	0,00		1	32 156	3
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	7,34	0,20	0,11	1,49	1	916	2
13	Marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	0,15	0,17	3,26	2	1 170	2
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	13,30	0,37	0,09	0,70	12	12 868	3
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	0,39	0,01	0,00		1	54 882	3
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	8,01	0,22	0,15	1,83	59	40 155	3
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	0,27	0,06	0,66	13	20 460	3
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	1,65	0,05	0,03	1,68	4	14 393	3
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	11,77	0,33	0,18	1,54	10	5 504	3
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomanién	54,91	1,53	0,73	1,34	6	818	2
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	53,12	1,48	0,86	1,62	99	11 493	3
4	Marnes Gargasiennes	40,43	1,13	0,55	1,35	277	50 762	3
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	129,75	3,62	0,76	0,59	7	919	2
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	4,25	0,12	0,01	0,12	0	0	1
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	12,22	0,34	0,04	0,31	0	0	1
Total formations argileuses		2530,93	70,59 %	136,72	3,80 %	896	655	
999	Réseau hydrographique	30,11	0,84 %	0,00	0,00	0	0,00	
1000	Formations a priori non argileuses	1024,30	28,6 %	6,97	0,25 %	20	223	
Total département		3585,34	100,00	145,69	4,06 %	916	629	

Illustration 44 : Densité de sinistres par formation ramenée à 100 km² de surface urbanisée et détermination de la note densité de sinistres

6.5.2. Détermination du critère densité de sinistres

Ces résultats indiquent que la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement urbanisé est en moyenne de 655 pour les formations argileuses ou marneuses (elle s'élève à 629 pour l'ensemble du département), alors qu'elle est de 223 pour les autres formations jugées a priori non argileuses, ce qui justifie a posteriori leur sélection.

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est ce seuil moyen de 655 sinistres pour 100 km² urbanisés qui a été retenu comme référence et à partir duquel ont été définis les coupures suivantes pour l'attribution de notes caractérisant la sinistralité :

- *note 1* : moins de 655 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité inférieure à la moyenne des zones argileuses) ;
- *note 2* : entre 655 et 1 310 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à la moyenne des zones argileuses et inférieure à deux fois cette moyenne) ;
- *note 3* : plus de 1 310 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à deux fois la moyenne des zones argileuses).

L'illustration 45 présente les formations géologiques classées par densités de sinistres décroissantes et rappelle les niveaux de susceptibilité déterminés dans la partie 5 de ce rapport.

Les résultats montrent que parmi les 15 formations ayant obtenu une note densité de sinistres de 3, on retrouve les cinq formations de susceptibilité forte et 10 formations de susceptibilité moyenne. De même, parmi les 7 formations ayant obtenu une note densité de sinistres de 2, on retrouve 5 formations à susceptibilité moyenne et 2 formations à susceptibilité faible. Enfin, les 8 formations de faible densité de sinistres (note 1) avaient été caractérisées par une susceptibilité moyenne pour 2 d'entre elles, ou faible pour les 6 autres. La corrélation entre la note densité de sinistres et la susceptibilité de la formation est donc très satisfaisante.

N°	Nom de la formation géologique	Superficie de la formation (km²)	% de la superficie totale	Surface urbanisée (km²)	Taux d'urbanisation	Nombre de sinistres	Densité de sinistres pour 100 km² (urbanisés)	Note de densité de sinistres	Note de susceptibilité
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	0,39	0,01	0,002	0,46	1	54 882	3	moyenne
4	Marnes Gargasiennes	40,43	1,13	0,55	1,35	277	50 762	3	forte
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	6,01	0,22	0,15	1,83	59	40 155	3	forte
15	Argile du Maronnier (Stampien)	1,17	0,03	0,003	0,27	1	32 156	3	forte
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	0,27	0,06	0,66	13	20 460	3	moyenne
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	1,65	0,05	0,03	1,68	4	14 393	3	forte
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	13,30	0,37	0,09	0,70	12	12 668	3	forte
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	53,12	1,48	0,86	1,62	99	11 493	3	moyenne
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2,68	0,92	0,96	86	9 334	3	moyenne
17	Marnes sableuses argileuses de Viens, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	6,58	0,18	0,03	0,47	2	6 408	3	moyenne
23	Marnes du Tortonien marin	5,87	0,16	0,11	1,84	6	5 542	3	moyenne
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	11,77	0,33	0,18	1,54	10	5 504	3	moyenne
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	8,13	0,23	0,16	1,95	5	3 155	3	moyenne
21	Marnes bleues du Burdigalien	8,91	0,25	0,29	3,28	9	3 081	3	moyenne
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	1,22	0,81	1,85	19	2 349	3	moyenne
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	12,25	0,34	1,15	9,38	15	1 306	2	moyenne
13	Marnes et argiles de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	0,15	0,17	3,26	2	1 170	2	moyenne
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	140,26	3,91	2,45	1,75	26	1 061	2	moyenne
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et intra-Pliocène	62,22	1,74	0,30	0,47	3	1 016	2	faible
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	129,75	3,62	0,76	0,59	7	919	2	moyenne
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	7,34	0,20	0,11	1,49	1	916	2	moyenne
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomanién	54,91	1,53	0,73	1,34	6	818	2	faible
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	40,04	1,12	0,87	2,18	4	458	1	moyenne
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	246,68	6,88	12,79	5,18	56	438	1	faible
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	177,17	4,94	11,90	6,72	34	286	1	faible
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1319,50	36,80	101,06	7,66	139	138	1	faible
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	12,22	0,34	0,04	0,31	0	0	1	faible
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	5,72	0,16	0,05	0,87	0	0	1	moyenne
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	4,49	0,13	0,09	2,03	0	0	1	faible
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	4,25	0,12	0,01	0,12	0	0	1	faible
Total formations argileuses		2530,93	70,59 %	136,72	3,80 %	896	655		
999	Réseau hydrographique	30,11	0,84 %	0,00	0,00	0	0,00		
1000	Formations à priori non argileuses	1024,30	28,6 %	8,97	0,25 %	20	223		
Total département		3585,34	100 %	145,69	4,06 %	916	629		

Illustration 45 : Classement des formations par densité de sinistres ramenée à la surface urbanisée et rappel de la susceptibilité

7. Elaboration de la carte d'aléa

7.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALEA

L'aléa retrait-gonflement des argiles 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 et marneuse, en combinant la susceptibilité et la densité de sinistres.

La susceptibilité des formations argileuses ou 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 5. L'indice de susceptibilité ainsi obtenu a été décliné en trois classes, qualifiées respectivement par une susceptibilité faible, moyenne et forte, et prend donc les valeurs 1, 2 ou 3.

Pour le facteur densité de sinistres, le critère utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement urbanisé. Selon la valeur de cette densité par rapport aux valeurs seuils qui sont respectivement 655 (densité de sinistres moyenne des formations argileuses dans le département) et 1 310 (double de cette valeur moyenne), la note de densité de sinistres ainsi attribuée prend la valeur 1 (moins de 655 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation), 2 (entre 655 et 1 300 sinistres pour 100 km² urbanisés) ou 3 (plus de 1 310 sinistres pour 100 km² urbanisés).

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

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

Le classement ainsi obtenu est présenté sur les Illustrations 46 et 47. Ainsi, il apparaît que cinq formations ont été classées en aléa fort vis à vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles. Elles ont toutes été caractérisées par une susceptibilité forte, et leurs densités de sinistres ramenées à 100 km² de surface urbanisée sont parmi les plus élevées du département.

Quinze formations sont considérées en aléa moyen, qui résultent toutes d'une susceptibilité moyenne associée à une densité de sinistres forte ou moyenne. Parmi ces quinze formations, on peut citer les plus étendues (surfaces supérieures à 100 km²) : les *Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien* et les *Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur*.

Enfin, dix formations sont considérées comme présentant un aléa faible vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Outre les 2 formations alluviales, il s'agit également des *Sables, marnes et grès du Miocène moyen*, et des *Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène* pour ne citer que les plus étendues.

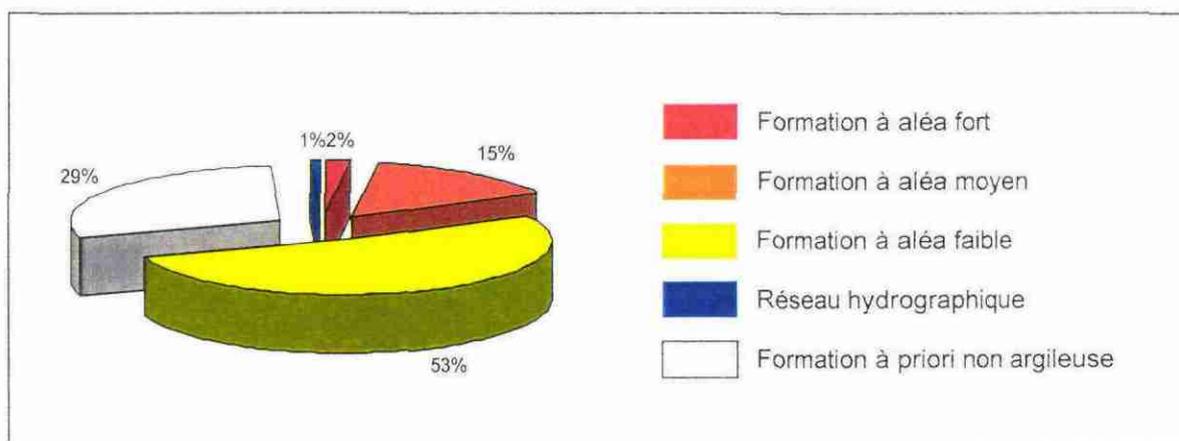


Illustration 46 : Comparaison de la superficie des terrains en fonction de leur niveau d'aléa

7.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Le résultat de cette carte est présentée sur l'illustration 48 et en carte hors-texte 3 à l'échelle 1/110 000 (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 cette même échelle.

N°	Nom de la formation géologique	Superficie (km ²)	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Moyenne	Susceptibilité	Note de susceptibilité	Note densité de sinistres	Indice d'aléa	Aléa
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1319,50	1	2	2	1,67	faible	1	1	3	faible
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	246,68	1	3	2	2,00	faible	1	1	3	faible
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Pliocène)	5,72	2	3	2	2,33	moyenne	2	1	5	faible
27	Marnes bleutées du Pliocène marin	12,25	4	3	1	2,67	moyenne	2	2	6	moyen
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	4,49	2	2	-	2,00	faible	1	1	3	faible
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et intra-Pliocène	62,22	1	3	2	2,00	faible	1	2	4	faible
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	40,04	2	4	2	2,67	moyenne	2	1	5	faible
23	Marnes du Tortonien marin	5,87	3	3	2	2,67	moyenne	2	3	7	moyen
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	177,17	2	3	1	2,00	faible	1	1	3	faible
21	Marnes bleues du Burdigalien	8,91	4	3	2	3,00	moyenne	2	3	7	moyen
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	140,26	2	3	2	2,33	moyenne	2	2	6	moyen
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	8,13	2	4	3	3,00	moyenne	2	3	7	moyen
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	2	3	2	2,33	moyenne	2	3	7	moyen
17	Marnes sableuses argileuses de Vions, de l'Oligocène inférieur (Stampien)	6,58	3	1	3	2,33	moyenne	2	3	7	moyen
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2	3	2	2,33	moyenne	2	3	7	moyen
15	Argile du Maroigner (Stampien)	1,17	4	4	-	4,00	forte	3	3	9	fort
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	7,34	3	3	2	2,67	moyenne	2	2	6	moyen
13	Marnes et argiles de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	3	3	2	2,67	moyenne	2	2	6	moyen
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	13,30	4	-	3	3,50	forte	3	3	9	fort
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	0,39	3	3	-	3,00	moyenne	2	3	7	moyen
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	8,01	4	4	3	3,67	forte	3	3	9	fort
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	2	3	3	2,67	moyenne	2	3	7	moyen
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	1,85	4	4	3	3,67	forte	3	3	9	fort
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	11,77	2	3	2	2,43	moyenne	2	3	7	moyen
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Tortonien et du Cénomarien	54,91	2	-	2	1,86	faible	1	2	4	faible
6	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	53,12	2	2	3	2,33	moyenne	2	3	7	moyen
4	Marnes Gargasennes	40,43	4	3	3	3,33	forte	3	3	9	fort
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	129,75	2	4	2	2,67	moyenne	2	2	6	moyen
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	4,25	3	1	2	2,00	faible	1	1	3	faible
1	Corgneules, dolomies et gypse Triasiques	12,22	2	2	1	1,67	faible	1	1	3	faible
Total formations argileuses		2530,93									
Total département		3695,34									

Illustration 47 : Calcul du niveau d'aléa des formations argileuses et marneuses

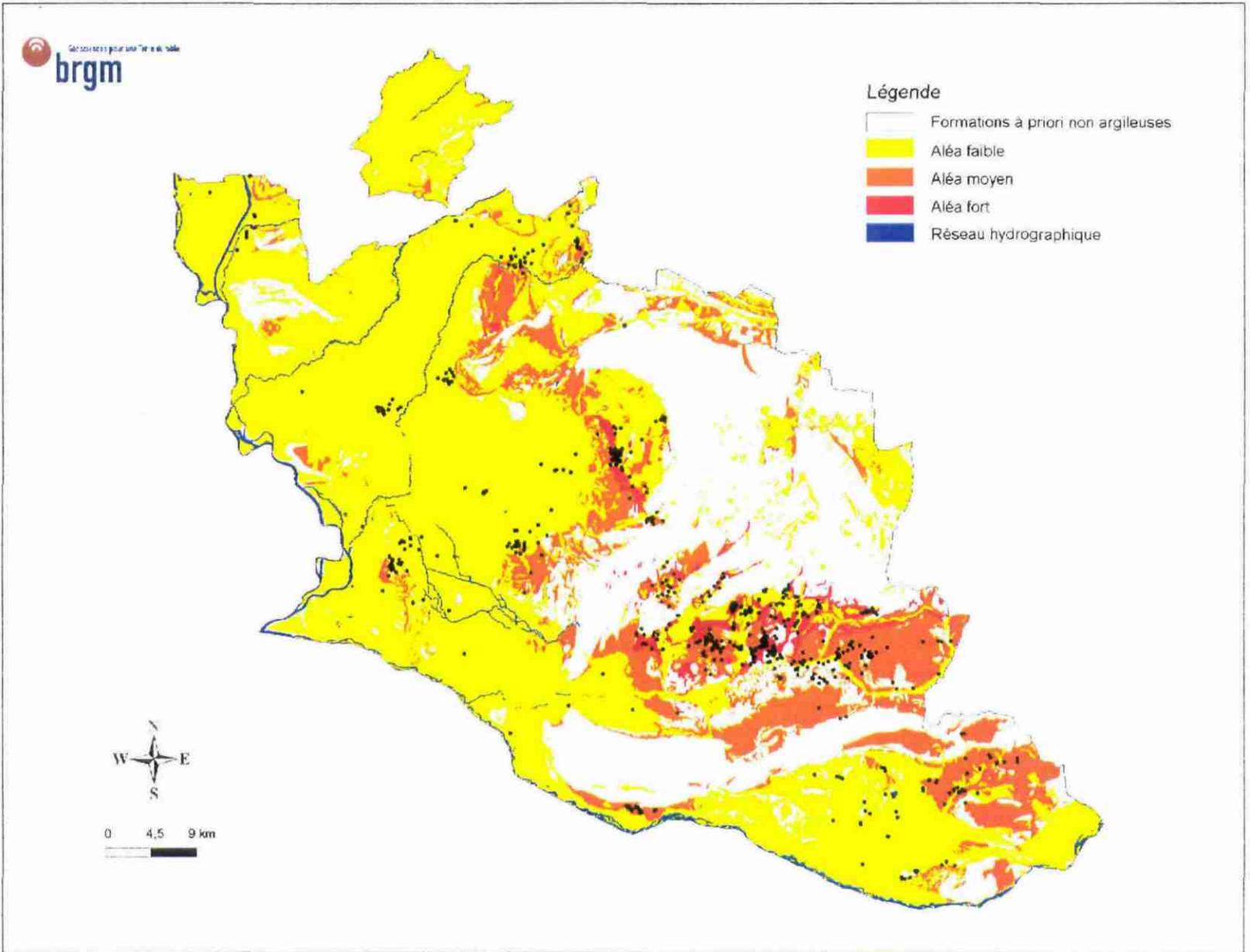


Illustration 48 : Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des argiles

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

N°	Nom de la formation géologique	Superficie (km²)	% de la superficie totale	Aléa
4	Marnes Gargasiennes	40,43	1,13	fort
12	Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)	13,30	0,37	fort
10	Sables et argiles verts de Mormoiron	8,01	0,22	fort
8	Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien	1,65	0,05	fort
15	Argile du Maronnier (Stampien)	1,17	0,03	fort
Total des formations en aléa fort		64,55	1,8 %	
20	Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien	140,26	3,91	moyen
3	Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur	129,75	3,62	moyen
16	Calcaires de l'Oligocène inférieur (Stampien)	96,20	2,68	moyen
5	Grès, sables et marnes de l'Albien et de l'Aptien	53,12	1,48	moyen
18	Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)	43,65	1,22	moyen
27	Marnes bleutées du Plaisancien marin	12,25	0,34	moyen
7	Calcaires, sables et argiles du Crétacé supérieur, Paléocène et Éocène	11,77	0,33	moyen
9	Argiles, marnes et sables de l'Éocène supérieur (Ludien et Bartonien supérieur)	9,70	0,27	moyen
21	Marnes bleues du Burdigalien	8,91	0,25	moyen
19	Argiles et sables de l'Oligocène Supérieur	8,13	0,23	moyen
14	Sables, marnes et calcaires du Stampien	7,34	0,20	moyen
17	Marnes sableuses argileuses de l'Oligocène inférieur (Stampien)	6,58	0,18	moyen
23	Marnes du Tortonien marin	5,87	0,16	moyen
13	Marnes et argillites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur (Stampien inférieur)	5,25	0,15	moyen
11	Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur (Ludien)	0,39	0,01	moyen
Total des formations en aléa moyen		539,18	15,04 %	
30	Alluvions et cônes de déjection (Quaternaire)	1319,50	36,80	faible
29	Colluvions, cailloutis et argiles de décalcification (Quaternaire)	246,68	6,88	faible
22	Sables, marnes et grès du Miocène moyen	177,17	4,94	faible
25	Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène	62,22	1,74	faible
6	Calcaires, grès, marnes et sables du Turonien et du Cénomaniens	54,91	1,53	faible
24	Marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin	40,04	1,12	faible
1	Cargneules, dolomies et gypse Triasiques	12,22	0,34	faible
28	Conglomérats, argiles et sables de l'Astien (Plaisancien)	5,72	0,16	faible
26	Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène	4,49	0,13	faible
2	Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)	4,25	0,12	faible
Total des formations en aléa faible		1927,19	51,76 %	
Total des formations argileuses		2530,93	70,59 %	
Réseau hydrographique		30,11	0,84 %	
Formations à priori non argileuses		1024,30	28,6 %	
Total département		3585,34	100 %	

Illustration 49 : Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations a priori non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent 28,6 % de la superficie départementale (29,44 % en y intégrant aussi le réseau hydrographique). 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. Les formations argileuses ou marneuses sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur niveau croissant d'aléa retrait-gonflement (qualifié respectivement de faible, moyen et fort). L'illustration 49 présente le classement des formations par niveau d'aléa décroissant ainsi que les surfaces d'affleurement concernées, qui sont également schématisées sur Annexe 4.

