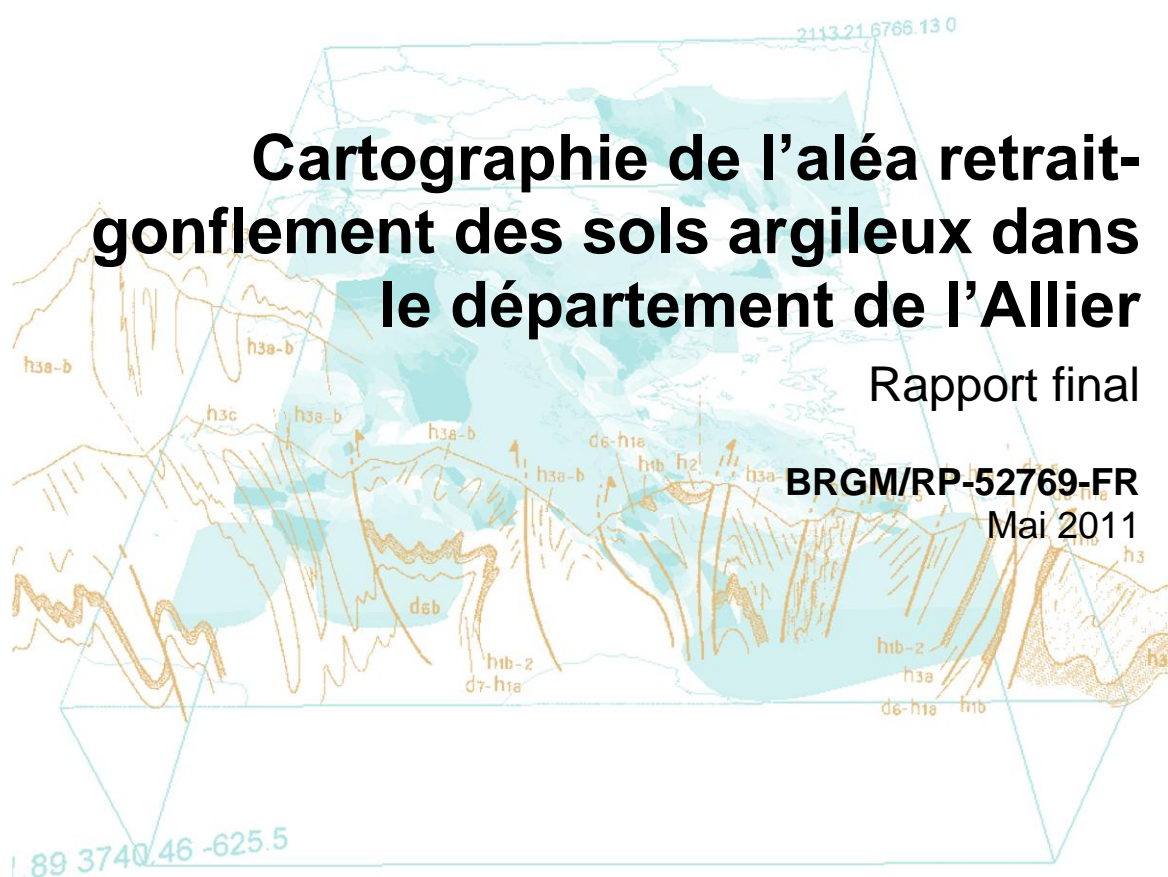


Document public



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

Rapport final

BRGM/RP-52769-FR  
Mai 2011





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

Rapport final

**BRGM/RP-52769-FR**

Mai 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets  
de Service public du BRGM 02RIS347

**Ph. Rocher, D. Rouzaire, M. Vincent, N. Bernon**

Avec la collaboration de  
**T. Dehaut, J. Restituto**

**Vérificateur :**

Nom : S. Le Roy

Date : 10/05/2011

Signature :



**Approbateur :**

Nom : Y. Siméon

Date : 16/05/2011

Signature :



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

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



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

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

**Rocher Ph., Rouzaire D., Vincent M., Bernon N., avec la collaboration de T. Dehaut, J. Restituto (2011)** - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Allier. Rapport BRGM/RP-52769-FR. 111 p., 48 ill., 5 ann., 3 cartes h.-t..

## Synthèse

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

L'Allier fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 826 sinistres déclarés liés à la sécheresse y ont été recensés et, au 04 mai 2011, 122 communes sur les 320 que compte le département ont été reconnues en état de catastrophe naturelle entre juin 1989 et décembre 2009 pour ce phénomène. Ces chiffres montrent que l'ampleur du phénomène est significative dans l'Allier, tout en restant relativement modérée comparativement à d'autres départements voisins, notamment le Cher et le Loiret en région Centre et le Puy-de-Dôme en région Auvergne, où les nombres de sinistres et les taux de sinistralité sont plus élevés. En juin 2010, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France au titre du régime des catastrophes naturelles depuis 1989, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à 4,5 milliards d'euros, dont plus de 32,8 millions d'euros (actualisés) pour le département de l'Allier (estimation CCR de septembre 2008), ce qui en fait le 31<sup>ème</sup> département touché en termes de coûts d'indemnisation versée dans ce cadre.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département de l'Allier, dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement. Cette étude, réalisée par le BRGM dans le cadre de sa mission de Service public sur les risques naturels, s'intègre dans un vaste programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux, qui concerne l'intégralité du territoire métropolitain, hormis la Ville de Paris.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional Auvergne, en collaboration avec le Service Risques Naturels et Sécurité du stockage du CO<sub>2</sub> 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 le 9 septembre 2002 avec la Direction Départementale des Territoires (DDT) de l'Allier.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argileuses et marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et

des autres documents cartographiques disponibles. Les formations ainsi identifiées sont au nombre de 19. Elles 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 ensuite été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, après hiérarchisation de celles-ci en tenant compte non seulement de la susceptibilité des formations identifiées, mais aussi de la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres en calculant pour chaque formation sélectionnée une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement bâtie, afin de permettre des comparaisons fiables entre les formations.

Sur cette carte d'aléa sont distinguées trois classes d'aléa (fort, moyen et faible) parmi les zones argileuses et marneuses.

Sur l'ensemble du département de l'Allier :

- 1,36 % de la superficie est classée en aléa fort ;
- 12,80 % en aléa moyen ;
- 62,30 % en aléa faible ;
- 23,55 % de la surface correspondent à des zones a priori non concernées par le phénomène.

Il n'est toutefois pas exclu que, dans ces derniers secteurs considérés en aléa a priori nul, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée non cartographiées, notamment dues à l'altération de divers types de roches (sédimentaires, plutoniques et métamorphiques), et susceptibles de provoquer des sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département de l'Allier, 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 (PPRN), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique de sol au niveau de la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans tous les secteurs concernés par les formations géologiques à aléas fort, moyen ou faible. 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

<b>1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Méthodologie.....</b>	<b>13</b>
2.1 FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES.....	13
2.1.1.Facteurs de prédisposition .....	14
2.1.2.Facteurs de déclenchement .....	17
2.2. MÉTHODOLOGIE .....	18
2.2.1.Cartographie des formations argileuses 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 .....	21
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres .....	21
2.2.6. Détermination des densités de sinistres .....	21
2.2.7. Carte d'aléa.....	22
<b>3. Présentation du département de l'Allier .....</b>	<b>23</b>
3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE .....	23
3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE .....	24
<b>4. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses .....</b>	<b>27</b>
4.1. OBJECTIFS, DOCUMENTS UTILISES ET PROCEDURES DE REALISATION.....	27
4.1.1.Méthode utilisée .....	27
4.1.2.Etablissement de la carte des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier.....	29
4.2. CADRE GEOLOGIQUE DEPARTEMENTAL.....	30
4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE .....	34
4.4. LITHOSTRATIGRAPHIE ET MINERALOGIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES .....	35
4.4.1.Formations du Viséen .....	37
4.4.2.Formations du Stéphaniens .....	37
4.4.3.Formations de l'Autunien gris .....	38

4.4.4. Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien.....	40
4.4.5. Formations du Trias.....	41
4.4.6. Formations du Jurassique inférieur.....	42
4.4.7. Formations de l'Eocène.....	43
4.4.8. Argiles du Cénozoïque.....	45
4.4.9. Argiles vertes et marnes de l'Oligocène.....	46
4.4.10. Formations de l'Oligocène et du Miocène.....	48
4.4.11. Sables argileux du Mio-Pliocène.....	50
4.4.12. Formations des Sables et argiles du Bourbonnais.....	51
4.4.13. Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique.....	54
4.4.14. Colluvions d'Oligocène.....	56
4.4.15. Colluvions diverses.....	56
4.4.16. Limons des plateaux.....	57
4.4.17. Complexe de Limagne.....	58
4.4.18. Alluvions anciennes.....	59
4.4.19. Alluvions récentes.....	60
4.5. REMARQUES SUR LES FORMATIONS ARGILEUSES.....	61
<b>5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses et marneuses et élaboration de la carte de susceptibilité.....</b>	<b>63</b>
5.1. GENERALITES SUR L'ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE.....	63
5.1.1. Critères retenus.....	63
5.1.2. Méthode de classification.....	63
5.2. CRITERE LITHOLOGIQUE.....	64
5.2.1. Définition du critère lithologique et notation.....	64
5.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier.....	65
5.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES.....	65
5.3.1. Définition du critère minéralogique et notation.....	65
5.3.2. Sources des données.....	66
5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier.....	66
5.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES.....	67
5.4.1. Définition du critère géotechnique et notation.....	67
5.4.2. Sources des données.....	71