Ainsi, les cinq formations en **aléa fort** représentent 1,8 % de la superficie du département :

- Les *Marnes Gargasiennes*, comprenant à la fois les *Marnes Gargasiennes* au s.s. (marnes bleu-noir pyriteuses) et les marnes Bédouliennes, n'affleurent que sur 1,13% du département. Elles sont localisées au sud-est, entre le plateau de Vaucluse au nord et la montagne du Luberon au sud : cette formation, bien qu'hétérogène puisqu'elle présente au sommet l'apparition d'une fraction sableuse qui annonce les formations du Clansayésien (partie terminale de l'Aptien), a des caractéristiques minéralogiques et géotechniques indiquant une forte susceptibilité au retrait-gonflement des argiles, et est caractérisée par une sinistralité très élevée dans le département ;
- Les *Argiles, marnes et calcaires de l'Éocène supérieur (Ludien)* et les *Sables et argiles verts de Mormoiron* représentent chacune en superficie moins de 0,5 % de la superficie totale du département (respectivement 0,37 et 0,22), et on les retrouve pour la première formation, au pied ouest du Mont Ventoux, et pour la deuxième, dispersée entre le Plateau de Vaucluse et la montagne du Luberon : ces formations regroupent principalement des faciès marneux et argileux, parfois sableux. Les argiles verts de Mormoiron sont particulièrement riches en smectites, mais les deux formations ont des caractéristiques géotechniques indiquant une forte susceptibilité au retrait-gonflement des argiles, ainsi qu'une sinistralité toujours très élevée.
- Les *Argiles vertes et marnes vertes du Bartonien* et les *Argiles du Maronnier (Stampien)* représentent chacune en superficie moins de 0,1 % de la superficie totale du département (respectivement 0,05 et 0,03 %), et on les observe de façon dispersée au centre-est du département, et notamment pour les premières dans la région de Mormoiron. Ces deux formations sont très riches en minéraux gonflants de type smectite. La seconde a des caractéristiques géotechniques indiquant une forte susceptibilité au retrait-gonflement des argiles, mais les deux formations possèdent une sinistralité parmi les plus élevées.

Les quinze formations classées en **aléa moyen** couvrent 15,04 % de Vaucluse. Elles affleurent largement dans le bassin d'Apt, ainsi que à l'est de Carpentras. On y trouve notamment pour les principales :

- trois des sept formations marno-sableuses du Miocène (les *Marnes du Tortonien marin*, les *Marnes bleues du Burdigalien* et les *Marnes sableuses, molasses calcaires et quartzo-calcaires du Burdigalien*). Ces formations affleurent sur 4,32 % de la superficie totale du département, et sont caractérisées par des notes lithologiques très variables allant de 2 à 4 (en raison de l'hétérogénéité du caractère sableux ou non de la formation), des caractéristiques géotechniques moyennes (note 2), mais en revanche elles disposent de caractéristiques minéralogiques élevées (note 3), démontrant ainsi leur susceptibilité au retrait-gonflement, et une densité de sinistres moyenne ou élevée.
- Sept formations Éocène supérieur - Oligocène (les *Argiles et sables de l'Oligocène supérieur*, les *Calcaires, marnes et sables de l'Oligocène inférieur (Stampien)*, les *Marnes sableuses argileuses de l'Oligocène inférieur (Stampien)*, les *Sables, Marnes et calcaires du Stampien*, les *Calcaires de l'Oligocène inférieur ; les marnes et argilites de l'Éocène supérieur et Oligocène inférieur* et les *Marnes, dolomies et sables de l'Éocène supérieur*). Ces sept formations n'affleurent que sur 4,67 % du département, et sont également classées en aléa moyen. Quoique là encore hétérogènes, ces formations sont à prédominance d'argile et sont moyennement susceptibles, mais présentent encore une densité de sinistres relativement élevée à moyenne (supérieure à 1000 sinistres pour 100 km² pour une moyenne départementale à 655).
- Les *Calcaires argileux et marneux du Crétacé inférieur*, qui affleurent sur 3,62 % de la superficie totale du département, peuvent présenter à la fois des faciès calcaires (non argileux), mais également des marnes et des argiles d'altération. Ils sont également classés en aléa moyen, ce qui résulte à la fois d'une susceptibilité et d'une densité de sinistres moyennes.

Les dix formations reconnues en **aléa faible** occupent un peu plus de 50 % de la superficie départementale. Elles affleurent dans les vallées alluviales, dans l'ouest et le nord-ouest du département au niveau du Rhône, ainsi que dans la partie sud du département dans la plaine de la Durance.

- Les deux niveaux d'alluvions et de colluvions, caractérisés par une susceptibilité et une densité de sinistres faibles, constituent à eux seuls quasiment la totalité de la superficie en aléa faible du département (43,68 % sur les 51,76 % au total).
- Sont également classés dans cette catégorie deux formations du Miocène-Pliocène (les *Sables, marnes et grès du Miocène moyen* et les *Calcaires, sables à galets, conglomérats du Miocène Terminal et infra-Pliocène*). Ces deux formations représentant 6,68% de la superficie totale du département, et sont faiblement susceptibles, faiblement à moyennement sinistrés.
- Enfin, trois formations sont remarquable dans cette catégorie, car elles ne présentent aucun sinistre recensé (les *Cargneules, dolomies et gypse Triasiques*, les *Sables, marnes, argiles et limons du Miocène Terminal Pliocène* et les *Marnes noires et calcaires argileux du Jurassique moyen et supérieur (Bathonien et Oxfordien supérieur)*). Ces trois formations affleurent de façon très marginale car elles ne représentent que 0,59% de la superficie totale du département, donc une zone très limitée.

7.3. SYNTHÈSE DE L'ALÉA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LE VAUCLUSE

Ainsi, le Vaucluse se caractérise par une relativement forte proportion du département reconnue sujette à l'aléa retrait-gonflement, puisque seulement 29,44 % de la superficie du département est a priori non argileux (y compris le réseau hydrographique). Par ailleurs, la superficie en aléa fort est relativement restreinte (1,80 % du département). Enfin, l'aléa faible (51,76 %) est prépondérant sur l'aléa moyen (15,04 %), ce qui constitue des proportions inversées par rapport à la susceptibilité : cela s'explique par le fait que certaines formations caractérisées par une susceptibilité moyenne présentent une densité de sinistres faible (note 1), ce qui se traduit par un aléa faible (c'est en effet le cas pour deux formations : *les marnes, sables, molasse sableuses du Tortonien lacustre et marin et les conglomérats, argiles et sables de l'Astien*).

Cette carte d'aléa est valide à l'échelle 1/50 000 et une de ses finalités est de servir de support à la prévention du risque à l'échelle départementale. Le niveau d'aléa correspond ainsi à la probabilité d'occurrence d'un sinistre, en un lieu donné, estimée de façon qualitative.

Si l'on souhaite raisonner à l'échelle d'un projet de construction, l'hétérogénéité des formations, telles qu'elle se manifeste à l'échelle départementale, amène à considérer le niveau d'aléa d'une formation comme une probabilité plus ou moins grande de rencontrer, au niveau de la parcelle considérée, des argiles sujettes au phénomène de retrait-gonflement. Cela souligne ainsi l'importance de réaliser une étude de sol avant tout projet de construction dans une zone soumise à aléa : la description de la formation et sa caractérisation vis à vis du phénomène de retrait-gonflement, telles qu'elles ont été conduites dans cette étude, peuvent alors servir de guide pour analyser les résultats obtenus sur la parcelle et les replacer dans le contexte plus général de la formation géologique identifiée.

L'annexe 4 présente, pour chaque commune du département, la répartition de la superficie entre les différents niveaux d'aléa et rappelle les données de base de la sinistralité dans la commune (nombre d'arrêtés catastrophe naturelle, durée totale de la reconnaissance catastrophe naturelle, nombre de sinistres recensés dans le cadre de la présente étude) ainsi que les superficies totales et urbanisées.

8. Conclusions

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 Vaucluse, essentiellement basée sur une interprétation de la carte géologique, associée à une synthèse d'un grand nombre d'informations concernant la susceptibilité au phénomène des formations argileuses ou marneuses et à 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 globale mise au point par le BRGM à la demande du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et de la profession des assureurs. Cette démarche méthodologique a été mise au point lors d'études similaires menées dans les Alpes de Haute-Provence et les Deux-Sèvres, puis a été appliquée à une quinzaine d'autres départements. D'autres études départementales sont actuellement en cours de réalisation, dont le département voisin des Bouches-du-Rhône, et à terme, ce seront au moins 33 départements qui devraient faire l'objet d'une telle cartographie d'ici fin 2005.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argileuses ou 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 30 formations argileuses ou marneuses.

Ces formations argileuses ou marneuses identifiées ont 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 caractéristiques principales quantifiables : la nature lithologique dominante des formations, la composition minéralogique de leur phase argileuse (proportion de minéraux gonflants de type smectites et interstratifiés smectites/illite) et leur comportement géotechnique (évalué principalement à partir de la valeur de bleu et de l'indice de plasticité).

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

En définitive, la carte départementale d'aléa a été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, après une seconde hiérarchisation des formations prenant en compte non seulement la susceptibilité des formations identifiées, mais aussi la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres, en calculant pour chaque

formation sélectionnée une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée dans cette formation, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre formations. Au total, 941 sinistres répartis dans 58 communes du département (dont les 27 reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse), ont ainsi été recensés et 916 ont pu être localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très largement représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

Trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible) ont été distingués afin de hiérarchiser les formations argileuses ou marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur les 3 585 km² de superficie du département,

- seulement 1,80 % sont classés en aléa fort ;
- 15,4 % sont classés en aléa moyen ;
- 51,76 % sont classés en aléa faible ;
- 29,44 % sont considérés comme présentant un aléa a priori nul (y compris le réseau hydrographique).

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 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 Vaucluse, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l'échelle 1/110 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le point de départ pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (PPR), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa fort, 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.

Bibliographie

Arlhac P., Catzigras F., Colomb E., Gervais J., Gouvernet C., Gueirard S., Lambert C., Mercier H., Nury D., Rousset C., Tempier C., Vincent H., Weydert P. et Rouire J. (1970) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Pertuis (995) Orléans : BRGM, 16 p.

Belleville J.-M., Pachaud A., Savornin J., Destombes J.-P., Roch Ed., de Peyronnet Ph., Demarcq G. et Goguel J. (1966) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Reillane (968) Orléans : BRGM, 11 p.

Berthelot M., Génin A. et Gourdon D. (?) - Variabilité inter annuelle des précipitations dans les alpes du sud pour la période (1951\ 2000) : analyses statistiques des séries.

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

Blanc J.-J., Weydert P., Masse J.-P., Roux M., de Peyronnet P. et Rouire J. (1973) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Sault (942) Orléans : BRGM, 15 p.

Blanc J.-J., Masse J.-P., Triat J.-M., Truc G., Anglada R., Colomb E., Clauzon G. et Rouire J. (1975) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Carpentras (941) Orléans : BRGM, 24 p.

Bouchut J., Giot D., Cruz Mery D. avec la collaboration de Demelemestre F., Halbwechs C. (2004) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Loir-et-Cher. *Rapport BRGM/RP-52950-FR.* 192 p., 28 ill., 6 ann., 3 cartes h.-t.

Caillère S., Hénin S. (1963) – Minéralogie des argiles. Masson, Paris, 343 p.

Carrière M., Chevalier M., Toulemont M. et 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.*

Catzigras F., Colomb E., Durand J.-P., Gervais J., Gouvernet C., Masse J.-P., Rousset C., Triat J.-M., Truc G. et Rouire J. (1977) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Châteaurenard (966) Orléans : BRGM, 25 p.

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.*

Chamley H., Colomb E. (1967) - Premières données sur la sédimentation argileuse du Miocène supérieur dans le bassin de Cucuron (Vaucluse); présence de niveaux lacustres à attapulгите. *Compte Rendu Sommaire des Séances de la Société Géologique de France*. N° 6; p. 230-232.

Chamley H., Durand J.-P. et Roux M.-R. (1971) Dépôt lacustre à Attapulгите et Sépiolites en basse Durance au Miocène supérieur. Université de Provence.

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

Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., Ménillet F. et Ducreux G.-H. (1996) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse-pluie) à l'échelle départementale. Approche méthodologique dans les Alpes de Haute-Provence. *Rapport BRGM R39218*, 33 p., 6 fig., 1 tab., 4 ann., 1 pl. hors-texte.

Chassagneux D., Meisina C., Vincent M., Ménillet F. et Baudu R. (1998) – Guide synthétique pour la prise en compte de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle nationale. *Rapport BRGM R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. hors-texte.

Clauzon G. et Robert C. (1984) - La sédimentation argileuse du Miocène supérieur continental dans le bassin de Cucuron Basse Durance (Provence, France); implications paléogéographiques. *Paléobiologie Continentale Montpellier*. 14; 2, p. 205-224.

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.

Damiani L. (1988) – Recherche de gisements d'argiles à tuiles en Provence entre Aix-en-Provence et Avignon. *Rapport BRGM*. 88 SGN 571 PAC

Damiani L., Masse J.-P., Philip J., Tronchetti G., Triat J.-M., Truc G., Vogt J. et Bazille F. (?) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Pont-St-Esprit (890) Orléans : BRGM, 36 p.

Desoignies J., Brasseur R., Henry J., Ballesio R., Demarcq G., Mennessier G., Sornay J. et Truc G. (1971) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Orange (914) Orléans : BRGM, 12 p.

Ferry S., Cotillon P. et Rio M. (1983) - Diagenese croissante des argiles dans des niveaux isochrones de l'alternance calcaire marne valanginienne du bassin vocontien. Zonation géographique. *Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences, Série 2: Mécanique Physique, Chimie, Sciences de l'Univers, Sciences de la Terre*. 297; 1, p. 51-56.

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

Flandrin J., Gottis M., Viallix J.-R., Golenko N., Riche Ph., Parant J., Rebily G., Bejanin J., Issenmann O., Teisserenc P., Mollier M., Cochet E., Rivier F. et Goguel J. (1964) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Sederon (916) Orléans : BRGM.

Flandrin J., Rondot E., Haremboure J., Moullade M., Chiarelli A., Szendroi A., Keraudren B., Savoyat E., Wiel F., Barreyre M., Morlet J., Sendrier R., Porthault B., Ballesio R. et Truc G. (1975) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Nyons (891) Orléans : BRGM.

Germain C., Liouville M., de Bouchony P., Roch E., Demarcq G. et Goguel J. (1966) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Cavaillon (967) Orléans : BRGM, 12 p.

Giroud D., Argoud G., Chamley H. et Masse J.-P. (1976) - Sur la signification des minéraux argileux dans les sédiments de l'Aptien supérieur de Provence. *Comptes Rendus Hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences, Série D: Sciences Naturelles*. N°282; 18, p. 1673-1675.

Goguel J. (1964) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Valréas (890) Orléans : BRGM, 8 p.

Gouvernet C., Gueirard S., Catzigras F., Colomb E., Gervais J., Blanc J.-P., Busser T., Grégoire J.-Y., Lambert C. et Rouire J. (1968) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Salon-de-Provence (994) Orléans : BRGM, 20 p.

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

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

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

Noel 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.

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

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

Meisina C., Chassagneux D., Leroi E. et 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*. Edit. La Documentation Française, Paris.

Monier P., Flandrin J., Truc G., Brasseur R., Masse J.-P., Moullade M., Porthault B., Triat J.-M., Ballesio R. et Philippe M. (1987) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Vaison-la-Romaine (915) Orléans : BRGM, 55 p.

Monjuvent G., Masse P.-J., Ballesio R., Masse J.-P. et Alabouvette B. (1991) - Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Avignon (940) Orléans : BRGM, 91 p.

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

Norie A. et Vincent M. (2000) - Etablissement de plan 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 pages, 4 figures, 4 annexes.

Pascal M., Elmi S., Busnardo R., Truc G., Valleron M.-M., Lafarge D., Chedhomme J. et Combier J., (1989) – Notice explicative et Carte géol. France (1/50 000), feuille Bourg-St-Andeol (889) Orléans : BRGM, 67 p.

Philipponnat G. (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Revue Française de Géotechnique*, n° 57, p. 5-22.

Prian J.-P., Donsimoni M. et Vincent M. avec la collaboration de Denis L., Gallas J.-C., Marty F., Motteau M. (2000) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. *Rapport BRGM* n° RP-50376-FR, 269 p., 32 fig., 11 tabl., 6 ann., 3 cartes hors-texte.

Redondo C.-P. ; (?) – Etude des sédiments détritiques du Crétacé supérieur marin de la Provence occidentale et recherche des zones d'apport. Sédimentologie, pétrographie, minéralogie. *Thèse*. Université de Provence Aix-Marseille I.

Roulin F. (1987) - Enchaînements géodynamiques, climatiques et géochimiques dans un bassin continental tertiaire; dépôts détritiques, silcretes, calcretes et argiles associés. Le bassin éocène d'Apt, Vaucluse (France) . *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Serie 2, Mécanique, Physique, Chimie, Sciences de l'Univers, Sciences de la Terre*. N° 305; 2, p. 121-125.

- Roulin F., Boudeulle M. et Truc G.** (1986) - Transformations argile opale dans les silcretes éocènes du bassin d'Apt (Vaucluse). *Bulletin de Minéralogie*. N° 109; 4, p 349-357.
- 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. Ponts et Chaussées*, 163, 9-16.
- Serratrice J.F., Soyez B.** (1996) – Les essais de gonflement. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 204, p. 65-85.
- Tessier D.** (1990) – Organisation des matériaux argileux en relation avec leur comportement hydrique. In "Matériaux argileux : structure, propriétés et applications", Edit. A. Decarreau.
- 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'Ecole des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.
- Tran Ngoc Lan** (1978) – Un nouvel essai d'identification des sols : l'essai au bleu de méthylène. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 88, pp. 136-137.
- Triat J.-M.** ; (1969) - Contribution sédimentologique à l'étude du bassin de Mormoiron
Thèse université de Marseille
- Triat J.M., Truc G. et Hugueney M.** (1971) Lithostratigraphie des couches d'âge oligocène inférieur et moyen constituant le toit du gypse dans la carrière de Malemort (Vaucluse); données sédimentologiques et paléontologiques . *Annales Faculté des Sciences Marseille*, N° 46; p. 235-246.
- Triat J.-M. et Trauth N.** (1972) Evolution des minéraux argileux dans les sédiments paléogènes du bassin de Mormoiron (Vaucluse). *Bulletin de la Société Française de Minéralogie et de Cristallographie*. n °95; 4, p. 482-494
- Triat J.-M.** (?) - Paléoaltérations dans le Crétacé supérieur de Provence rhodanienne.
Thèse
- Triat J.-M. et Guendon J.-L.** (1975) - Les ocres d'Apt dans la région de Rustrel (Vaucluse); paléoaltérations continentales de sédiments marins crétacés. *Travaux des Laboratoires des Sciences de la Terre*. Serie A. 7.
- Triat J.-M. et Parron C.** (1976) - L'ocrification des sables glauconieux albo cenomaniens du Gard et de Vaucluse. *Bulletin de la Société Géologique de France*. N° 18; 1, p. 21-25.
- Triat J.-M.** (1982) - Pierres utiles de Provence. *Cahiers de documentation (Chambre de commerce et d'industrie de Marseille ; N°1 Janvier 1982.*

Triat J.-M. et Truc G. (1989) - Les argilisations à argilites monominérales du SE de la France *9th international clay conference*.