5.4.3. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier .....	72
5.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE .....	74
5.5.1. Détermination du degré de susceptibilité .....	74
5.5.2. Caractérisation de la susceptibilité des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier .....	74
5.5.3. Carte de susceptibilité .....	77
<b>6. Inventaires des communes sinistrées et des sinistres « sécheresse » - Détermination du critère densité de sinistres .....</b>	<b>81</b>
6.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE.....	81
6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES.....	82
6.2.1. Localisation des communes sinistrées .....	82
6.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle .....	85
6.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES .....	88
6.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES.....	90
6.4.1. Répartitions des sinistres par formation géologique .....	90
6.4.2. Densités de sinistres par formation géologique .....	91
6.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE URBANISEE.....	92
6.5.1. Détermination de la densité de sinistres par formation .....	92
6.5.2. Détermination du critère « densité de sinistre » .....	93
<b>7. Carte d'aléa.....</b>	<b>95</b>
7.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA .....	95
7.2. CARTE D'ALEA.....	98
<b>8. Conclusion .....</b>	<b>101</b>
<b>9. Bibliographie .....</b>	<b>103</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 - Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche .....	13
Illustration 2 - Carte de présentation du département de l'Allier (source : <a href="http://www.1france.fr/image/carte-plan-departement/03-allier.jpg">http://www.1france.fr/image/carte-plan-departement/03-allier.jpg</a> ) .....	24
Illustration 3 - Normales de températures et de précipitations à Vichy-Charmeil sur la période 1971-2000 (source : Météo France) .....	25
Illustration 4 - Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du département de l'Allier .....	29
Illustration 5 - Carte géologique simplifiée du département de l'Allier .....	31
Illustration 6 - Carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier .....	36
Illustration 7 - Extension géographique des Formations du Viséen .....	37
Illustration 8 - Extension géographique des Formations du Stéphaniens .....	38
Illustration 9 - Extension géographique des Formations de l'Autunien gris .....	40
Illustration 10 - Extension géographique des Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien .....	41
Illustration 11 - Extension géographique des Formations du Trias .....	42
Illustration 12 - Extension géographique des Formations du Jurassique inférieur .....	43
Illustration 13 - Extension géographique des Formations de l'Éocène .....	45
Illustration 14 - Extension géographique des Argiles du Cénozoïque .....	46
Illustration 15 - Extension géographique des Argiles vertes et marnes de l'Oligocène .....	48
Illustration 16 - Extension géographique des Formations de l'Oligocène et du Miocène .....	50
Illustration 17 - Extension géographique des Sables argileux du Mio-Pliocène .....	51
Illustration 18 - Extension géographique des Sables et argiles du Bourbonnais .....	54
Illustration 19 - Extension géographique des Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique .....	55
Illustration 20 - Extension géographique des Colluvions d'Oligocène .....	56
Illustration 21 - Extension géographique des Colluvions diverses .....	57
Illustration 22 - Extension géographique des Limons des plateaux .....	58
Illustration 23 - Extension géographique du Complexe de Limagne .....	59
Illustration 24 - Extension géographique des Alluvions anciennes .....	60
Illustration 25 - Extension géographique des Alluvions récentes .....	61
Illustration 26 - Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation .....	64
Illustration 27 - Note lithologique des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier .....	65

Illustration 28 - Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants.....	66
Illustration 29 - Note minéralogique des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier.....	67
Illustration 30 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation.....	69
Illustration 31 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation.....	70
Illustration 32 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation.....	70
Illustration 33 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation.....	71
Illustration 34 - Note géotechnique des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier.....	73
Illustration 35 - Indicateur du degré de susceptibilité.....	74
Illustration 36 - Degré de susceptibilité des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier.....	75
Illustration 37 - Surfaces d'affleurement des formations argileuses et marneuses classées par degré de susceptibilité.....	76
Illustration 38 - Carte de susceptibilité au retrait gonflement des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier.....	79
Illustration 39 - Carte des communes sinistrées du département de l'Allier (source : base Gaspar – prim.net – extraction du 04/05/2011).....	83
Illustration 40 – Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle « sécheresse » concernant des communes de l'Allier.....	84
Illustration 41 - Durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle "sécheresse" et nombre de sinistres recensés et localisés par commune.....	87
Illustration 42 - Carte de répartition par commune des sinistres recensés dans le département de l'Allier.....	89
Illustration 43 - Répartition des sinistres par formation géologique retenue dans le département de l'Allier.....	90
Illustration 44 - Carte des zones bâties dans le département de l'Allier selon la BD Topo de l'IGN.....	93
Illustration 45 - Densité de sinistres par formation ramenée à 100 km <sup>2</sup> de surface bâtie et détermination du critère densité de sinistres.....	94
Illustration 46 - Calcul du niveau d'aléa de chacune des formations argileuses retenues dans le département de l'Allier.....	96
Illustration 47 - Classement des formations géologiques en fonction de leur niveau d'aléa.....	97
Illustration 48 : Carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Allier.....	99

## Liste des annexes

Annexe 1 Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles .....	113
Annexe 2 Liste des 122 communes de l'Allier reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse à la date du 04 mai 2011 et à la réhydratation des sols et dates des périodes de reconnaissance (source des données : base GASPAR – prim.net) .....	117
Annexe 3 Liste des sinistres recensés dans le cadre de cette étude .....	125
Annexe 4 Liste et coordonnées des bureaux d'études et organismes ayant fourni des données géotechniques.....	143
Annexe 5 Résultats des analyses minéralogiques et géotechniques réalisées dans le cadre de cette étude .....	147

## Liste des cartes hors-textes (échelle 1/125 000)

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

# 1. Introduction

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

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

Sous un climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont souvent déconsolidées, humidifiées et elles 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 en dessous de laquelle les déformations dues au retrait-gonflement deviennent peu significatives) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue de façon notable. Une période de sécheresse intense ou prolongée provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol, soumise à évapotranspiration, ce qui se traduit par une rétraction et donc des tassements du sol. Lorsque ces mouvements se produisent de manière non uniforme (et c'est généralement le cas, du fait de l'hétérogénéité des terrains mais aussi des différences de teneurs en eau entre partie exposées ou non à l'évaporation), il apparaît localement des pertes de contact entre la base des fondations et le sol d'assise, ce qui induit dans la structure du bâtiment des sollicitations parfois excessives, qui se traduisent par des fissurations, en particulier pour des maisons individuelles peu rigides.

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle. Depuis 1989 (début d'application de cette procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols), environ 8 000 communes françaises réparties dans 90 départements ont été reconnues en état de catastrophe naturelle à ce titre. En juin 2010, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France au titre du régime des catastrophes naturelles depuis 1989, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à 4,5 milliards d'euros.

La région Auvergne a été particulièrement affectée par ce phénomène puisque qu'elle renferme deux des trente-cinq départements qui présentent les coûts d'indemnisation les plus élevés au niveau national.

Le département de l'Allier fait partie des départements français touchés par le retrait-gonflement des sols argileux, même si l'ampleur du phénomène n'y est pas aussi forte que dans d'autres départements voisins (Cher, Puy-de-Dôme, Loiret et Loir-et-Cher notamment). Ce département, de 7 378 km<sup>2</sup> de superficie compte 343 114 habitants (recensement INSEE 2006). Au total, 122 communes sur 320 y ont déjà été reconnues en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse à la date du 04 mai 2011, pour des périodes comprises entre 1989 et 2009.

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, du Développement durable, des Transports et du Logement 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 a élaboré une méthodologie de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles à l'échelle départementale. L'intérêt d'une telle étude est multiple :

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

La présente étude a été réalisée par le Service Géologique Régional Auvergne, 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 apporté par le fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Direction Départementale des Territoires (DDT) de l'Allier.

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 concerne l'ensemble du territoire français métropolitain hormis la ville de Paris.

## 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 sols argileux 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.

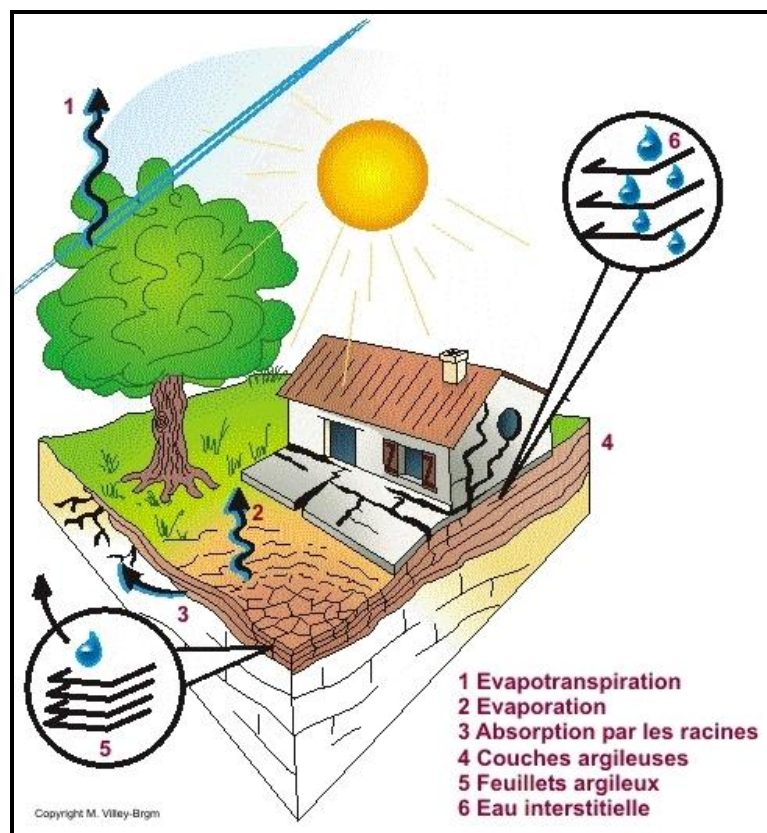


Illustration 1 - Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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**

#### ***Nature du sol***

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

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

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

En particulier, certaines formations sont susceptibles de s'altérer localement, ce qui peut se traduire par la présence en surface de poches argileuses non identifiées sur les cartes géologiques, mais dont la seule présence suffit à expliquer certains sinistres ponctuels. C'est notamment le cas de formations calcaires, par karstification, ou de formations de socle (granites, schistes...), par altération météorologique.

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

### ***Contexte hydrogéologique***

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

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

## **Géomorphologie**

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

La présence d'une pente favorise le ruissellement et le drainage par phénomène gravitaire, tandis qu'une morphologie plate sera d'avantage susceptible de recueillir des eaux stagnantes qui ralentiront la dessiccation du sol. Par ailleurs, un terrain en pente exposé au Sud sera plus sensible à l'évaporation du fait de l'ensoleillement, qu'un terrain plat ou exposé différemment. En outre, les formations argileuses et marneuses qui affleurent sur le flanc des vallées peuvent occasionner, localement, un fluage lent du versant et la formation de loupes argileuses. Ce phénomène vient s'additionner aux désordres consécutifs à la seule dessiccation du sol.

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

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

## **Végétation**

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

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

Ainsi, on considère qu'un peuplier ou un saule adulte 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.

### ***Défauts de construction***

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

L'examen de dossiers d'expertises 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, en particulier lorsque des arbres sont plantés trop près des bâtiments. Par ailleurs, il est à noter que les désordres ne se limitent pas aux maisons récentes, mais concernent aussi des bâtiments anciens qui semblaient avoir été épargnés jusque là.

## **2.1.2. Facteurs de déclenchement**

### ***Phénomènes climatiques***

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

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

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

### **Facteurs anthropiques**

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

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

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

## **2.2. MÉTHODOLOGIE**

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

### **2.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses**

La cartographie des formations argileuses et marneuses du département a été réalisée à partir de divers documents :

- cartes géologiques à 1/50 000 publiées par le BRGM (20 feuilles sur un total de 25 concernant pour tout ou partie le département de l'Allier étaient publiées et disponibles lors de l'étude), ou sur le point de l'être (feuille de Châteaumeillant), et tous types de documents autres disponibles (maquettes d'auteurs, cartes de la France à 1/80 000, publications scientifiques, ...) correspondant aux cartes de Charolles, Lapalisse et Le Donjon ;
- coupes d'ouvrages souterrains (forages, sondages, ...) répertoriées dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM ;
- données ponctuelles des rapports d'expertise de sinistres.