Vincent M., Le Nindre Y.-M., Meisina C. et Chassignol A.-L. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM n° R 39967*, 89 p., 14 fig., 13 tab., 6 ann., 2 cartes hors-texte.

Vincent M. (2002) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux – Géologues (Revue officielle de l'Union Française des Géologues), n° 132, mars 2002, pp. 90 à 92.

Vincent M. avec la collaboration de Imbault M. et Asfirane F. (2003) - Etablissement de Plans de Prévention des Risques naturels concernant les mouvements de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. *Rapport BRGM/RP-52199-FR*, 15 p., 2 fig., 3 ann., 1 CD-Rom.

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

Sites internet :

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

<http://www.prim.net> : site internet sur les risques naturels majeurs du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable.

Annexe 1 : Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

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 : Liste des 27 communes de Vaucluse
reconnues en état de catastrophe naturelle au
titre des mouvements de terrain différentiels
consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation
des sols et dates des périodes de
reconnaissance - Etat à fin mai 2004**

Données transmises par la Préfecture de Vaucluse et complétées par le site internet www.prim.net (à fin mai 2004)

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

INSEE	Commune	Début période	Fin de période	Date de l'arrêté	Date de parution JO
84003	Apt	01/01/96	30/09/98	19/03/99	03/04/99
		01/10/98	30/09/99	12/03/02	28/03/02
84018	Blauvac	01/05/89	31/10/90	10/06/91	19/07/91
		01/11/90	30/09/93	08/03/94	24/03/94
		01/09/98	31/08/99	27/12/00	29/12/00
84019	Bollène	01/05/89	30/09/91	18/05/93	12/06/93
84024	Cabrières-d'Aigues	01/01/98	30/06/98	01/08/02	22/08/02
84032	Caseneuve	01/01/90	30/09/93	08/09/94	25/09/94
		01/03/97	31/12/98	27/12/00	29/12/00
84042	Cucuron	01/01/98	30/06/98	01/08/02	22/08/02
84045	Faucon	01/05/89	31/10/90	10/06/91	19/07/91
84046	Flassan	01/01/98	30/09/99	27/12/00	29/12/00
84047	Gargas	01/05/89	30/09/91	18/05/93	12/06/93
		01/10/91	31/12/93	03/04/96	17/04/96
		01/01/94	31/10/97	26/05/98	11/06/98
84050	Gordes	01/01/90	30/09/90	27/12/00	29/12/00
		01/01/98	31/12/98	27/12/00	29/12/00
84052	Grambois	01/01/90	30/09/90	12/03/02	28/03/02
		01/03/98	30/09/99	12/03/02	28/03/02
84057	Joucas	01/01/95	30/09/98	22/06/99	14/07/99
84009	La Bastide-des-Jourdans	01/01/96	30/09/98	19/03/99	03/04/99
84066	Lioux	01/01/98	30/06/98	27/12/00	29/12/00
84074	Mérindol	01/01/92	30/06/93	30/04/02	05/05/02
		01/01/98	30/06/98	30/04/02	05/05/02
		01/01/91	30/06/91	30/04/02	05/05/02
84075	Méthamis	01/01/98	30/09/99	06/07/01	18/07/01
84080	Monteux	01/04/95	31/10/95	08/01/96	28/01/96
84082	Mormoiron	01/05/89	30/09/91	18/05/93	12/06/93
		01/01/98	30/09/99	27/12/00	29/12/00
84085	Murs	01/01/98	31/12/98	27/12/00	29/12/00
		01/01/90	30/09/90	27/12/00	29/12/00
84102	Roussillon	01/01/96	30/09/98	19/03/99	03/04/99
84103	Rustrel	01/05/89	30/09/91	18/05/93	12/06/93
84105	Saignon	01/03/97	30/09/99	27/12/00	29/12/00
		01/01/90	30/09/90	27/12/00	29/12/00
84112	Saint-Martin-de-Castillon	01/05/89	30/09/91	18/05/93	12/06/93
		01/10/91	31/12/97	18/09/98	03/10/98
84118	Saint-Saturnin-lès-Apt	01/05/89	31/12/97	12/06/98	01/07/98
		01/01/98	30/09/99	27/12/00	29/12/00
84136	Vacqueyras	01/01/90	30/09/90	06/07/01	18/07/01
		01/01/98	30/09/99	06/07/01	18/07/01
84144	Viens	01/01/96	30/09/98	19/03/99	03/04/99
84145	Villars	01/06/89	31/10/97	12/03/98	28/03/98

Annexe 3 : Liste des sinistres “sécheresse” recensés dans le cadre de cette étude

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2166	Ansouis	849552	1864912
2162	Ansouis	852267	1864643
2161	Ansouis	852278	1864543
2163	Ansouis	852699	1865785
2164	Ansouis	853171	1865568
2160	Ansouis	854911	1863304
2167	Ansouis	854942	1863321
2159	Ansouis	855729	1865723
2165	Ansouis	855863	1865157
152	Apt	843136	1880870
159	Apt	843222	1880260
1683	Apt	843390	1880338
252	Apt	843797	1879658
148	Apt	844112	1880540
242	Apt	844200	1878859
248	Apt	844371	1878639
251	Apt	844371	1878639
151	Apt	844434	1881007
1481	Apt	844493	1878764
253	Apt	844506	1880744
158	Apt	844581	1880664
153	Apt	845496	1880079
160	Apt	845758	1880333
150	Apt	845834	1879500
249	Apt	846048	1879262
254	Apt	846052	1879637
245	Apt	846126	1879615
155	Apt	846156	1879702
157	Apt	846156	1879702
161	Apt	846156	1879702
1618	Apt	846156	1879702
1920	Apt	846332	1880257
243	Apt	846574	1880072
250	Apt	846605	1880156
149	Apt	846666	1881234
246	Apt	846737	1880451
154	Apt	846809	1880372
244	Apt	847086	1879785
247	Apt	847407	1880553
1906	Apt	848172	1880193
156	Apt	848634	1882305
1652	Apt		
1685	Apt		
1919	Apt		
2301	Auribeau	850266	1874649
2300	Auribeau	850846	1874816
2156	Beaumont-du-Ventoux	829039	1913186
2154	Beaumont-du-Ventoux	829044	1913194
2158	Beaumont-du-Ventoux	829050	1913164
2157	Beaumont-du-Ventoux	829055	1913180
2155	Beaumont-du-Ventoux	829064	1913166
7	Blauvac	829614	1896277

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1935	Blauvac	831094	1897457
31	Blauvac	831190	1896870
1446	Blauvac	831190	1896870
1658	Blauvac		
1914	Bollène		
8	Bollène	790970	1920581
9	Bollène	791831	1921834
10	Bollène	791831	1921834
12	Bollène	791831	1921834
13	Bollène	791831	1921834
16	Bollène	791831	1921834
17	Bollène	791906	1922374
18	Bollène	791919	1922168
19	Bollène	791919	1922168
25	Bollène	792240	1927756
26	Bollène	792259	1927814
27	Bollène	792259	1927814
28	Bollène	792259	1927814
29	Bollène	792259	1927814
20	Bollène	792396	1922884
23	Bollène	792657	1924132
24	Bollène	792657	1924132
22	Bollène	792682	1924045
21	Bollène	792692	1923923
14	Bollène	792694	1922843
15	Bollène	792694	1922843
2092	Buisson	812501	1923541
2090	Buisson	812524	1923514
2089	Buisson	812538	1923536
2091	Buisson	812583	1923534
2093	Buisson	814119	1923029
1671	Cabrières-d'Aigues	826913	1879029
2019	Cabrières-d'Aigues	854280	1869892
2018	Cabrières-d'Aigues	854593	1869793
2017	Cabrières-d'Aigues	854608	1869842
2016	Cabrières-d'Aigues	854647	1867369
2020	Cabrières-d'Aigues	854692	1869614
2132	Caseneuve	850544	1881236
3	Caseneuve	850738	1879945
2135	Caseneuve	850931	1879894
2131	Caseneuve	850957	1881376
2136	Caseneuve	851100	1879732
2130	Caseneuve	851194	1881967
2134	Caseneuve	851236	1880151
2127	Caseneuve	851327	1881883
2128	Caseneuve	851389	1882260
2129	Caseneuve	851513	1882260
1917	Caseneuve	851555	1881634

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2126	Caseneuve	852185	1881863
2138	Caseneuve	852345	1879144
4	Caseneuve	852350	1880694
2133	Caseneuve	852374	1880895
2141	Caseneuve	852698	1881373
2125	Caseneuve	852806	1879979
2120	Caseneuve	852997	1880862
5	Caseneuve	853045	1881194
2121	Caseneuve	853046	1880830
2122	Caseneuve	853075	1880739
2119	Caseneuve	853144	1881191
2118	Caseneuve	853166	1881246
2124	Caseneuve	853225	1880781
2123	Caseneuve	853235	1880840
2139	Caseneuve	853315	1880725
2140	Caseneuve	853336	1881084
2	Caseneuve	853396	1882686
2137	Caseneuve	853417	1880769
1	Caseneuve	853790	1881204
6	Caseneuve	854934	1881716
2171	Cavaillon	817913	1873126
2013	Cucuron	849963	1869064
2012	Cucuron	849993	1869054
2011	Cucuron	850181	1868995
2014	Cucuron	850459	1868846
2015	Cucuron	852627	1866634
2200	Entraigues-sur-Sorgues	807064	1891941
2201	Entraigues-sur-Sorgues	807239	1892158
2202	Entraigues-sur-Sorgues	807499	1892047
2203	Entraigues-sur-Sorgues	807550	1891365
2206	Entraigues-sur-Sorgues	808079	1892474
2205	Entraigues-sur-Sorgues	808135	1892393
2204	Entraigues-sur-Sorgues	808148	1891715
2207	Entraigues-sur-Sorgues	808984	1891309
2208	Entraigues-sur-Sorgues	809248	1892559
2209	Entraigues-sur-Sorgues	810763	1890674
32	Faucon	824291	1921464
35	Faucon	824291	1921464
37	Faucon	824291	1921464
40	Faucon	824291	1921464
41	Faucon	824291	1921464
42	Faucon	824291	1921464
44	Faucon	824291	1921464
45	Faucon	824291	1921464
46	Faucon	824291	1921464
2199	Faucon	824363	1921500
2193	Faucon	824382	1921534
2194	Faucon	824405	1921465

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2192	Faucon	824443	1921111
2198	Faucon	824443	1921073
2188	Faucon	824443	1921563
2191	Faucon	824450	1921381
2189	Faucon	824458	1920806
2196	Faucon	824482	1921381
2197	Faucon	824490	1921704
2195	Faucon	824514	1921397
2185	Faucon	824678	1920790
2187	Faucon	824784	1920721
36	Faucon	824885	1919450
43	Faucon	824885	1919450
2186	Faucon	825036	1919760
2190	Faucon	825242	1920221
33	Faucon	825314	1920282
34	Faucon	825314	1920282
38	Faucon	825314	1920282
39	Faucon	825314	1920282
1688	Faucon	825393	1920270
1965	Flassan	832065	1903779
1966	Flassan	832561	1903910
1967	Flassan	832574	1904005
1968	Flassan	832714	1904222
1969	Flassan	832749	1904034
1971	Flassan	832844	1904110
1981	Flassan	832844	1904031
1976	Flassan	832889	1904005
1979	Flassan	832889	1903945
1975	Flassan	832898	1904028
1974	Flassan	832917	1904044
1977	Flassan	832924	1903983
1980	Flassan	832930	1903818
1978	Flassan	832933	1903958
1973	Flassan	832943	1904066
1970	Flassan	832946	1904180
1663	Flassan		
1740	Gargas	840168	1881709
89	Gargas	840333	1881593
109	Gargas	840333	1881593
1720	Gargas	840477	1881541
1649	Gargas	840643	1879990
81	Gargas	840698	1880030
1676	Gargas	841230	1884004
96	Gargas	841295	1883915
1983	Gargas	841326	1882900
72	Gargas	841435	1879983
88	Gargas	841440	1881593
1712	Gargas	841445	1880153

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1718	Gargas	841572	1881333
1742	Gargas	841590	1881020
111	Gargas	841621	1881010
1729	Gargas	841635	1881266
1702	Gargas	841642	1881228
92	Gargas	841694	1880652
1679	Gargas	841740	1881392
1723	Gargas	841743	1880756
82	Gargas	841774	1880410
86	Gargas	841774	1880410
91	Gargas	841774	1880410
95	Gargas	841774	1880410
112	Gargas	841774	1880410
1703	Gargas	841840	1880279
1717	Gargas	841854	1880726
1713	Gargas	841866	1880748
1743	Gargas	841877	1880774
1726	Gargas	841880	1880711
1737	Gargas	841895	1881344
1722	Gargas	841944	1880730
1719	Gargas	841947	1881586
1701	Gargas	842294	1881712
70	Gargas	842336	1881747
1934	Gargas	842366	1881749
73	Gargas	842459	1882330
1711	Gargas	842528	1881683
101	Gargas	842534	1882464
103	Gargas	842534	1882464
116	Gargas	842534	1882464
274	Gargas	842534	1882464
1704	Gargas	842610	1881988
74	Gargas	842630	1883515
1747	Gargas	842659	1882446
1736	Gargas	842714	1882260
1706	Gargas	842737	1882174
1745	Gargas	842737	1882219
1732	Gargas	842770	1882505
1708	Gargas	842793	1882561
1707	Gargas	842800	1882598
1684	Gargas	842833	1881787
1710	Gargas	842834	1881787
1705	Gargas	842845	1883135
1714	Gargas	842867	1882111
1734	Gargas	842867	1882587
1731	Gargas	842878	1881981
1735	Gargas	842882	1882840
71	Gargas	842953	1882429
79	Gargas	842953	1882429

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
80	Gargas	842953	1882429
87	Gargas	842953	1882429
98	Gargas	842953	1882429
100	Gargas	842953	1882429
104	Gargas	842953	1882429
106	Gargas	842953	1882429
113	Gargas	842953	1882429
75	Gargas	842982	1882512
76	Gargas	842982	1882512
77	Gargas	842982	1882512
105	Gargas	842982	1882512
114	Gargas	842982	1882512
1921	Gargas	843058	1881880
83	Gargas	843088	1882205
1744	Gargas	843091	1881809
1728	Gargas	843180	1882747
115	Gargas	843232	1881320
1746	Gargas	843366	1881169
1725	Gargas	843586	1881351
1730	Gargas	843604	1881500
1738	Gargas	843612	1881307
1700	Gargas	843634	1881277
1646	Gargas	843658	1881545
67	Gargas	843665	1881226
68	Gargas	843665	1881226
69	Gargas	843665	1881226
94	Gargas	843665	1881226
99	Gargas	843665	1881226
107	Gargas	843665	1881226
108	Gargas	843665	1881226
110	Gargas	843665	1881226
84	Gargas	843706	1881621
85	Gargas	843706	1881621
90	Gargas	843706	1881621
1648	Gargas	843714	1881663
1681	Gargas	843714	1880921
1709	Gargas	843723	1881739
1715	Gargas	843731	1881865
1721	Gargas	843757	1881493
1699	Gargas	843764	1881094
1716	Gargas	843779	1881824
1733	Gargas	843798	1881672
1741	Gargas	843831	1881091
1961	Gargas	843873	1881375
1724	Gargas	843883	1882774
78	Gargas	843885	1881021
102	Gargas	843885	1881021
1739	Gargas	843947	1881262

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
93	Gargas	844015	1882526
1645	Gargas	844055	1882528
97	Gargas	844311	1886054
1647	Gargas		
1675	Gordes	830242	1882864
214	Gordes	830259	1883039
215	Gordes	830259	1883039
1891	Gordes	830751	1883445
220	Gordes	830764	1883447
221	Gordes	830764	1883447
222	Gordes	830764	1883447
223	Gordes	830838	1882013
1672	Gordes	830950	1882825
211	Gordes	831162	1882023
226	Gordes	831771	1881576
225	Gordes	831879	1882858
213	Gordes	832021	1883118
219	Gordes	832021	1883118
216	Gordes	832321	1882455
217	Gordes	832321	1882455
218	Gordes	832321	1882455
1986	Gordes	832358	1882938
224	Gordes	832822	1881517
212	Gordes	833161	1883437
1650	Gordes		
1904	Gordes		
1674	Goult	834284	1875274
1918	Grambois	851555	1881634
1875	Grambois	859686	1868484
236	Grambois	859736	1868660
235	Grambois	860513	1866442
239	Grambois	861002	1867485
237	Grambois	861402	1867840
232	Grambois	861438	1867740
233	Grambois	861750	1868020
241	Grambois	861891	1867578
228	Grambois	861904	1867535
230	Grambois	862094	1867648
229	Grambois	862185	1867677
238	Grambois	862210	1867817
231	Grambois	862495	1867689
234	Grambois	862541	1866588
227	Grambois	862650	1869362
240	Grambois	863733	1867473
1875	Grambois		
2170	Jonquerettes	808354	1885994
2169	Jonquerettes	808392	1886080
2168	Jonquerettes	809420	1886314

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2010	Jonquieres	804722	1905164
2180	Jonquieres	804883	1904969
2142	Jonquieres	804889	1904748
2172	Jonquieres	804893	1905122
2178	Jonquieres	804949	1904779
2181	Jonquieres	805092	1904815
2183	Jonquieres	805174	1905101
2179	Jonquieres	805271	1904636
2174	Jonquieres	805276	1904856
2086	Jonquieres	805364	1904905
2085	Jonquieres	805399	1904495
2175	Jonquieres	805414	1904452
2177	Jonquieres	805419	1904805
2176	Jonquieres	805844	1904887
2182	Jonquieres	805941	1905423
2184	Jonquieres	806278	1905909
2143	Jonquieres	806804	1904952
2173	Jonquieres	807045	1905142
1667	Joucas	833427	1885680
1890	Joucas	833430	1885731
1889	Joucas	833477	1883972
1852	Joucas	833485	1883977
1857	Joucas	833507	1883977
1861	Joucas	834285	1884837
1860	Joucas	834349	1884828
1853	Joucas		
1854	Joucas		
1855	Joucas		
1856	Joucas		
1858	Joucas		
1859	Joucas		
1862	Joucas		
1987	La Bastidonne	860222	1860491
2113	La Bastidonne	860670	1860809
2114	La Bastidonne	860683	1860853
2112	La Bastidonne	860710	1860792
2115	La Bastidonne	860714	1860827
2116	La Bastidonne	861465	1860399
1634	La-Bastide-des-Jourdans	863932	1869747
1651	La-Bastide-des-Jourdans	864833	1871116
1627	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1628	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1629	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1630	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1631	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1632	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1633	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835
1611	La-Bastide-des-Jourdans	864997	1870835

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1962	La-Bastide-des-Jourdans	865576	1870311
162	La-Bastide-des-Jourdans	865707	1870383
1635	La-Bastide-des-Jourdans	866362	1870450
1637	La-Bastide-des-Jourdans	867595	1870769
1636	La-Bastide-des-Jourdans	867616	1870441
2117	Lapalud	788332	1926252
1994	La-Roque-sur-Pernes	821020	1890752
2299	Le Thor	811957	1885235
2087	Le Thor	813452	1881011
188	Lioux	836655	1886720
189	Lioux	836655	1886720
190	Lioux	836655	1886720
191	Lioux	836655	1886720
192	Lioux	836655	1886720
186	Lioux	836754	1886139
181	Lioux	837280	1887122
194	Lioux	837404	1886674
180	Lioux	837484	1886741
182	Lioux	837930	1887720
193	Lioux	838243	1888071
183	Lioux	838398	1887545
185	Lioux	838647	1888509
184	Lioux	838761	1888979
187	Lioux	838842	1888656
1686	Lioux		
1673	L'Isles-sur-la-Sorgues	819366	1887020
2033	Mazan	820897	1899522
2032	Mazan	822315	1898927
2031	Mazan	822443	1898974
2030	Mazan	823098	1899011
2029	Mazan	823821	1898755
2028	Mazan	824289	1900476
1665	Menerbes	829839	1875477
2243	Merindol	829176	1866196
2235	Merindol	829301	1866094
1664	Merindol	829470	1866090
2234	Merindol	829485	1866199
2237	Merindol	829563	1866067
2250	Merindol	829722	1865806
2233	Merindol	829758	1865923
2240	Merindol	830144	1866211
2241	Merindol	830206	1866157
2249	Merindol	830222	1866012
2245	Merindol	830362	1866078
2247	Merindol	830366	1866008
2232	Merindol	830541	1865874
2236	Merindol	830569	1865720
2244	Merindol	830580	1865572

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2238	Merindol	830592	1865794
2239	Merindol	830615	1865626
2246	Merindol	830756	1865614
2248	Merindol	831949	1865837
2242	Merindol	832109	1865899
1865	Methamis	831245	1893967
1866	Methamis	831247	1894097
1870	Methamis	831316	1894330
262	Methamis	831319	1894334
1863	Methamis	831374	1894344
1867	Methamis	831588	1894332
1868	Methamis	831668	1894444
1874	Methamis	831724	1894359
265	Methamis	831727	1894359
1873	Methamis	831732	1894423
1864	Methamis	831804	1894545
1869	Methamis	831804	1894004
1872	Methamis	831905	1894359
264	Methamis	831915	1894370
261	Methamis	831937	1893813
1871	Methamis	832242	1895040
2037	Methamis	832852	1894180
1952	Monteux	813518	1897321
1878	Monteux	815292	1896795
1879	Monteux	815363	1896947
1880	Monteux	815476	1896902
1881	Monteux	815616	1897013
1578	Mormoiron	826317	1902420
1556	Mormoiron	827588	1899484
1985	Mormoiron	827608	1901056
1960	Mormoiron	827700	1900561
1594	Mormoiron	827782	1899995
1584	Mormoiron	827825	1900586
1595	Mormoiron	827835	1899894
1596	Mormoiron	827851	1899923
1902	Mormoiron	827867	1900635
1599	Mormoiron	827872	1903184
1581	Mormoiron	827897	1900801
1552	Mormoiron	827980	1900931
1585	Mormoiron	827997	1900528
1555	Mormoiron	828004	1900477
1593	Mormoiron	828014	1900190
1590	Mormoiron	828039	1900433
1591	Mormoiron	828045	1900347
1586	Mormoiron	828047	1900657
1566	Mormoiron	828066	1900801
1572	Mormoiron	828066	1900801
1657	Mormoiron	828078	1902501

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1557	Mormoiron	828090	1900925
1958	Mormoiron	828090	1901059
1589	Mormoiron	828103	1900541
1600	Mormoiron	828113	1902986
1579	Mormoiron	828117	1900477
1656	Mormoiron	828117	1900477
1592	Mormoiron	828119	1900262
1568	Mormoiron	828150	1900643
1660	Mormoiron	828153	1900198
1597	Mormoiron	828169	1899484
1654	Mormoiron	828178	1900845
1582	Mormoiron	828190	1900763
1562	Mormoiron	828192	1900190
1560	Mormoiron	828201	1900914
1598	Mormoiron	828219	1899476
1571	Mormoiron	828226	1899961
1936	Mormoiron	828228	1900800
1583	Mormoiron	828230	1900827
1573	Mormoiron	828231	1899927
2302	Mormoiron	828232	1900940
1577	Mormoiron	828249	1900545
1565	Mormoiron	828282	1900221
1558	Mormoiron	828300	1900097
1587	Mormoiron	828315	1900612
1559	Mormoiron	828364	1899799
1588	Mormoiron	828368	1900599
1569	Mormoiron	828386	1900631
1580	Mormoiron	828409	1900399
1662	Mormoiron	828525	1900543
1553	Mormoiron	828533	1900674
1605	Mormoiron	828580	1899892
1604	Mormoiron	828581	1900646
1606	Mormoiron	828588	1899763
1601	Mormoiron	828609	1900936
1563	Mormoiron	828610	1900411
1603	Mormoiron	828623	1900641
1554	Mormoiron	828639	1903024
1602	Mormoiron	828663	1900843
1607	Mormoiron	828675	1899266
1933	Mormoiron	828684	1901017
1642	Mormoiron	828735	1901031
1576	Mormoiron	828836	1899005
1608	Mormoiron	829487	1898334
1567	Mormoiron	829566	1900715
1659	Mormoiron	829816	1897441
1982	Mormoiron	830660	1901912
1655	Mormoiron		
1661	Mormoiron		

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2270	Murs	831798	1887767
196	Murs	832355	1886683
197	Murs	832699	1886182
203	Murs	832699	1886182
209	Murs	832699	1886182
2267	Murs	832788	1888033
2264	Murs	832795	1886859
2269	Murs	832905	1889651
2271	Murs	833129	1888257
205	Murs	833249	1890115
2268	Murs	833256	1886729
2272	Murs	833336	1887767
2266	Murs	833395	1887182
207	Murs	833421	1887645
208	Murs	833421	1887645
195	Murs	833636	1887615
198	Murs	833637	1887615
201	Murs	833637	1887615
202	Murs	833637	1887615
204	Murs	833637	1887615
206	Murs	833637	1887615
210	Murs	833637	1887615
200	Murs	833907	1888936
2265	Murs	833971	1887045
199	Murs	834472	1888313
1668	Orange	797332	1906733
2255	Pernes-les-Fontaines	812487	1890626
2252	Pernes-les-Fontaines	817662	1891573
1996	Pernes-les-Fontaines	817809	1891892
1991	Pernes-les-Fontaines	818074	1891488
1998	Pernes-les-Fontaines	818357	1893129
2002	Pernes-les-Fontaines	818419	1891588
1993	Pernes-les-Fontaines	818445	1891688
2258	Pernes-les-Fontaines	818486	1892058
2003	Pernes-les-Fontaines	818498	1890984
1988	Pernes-les-Fontaines	818578	1891765
1990	Pernes-les-Fontaines	818581	1891574
1992	Pernes-les-Fontaines	818581	1893138
2257	Pernes-les-Fontaines	818661	1892142
1999	Pernes-les-Fontaines	818711	1891638
1995	Pernes-les-Fontaines	818781	1891741
2000	Pernes-les-Fontaines	818911	1890846
2001	Pernes-les-Fontaines	819270	1891196
2256	Pernes-les-Fontaines	819318	1891949
1989	Pernes-les-Fontaines	819320	1891562
1997	Pernes-les-Fontaines	819320	1891777
2261	Pernes-les-Fontaines	819897	1893056
2254	Pernes-les-Fontaines	819950	1889021

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2260	Pernes-les-Fontaines	820662	1891951
2253	Pernes-les-Fontaines	820691	1893720
2259	Pernes-les-Fontaines	821581	1892671
2251	Pernes-les-Fontaines	821981	1895150
2078	Pertuis	852442	1860519
2083	Pertuis	856296	1859293
2084	Pertuis	856340	1859114
2076	Pertuis	856653	1859074
2077	Pertuis	857055	1859195
2079	Pertuis	857109	1859215
2071	Pertuis	857512	1859872
2074	Pertuis	857572	1859877
2073	Pertuis	857586	1859895
2081	Pertuis	857594	1859818
2072	Pertuis	857618	1859848
2075	Pertuis	857631	1859875
2070	Pertuis	857637	1859957
2082	Pertuis	857669	1859932
2080	Pertuis		
2024	Puymeras	818791	1923457
2025	Puymeras	821764	1923656
2026	Puymeras	823515	1924212
2027	Puymeras	823631	1924207
2022	Puymeras	823793	1924962
2023	Puymeras	823959	1922999
2263	Robion	823678	1875929
170	Roussillon	835365	1881807
2038	Roussillon	835610	1883587
2039	Roussillon	835701	1883352
169	Roussillon	835852	1883617
2040	Roussillon	835869	1883597
167	Roussillon	836143	1882168
173	Roussillon	836369	1882177
2052	Roussillon	836533	1882381
2062	Roussillon	836783	1881150
2063	Roussillon	836840	1880938
2061	Roussillon	836874	1881256
2051	Roussillon	837009	1882020
2048	Roussillon	837033	1882357
2064	Roussillon	837066	1880886
1984	Roussillon	837068	1882713
1927	Roussillon	837081	1879543
165	Roussillon	837140	1882176
2050	Roussillon	837167	1882183
1653	Roussillon	837200	1882361
2047	Roussillon	837283	1882558
2049	Roussillon	837374	1882414
2045	Roussillon	837393	1883044

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2044	Roussillon	837427	1883472
2046	Roussillon	837509	1882929
171	Roussillon	837561	1879054
2058	Roussillon	837643	1881486
164	Roussillon	837678	1881584
1964	Roussillon	837683	1882357
172	Roussillon	837718	1882739
2059	Roussillon	837783	1881539
2056	Roussillon	837855	1881861
2065	Roussillon	837884	1880472
166	Roussillon	837888	1881750
2054	Roussillon	837893	1882092
2055	Roussillon	838033	1882140
2053	Roussillon	838138	1882376
2060	Roussillon	838191	1881645
2057	Roussillon	838235	1881909
2067	Roussillon	838523	1881539
2066	Roussillon	838533	1881208
1666	Roussillon	838636	1882285
178	Roussillon	838647	1880472
2068	Roussillon	838807	1881722
163	Roussillon	839417	1882271
2042	Roussillon	839725	1883587
175	Roussillon	839736	1883590
2041	Roussillon	839744	1883679
177	Roussillon	839746	1883643
176	Roussillon	839804	1883561
2069	Roussillon	839835	1881909
2043	Roussillon	839845	1883448
174	Roussillon	839849	1883619
168	Roussillon	839854	1884061
1963	Roussillon	840559	1881829
1698	Roussillon		
1908	Roussillon		
1491	Rustrel	852414	1884996
2150	Rustrel	852753	1885238
1490	Rustrel	852766	1885088
2147	Rustrel	852823	1885192
2151	Rustrel	852852	1885301
2148	Rustrel	852859	1885242
1488	Rustrel	852994	1885140
1482	Rustrel	853030	1885186
1483	Rustrel	853042	1885209
2088	Rustrel	853049	1885223
1484	Rustrel	853074	1885174
1485	Rustrel	853074	1885199
1486	Rustrel	853074	1885224
2149	Rustrel	853081	1885189

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1487	Rustrel	853084	1885249
2144	Rustrel	853251	1885341
1493	Rustrel	853288	1885475
1492	Rustrel	853507	1885435
2146	Rustrel	853569	1885162
2145	Rustrel	853672	1885122
1494	Rustrel	853793	1884981
1495	Rustrel	853865	1884923
1506	Saignon	847504	1878737
1500	Saignon	847569	1878765
1520	Saignon	847582	1878652
1514	Saignon	847588	1878693
1508	Saignon	847650	1879132
1507	Saignon	848210	1878192
1518	Saignon	848227	1875724
1522	Saignon	848246	1878730
1517	Saignon	848636	1878593
1516	Saignon	848643	1880067
1923	Saignon	848771	1878428
1511	Saignon	848979	1878264
1513	Saignon	849135	1880343
1509	Saignon	849521	1879462
1510	Saignon	849633	1879556
1512	Saignon	849776	1878778
1504	Saignon	849823	1880465
1505	Saignon	849857	1880490
1501	Saignon	849979	1881147
1670	Saignon	849996	1880810
1515	Saignon	850069	1880888
1519	Saignon	850123	1881549
1499	Saignon	850131	1880745
1503	Saignon	850134	1881044
1498	Saignon	850137	1880869
1502	Saignon	850137	1880978
1496	Saignon	850156	1880720
1497	Saignon	850159	1880891
1523	Saignon	850204	1880813
1521	Saignon	850217	1880900
1678	Saignon	850992	1878697
30	Saint-Martin-de-Castillon	855469	1878277
1877	Saint-Martin-de-Castillon	855783	1877664
1876	Saint-Martin-de-Castillon	857418	1877750
2296	Saint-Martin-de-la-Brasque	858337	1867938
1883	Saint-Martin-de-la-Brasque	858415	1867732
2298	Saint-Martin-de-la-Brasque	858966	1868679
2297	Saint-Martin-de-la-Brasque	858999	1868728
2153	Saint-Romain-en-Viennois	820129	1920512
2152	Saint-Romain-en-Viennois	821178	1921103

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2220	Saint-Saturnin-les-Apt	839556	1885605
1818	Saint-Saturnin-les-Apt	839597	1885579
1780	Saint-Saturnin-les-Apt	839599	1885572
2219	Saint-Saturnin-les-Apt	839685	1885243
1831	Saint-Saturnin-les-Apt	839698	1885218
1793	Saint-Saturnin-les-Apt	839711	1885217
1846	Saint-Saturnin-les-Apt	839722	1886076
1813	Saint-Saturnin-les-Apt	839733	1885882
1775	Saint-Saturnin-les-Apt	839735	1885881
1787	Saint-Saturnin-les-Apt	839735	1885881
1821	Saint-Saturnin-les-Apt	839745	1886002
1783	Saint-Saturnin-les-Apt	839756	1885995
1808	Saint-Saturnin-les-Apt	839760	1886057
1770	Saint-Saturnin-les-Apt	839766	1886048
1785	Saint-Saturnin-les-Apt	839804	1885541
1847	Saint-Saturnin-les-Apt	839815	1885874
1830	Saint-Saturnin-les-Apt	839854	1886049
1833	Saint-Saturnin-les-Apt	839858	1885734
1792	Saint-Saturnin-les-Apt	839870	1886048
1811	Saint-Saturnin-les-Apt	839881	1885467
1795	Saint-Saturnin-les-Apt	839882	1885731
1823	Saint-Saturnin-les-Apt	839885	1885564
1773	Saint-Saturnin-les-Apt	839894	1885464
1825	Saint-Saturnin-les-Apt	839896	1886010
1822	Saint-Saturnin-les-Apt	839931	1886018
1828	Saint-Saturnin-les-Apt	839935	1886084
1784	Saint-Saturnin-les-Apt	839937	1886012
1790	Saint-Saturnin-les-Apt	839951	1886084
130	Saint-Saturnin-les-Apt	839962	1886049
1779	Saint-Saturnin-les-Apt	839978	1886048
1814	Saint-Saturnin-les-Apt	840028	1885917
1776	Saint-Saturnin-les-Apt	840032	1885917
2218	Saint-Saturnin-les-Apt	840050	1885956
1848	Saint-Saturnin-les-Apt	840067	1885971
1842	Saint-Saturnin-les-Apt	840094	1885742
1644	Saint-Saturnin-les-Apt	840500	1885661
1829	Saint-Saturnin-les-Apt	840506	1885657
1850	Saint-Saturnin-les-Apt	840506	1884966
1791	Saint-Saturnin-les-Apt	840509	1885653
142	Saint-Saturnin-les-Apt	840555	1885713
2217	Saint-Saturnin-les-Apt	840558	1885681
2216	Saint-Saturnin-les-Apt	840936	1885285
1806	Saint-Saturnin-les-Apt	840945	1884900
2214	Saint-Saturnin-les-Apt	840948	1885022
1768	Saint-Saturnin-les-Apt	840949	1884900
1807	Saint-Saturnin-les-Apt	840988	1884923
1769	Saint-Saturnin-les-Apt	840997	1884917
2215	Saint-Saturnin-les-Apt	841015	1885212

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1819	Saint-Saturnin-les-Apt	841026	1885148
1781	Saint-Saturnin-les-Apt	841028	1885145
119	Saint-Saturnin-les-Apt	841047	1885225
120	Saint-Saturnin-les-Apt	841047	1885225
1794	Saint-Saturnin-les-Apt	841173	1885238
1832	Saint-Saturnin-les-Apt	841174	1885234
1841	Saint-Saturnin-les-Apt	841294	1885171
1824	Saint-Saturnin-les-Apt	841364	1885599
1786	Saint-Saturnin-les-Apt	841397	1885576
137	Saint-Saturnin-les-Apt	841423	1885546
1805	Saint-Saturnin-les-Apt	841430	1885109
2213	Saint-Saturnin-les-Apt	841464	1885541
1767	Saint-Saturnin-les-Apt	841540	1885224
1789	Saint-Saturnin-les-Apt	841590	1885295
1827	Saint-Saturnin-les-Apt	841590	1885292
1809	Saint-Saturnin-les-Apt	841601	1885323
1771	Saint-Saturnin-les-Apt	841607	1885319
2212	Saint-Saturnin-les-Apt	842260	1886332
2226	Saint-Saturnin-les-Apt	842288	1885089
139	Saint-Saturnin-les-Apt	842292	1886345
1788	Saint-Saturnin-les-Apt	842300	1886379
1826	Saint-Saturnin-les-Apt	842304	1886344
1849	Saint-Saturnin-les-Apt	842727	1887261
1844	Saint-Saturnin-les-Apt	842801	1887296
1845	Saint-Saturnin-les-Apt	842805	1887319
1616	Saint-Saturnin-les-Apt	842902	1887210
2225	Saint-Saturnin-les-Apt	842928	1887215
1837	Saint-Saturnin-les-Apt	843046	1887447
2227	Saint-Saturnin-les-Apt	843427	1884786
1816	Saint-Saturnin-les-Apt	843438	1885820
1778	Saint-Saturnin-les-Apt	843450	1885819
1810	Saint-Saturnin-les-Apt	843900	1884585
1772	Saint-Saturnin-les-Apt	843907	1884588
1835	Saint-Saturnin-les-Apt	843993	1885894
2228	Saint-Saturnin-les-Apt	844058	1883485
2224	Saint-Saturnin-les-Apt	844678	1885891
1851	Saint-Saturnin-les-Apt	844696	1886565
1812	Saint-Saturnin-les-Apt	844735	1887094
1774	Saint-Saturnin-les-Apt	844743	1887096
2229	Saint-Saturnin-les-Apt	844765	1884242
1839	Saint-Saturnin-les-Apt	844863	1887342
1840	Saint-Saturnin-les-Apt	844914	1883754
1820	Saint-Saturnin-les-Apt	844929	1887346
1838	Saint-Saturnin-les-Apt	844937	1887428
1782	Saint-Saturnin-les-Apt	844941	1887327
1836	Saint-Saturnin-les-Apt	845026	1886826
1804	Saint-Saturnin-les-Apt	845193	1887466
2230	Saint-Saturnin-les-Apt	845200	1884438