Cette cartographie, à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), qui a été réalisée après harmonisation et numérisation des contours géologiques des formations argileuses et marneuses, est présentée sous format papier à l'échelle 1/125 000.

Ce travail a été conduit avec comme fil conducteur la valorisation du plus grand nombre de données accessibles à ce jour, en évitant toute perte d'information. Pour cette raison, il est évident que la qualité des données retranscrites cartographiquement est variable d'une carte à l'autre, notamment du fait des dates de leur publication et de leurs auteurs.

Dans une première étape, ont été cartographiées toutes les formations argileuses et 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, des regroupements ont été réalisés dans une seconde étape, sur la base de la lithologie (en considérant que des natures lithologiques voisines laissaient supposer des comportements semblables vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement) et de la stratigraphie. Cela a permis d'aboutir à la carte de synthèse qui comprend 19 formations argileuses et marneuses différentes, conformément à la méthodologie générale de l'étude.

### **2.2.2. Caractérisation minéralogique et géotechnique des formations**

L'analyse de tous les documents disponibles en bibliographie (notices des cartes géologiques, rapports d'études et d'expertises, publications scientifiques, données inédites non publiées à ce jour, ...) a permis de définir les caractéristiques minéralogiques des formations argileuses et marneuses, et en particulier la présence et la proportion des minéraux gonflants (smectites, interstratifiés...) dans la fraction argileuse. Ces données ont été complétées par de nouvelles analyses prises en charge par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées (LRPC) de Clermont-

Ferrand, partenaire technique de cette étude, à partir d'un échantillonnage spécifique réalisé en collaboration avec le BRGM.

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses et marneuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de nombreux rapports d'expertise de sinistres réalisés par différents bureaux d'études, ainsi que de rapports géotechniques relatifs à des infrastructures routières, provenant du LRPC de Clermont-Ferrand notamment. Ceux-ci nous ont été transmis soit par les communes, soit par des compagnies d'assurance, soit directement par les bureaux d'études qui ont bien voulu nous laisser consulter leurs archives. A l'instar des données minéralogiques, ces données bibliographiques ont été complétées par de nouveaux essais géotechniques, réalisés par le LRPC de Clermont-Ferrand à partir des mêmes échantillons que ceux analysés pour la minéralogie. Cette nouvelle caractérisation géotechnique a porté sur trois paramètres, déterminés dans les conditions normatives en vigueur : la teneur en eau naturelle pondérale ( $W_{nat}$ ), la proportion d'éléments de taille inférieure à 80  $\mu\text{m}$  (ou passants à 80  $\mu\text{m}$ , exprimés en %), et la valeur au bleu de méthylène (VBS ou  $V_b$ , exprimée en g de bleu pour 100 g de matériau).

Il est à noter que les cartes associées à l'étude pédologique du Val d'Allier, réalisée par l'INRA en 1966, n'apportent pas de données valorisables dans le cadre de la présente étude dans la mesure où les caractéristiques des sols sont différentes et ne peuvent être corrélées à celles retenues dans cette étude pour les notations.

Pour des formations géologiques qui s'étendent au-delà du département et qui ne sont pas sujettes à des variations latérales de faciès, les données ont été complétées par celles recueillies dans le cadre des études similaires menées dans les départements voisins : le Cher pour la partie nord et le Puy-de-Dôme pour la partie sud.

### **2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement**

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

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

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

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

#### **2.2.4. Carte de susceptibilité**

En définitive, la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement a été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département, après évaluation du degré de sensibilité de ces formations. Les critères utilisés pour établir cette hiérarchisation sont les caractéristiques lithologiques, minéralogiques et géotechniques 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 y ont été identifiés.

Pour ce faire, un recensement des sinistres "sécheresse" a été effectué auprès des 50 communes du département qui avaient été reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse avant 2003, date de l'étude. Cette enquête auprès des mairies a été conduite sous différentes formes : systématiquement par courriers, dans de nombreux cas par contacts téléphoniques, et plus occasionnellement par des visites en mairies, dans tous les cas dans le but de recenser le plus complètement possible les sinistres et de les localiser avec la plus grande précision.

Ces données ont été complétées par celles recueillies directement auprès de la Caisse Centrale de Réassurance, des bureaux d'études et de compagnies d'assurance. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 826 sites de sinistres qui ont pu être localisés sur les cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ils sont répartis dans les 50 communes qui avaient fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à cette date, et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département de l'Allier avant 2003.

#### **2.2.6. Détermination des densités de sinistres**

Pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée est déterminée par superposition avec la carte des formations argileuses et marneuses du département. Ceci permet de déterminer le nombre de sinistres recensés pour chacune des formations géologiques susceptibles et, par suite, de calculer une densité

de sinistres par formation (en pondérant par la surface d'affleurement de chacune des formations, afin d'obtenir des chiffres comparables entre eux).

Dans un souci de rigueur et étant donnée la grande diversité du taux d'urbanisation d'un point à un autre du département, il paraît nécessaire de pondérer ces densités de sinistres par le taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux est calculé à partir des surfaces de bâtiments, issues le plus souvent de la BD Topo de l'IGN.

Ainsi, une hiérarchisation des formations géologiques argileuses et marneuses est réalisée en fonction du taux de sinistralité ramené à 100 km<sup>2</sup> de formation géologique réellement bâtie.

### **2.2.7. Carte d'aléa**

La carte départementale d'aléa est établie à partir des contours de la carte de synthèse des formations argileuses ou marneuses : le niveau d'aléa vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement a été défini en croisant, pour chaque formation, la note de susceptibilité et la densité de sinistres ramenée à 100 km<sup>2</sup> de formation bâtie, en donnant toutefois un poids deux fois plus important à la susceptibilité. La carte obtenue est numérisée et son échelle de validité est le 1/50 000.

## 3. Présentation du département de l'Allier

### 3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

Le département de l'Allier est le département le plus septentrional de la Région Auvergne, bordé au nord par les départements du Cher et de la Nièvre, à l'est par ceux de la Saône-et-Loire et de la Loire, à l'ouest par celui de la Creuse et au sud par celui du Puy-de-Dôme (Illustration 2).

Plusieurs entités géographiques s'y individualisent :

- au centre, la région très agricole de la plaine de la Limagne où sont situées les agglomérations de Moulins, Vichy et de Gannat ;
- à l'ouest, la terminaison nord des Combrailles, prolongement géomorphologique du plateau portant la Chaîne des Puys ;
- sur toute la moitié nord du département s'étend le Pays Bourbonnais, région très variée et riche historiquement, avec à l'est la Sologne Bourbonnaise (Jaligny-sur-Besbre) et à l'ouest le bocage Bourbonnais (Bourbon-l'Archambault, Montluçon). Ces deux régions du Bourbonnais sont séparées par la rivière Allier ;
- au sud-est, la Montagne Bourbonnaise (terminaison nord des Monts du Forez) où l'on trouve le point culminant du département, le Puy de Montoncel (1 292 m), à la limite avec le département du Puy-de-Dôme.

Le département est traversé par plusieurs cours d'eau :

- l'Allier qui s'écoule du sud vers le nord à travers la Limagne (Vichy, Moulins) ;
- la Loire qui marque la limite avec le département de la Saône-et-Loire (région Bourgogne), au nord-est du département ;
- la Sioule qui se jette dans l'Allier au Nord de Saint-Pourçain (culture de la vigne) ;
- le Cher dont le cours supérieur traverse la région de Montluçon.

D'une superficie de 7 378 km<sup>2</sup>, le département comptait, en 2006 selon l'INSEE, 343 114 habitants répartis dans 320 communes, soit une densité de population de 46,5 hab./km<sup>2</sup>. L'Allier a pour chef-lieu Moulins et pour sous-préfectures Montluçon et Vichy.

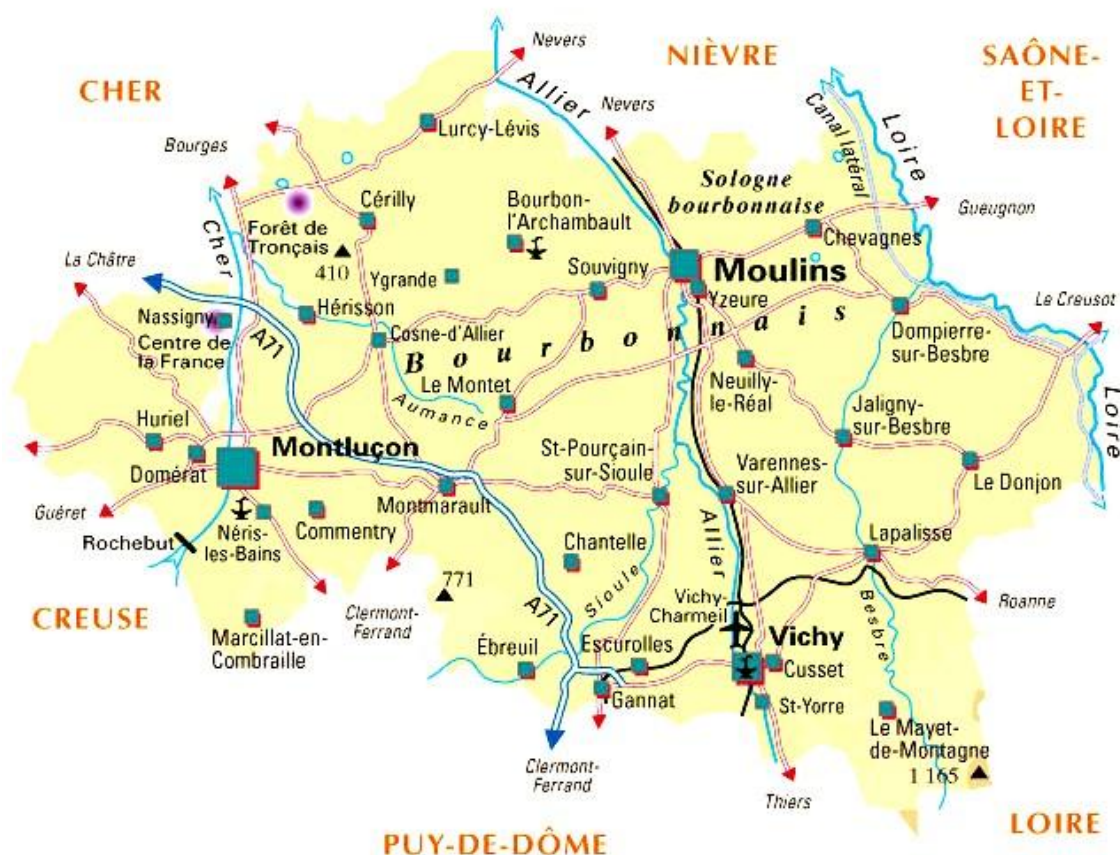


Illustration 2 - Carte de présentation du département de l'Allier (source : <http://www.1france.fr/image/carte-plan-departement/03-allier.jpg>)

### 3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département de l'Allier est compris entre deux zones climatiques : une zone océanique plus ou moins altérée au nord et à l'ouest, et une zone de climat de montagne au sud. On peut schématiquement distinguer trois zones homogènes.