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
1682	Saint-Saturnin-les-Apt	845246	1887453
2211	Saint-Saturnin-les-Apt	845246	1887909
2210	Saint-Saturnin-les-Apt	845258	1887785
2221	Saint-Saturnin-les-Apt	845879	1886626
1843	Saint-Saturnin-les-Apt	845904	1886686
2231	Saint-Saturnin-les-Apt	846028	1885081
1777	Saint-Saturnin-les-Apt	846096	1886653
147	Saint-Saturnin-les-Apt	846100	1886642
1815	Saint-Saturnin-les-Apt	846102	1886647
1796	Saint-Saturnin-les-Apt	846124	1886624
1834	Saint-Saturnin-les-Apt	846125	1886628
2222	Saint-Saturnin-les-Apt	846137	1886637
2223	Saint-Saturnin-les-Apt	846151	1886138
1669	Sannes		
2021	Sorgues	803357	1893559
270	Vacqueyras	810781	1908024
266	Vacqueyras	811318	1907869
268	Vacqueyras	811371	1907844
267	Vacqueyras	811396	1907823
269	Vacqueyras	811496	1907918
272	Vacqueyras	811586	1908498
2005	Vacqueyras	811691	1907936
2007	Vacqueyras	811791	1907612
2006	Vacqueyras	811864	1907447
271	Vacqueyras	811944	1908860
2004	Vacqueyras	812085	1907689
2009	Vacqueyras	812177	1908558
2008	Vacqueyras	812359	1908234
2094	Vaison-la-Romaine	817016	1919929
2100	Vaison-la-Romaine	817744	1919113
2098	Vaison-la-Romaine	817971	1919977
2097	Vaison-la-Romaine	818024	1919698
2101	Vaison-la-Romaine	818220	1919074
2102	Vaison-la-Romaine	818233	1919026
2099	Vaison-la-Romaine	818246	1920680
2103	Vaison-la-Romaine	818277	1919000
2104	Vaison-la-Romaine	818390	1918877
2096	Vaison-la-Romaine	818464	1919951
1677	Vaison-la-Romaine	818843	1919554
2095	Vaison-la-Romaine	818862	1919318
2105	Vaison-la-Romaine	818910	1919026
2106	Vaison-la-Romaine	818940	1918965
2107	Vaison-la-Romaine	819093	1918284
2110	Vaison-la-Romaine	819285	1919859
2108	Vaison-la-Romaine	819363	1919349
2111	Vaison-la-Romaine	819573	1920300
2109	Vaison-la-Romaine	819918	1919270
1687	Valréas		

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
2262	Vaugines	847759	1869229
2295	Vedene	805339	1887244
2294	Vedene	805986	1888704
2274	Vedene	806037	1890585
2273	Vedene	806051	1890675
2275	Vedene	806056	1890535
2293	Vedene	806076	1889585
2292	Vedene	806104	1889789
2286	Vedene	806227	1889321
2291	Vedene	806258	1889966
2277	Vedene	806328	1890209
2290	Vedene	806353	1889666
2276	Vedene	806370	1890322
2289	Vedene	806412	1889568
2287	Vedene	806423	1889346
2288	Vedene	806443	1889470
2285	Vedene	806709	1889052
2282	Vedene	806928	1889893
2278	Vedene	806959	1890299
2281	Vedene	807099	1890008
2283	Vedene	807147	1889814
2280	Vedene	807189	1889952
2279	Vedene	807259	1890002
2284	Vedene	807780	1889153
1799	Viens	858376	1882236
1803	Viens	859828	1882325
1802	Viens	859966	1879100
1800	Viens	860211	1882259
1801	Viens	861103	1882302
65	Villars	845785	1883736
1765	Villars	845797	1883743
1761	Villars	845904	1884011
1798	Villars	845906	1884008
1760	Villars	846105	1884160
1751	Villars	846108	1883114
51	Villars	846110	1883118
60	Villars	846178	1884265
52	Villars	846188	1885766
1752	Villars	846194	1885764
1753	Villars	846471	1885881
53	Villars	846477	1885878
58	Villars	846574	1884914
1758	Villars	846575	1884917
1748	Villars	846582	1884955
48	Villars	846586	1884953
50	Villars	846601	1884976
1750	Villars	846606	1884982
1766	Villars	846637	1884875

Numéro de dossier Brgm	Commune	Coordonnée X (m) Lambert II Carto	Coordonnée Y (m) Lambert II Carto
66	Villars	846641	1884869
1749	Villars	846701	1884882
49	Villars	846705	1884881
47	Villars	846733	1884997
1680	Villars	846752	1885081
57	Villars	846754	1884951
1757	Villars	846759	1884951
1762	Villars	847149	1884736
62	Villars	847150	1884734
1754	Villars	847955	1885210
54	Villars	847957	1885216
64	Villars	847986	1885008
1764	Villars	847993	1885008
55	Villars	848075	1886306
1755	Villars	848083	1886304
56	Villars	848106	1885703
1756	Villars	848159	1885702
1759	Villars	848225	1885861
59	Villars	848270	1885881
63	Villars	848336	1885613
1763	Villars	848338	1885613
1797	Villars		
2035	Vitrolles-en-Luberon	862121	1873170
2036	Vitrolles-en-Luberon	862461	1873203
2034	Vitrolles-en-Luberon	862554	1870774

Annexe 4 : Répartition de la superficie de chaque commune suivant la classe d'aléa et rappel des données de base de la sinistralité

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Code INSEE	Commune	Superficie totale de la commune (km ²)	Superficie urbanisée (km ²)	Nombre d'arrêtés cat nat	Durée totale cat nat (année)	Nombre de sinistres recensés	Superficie aléa fort (%)	Superficie aléa moyen (%)	Superficie aléa faible (%)	Superficie aléa à priori nul (%)
84001	ALTHEN-DES-PALUDS	6,50	0,22						100,0%	
84002	ANSOUIS	17,65	0,52			9			98,3%	1,7%
84003	APT	45,19	1,42	2	3,80	35	10,0%	42,2%	7,8%	39,9%
84004	AUBIGNAN	15,65	0,90						95,0%	5,0%
84005	AUREL	29,41	0,08					8,6%	8,7%	82,7%
84006	AURIBEAU	7,45	0,03			2	0,3%	45,9%	0,3%	53,5%
84007	AVIGNON	65,15	16,75					0,1%	86,5%	13,4%
84008	LE BARROUX	16,07	0,12					50,3%	44,3%	5,4%
84009	LA BASTIDE-DES-JOURDANS	27,79	0,28	1	2,80	15		67,1%	4,5%	28,4%
84010	LA BASTIDONNE	5,87	0,51			6		25,6%	40,1%	34,3%
84011	LE BEAUCET	9,03	0,03					31,6%	12,0%	56,4%
84012	BEAUMES-DE-VENISE	19,03	0,53					18,7%	70,8%	10,6%
84013	BEAUMETTES	2,64	0,07					74,5%	25,5%	
84014	BEAUMONT-DE-PERTUIS	54,01	0,32					31,8%	53,0%	15,2%
84015	BEAUMONT-DU-VENTOUX	28,39	0,10			5		12,6%	15,9%	71,5%
84016	BEDARRIDES	25,27	1,18					0,8%	98,3%	1,0%
84017	BEDOIN	90,65	0,54				1,3%	2,3%	27,4%	69,0%
84018	BLAUVAC	21,05	0,06	3	5,40	5	8,8%	18,1%	11,4%	61,7%
84019	BOLLENE	54,41	5,92	1	2,40	22		8,4%	79,5%	12,2%
84020	BONNIEUX	51,26	0,27				0,4%	42,9%	14,5%	42,1%
84021	BRANTES	28,34	0,04					37,6%	23,6%	38,8%
84022	BUISSON	9,39	0,07			5		0,6%	92,4%	7,0%
84023	BUOUX	17,65	0,05					68,3%		31,7%
84024	CABRIERES-D'AIGUES	19,11	0,23	1	0,50	5		36,5%	45,4%	18,1%
84025	CABRIERES-D'AVIGNON	14,64	0,48			1		16,7%	40,0%	43,2%
84026	CADENET	25,80	1,69						84,2%	15,8%
84027	CADEROUSSE	32,22	0,61						88,6%	11,4%
84028	CAIRANNE	22,84	0,30					0,2%	98,5%	1,2%
84029	CAMARET-SUR-AIGUES	18,37	0,83						99,8%	0,2%
84030	CAROMB	17,92	1,00					22,0%	74,6%	3,4%
84031	CARPENTRAS	37,89	10,05						100,0%	
84032	CASENEUVE	18,16	0,10	2	5,60	31	0,3%	91,1%	3,6%	5,1%
84033	CASTELLET	9,54	0,03					34,8%	1,6%	63,6%
84034	CAUMONT-SUR-DURANCE	18,31	1,05					3,7%	88,9%	7,4%
84035	CAVAILLON	45,99	7,60			1			93,9%	6,1%
84036	CHATEAUNEUF-DE-GADAGNE	13,50	0,62					6,6%	89,7%	3,7%
84037	CHATEAUNEUF-DU-PAPE	24,88	0,71					13,7%	71,9%	14,5%
84038	CHEVAL-BLANC	58,70	1,81					6,1%	33,1%	60,8%
84039	COURTHEZON	32,57	1,34						96,3%	3,7%
84040	CRESTET	11,44	0,08				0,6%	22,1%	75,6%	1,7%
84041	CRILLON-LE-BRAVE	7,67	0,20				3,9%	54,4%	38,1%	3,6%
84042	CUCURON	32,48	0,43	1	0,50	5		5,2%	66,5%	28,3%
84043	ENTRAIGUES-SUR-SORGUES	16,77	2,27			10			98,4%	1,6%
84044	ENTRECHAUX	14,90	0,13					16,1%	74,0%	9,9%
84045	FAUCON	8,77	0,08	1	1,50	31		39,6%	55,1%	5,3%
84046	FLASSAN	20,97	0,09	1	1,80	17	2,9%	3,4%	24,5%	69,1%
84047	GARGAS	14,91	0,42	3	8,50	112	27,6%	35,1%	20,5%	16,8%
84048	GIGNAC	8,15	0,01				7,3%	22,2%	8,6%	61,8%
84049	GIGONDAS	27,25	0,13				4,2%	27,4%	48,6%	19,8%
84050	GORDES	49,06	0,98	2	1,80	22	9,2%	27,9%	22,8%	40,1%
84051	GOULT	23,96	0,52			1	11,8%	33,5%	24,2%	30,6%
84052	GRAMBOIS	31,33	0,31	2	2,30	18		74,6%	17,6%	7,8%
84053	GRILLON	15,04	0,71						99,5%	0,5%
84054	L'ISLÉ-SUR-LA-SORGUE	44,74	5,53			1		7,9%	85,5%	6,6%
84055	JONQUERETTES	2,62	0,24			3		0,5%	91,0%	8,5%
84056	JONQUIERES	24,45	1,07			18			99,5%	0,5%
84057	JOUCAS	8,36	0,12	1	3,80	14	4,4%	13,7%	44,5%	37,4%
84058	LACOSTE	10,75	0,17				0,7%	22,1%	13,2%	63,9%
84059	LAFARE	4,55	0,03					21,1%	69,9%	9,0%
84060	LAGARDE-D'APT	22,33	0,02						10,2%	89,8%
84061	LAGARDE-PAREOL	9,34	0,04					2,7%	96,4%	0,9%
84062	LAGNES	16,81	0,41					18,3%	45,9%	40,8%
84063	LAMOTTE-DU-RHONE	12,14	0,04						96,8%	3,2%
84064	LAPALUD	17,56	1,09			1			97,6%	2,4%

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Code INSEE	Commune	Superficie totale de la commune (km ²)	Superficie urbanisée (km ²)	Nombre d'arrêtés cat nat	Durée totale cat nat (année)	Nombre de sinistres recensés	Superficie aléa fort (%)	Superficie aléa moyen (%)	Superficie aléa faible (%)	Superficie aléa à priori nul (%)
84065	LAURIS	22,84	1,22					2,4%	52,1%	45,6%
84066	LIoux	38,82	0,08	1	0,50	16	7,4%	8,7%	7,6%	76,3%
84067	LORIOl-DU-COMTAT	11,24	0,43						100,0%	
84068	LOURMARIN	20,19	0,39					7,4%	42,5%	50,1%
84069	MALAUcENE	45,57	0,45					19,3%	33,4%	47,3%
84070	MALEMORT-DU-COMTAT	12,01	0,58					73,0%	25,6%	1,3%
84071	MAUBEC	9,39	0,91					2,5%	58,9%	38,6%
84072	MAZAN	38,08	2,09			6		13,8%	85,9%	0,2%
84073	MENERBES	30,35	0,47			1		23,8%	30,2%	46,0%
84074	MERINDOL	26,99	0,33	3	2,50	20		18,9%	32,0%	49,1%
84075	METHAMIS	36,95	0,08	1	1,80	17	0,5%	8,4%	5,7%	87,4%
84076	MIRABEAU	31,53	0,52					29,0%	46,9%	24,1%
84077	MODENE	4,79	0,13					36,2%	63,8%	
84078	MONDRAGON	40,66	0,84					0,4%	87,1%	12,5%
84079	MONIEUX	47,68	0,12				0,7%		9,2%	90,0%
84080	MONTEUX	39,62	1,96	1	0,60	5			99,8%	0,2%
84081	MORIERES-LES-AVIGNON	10,46	2,36					9,0%	84,6%	6,4%
84082	MORMOIRON	25,25	0,31	2	4,20	69	21,9%	26,4%	46,6%	5,1%
84083	MORNAS	26,02	0,69						52,5%	47,5%
84084	LA MOTTE-D'AIGUES	14,69	0,34					27,7%	58,1%	14,2%
84085	MURS	31,61	0,20	2	1,80	25	8,5%	27,0%	7,8%	56,6%
84086	OPPEDE	24,49	0,63					3,3%	55,6%	41,0%
84087	ORANGE	74,53	7,37			1		1,5%	94,2%	4,4%
84088	PERNES-LES-FONTAINES	51,29	4,23			26		11,6%	87,7%	0,6%
84089	PERTUIS	59,33	7,45			15		8,2%	72,3%	19,5%
84090	PEYPIN-D'AIGUES	17,29	0,17					53,1%	17,0%	29,9%
84091	PIOLENC	24,68	1,54					9,3%	74,4%	16,4%
84092	LE PONTET	10,85	5,30						96,4%	3,6%
84093	PUGET	19,65	0,22					12,0%	28,3%	59,7%
84094	PUYMERAS	14,85	0,06			6		13,1%	74,1%	12,8%
84095	PUYVERT	10,03	0,13					1,6%	80,9%	17,5%
84096	RASTEAU	19,08	0,20						99,5%	0,5%
84097	RICHERENCHES	11,05	0,23						98,6%	1,4%
84098	ROAIX	5,85	0,03						99,3%	0,7%
84099	ROBION	17,81	1,83			1		1,0%	72,9%	26,1%
84100	LA ROQUE-ALRIC	4,90	0,02					52,2%	39,7%	8,1%
84101	LA ROQUE-SUR-PERNES	11,11	0,14			1		54,3%	6,8%	39,0%
84102	ROUSSILLON	30,26	0,31	1	2,80	56	20,3%	44,7%	27,4%	7,6%
84103	RUSTREL	28,91	0,11	1	2,40	22	19,0%	15,8%	10,3%	54,9%
84104	SABLET	11,02	0,23					10,9%	77,1%	12,1%
84105	SAIGNON	19,83	0,20	2	3,30	31		51,4%	6,1%	42,5%
84106	SAINTE-CECILE-LES-VIGNES	20,00	0,37						99,8%	0,2%
84107	SAINT-CHRISTOL	46,54	0,55					5,9%	52,6%	41,5%
84108	SAINT-DIDIER	3,67	1,33					11,9%	83,3%	4,7%
84109	SAINT-HIPPOLYTE-LE-GRAVEYRON	4,95	0,02					9,8%	65,8%	24,4%
84110	SAINT-LEGER-DU-VENTOUX	19,45	0,02					23,4%	20,1%	56,5%
84111	SAINT-MARCELLIN-LES-VAISON	3,55	0,06					10,3%	89,4%	0,3%
84112	SAINT-MARTIN-DE-CASTILLON	38,39	0,16	2	8,70	3		61,5%	7,4%	31,1%
84113	SAINT-MARTIN-DE-LA-BRASQUE	5,61	0,18			4		24,1%	75,9%	
84114	SAINT-PANTALEON	0,80	0,04					28,0%	5,1%	67,0%
84115	SAINT-PIERRE-DE-VASSOLS	4,99	0,18					31,1%	67,9%	1,0%
84116	SAINT-ROMAIN-EN-VIENNOIS	9,10	0,26			2		14,0%	86,0%	
84117	SAINT-ROMAN-DE-MALEGARDE	8,70	0,13						97,3%	2,7%
84118	SAINT-SATURNIN-LES-APT	77,00	0,44	2	10,40	109	12,2%	1,1%	21,0%	65,7%
84119	SAINT-SATURNIN-LES-AVIGNON	6,23	0,75					13,5%	83,6%	2,9%
84120	SAINT-TRINIT	16,86	0,07						26,2%	73,8%

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

Code INSEE	Commune	Superficie totale de la commune (km ²)	Superficie urbanisée (km ²)	Nombre d'arrêtés cat nat	Durée totale cat nat (année)	Nombre de sinistres recensés	Superficie aléa fort (%)	Superficie aléa moyen (%)	Superficie aléa faible (%)	Superficie aléa à priori nul (%)
84121	SANNES	4,59	0,04			1		0,3%	90,9%	8,7%
84122	SARRIANS	37,74	1,29						99,7%	0,3%
84123	SAULT	112,32	0,43				0,2%	5,3%	14,3%	80,2%
84124	SAUMANE-DE-VAUCLUSE	20,95	0,12					15,8%	22,4%	61,9%
84125	SAVOILLAN	8,90	0,02					47,3%	21,2%	31,5%
84126	SEGURET	21,13	0,12				3,1%	47,3%	45,0%	4,5%
84127	SERIGNAN-DU-COMTAT	20,41	0,50						93,3%	6,7%
84128	SIVERGUES	9,52	0,02					45,1%		54,9%
84129	SORGUES	33,84	3,68			1		0,7%	87,9%	11,4%
84130	SUZETTE	6,76	0,02					24,3%	45,9%	29,8%
84131	TAILLADES	6,89	1,17					6,5%	44,6%	48,9%
84132	LE THOR	35,66	1,08			2		0,1%	97,1%	2,7%
84133	LA TOUR-D'AIGUES	41,50	2,32					8,8%	76,2%	15,0%
84134	TRAVAILLAN	17,89	0,03						99,1%	0,9%
84135	UCHAUX	18,74	0,31						70,5%	29,5%
84136	VACQUEYRAS	9,01	0,26	2	2,50	13		8,9%	90,9%	0,2%
84137	VAISON-LA-ROMAINE	27,14	1,51			19	1,3%	21,7%	75,9%	1,0%
84138	VALREAS	58,92	3,10			1		0,7%	94,4%	4,8%
84139	FONTAINE-DE-VAUCLUSE	7,22	0,12					27,3%	2,8%	69,9%
84140	VAUGINES	15,85	0,12			1		0,2%	58,3%	41,6%
84141	VEDENE	11,50	2,32			23		28,5%	66,6%	4,9%
84142	VELLERON	16,40	0,78					18,0%	77,5%	4,5%
84143	VENASQUE	35,11	0,27				1,2%	21,0%	15,1%	62,7%
84144	VIENS	35,25	0,19	1	2,80	5	4,9%	69,8%	7,9%	17,4%
84145	VILLARS	30,09	0,14	1	8,40	41	18,0%	5,7%	15,5%	60,9%
84146	VILLEDIEU	11,52	0,15					14,9%	80,8%	4,2%
84147	VILLELAURE	18,12	1,35						94,7%	5,3%
84148	VILLES-SUR-AUZON	27,19	0,02				2,3%	4,6%	24,7%	68,3%
84149	VIOLES	14,75	0,42						99,4%	0,6%
84150	VISAN	42,30	0,71					4,4%	91,8%	3,9%
84151	VITROLLES	16,13	0,00			3		43,2%	1,5%	55,2%