Les régions de plaines, à faible altitude, et les vallées fluviales (Sioule, Allier, Cher) connaissent des quantités de précipitations et les températures relativement similaires. Une exception est la région d'Ebreuil qui bénéficie d'une moindre pluviosité avec seulement 610 mm, grâce à une position géographique privilégiée bénéficiant de l'effet de foehn provoqué par le massif de La Bosse.

Les collines d'altitude moyenne (400 à 600 m), au centre du département dans prolongement de La Bosse, ont une pluviométrie qui avoisine 700 à 850 mm et, l'hiver, les conditions météorologiques y sont souvent critiques (neige et brouillard : entre 15 et 30 jours de neige en moyenne par an et de 40 à 60 jours de brouillard).

La montagne de La Bosse, vers Lalizolle, et les Monts de la Madeleine (entre 600 et 1 200 m d'altitude) se caractérisent par des températures moyennes plus basses et une pluviosité très nettement supérieure au reste du département (1 000 à 1 200 mm). Le nombre de jours de neige y atteint en moyenne 30 jours. Les conditions d'enneigement de la Montagne Bourbonnaise permettent la pratique des sports d'hiver, et notamment du ski de fond.

Les enregistrements de la station de Vichy-Charmeil sur la période 1971 – 2000 indiquent une pluviométrie oscillant entre 45 mm et 100 mm, la période de fortes précipitations correspondant au printemps. Les hivers en revanche sont relativement secs et frais (Illustration 3)

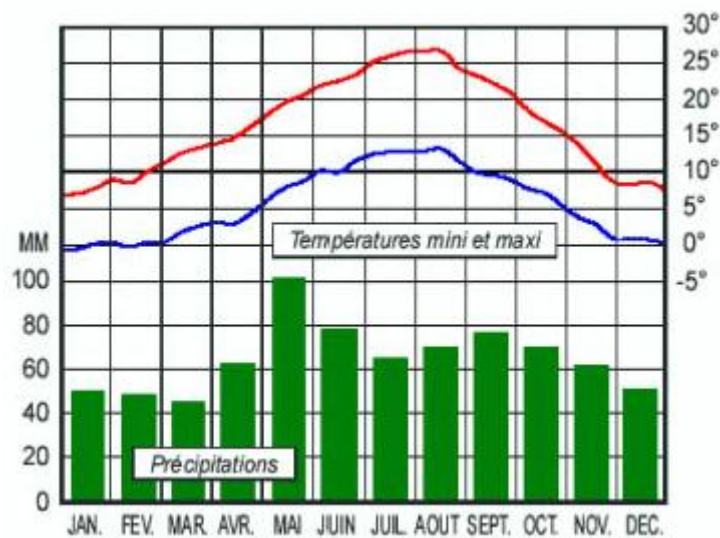


Illustration 3 - Normales de températures et de précipitations à Vichy-Charmeil sur la période 1971-2000 (source : Météo France)



## 4. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses

### 4.1. OBJECTIFS, DOCUMENTS UTILISES ET PROCEDURES DE REALISATION

#### 4.1.1. Méthode utilisée

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

Ce travail a été réalisé à partir des 20 cartes géologiques à 1/50 000 publiées lors de l'étude, qui couvrent tout ou partie du département (Illustration 4). Les 5 autres cartes n'étant pas publiées lorsque cette étude a été menée, des maquettes et des cartes au 1/80 000 ont été valorisées en complément.

Ce sont les feuilles de (les références ci-après sont celles des notices explicatives ; celles des cartes sont données en bibliographie) :

- Charenton-du-Cher (573) : Obert D., Gély J.P., Mathis V., Normand M., Trouillet A., Freytet P. (1997) ;
- Lurcy-Lévis (574) : Fleury R., Lablanche G., Lefavrais-Raymond A., Gros Y., Mathis V., Belkessa R. (1989) ;
- Dornes (575) : Clozier L., Turland M., Belkessa R., (1982) ;
- Bourbon-Lancy (576) : Delfour J., Clozier L., Carrat H.G., Cornet J., Lefavrais-Raymond A. (1990) ;
- Hérisson (596) : Turland M., Hottin A.M., Cojean R., Ducreux J.L., Debeglia N., D'Arcy D., Mathis V., Carroué J.P., Piboule M. (1990) ;
- Bourbon-l'Archambault (597) : Turland M., Mathis V., Grolier J., Monier G., Croisé G., Debriette P.J., Milhau D., Mercier-Batard F., Carroué J.P., Piboule M., Debeglia N. (1990) ;
- Moulins (598) : Giot D., Gentilhomme P., Bouiller R., Clozier L., Fleury R., Belkessa R., Rey R., Châteauneuf J.J., Tourenq J. (1976) ;
- Dompierre-sur-Besbre (599) : Delfour J., Feys R., Carrat H., Clozier L., Mercier-Batard F., Cornet J. (1989) ;
- Paray-le-Monial (600) : Donzeau M., Chèvremont P., Marteau P., Debriette P.J., Jauffret D., Lambert J., Mouterde R., Thiéblemont D., Wernli R., Wyns R. (2001) ;
- Boussac (618) : Cohen-Julien M., Quenardel J.M., Freytet P., Lemaire D., Lerouge G., Le Cœur C., Delbos R. (1991) ;
- Montluçon (619) : Turland M., Hottin A.M., Feys R. (1989) ;
- Montmarault (620) : Turland M., Gentilhomme P., Duthou J.L., D'arcy D., Carroué J.P., Debeglia N. (1991) ;

- Saint-Pourçain-sur-Sioule (621) : Giot D., Gentilhomme P., Bouiller R., Clozier L., Fleury R., Gagnière G., Rey R., Châteauneuf J.J., Tourenq J. (1976) ;
- Evaux-les-Bains (643) : Hottin A.M., Gros Y., Marteau P., Marchand G., Maurin G., Debacque G., Constants J., Turland M., Freytet P. (1991) ;
- Montaigut-en-Combrailles (644) : Desthieux F., Bambier A. (1980) ;
- Gannat (645) : Grolier J., Giot D., Barruol J., Carroué J.P. , Gagnière G., Risler J.J. (1976) ;
- Vichy (646) : Dadet P., Clozier L., Giot D., Jeambrun M., Fleury R., Belkessa R., Carroué J.P. , Batard F. , Farjanel G., Châteauneuf J.J., Tourenq J. (1980) ;
- Aigueperse (669) : Alsac C., D'arcy D., Bouiller R., Féraud J., Giot D., Jeambrun M. (1988) ;
- Maringues (670) : Dadet, P. Jeambrun M., Clozier L., Fleury R., Giot D., Gagnière G., Batard F., Carroué J.P. (1981) ;
- Le Mayet-de-Montagne (671) : Jeambrun M., Le V.T., Bouiller R. (1978).

Ces données cartographiques vectorisées ont été complétées par :

- la maquette à 1/50 000 de la feuille Châteaumeillant (595), en cours de finalisation et de correction lors de l'étude, et publiée depuis ;
- les cartes à 1/80 000 de Charolles (147) et de Roanne (158) ;
- diverses maquettes d'auteurs disponibles, à différentes échelles, se rapportant aux territoires des feuilles non publiées lors de l'étude du Donjon (622) et de Lapalisse (647). La feuille du Donjon (622) a depuis été publiée.

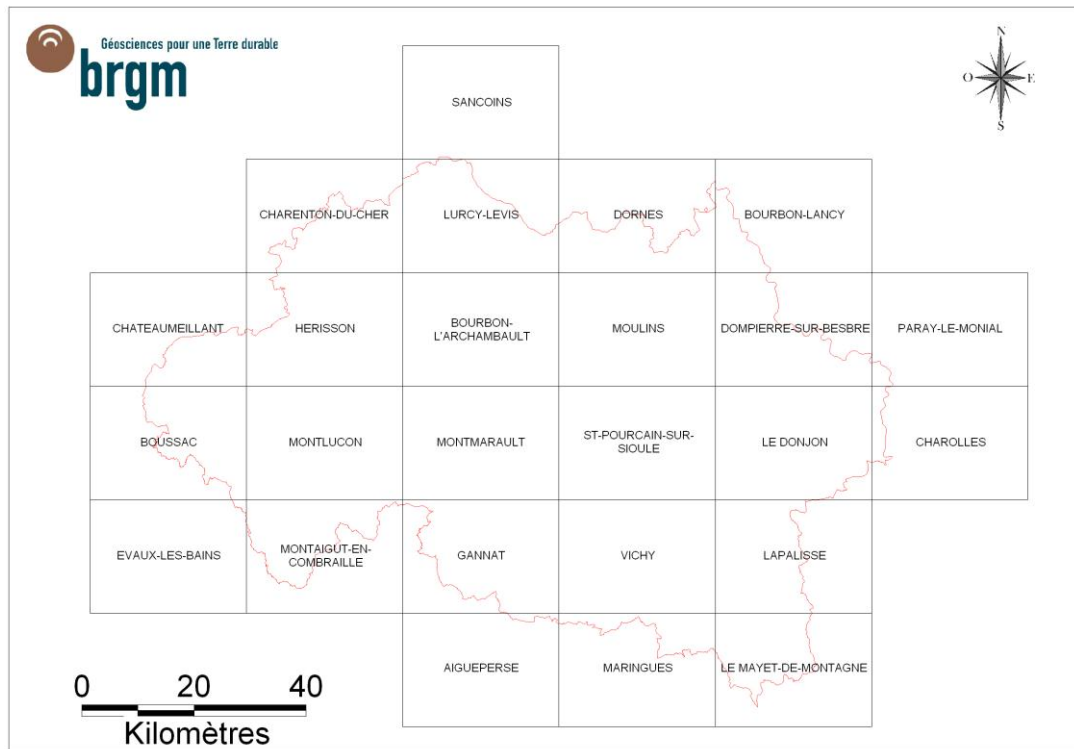


Illustration 4 - Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du département de l'Allier

Les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 ont tout d'abord été numérisées en mode vecteur, dans un système de coordonnées géographique commun (Système Lambert II étendu). Chaque formation géologique a été distinguée et indexée ainsi que toutes les indications structurales et notations ponctuelles dans des couches différentes (polygones, lignes, points).

#### 4.1.2. Etablissement de la carte des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier

Une sélection des niveaux distingués sur les cartes géologiques a été réalisée en ne retenant que les formations possédant une composante argileuse. Les altérations développées sur les calcaires, non cartographiées sur les cartes géologiques, n'ont pas été retenues, bien que des accumulations locales de matériaux argileux (karst et lapiaz) puissent exister.

##### **La sélection des formations argileuses aboutit à 19 niveaux distincts.**

Les argiles sont soit disséminées dans toute la formation géologique (*Marnes oligocènes* par exemple), soit associées et intercalées dans d'autres faciès (argiles de la *Formation des Sables et Argiles du Bourbonnais* par exemple). Lorsque la distinction cartographique des niveaux strictement argileux n'était pas faite à l'échelle de la carte au 1/50 000<sup>ème</sup>, la totalité des contours des formations retenues a été reportée sur la carte synthétique.

Les formations géologiques contenant une composante argileuse sont sélectionnées et répertoriées en fonction de la stratigraphie et de la lithologie. Cette distinction est indispensable car la nature et les proportions relatives des minéraux varient même si des faciès sont similaires.

Pour les formations colluviales et les altérites, le principe d'identification mis en œuvre dans les cartes géologiques, basé surtout sur l'origine des matériaux, a été repris.

#### **4.2. CADRE GEOLOGIQUE DEPARTEMENTAL**

D'un point de vue géologique, le département de l'Allier, qui ne recèle pas de formations volcaniques, peut être subdivisé en six principales entités (Illustration 5) :

- les zones du socle plutonique et métamorphique, issu de l'orogénèse hercynienne, de la Montagne Bourbonnaise et de la région située à l'ouest de la faille bordière occidentale de la Limagne, allant de Saint-Pourçain à la limite du département avec celui de la Creuse ;
- quatre ensembles de bassins sédimentaires : la terminaison méridionale du Bassin de Paris au nord, les bassins paléozoïques de Bourbon l'Archambault et périphériques à celui-ci, les petits bassins tertiaires situés dans le tiers occidental du département (fossé du Cher et bassin de Cosne d'Allier notamment), et enfin la Limagne d'Allier (ou Limagne Bourbonnaise, allant jusqu'au bassin de la Loire à l'Est) qui est de loin la plus importante en superficie.

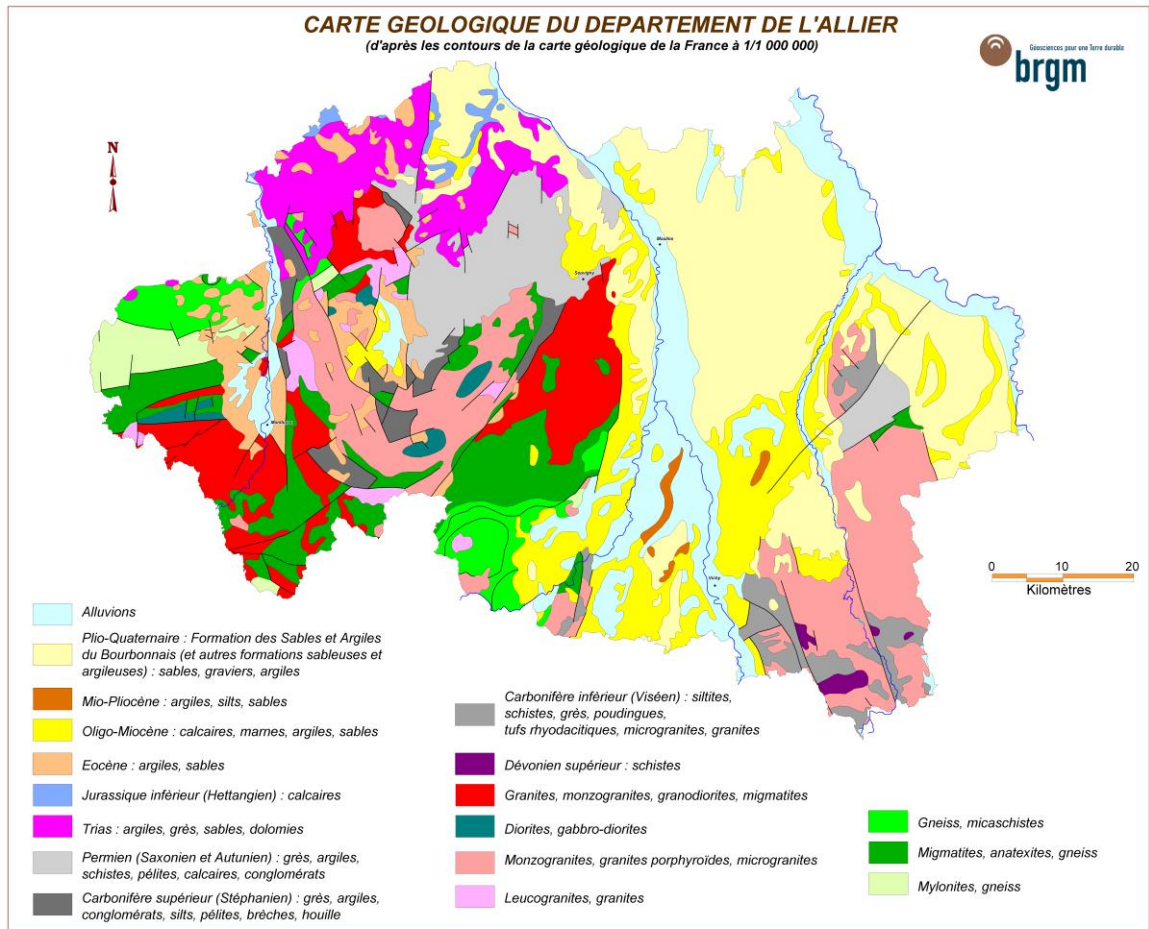


Illustration 5 - Carte géologique simplifiée du département de l'Allier

La Montagne Bourbonnaise, au sud-est du département, de direction structurale générale nord-nord-ouest - sud-sud-est, est caractérisée par la présence d'un ensemble de formations granitiques s.l. (granites porphyroïdes et équigranulaires, microgranites, granophyres) au sein de tufs rhyolitiques du Viséen supérieur, de terrains sédimentaires et volcaniques dévono-dinantiens, d'un complexe andésitique et d'anatexites, constituant pour partie le bassin de l'Ardoisière.

Le secteur de Saint-Léon, au nord du bassin de Bert - Montcombroux-les-Mines, est à rattacher au socle plutonique et métamorphique de la Montagne Bourbonnaise.

La moitié occidentale du département est caractérisée par la présence de différents massifs dans le prolongement des unités limousines et des Combrailles. Il s'agit essentiellement des entités suivantes :

- à l'ouest de la rivière Cher, les terrains se rattachent aux unités du nord-ouest du Massif central : massif de Guéret (granites et anatexites), unité de Boussac (migmatites principalement) et série d'Aigurande (gneiss, micaschistes et migmatites) ;

- à l'est de la rivière Cher, et jusqu'à la limite occidentale de la Limagne d'Allier, les terrains métamorphiques et granitiques, qui se rattachent à ceux des Combrailles (gneiss, micaschistes et migmatites) plus au sud, sont les formations encaissantes de nombreux massifs granitiques intrusifs qui constituent le horst de l'Aumance, les massifs de Cérilly et de Montmarault, et le massif de Tréban à l'est du sillon houiller ;
- au sud des précédents massifs et à l'est du sillon houiller, la série cristallophyllienne inverse de la Sioule est composée de roches allant des micaschistes à deux micas aux anatexites à cordiérite, en passant par des gneiss, leptynites et migmatites.

Dans les secteurs où elles ont été préservées de l'érosion, les altérites et les colluvions (matériaux sablo-argileux) provenant de l'altération, présumée éocène, et du remaniement plus ou moins important des produits d'altération du socle plutonique et métamorphique peuvent être localement épaisses (plusieurs dizaines de mètres).

Les bassins sédimentaires les plus anciens, d'âge tardi-hercynien, sont liés aux grands accidents structuraux du Massif central, en particulier au Sillon houiller. Dans le département de l'Allier, il s'agit des bassins stéphaniens du Val de Cher (ou fossé du Cher, dans la région de Montluçon), de Commeny, de Doyet-Montvicq, de Bourbon-l'Archambault, de l'Aumance / Buxières-les-Mines et de Noyant. Les formations y sont typiquement des grès parfois arkosiques et des conglomérats à matrice d'arène silto-argileuse, associés à des niveaux charbonneux, des schistes, des brèches, des poudingues, des intrusions magmatiques et des laves.

Les formations permienes (Autunien et Saxonien) prédominent en remplissage du vaste bassin sédimentaire de Bourbon-l'Archambault où elles reposent sur le socle ou sur le Stéphaniens, et où elles sont recouvertes par des sédiments triasiques ou tertiaires. Elles sont également présentes dans les bassins de l'Aumance et de Noyant et comprennent des grès fins à grossiers, des conglomérats, des sables, des pélites, des silts, des argiles et des schistes, associés localement à des niveaux charbonneux, bancs carbonatés, dépôts siliceux et paléocinérites d'origine volcanique.

Il est à noter que le petit bassin de Bert - Montcombroux-les-Mines, situé au nord de la Montagne Bourbonnaise, est à rattacher à cet ensemble stéphano-permien.

Les seules formations mésozoïques, qui représentent la terminaison méridionale du Bassin de Paris, sont cantonnées au nord-ouest du département de l'Allier, au nord du horst de l'Aumance où elles recouvrent le socle, et dans le bassin sédimentaire paléozoïque de Bourbon-l'Archambault où elles reposent sur des sédiments stéphaniens et surtout permien. Il s'agit essentiellement de formations du Trias (Rhétien) : sables, grès arkosiques, calcaires ou kaoliniques et argiles, auxquels peuvent être associés des dolomies, du gypse et des niveaux carbonatés. Les dépôts du Jurassique inférieur (Hettangien et Sinémurien), qui n'ont qu'une faible extension géographique en limite nord-ouest du département où elles bordent les dépôts du Trias, sont représentés par des calcaires, des marnes et localement des dolomies.

Les formations sédimentaires d'âge éocène (Eocène moyen et supérieur), qui marquent le début du remplissage sédimentaire des bassins tertiaires, affleurent largement dans le tiers occidental du département, notamment sur les marges et au

sein des bassins du Val de Cher (fossé du Cher), de Commeny, de Doyet, de Cosne d'Allier et de Couleuvre. Elles sont également présentes ponctuellement sur les bordures du fossé de Limagne et dans le bassin d'Ebreuil. Elles sont essentiellement représentées par des faciès sableux et argileux : sables quartzo-feldspathiques, argiles graveleuses, sableuses, silteuses et argilites. Les calcaires, silixites, marnes et argilites sont rares.

Les formations oligo-miocènes présentes en remplissage des bassins tertiaires du département, et notamment de la Limagne d'Allier, correspondent à plusieurs cycles sédimentaires superposés, pouvant localement être incomplets ou absents du fait des arrêts ou ralentissements de la subsidence de tout ou partie du bassin. Ce dernier présente une structure profonde complexe, caractérisée par une succession de fosses et de seuils.