Total département	3585,35	145,69	43	93,4	941	1,80%	15,04%	51,76%	29,44%
--------------------------	---------	--------	----	------	-----	-------	--------	--------	--------

Annexe 5 : Liste et coordonnées des bureaux d'études ayant fourni des données géotechniques

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

Union Syndicale de Géotechnique

Maison de l'Ingénierie

3, rue Léon Bonnat

75 016 Paris

Coordonnées des bureaux d'études ayant fourni des données :

Fondasol :

ZI Napollon

Avenue des Templiers

Lot n°1 Local n°1

13400 Aubagne

Tél : 04 42 03 42 00

Siège social Avignon

209 rue des Galoubets

84140 Montfavet

Tél : 04 90 31 23 96

Fax : 04 90 32 59 83

GIA Ingénierie :

114 Traversée le Mée

Immeuble San Remo bâtiment D7

BP131 13267 Marseille cedex 08

Tél : 04 91 25 23 23

Fax : 04 91 74 44 81

ERG :

ERG La Seyne

243 avenue de Bruxelles

Zone d'activité Jean Monnet

83500 La Seyne sur mer

ERG Marseille

18 bd Michelet

13008 Marseille

Tél : 04 95 06 90 60

Fax : 04 91 16 73 00

JUVENTIN :

Le Calseraigne n°312

Rue de la Verdière

13090 Aix-en-Provence

Tél : 04 42 20 18 88

CETE Méditerranée :

107 rue Albert Einstein

13791 Aix-en-Provence

Tél : 04 42 24 76 76

Fax : 04 42 24 78 42

Hydrosol :

78 avenue Yvon Darié

84300 Cavaillon

Tél : 04 90 71 33 26

Solen Géotechnique :

16 allée Prométhée

28 000 CHARTRES

Tél : 02 37 88 03 30

Fax : 02 37 30 90 75

**Annexe 6 : Résultats des analyses
minéralogiques réalisées au cours de cette étude
lors des prélèvements sur le terrain**

① **Nature de l'essai :**

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

② **Appareillage et conditions expérimentales :**

Appareillage : Diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé

Conditions expérimentales :

- Balayage de 2 à 36°2 θ
- Vitesse de balayage de 0,02°2 θ /seconde
- Temps de comptage : 1 seconde par pas
- Echantillon fixe

Traitement des diagrammes : Logiciel DIFFRAC^{plus}

③ **Résultats d'analyse**

Echantillon 1 – V1-p2a (28)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 817392 et Y = 1924772

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 93%
- illite/micas ~ 1%
- kaolinite ~ 6%

Echantillon 2 – M1-g2b-e (18)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 822602 et Y = 1910195

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- chlorite ~ 23%
- illite/micas ~ 52%
- kaolinite ~ 25%

Echantillon 3 – B1-t (1)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 821765 et Y = 1909433

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- illite/micas ~ 21%
- chlorite ~ 79%

Echantillon 4 – R1-n2 (3)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 820458 et Y = 1908543

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 98%
- illite/micas ~ 1-2%
- kaolinite < 1%

Echantillon 5 – M1-g1AS (10)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 821793 et Y = 1899618

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 93%
- palygorskite ~ 7%

Echantillon 7 – B1-g2a (18)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 860691 et Y = 1860111

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 58%
- illite/micas ~ 26%
- kaolinite et chlorite ~ 16%

Echantillon 8 – P1-m3 (24)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 854732 et Y = 1862360

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite +/- vermiculite probable ~ 93%
- illite/micas ~ 4%
- kaolinite ~ 3%

Echantillon 9 – C1-m4 (25)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 852857 et Y = 1869118

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 88%
- illite/micas ~ 5%
- kaolinite et chlorite ~ 7%

Echantillon 10 – C2-m3Mb (23)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 854732 et Y = 1862360

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 77%
- illite/micas ~ 8%
- kaolinite ~ 15%

Echantillon 11 – R2-n3 (3)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 819721 et Y = 1907765

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 42%
- illite/micas ~ 16%
- kaolinite ~ 42%

Echantillon 12 – R3-j3C-4 (2)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 818160 et Y = 1908834

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- chlorite ~ 10%
- illite/micas ~ 51%
- kaolinite ~ 39%

Echantillon 13 – B1-g1-2 (19)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 815064 et Y = 1906615

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite +/- vermiculite probable ~ 90%
- illite/micas ~ 7%
- kaolinite ~ 3%

Echantillon 14 – C1-g3a (17)

Cordonnées Lambert II Étendue : X = 859051 et Y = 1878665

La fraction phylliteuse est représentée par (sur base 100) :

- smectite ~ 6%
- illite/micas ~ 68%
- kaolinite ~ 26%

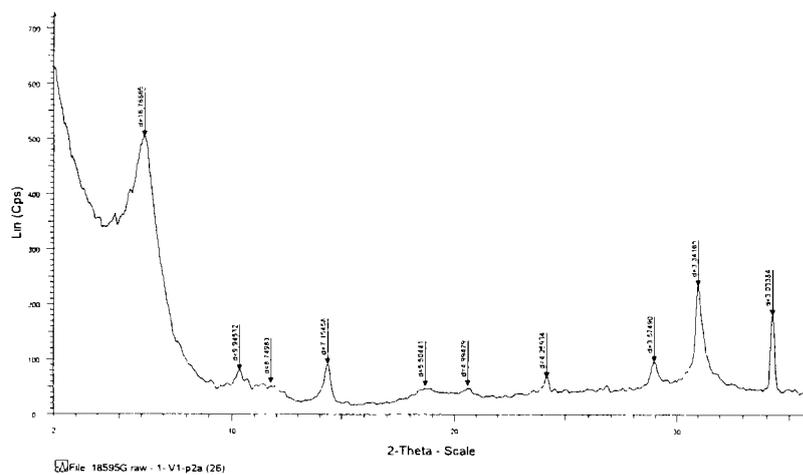
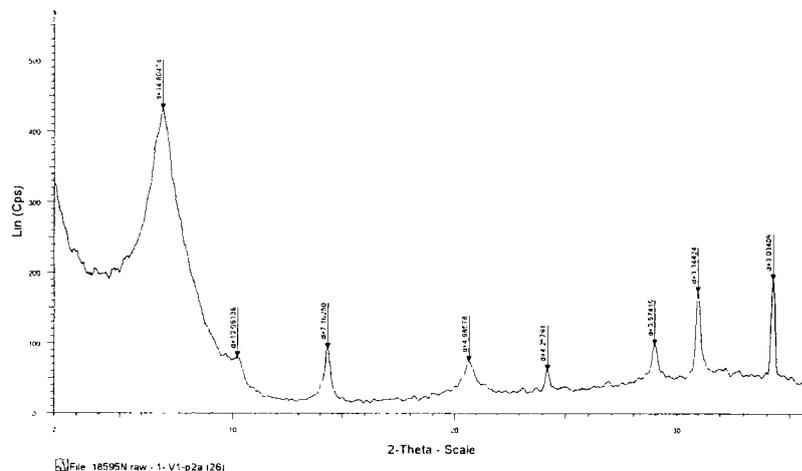
④ Observations

Les phases identifiées dans ces échantillons comme une « smectite » sont plus probablement des interstratifiés illite/smectite avec de 40 à 75% de smectite. Le terme illite/micas ne représente pas un interstratifié illite/micas : on ne peut pas différencier l'illite des micas, ils ont la même structure et ne sont donc pas identifiables séparément, c'est pourquoi le terme illite/micas est utilisé ici.

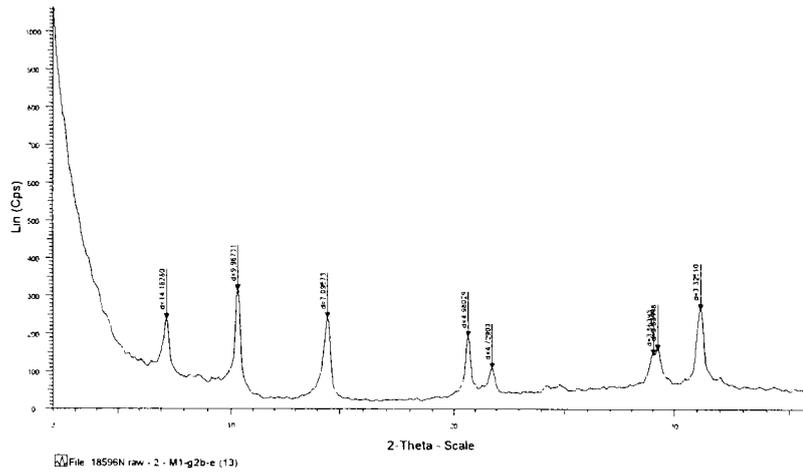
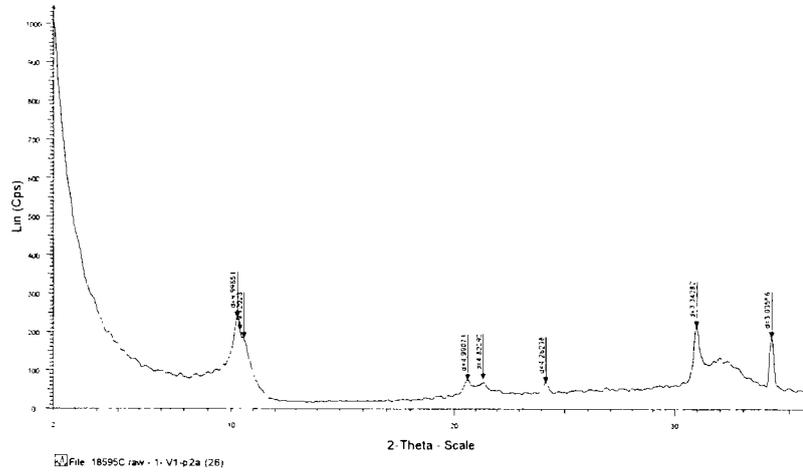
Diffractogrammes ci-après :

- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame normale
- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame glycolée pendant 12 heures en tension de vapeur
- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame chauffée à 490°C pendant 4 heures

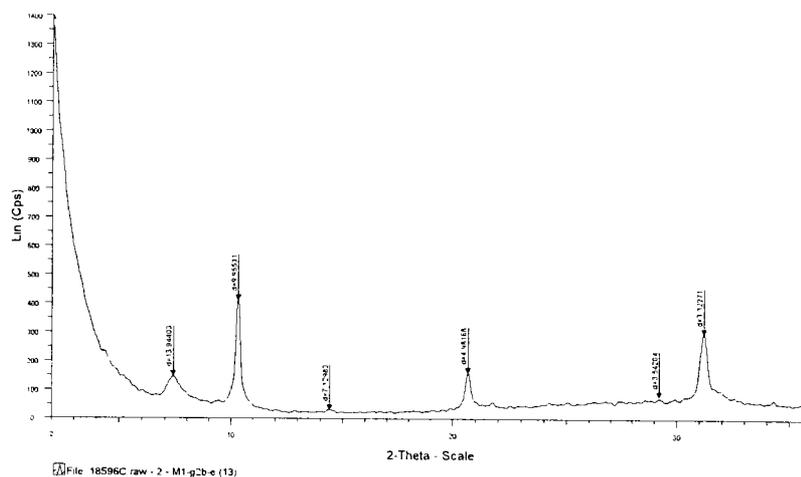
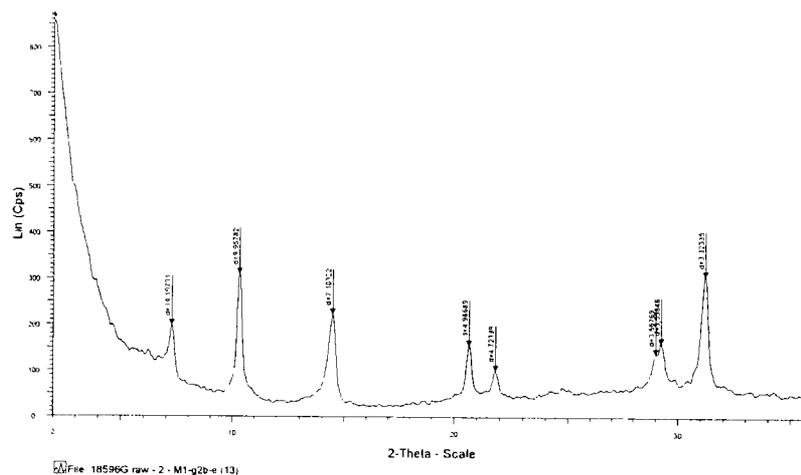
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



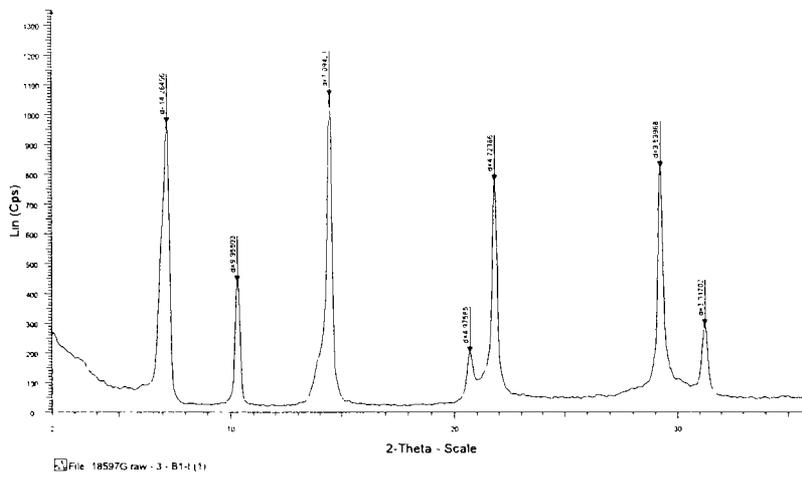
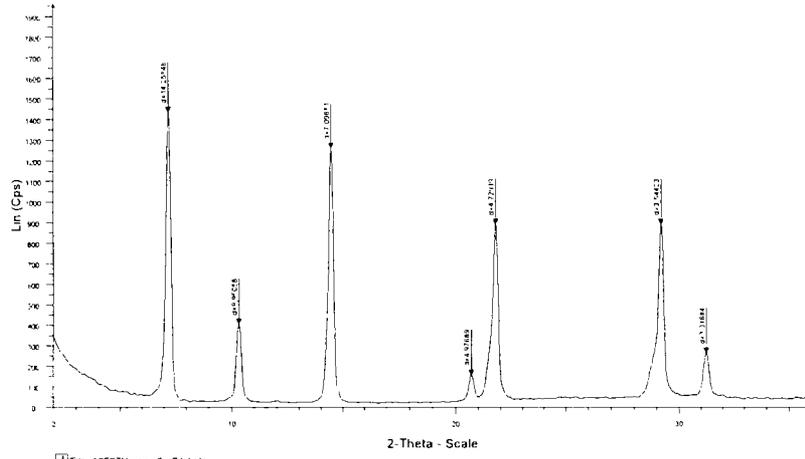
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



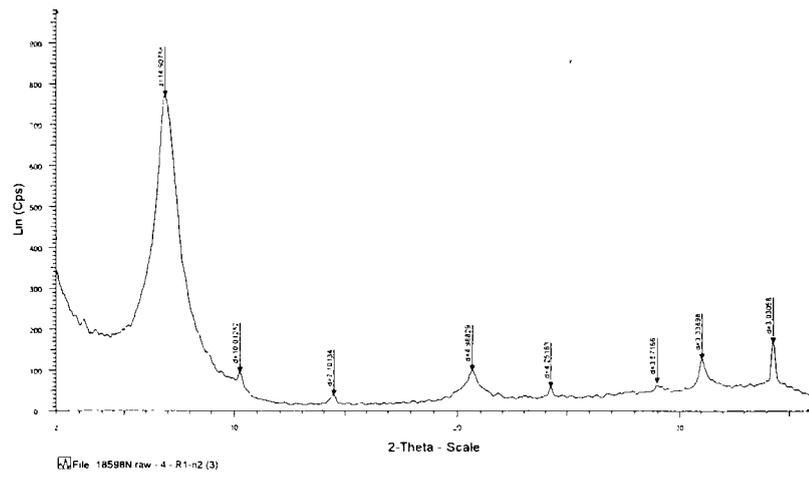
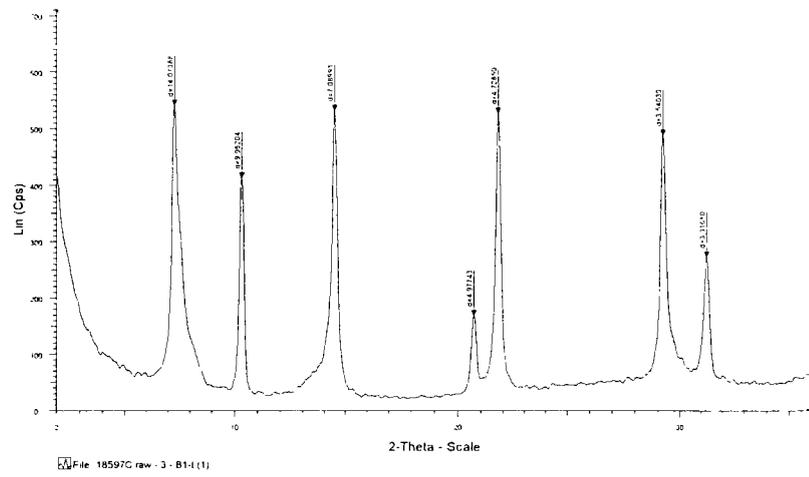
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



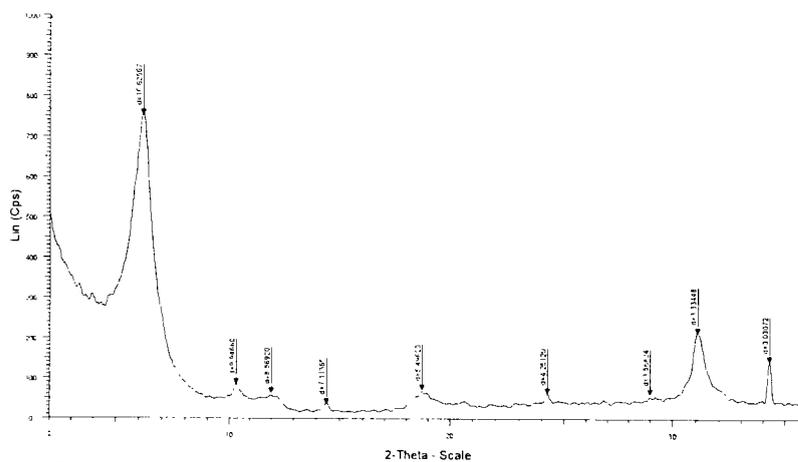
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