Les formations de l'Oligocène (Oligocène supérieur et Stampien), et localement du Miocène inférieur (Aquitaniens) qui leur succèdent en continu sur une aire géographique beaucoup plus réduite du fait de la régression marine progressive, comprennent des argiles (dont des argiles vertes à Cypris), des marnes, des calcaires (dont des édifices récifaux) et des faciès détritiques (sables, grès, arkoses, ...).

Les formations dites « des *Sables et argiles du Bourbonnais* » sont de loin les formations sédimentaires les plus étendues géographiquement : elles affleurent largement dans la moitié orientale du département. En Limagne et Sologne bourbonnaises, elles s'inscrivent dans les limites des bassins d'effondrement oligocènes (Limagne d'Allier et bassin de la Loire), excepté à l'extrémité nord-est du département où elles sont plus extensives et reposent directement sur le socle granitique. Vers le nord (Bassin de Paris), leur extension est limitée au fossé de la Loire encadré de failles nord-sud, où elles surmontent les terrains mésozoïques. Il s'agit d'un très important ensemble d'épandages fluviaux et fluvio-lacustres transgressifs sur l'Oligo-Miocène, d'âge plio-quatenaire, répartis selon deux cours principaux qui préfigurent en grande partie ceux de la Loire et de l'Allier, et déposés avant l'enfoncement des vallées quaternaires. Cet ensemble est composé de matériaux empruntés aux altérites issues du socle et de produits remaniés de l'Oligocène détritique.

Les formations superficielles les plus récentes sont représentées par :

- les limons des plateaux, correspondant à une couverture limoneuse continue composée de dépôts limono-sableux plus ou moins argileux, parfois à éléments grossiers ;
- le « complexe de Limagne », d'âge tardi-glaciaire voire franchement post-glaciaire, correspondant à des dépôts de marécages ou de marais aujourd'hui asséchés, accumulés dans des dépressions, et de composition variable (contenant des argiles, des marnes, des sables, et localement des galets) ;
- les alluvions anciennes, notamment présentes dans les vallées actuelles du Cher, de la Loire, de la Besbre, de l'Allier et de la Sioule, ainsi que dans une vaste zone située au sud de la confluence entre ces deux dernières rivières ;

- les alluvions dites "récentes", ou modernes, correspondant à la plus basse des nappes alluviales, qui occupe le lit mineur et les zones inondables (plaine alluviale). Dans ces vallées, elles sont, comme les précédentes, représentées par des matériaux grossiers (sables, graviers, galets) et peuvent contenir des matériaux fins sablo-limono-argileux.

### 4.3. CONTEXTE HYDROGEOLOGIQUE

Chacun des principaux grands ensembles géologiques présente un caractère propre du point de vue des ressources en eau.

Les terrains hercyniens sont affectés par des réseaux denses de fractures tectoniques. Les aquifères se rencontrent dans les horizons fissurés mais surtout dans la zone supérieure altérée (arènes). L'épaisseur des arènes peut localement atteindre plusieurs mètres à plusieurs dizaines de mètres et alimenter, souvent de façon gravitaire, de petits captages dans les villages isolés. Les débits de ces sources sont généralement faibles et irréguliers.

L'altération des schistes ou grès d'âge houiller (Stéphanien) ou permien conduit à la formation d'un manteau sablo-argileux moins perméable que les arènes granitiques, qui peut néanmoins donner de petites sources saisonnières.

Les grès du Trias présentent des caractéristiques hydrogéologiques voisines de celles des grès permien.

Les sédiments éocènes et oligocènes constituent des aquifères peu sollicités car la ressource est irrégulière et peu abondante. L'irrégularité des débits est due à la perméabilité des calcaires : leur perméabilité de fissures n'offre qu'une très faible capacité de stockage.

Les formations des *Sables et Argiles du Bourbonnais* sont le siège d'aquifères discontinus et hétérogènes, avec de petites nappes isolées, parfois superposées. Ces formations sont peu perméables et peu productives. Elles sont drainées par le réseau hydrographique naturel et sont parfois exploitées par des puits traditionnels.

Les alluvions récentes des principales rivières sont essentiellement sablo-graveleuses et peuvent atteindre 8 m d'épaisseur. La puissance des aquifères est variable : 3-4 m près de Vichy, 7 m à Billy (nappe alluviale de l'Allier). Ces alluvions présentent un intérêt majeur en tant que réservoir, car elles ont une bonne perméabilité et présentent des facilités de réalimentation (soutien par les cours d'eau).

L'alimentation en eau potable des principales villes du département se fait grâce aux champs captants implantés à proximité immédiate du Cher ou de l'Allier.

Les alluvions anciennes sont en général plus altérées et plus argileuses que les alluvions récentes. Les nappes sont discontinues et de faible débit. Aucun captage important ne sollicite cette formation, et seules quelques sources alimentent de petites installations communales ou familiales.

La répartition irrégulière des captages dans le département de l'Allier est fonction des caractéristiques hydrogéologiques des formations géologiques présentes dans le département.

Les ouvrages sont essentiellement distribués de part et d'autre des principaux cours d'eau : l'Allier (dont les alluvions sont intensément exploitées), la Loire, le Cher et, dans une moindre mesure, la Sioule et la Besbre.

Quelques captages sont implantés dans des formations géologiques qui fournissent des débits modestes et souvent irréguliers : granites et terrains cristallins, grès du Trias, calcaires de l'Oligocène.

#### **4.4. LITHOSTRATIGRAPHIE ET MINÉRALOGIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES**

Le travail de sélection, d'harmonisation et de regroupement des formations géologiques a abouti à l'identification de 19 formations argileuses ou marneuses. Il s'agit :

- des formations du substratum :
  - paléozoïques, du Viséen au Saxonien (§ 4.4.1 à 4.4.4) ;
  - mésozoïques, du Trias et du Jurassique inférieur (§ 4.4.5 et 4.4.6) ;
  - cénozoïques, de l'Eocène au Pliocène (§ 4.4.7 à 4.4.12).
- des formations superficielles :
  - altérites indifférenciées du socle plutonique et métamorphique (§ 4.4.13) ;
  - colluvions rattachées ou non à une formation (§ 4.4.14 et 4.4.15) ;
  - dépôts de plateaux (§ 4.4.16) ;
  - complexes des dépressions (§ 4.4.17) ;
  - dépôts alluviaux (§ 4.4.18 et 4.4.19).

Ces 19 formations sont décrites de bas en haut de l'échelle stratigraphique, c'est-à-dire en commençant par les formations les plus anciennes. Les indications géologiques, lithologiques et minéralogiques sont issues de la synthèse des notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 qui couvrent le département, ainsi que de divers autres documents bibliographiques.

La carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier est présentée sur l'illustration 6.

### Carte des formations argilo-marneuses du département de l'Allier



- Formations du Viséen
- Formations du Stéphaniens
- Formations de l'Autunien gris
- Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien
- Formations du Trias
- Formations du Jurassique inférieur
- Formations de l'Eocène
- Argiles du Cénozoïque
- Argiles vertes et marnes de l'Oligocène
- Formations de l'Oligocène et du Miocène
- Sables argileux du Mio-Pliocène
- Formations des Sables et argiles du Bourbonnais
- Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique
- Colluvions d'Oligocène
- Colluvions diverses
- Limons des plateaux
- Complexe de Limagne
- Alluvions anciennes
- Alluvions récentes

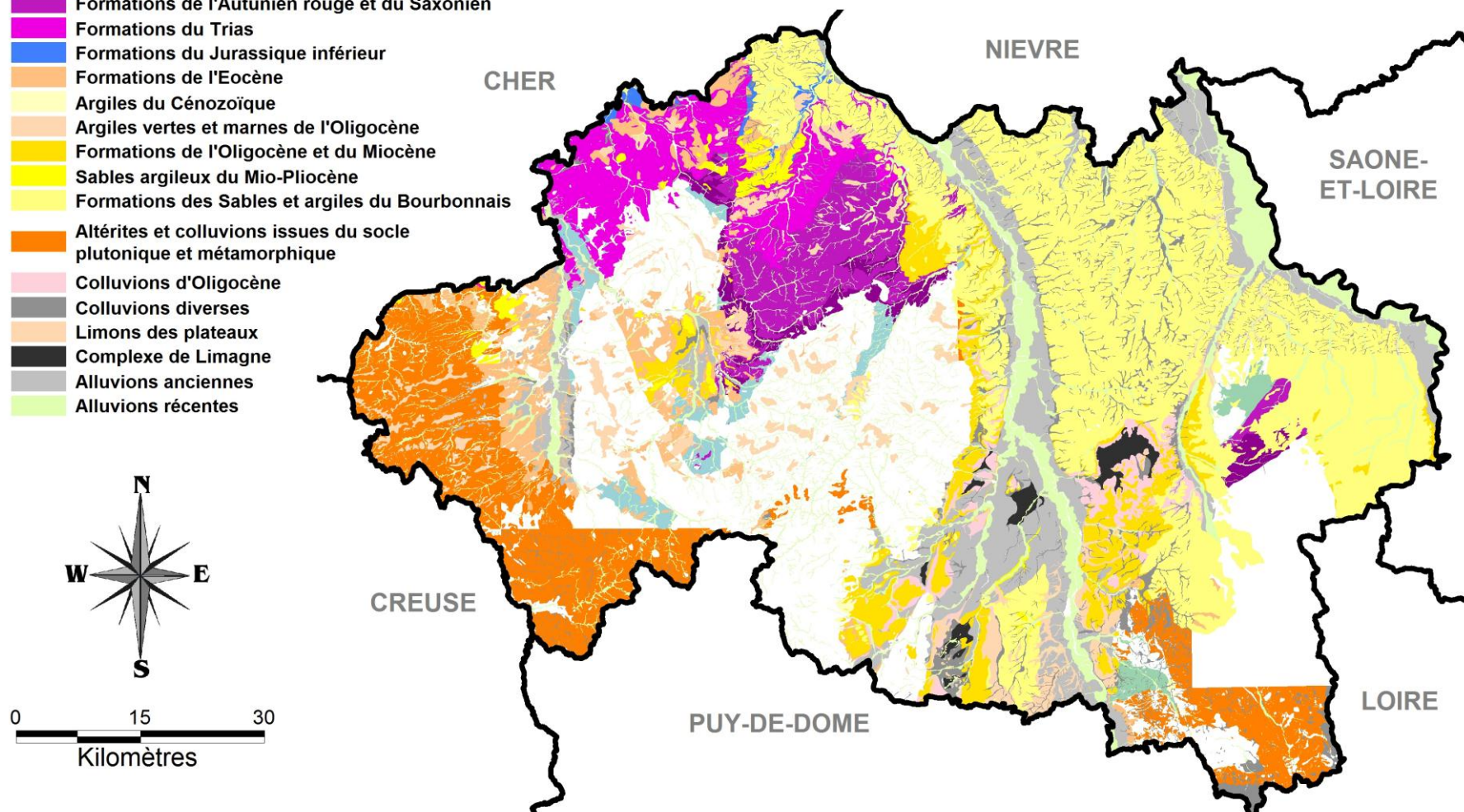


Illustration 6 - Carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier

#### 4.4.1. Formations du Viséen

Les formations du Viséen inférieur et moyen retenues, à contenu argileux toujours peu abondant, sont les ensembles contenant des siltites, c'est-à-dire des roches détritiques fines, meubles ou indurées, formées de plus de 50 % de particules silteuses ou micrograins (dimension de 4  $\mu\text{m}$  à 63  $\mu\text{m}$ ). Ces roches sont associées à des grès, poudingues, conglomérats et lentilles calcaires, notamment dans le bassin de l'Ardoisière au sud-est de Vichy. Ils peuvent être localement métamorphisés par des granites (feuilles Maringues et Vichy). Leur puissance est d'au moins 1 500 m sur la feuille Vichy.

En sont donc exclus les ensembles qui ne sont composés que de calcaires, schistes, grès, poudingues, roches volcaniques (tufs et laves), et de leurs produits d'altération, non argileux d'après les descriptions qui en sont données.

Les termes silteux sont homogènes, composés de débris anguleux de minéraux divers et de roches siliceuses, emballés dans une matrice phylliteuse. La matrice des grès est silteuse.

Une nouvelle analyse minéralogique d'un grès tendre peu argileux prélevé près de Molles (feuille Vichy) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, albite ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (20 %), interstratifiés mal définis légèrement gonflants (5 %), illite-mica (40 %), kaolinite (35 %).

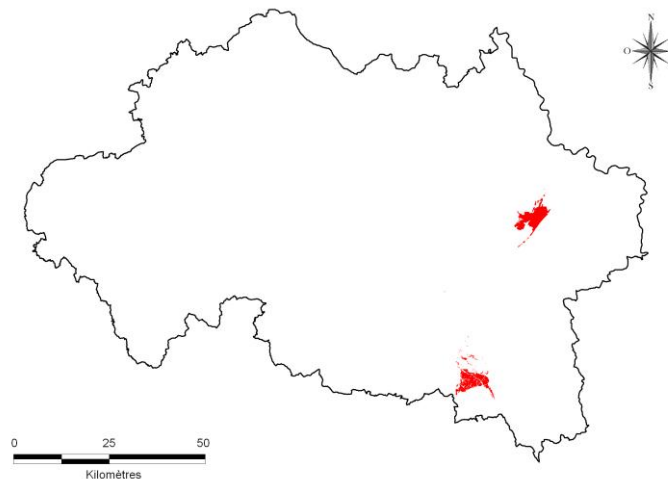


Illustration 7 - Extension géographique des Formations du Viséen

#### 4.4.2. Formations du Stéphaniens

Elles sont présentes dans les bassins sédimentaires paléozoïques houillers où elles voisinent avec les dépôts permien. Il s'agit essentiellement des bassins du Val de Cher, de Commentry, de Doyet-Montvicq, de Bourbon-l'Archambault, de l'Aumance /

Buxières-les-Mines et de Noyant. Leur épaisseur varie de 550 à 800 m dans les bassins de Commeny et de Doyet-Montvicq.

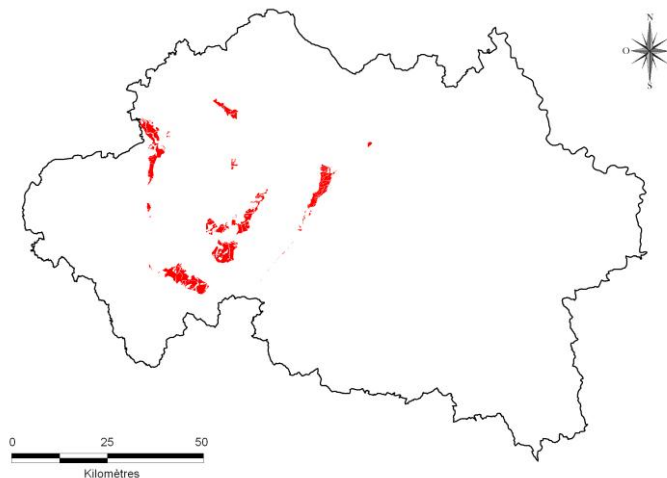
Ces formations sont typiquement des grès parfois arkosiques et des conglomérats à matrice d'arène silto-argileuse, plus ou moins stratifiés, à passées pélitiques, associées à des niveaux charbonneux, des schistes, des brèches, des poudingues, des intrusions magmatiques et des laves.

Les brèches à ciment arkosique peuvent être riches en phyllites.

La fraction argileuse de la matrice des faciès gréséo-conglomératiques de la vallée du Cher (feuilles Hérisson et Montluçon) est à smectite généralement dominante (proportion supérieure à 1/3), à illite et à kaolinite, parfois accompagnées de chlorite.

Une nouvelle analyse minéralogique d'une siltite prélevée près de Noyant-d'Allier (feuille Bourbon-l'Archambault) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose, albite ; phase argileuse abondante (25 à 50 %) : interstratifiés mal définis légèrement gonflants (15 %), illite-mica (25 %), kaolinite (45 %), vermiculite (15 %).

La fraction argileuse des "gores" ou "tonsteins" (roches argileuses résultant du lessivage des arènes de roches cristallines et des cendres volcaniques altérées) du bassin de Noyant-d'Allier est à kaolinite, illite et allevardite.



*Illustration 8 - Extension géographique des Formations du Stéphanien*

#### **4.4.3. Formations de l'Autunien gris**

Le Permien présent dans le département de l'Allier, dont l'épaisseur totale varie de 200 à 400 m, est classiquement subdivisé en deux ensembles :

- l'Autunien inférieur dit "Autunien gris" dont les conditions de dépôts, réductrices, sont héritées du Stéphanien ;
- l'Autunien supérieur dit "Autunien rouge", sujet à d'importantes rubéfections.

Les formations autuniennes prédominent en remplissage du vaste bassin sédimentaire de Bourbon-l'Archambault où elles reposent sur le socle ou sur le Stéphanien, et où elles sont recouvertes par des sédiments triasiques ou tertiaires. Elles sont également présentes dans les bassins de l'Aumance et de Noyant.

Les formations de l'Autunien gris comprennent une unité inférieure de grès grossiers feldspathiques à biotite, épaisse de 150 m, surtout dans le sud-ouest du bassin de Bourbon-l'Archambault, et une unité supérieure principale dénommée "*Assises de Buxières*".

Ces dernières sont représentées par des grès fins à grossiers, des conglomérats, des sables, des pélites, des silts, des argiles et des schistes papyracés associés localement à des niveaux charbonneux, bancs carbonatés, dépôts siliceux et "gores" (paléocinérites d'origine volcanique).

Les argiles peuvent y être micacées, plus ou moins sableuses, versicolores, à graviers et galets, en alternance avec des grès.

Quelques analyses réalisées sur la fraction argileuse ont montré que :

- les schistes gris papyracés (feuille Montluçon) et les grès grossiers avec couverture argilo-sableuse (feuille Montmarault) contiennent de l'illite et des interstratifiés irréguliers illite-smectite, parfois associés à la kaolinite ;
- les grès supérieurs argileux et les gores (feuille Bourbon-l'Archambault) sont à kaolinite et interstratifiés illite/smectite (montmorillonite).

Une nouvelle analyse minéralogique d'un grès fin argileux gris prélevé près de Saint-Hilaire (feuille Bourbon-l'Archambault) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (30 %), illite-mica (45 %), kaolinite (25 %).

Ces formations de l'Autunien gris intègrent également les *Quartzites de Meillers* et leurs colluvions dérivées, dont l'épaisseur peut atteindre 25 m, qui correspondent à des silicifications hydrothermales dérivées de l'Autunien gris, composées de silicites, calcédonites, brèches, grès et conglomérats, alternant avec des argilites blanches à illite.

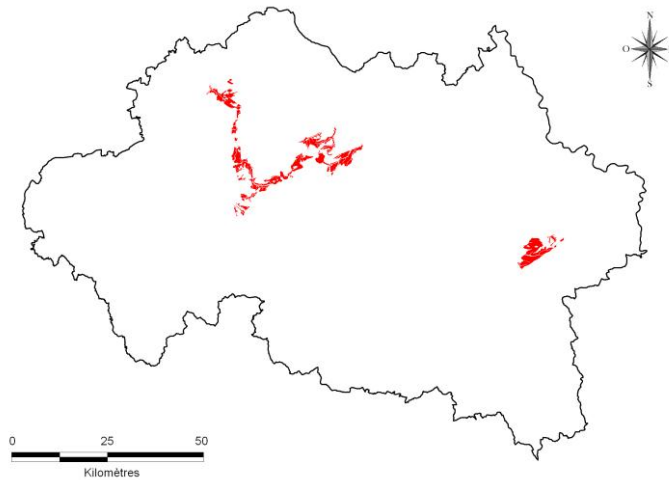


Illustration 9 - Extension géographique des Formations de l'Autunien gris

#### 4.4.4. Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien

Les formations de l'Autunien rouge, auxquelles sont associées celles du Saxonien (grès et argiles rouges, conglomérats, épais de 0 à 80 m), se rencontrent principalement dans les bassins permien de Bourbon-l'Archambault et de l'Aumance où elles voisinent avec celles de l'Autunien gris.

Les assises dites "de Renière", caractérisant l'Autunien rouge, dont l'épaisseur varie de 35 à 465 m (bassin de Bourbon-l'Archambault), sont organisées en séquences argilo-gréseuses (silts et arkoses) séparées par de courts épisodes lacustres argilo-carbonatés.

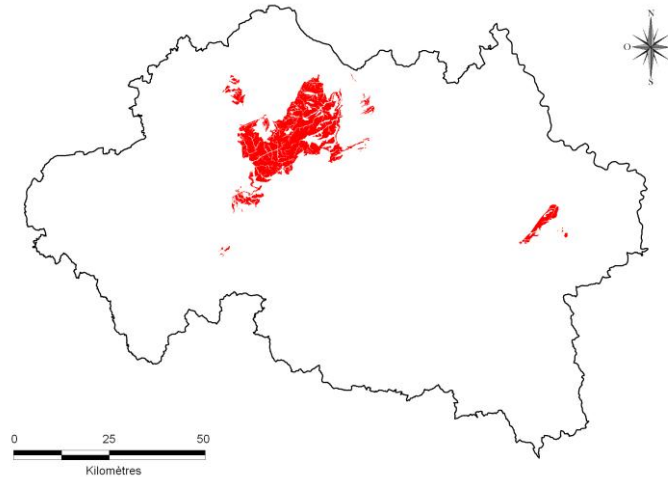
Elles comprennent divers types de dépôts dans lesquels les faciès rouges sont fréquents, témoignant de leur rubéfaction : arkoses, grès grossiers à fins, sables plus ou moins argileux, conglomérats, silts, matériaux cinéritiques et argiles silteuses, sableuses ou gréseuses. Le sommet de la série peut être affecté par les pédogenèses "sidérolitiques" à l'origine de l'altération des feldspaths de la roche en argiles.