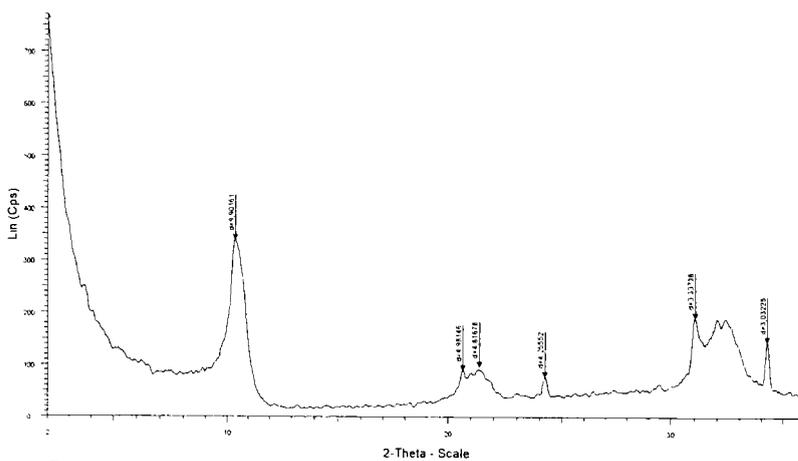
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

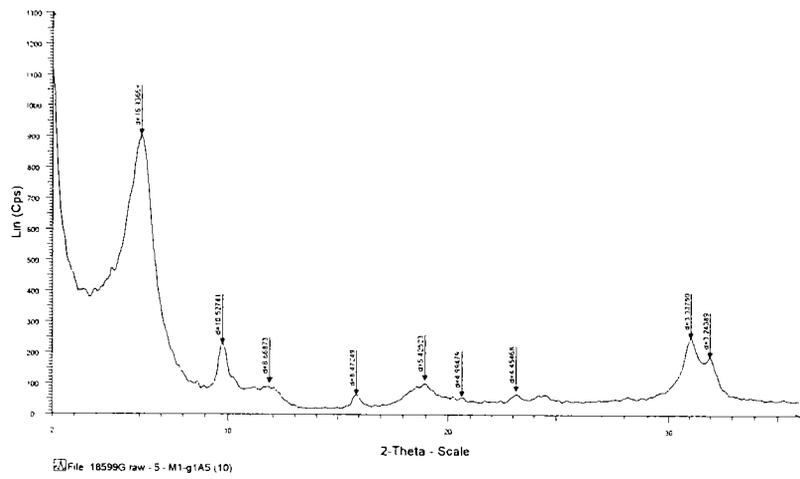
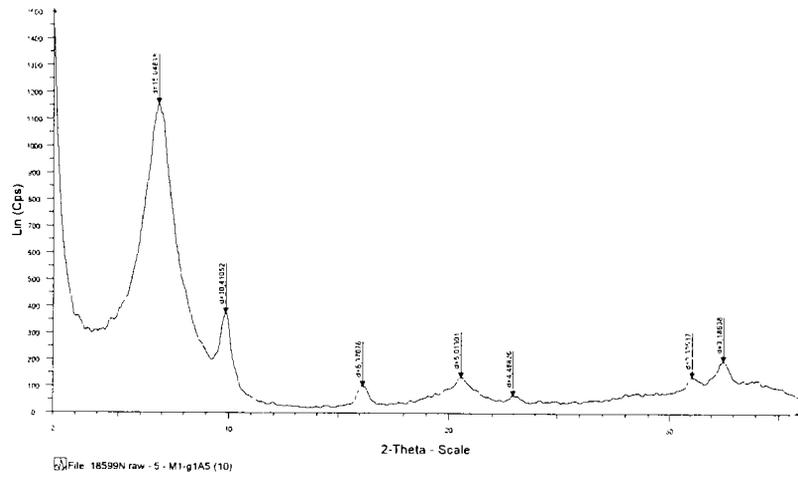


File 18598G raw - 4 - R1-n2 (3)

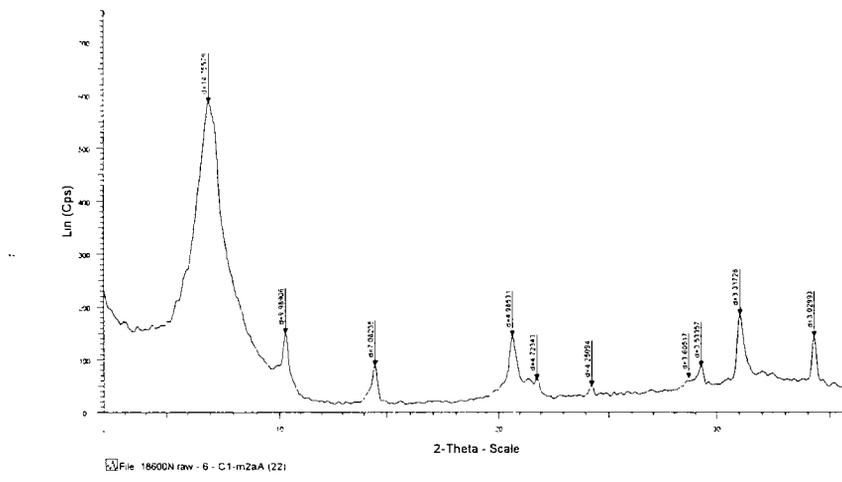
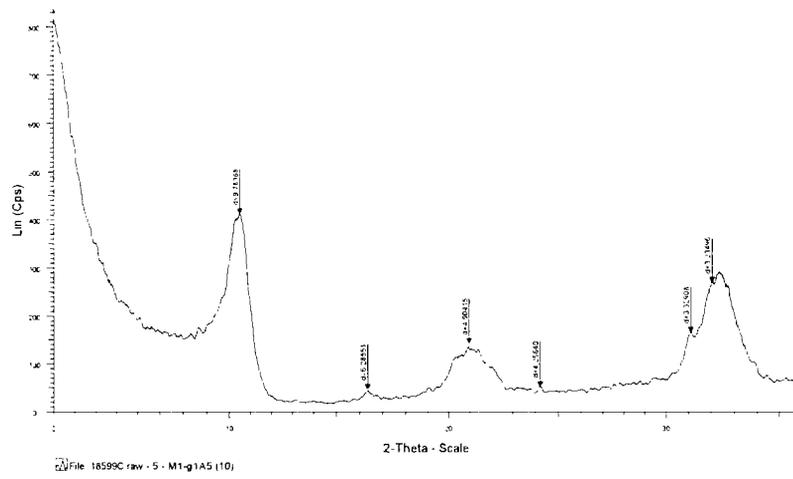


File 18598C raw - 4 - R1-n2 (3)

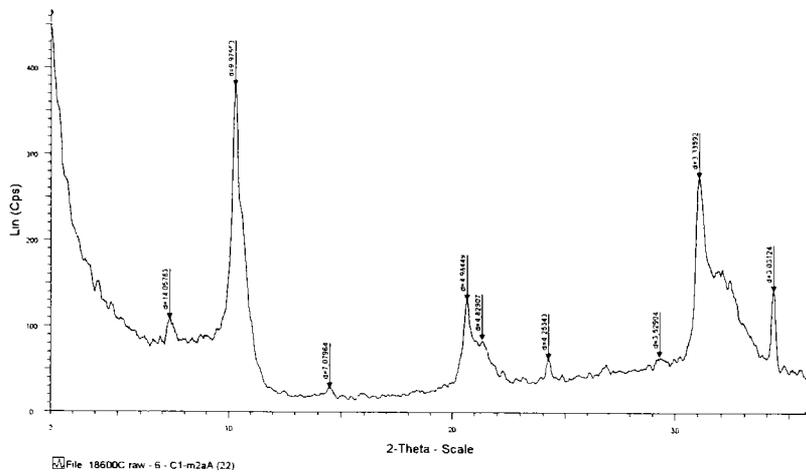
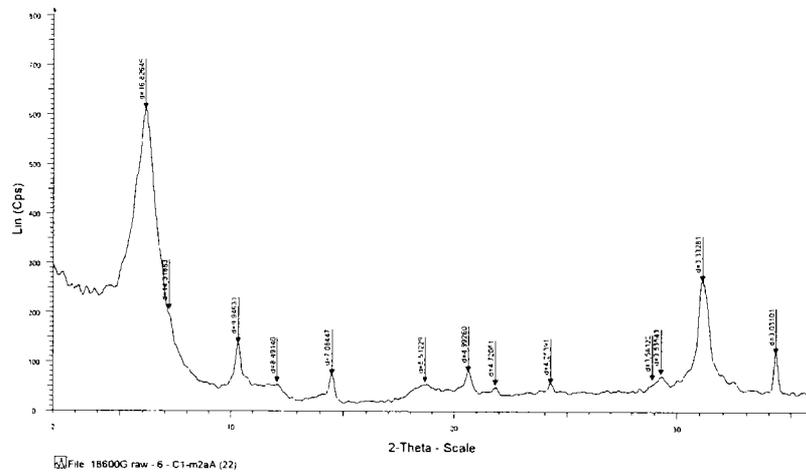
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



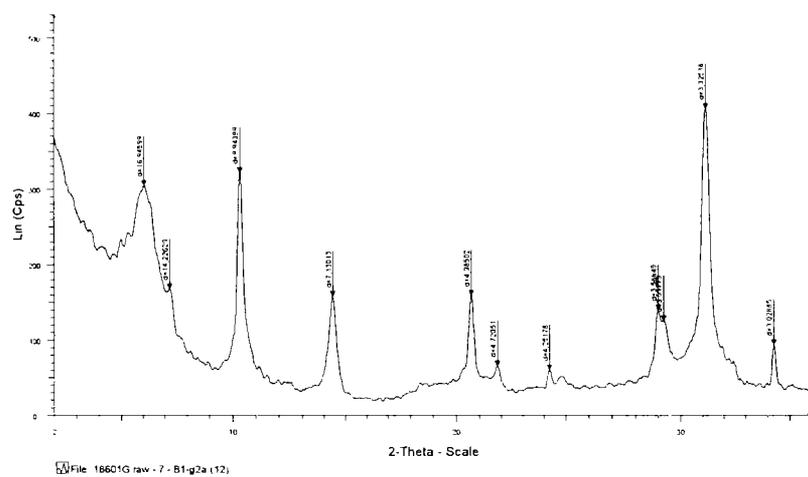
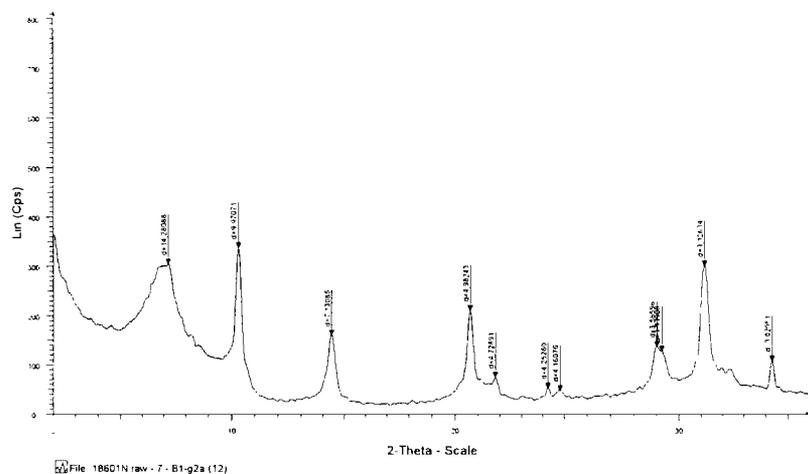
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



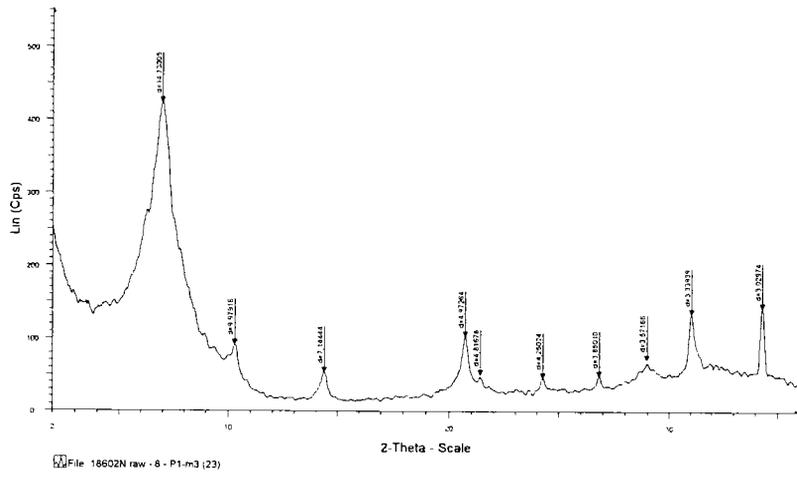
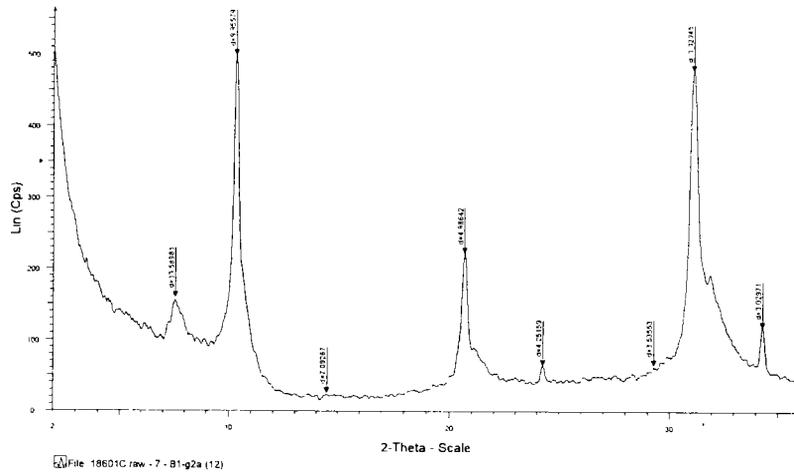
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



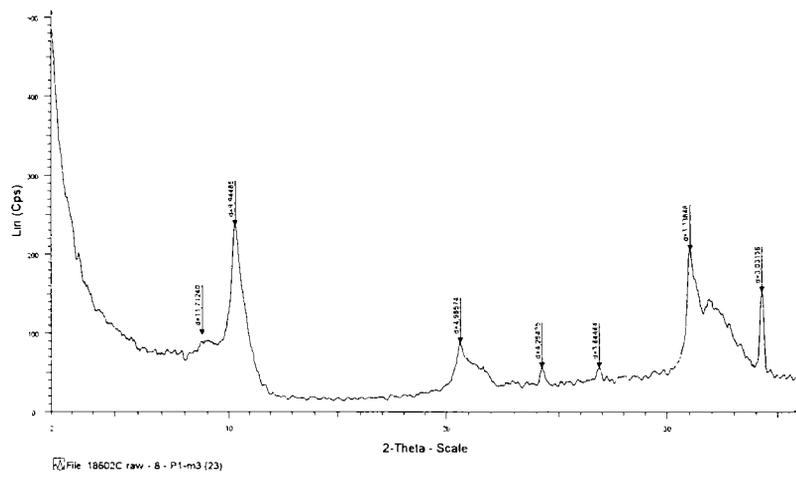
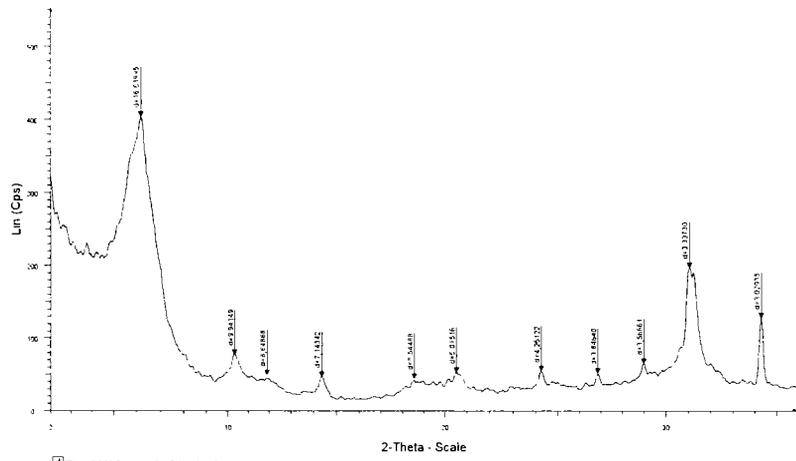
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



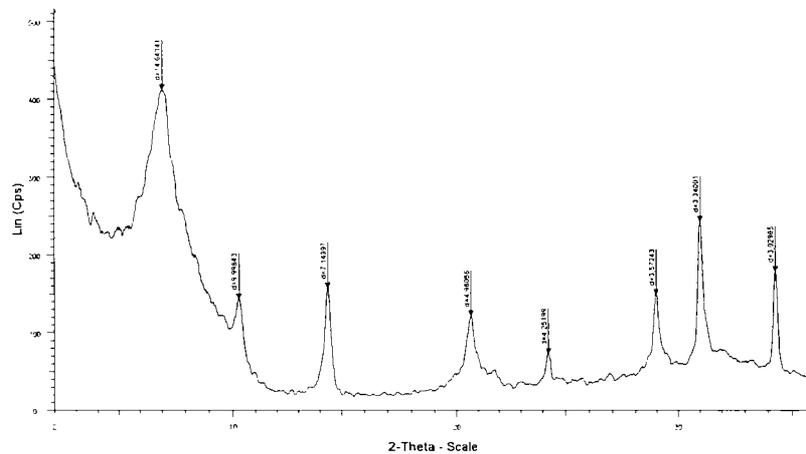
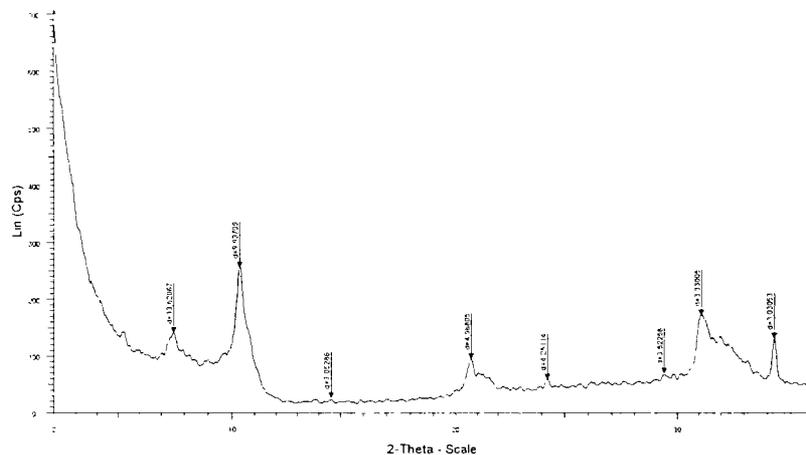
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



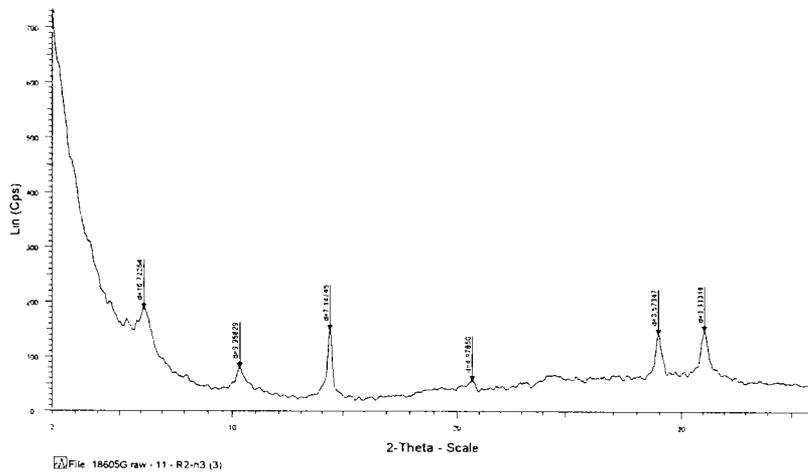
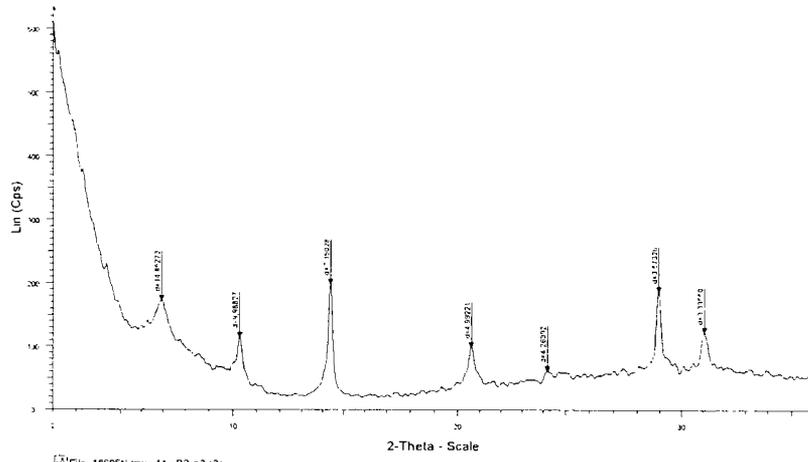
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

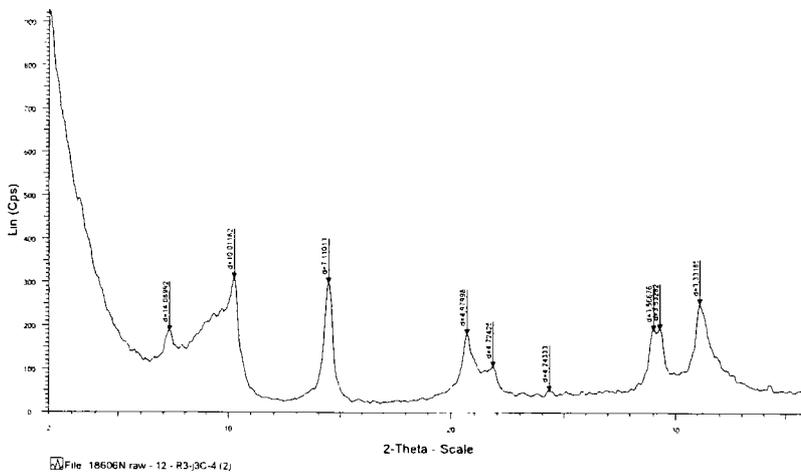
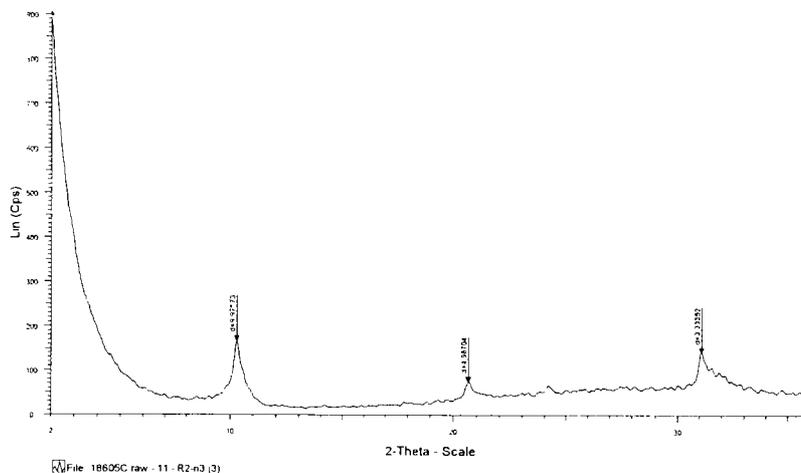


Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

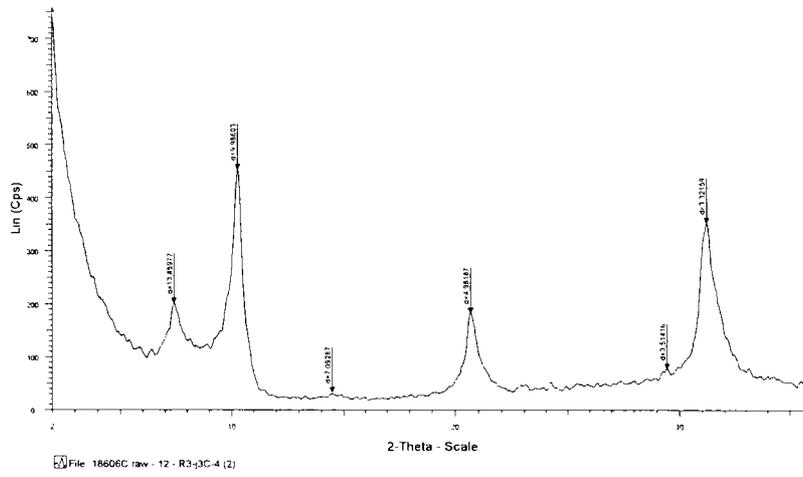
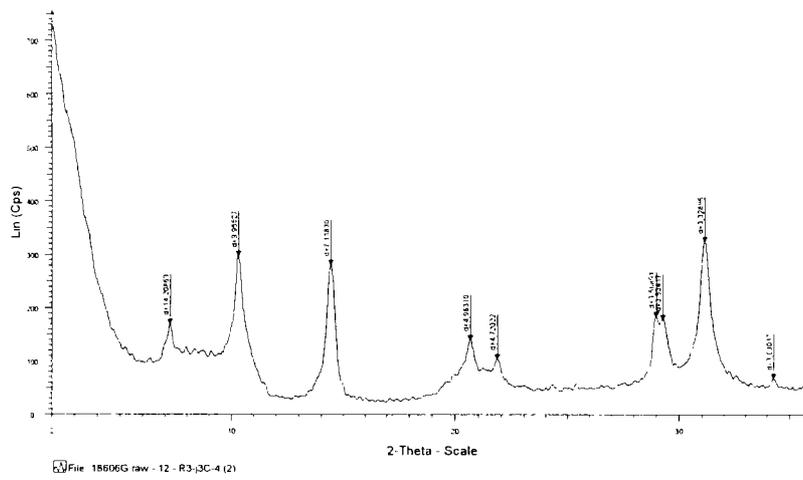


Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

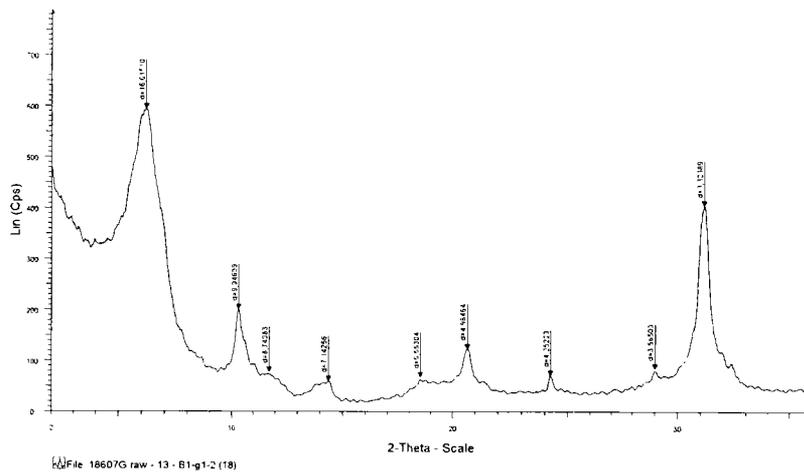
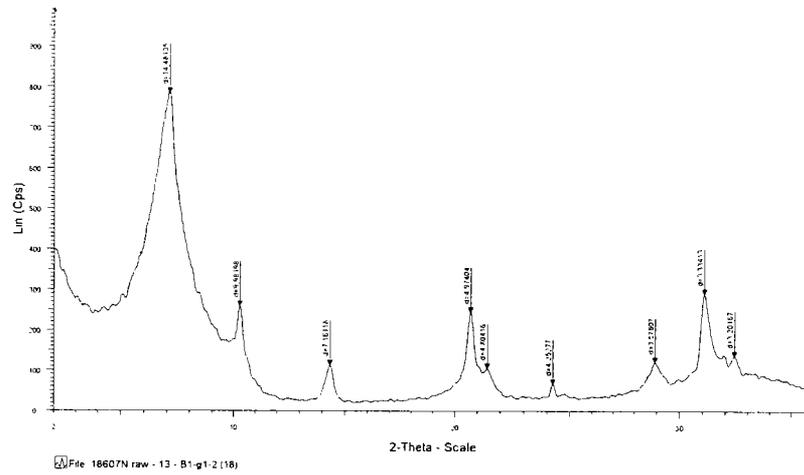




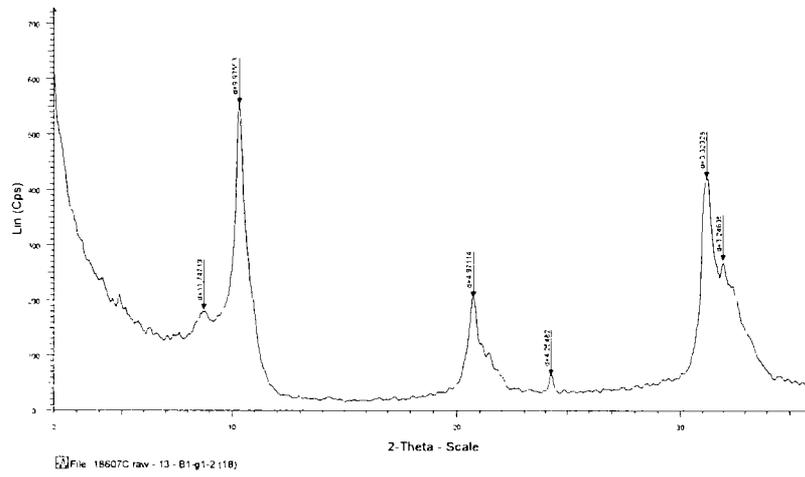
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



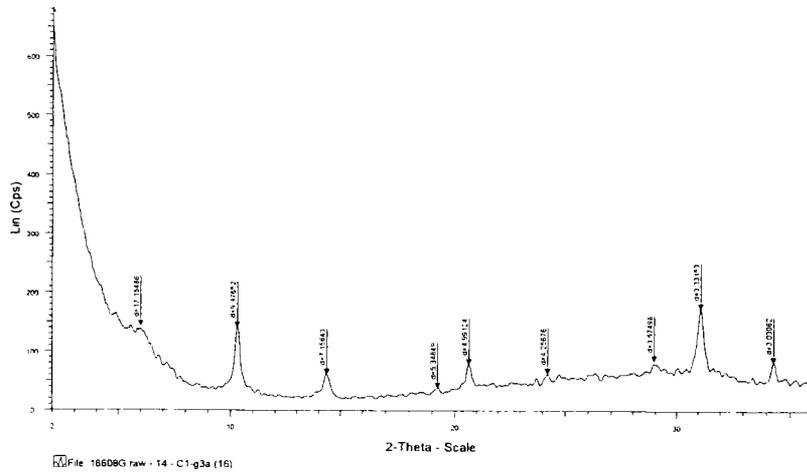
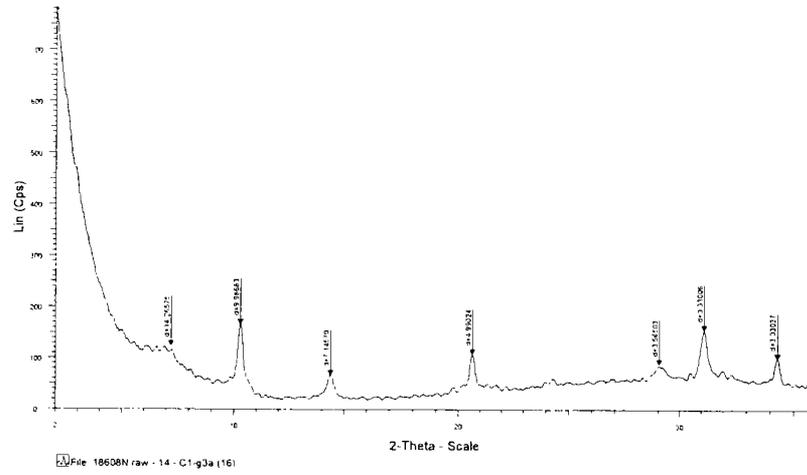
Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse

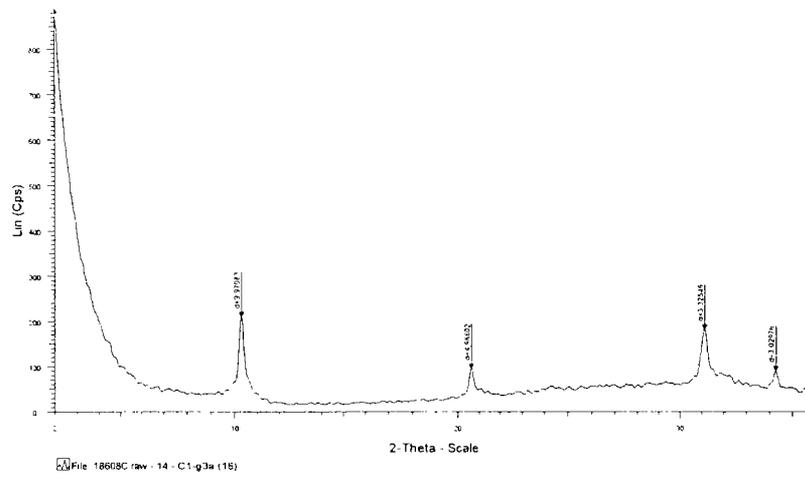


Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Vaucluse





Annexe 7 : Résultats des analyses géotechniques réalisées au cours de cette étude lors des prélèvements sur le terrain

Rapport d'essais 04-6-016-A

Retrait-Gonflement Vaucluse

V/Réf : Dem du 03/05/04

Informations sur le(s) échantillon(s) :

- Date de réception : 03/05/2004
- Date début analyse 11/05/2004
- Nombre : 13
- Nature : Sols
- Auteur prélèvement : Marçot Nathalie

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire de préparation et essais physico-chimiques sur roches et minéraux	H. Haas

Résultats validés par Gérard HUGUES

qualifié(es) pour l'essai

Visé le 14-MAI-2004 par David DESSANDIER

Responsable de l'Unité Caractérisation Minérale

Origine des échantillons : Retrait-Gonflement / Vaucluse

Identification des échantillons :

1_ n° V1-p2a (28)	7_ n° B1-g2a (18)	12_ n° R3-j3c-4 (2)
2_ n° M1-g2b-e (18)	8_ n° P1-m3 (24)	13_ n° B1-g1-2 (19)
3_ n° B1-t (1)	9_ n° C1-m4 (25)	14_ n° C1-g3a (17)
4_ n° R1-n2 (3)	10_ n° C2-m3Mb (23)	
5_ n° M1-g1AS (10)	11_ n° R2-n3 (3)	

Nature des Essais et documents de référence :

- Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par essai à la tache (norme NF P 94-068)
 - Bilan granulométrique à 80µm (tamisage en voie humide)
-

Observations :

RESULTATS DES ANALYSES

1- Détermination de la valeur de Bleu de méthylène

Préparation des échantillons

Avant l'essai d'adsorption, l'échantillon est démotté et dispersé dans de l'eau additionnée de 10 % d'eau oxygénée, puis laissé au repos au moins 12 heures.

2- Bilan granulométrique à 80µm

Pour la réalisation de cette opération, une prise de l'échantillon brut sec d'environ 200g est effectué. Ce prélèvement est mis en suspension, puis lavé sur un tamis de 80µm. La fraction supérieure à 80µm est séchée et pesée.

Le bilan des séparations par tamisage en voie humide à 80µm est présenté dans le tableau ci-dessous :

3- Résultats des mesures

Date	N° étude	Demandeur		Origine		Nature des échantillons			
13/05/2004	04-6-016-A	N. MARCOT		Cartographie R-G Vaucluse		Soils			
Référence échantillons	Coordonnées		TENEUR EN EAU		ESSAI AU BLEU				VBS en g de bleu / 100g de matériau
	Projection Lambert II Etendue		échantillon humide (g)	échantillon sec (g)	Prise d'essai totale humide (g)	Masse > 5 mm sec	Prise d'essai sèche (g)	Solution de bleu à 10 % (cc)	
	X (m)	Y (m)	m1	m2	m3	mc(g)	m4	v1	
1_ n° V1-p2a (28)	817 392	1 924 772	93,95	83,89	20,39	5,49	12,72	52	4,1
2_ n° M1-g2b-e (18)	822 602	1 910 195	100,68	93,10	17,99		16,64	20	1,2
3_ n° B1-t (1)	821 765	1 909 433	76,12	69,27	16,68	1,01	14,17	5	0,4
4_ n° R1-n2 (3)	820 458	1 908 543	61,98	58,91	17,15		16,30	64	3,9
5_ n° M1-g1AS (10)	821 793	1 899 618	42,42	31,36	17,50		12,94	208	16,1
7_ n° B1-g2a (18)	860 691	1 860 111	91,63	88,37	18,82		18,15	68	3,7
8_ n° P1-m3 (24)	854 732	1 862 360	79,39	69,94	17,57	0,12	15,36	34	2,2
9_ n° C1-m4 (25)	852 857	1 869 118	68,92	59,70	17,20		14,90	90	6,0
10_ n° C2-m3Mb (23)	854 732	1 862 360	55,12	47,33	17,14		14,72	49	3,3
11_ n° R2-n3 (3)	819 721	1 907 765	86,04	73,17	18,04	1,99	13,35	49	3,7
12_ n° R3-j3c-4 (2)	818 160	1 908 834	69,59	58,51	17,79	1,07	13,89	49	3,5
13_ n° B1-g1-2 (19)	815 064	1 906 615	65,72	57,44	16,86		14,74	89	6,0
14_ n° C1-g3a (17)	859 051	1 878 665	83,74	72,98	18,47		16,10	99	6,2



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

**Service Géologique Régional
Provence Alpes Côte d'Azur**
117, avenue de Luminy – BP 167
13276 Marseille cedex 09
Tél. : 04 91 17 74 77