Elles incluent également les grès d'Issards (Saxonien possible ; feuille Bourbon-l'Archambault).

Sur la feuille Hérisson, la matrice argileuse originelle est souvent bien évoluée : les phyllites néoformées sont typiquement la kaolinite associée à la séricite.

La fraction argileuse des arkoses et des niveaux argileux et gores (feuilles Bourbon-l'Archambault, Hérisson et Montluçon) est essentiellement représentée par la kaolinite, accompagnée parfois d'un peu d'illite souvent associée à un interstratifié irrégulier illite/smectite ; les argiles et les sables (faciès lithologique dominant ; feuilles Montmarault et Montluçon) contiennent de la smectite bien représentée avec l'illite (dominante ou en proportion équivalente à l'illite), et de la kaolinite généralement subordonnée.

Une nouvelle analyse minéralogique d'un grès rouge friable prélevé près de Franchesse (feuille Lurcy-Lévis) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose, albite ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (15 %), illite-mica (20 %), kaolinite (65 %).



*Illustration 10 - Extension géographique des Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien*

#### **4.4.5. Formations du Trias**

Les formations du Trias, qui représentent la terminaison la plus méridionale du Bassin de Paris, sont cantonnées au nord-ouest du département de l'Allier, au Nord du horst de l'Aumance où elles recouvrent le socle, et dans le bassin sédimentaire paléozoïque de Bourbon-l'Archambault où elles reposent sur des sédiments stéphaniens et surtout permien.

Cet ensemble intègre le Rhétien (Trias supérieur) et le Trias d'âge indéterminé (sans précision d'étage), qualifié en fonction du faciès dominant (argileux, gréseux ou dolomitique).

Globalement, il est composé de sables, de grès arkosiques, calcaires ou kaoliniques, fins à grossiers, d'argiles en couches ou lentilles, auxquels peuvent être associés des dolomies, du gypse et des niveaux carbonatés. Les grès peuvent être silicifiés au voisinage des accidents tectoniques

Le Trias dolomitique, représenté par des grès à ciment dolomitique et par la dolomie, est très peu important en termes de surface.

Les faciès argileux peuvent être dominants au sein du Rhétien (Sud de Charenton-du-Cher par exemple). D'une manière générale, les argiles sont de couleurs variées. L'épaisseur du Trias argileux peut atteindre 70 m (feuille Charenton-du-Cher).

Les grès sont le plus souvent kaoliniques et la partie sommitale des grès grossiers, plus fine et régulière, est enrichie en dolomies et en minéraux argileux parmi lesquels l'illite est la phase minérale dominante à exclusive.

Une analyse de la fraction argileuse des sables feldspathiques à matrice argileuse et des argiles vertes et rouges du Rhétien de la feuille Lurcy-Lévis a mis en évidence la présence de smectite (59 %), d'illite (25 %) et de kaolinite (16 %).

Une nouvelle analyse minéralogique d'un grès argileux prélevé près de Bourbon-l'Archambault a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (80 %), kaolinite (15 %).

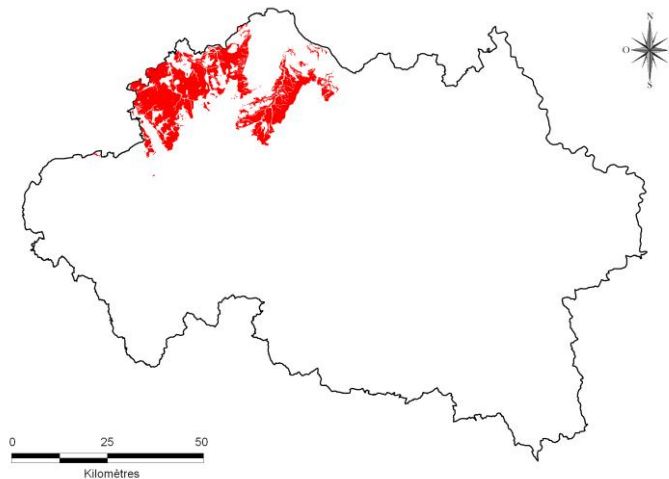


Illustration 11 - Extension géographique des Formations du Trias

#### 4.4.6. Formations du Jurassique inférieur

Les formations du Jurassique inférieur (étages de l'Hettangien et du Sinémurien *s.l.*) du sud du Bassin de Paris n'ont qu'une faible extension géographique en limite nord-ouest du département où elles bordent les dépôts du Trias (feuilles Charenton-du-Cher et Lurcy-Lévis).

Elles regroupent différents types de calcaires (bioclastiques, dolomitiques et argileux), des marnes (notamment des marnes gris-bleu à gryphées et cardinies) et localement des dolomies. Les marnes sinémuriennes deviennent prédominantes dans la partie supérieure de l'étage.

L'épaisseur du Sinémurien peut atteindre 55 m et celle de l'Hettangien 30 m.

Dans la région d'Ainay-le-Château, la dolomitisation et la cargneulisation superficielle atteignent une large partie supérieure des niveaux hettangiens, donnant des calcaires à joints ou niveaux marneux qui passent localement à des dolomies bréchifiées altérées, avec intercalations de marnes et d'argiles. Quand la cargneulisation est partielle, le calcaire dolomitisé, marneux, est associé à des marnes.

Une nouvelle analyse minéralogique d'une marne argileuse gris-bleu fossilifère (Sinémurien) prélevée près d'Ainay-le-Vieil (feuille Charenton-du-Cher) a donné les

résultats suivants (annexe 5) : quartz, calcite, dolomite (ou ankérite), orthose, albite ; phase argileuse très faible (0 à 5 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (15 %), interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (50 %), kaolinite (15 %), chlorite (15 %).

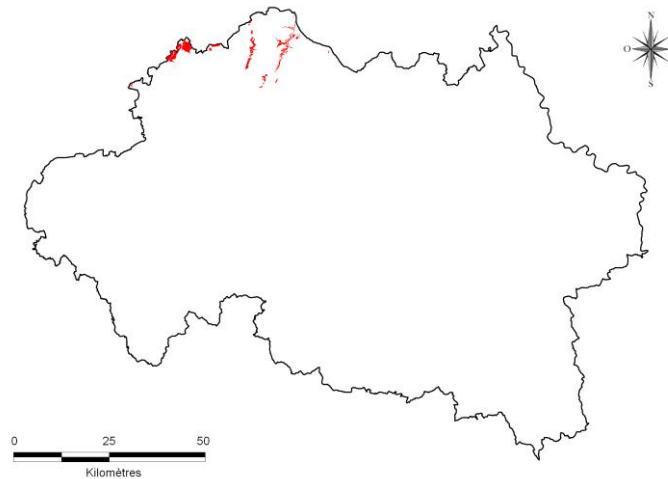


Illustration 12 - Extension géographique des Formations du Jurassique inférieur

#### 4.4.7. Formations de l'Eocène

Les formations rassemblées sous ce terme sont celles de l'Eocène moyen (Bartonien) et supérieur (Ludien), parfois non différenciées de celles de l'Oligocène inférieur (Stampien), ainsi que les altérites qui en sont dérivées. Il s'agit donc de l'Eocène *sensu lato*. Les cuirasses ferrugineuses et les faciès silicifiés en sont exclus.

Ces formations, qui marquent le début du remplissage sédimentaire des bassins tertiaires, affleurent largement dans le tiers occidental du département, notamment sur les marges et au sein des bassins du Val de Cher (fossé du Cher), de Commeny, de Doyet, de Cosne d'Allier et de Couleuvre. Elles sont également présentes sur les bordures du fossé de Limagne (feuille Maringues) et dans le bassin d'Ebreuil (feuille Gannat).

Elles sont essentiellement représentées par des faciès sableux et argileux : sables quartzo-feldspathiques, localement conglomératiques ou marneux; argiles graveleuses, sableuses, silteuses ou relativement pures, et argilites. Les calcaires, silexites, marnes et argilites sont rares, et les grès, argileux ou siliceux, les conglomérats et les arkoses très rares.

Ces terrains sont fréquemment affectés par des phénomènes pédologiques tels que rubéfections, silicifications et ferruginisations.

Des dépôts ont été reconnus comme postérieurs à ces pédogenèses : argiles vertes à blanches, silexites, sables argileux et quartzo-feldspathiques, meulière, marnes et calcaires (feuille Hérisson).

La formation dite "de Menat", rattachée à cet ensemble, est composée d'argiles feuilletées ("schistes") bitumineuses et de conglomérats en remplissage d'un minuscule bassin lacustre (feuille Gannat).

Leur épaisseur est très variable et importante dans les bassins (feuille Montluçon : 84 m dans le bassin du Val de Cher par exemple).

Les données minéralogiques disponibles concernant les formations de l'Eocène s.l. sont relativement abondantes et bien réparties géographiquement :

- feuille Montluçon : fraction argileuse abondante à smectite dominante (localement remplacée par des interstratifiés irréguliers illite/smectite), à kaolinite et illite accessoires dans les faciès banals sablo-argileux ; argile noire à illite dominante, kaolinite et parfois smectite ; formations rouges et argilites gréseuses à kaolinite principalement ; fraction argileuse plus riche en smectite dans les calcaires, silicites et sédiments argilo-sableux associés ;

- feuille Bourbon l'Archambault : grès à kaolinite ; argilite "bréchoïde" à kaolinite désordonnée, accompagnée de peu d'illite ; argiles sableuses et sables argileux à kaolinite dominante, smectite, illite et interstratifié illite/smectite ;

- feuille Hérisson : 1. Bassin du Val de Cher : sédiments sablo-argileux inférieurs dont la fraction argileuse abondante est à smectite à tendance prépondérante, avec kaolinite et illite accessoires ; grès souvent à kaolinite ; fraction argileuse des niveaux sablo-argileux les plus fins constituée d'un mélange ternaire où kaolinite ou smectite dominant suivant les lieux et les niveaux, avec illite accessoire ; calcaire des Salis contenant une fraction argileuse à smectite dominante et illite, associée à peu de kaolinite ; les minéraux argileux des marnes sont l'illite et des interstratifiés illite/smectite, accompagnés de kaolinite et de peu de smectite ; 2. Bassin de Cosne d'Allier : sédiments sablo-argileux contenant une abondante fraction argileuse à kaolinite souvent dominante, associée à la smectite (saponite) et un peu d'illite ; 3. Dans ces deux secteurs, la smectite est toujours prédominante dans les faciès argileux (argiles, argiles sableuses, argiles plastiques, argilites) ;

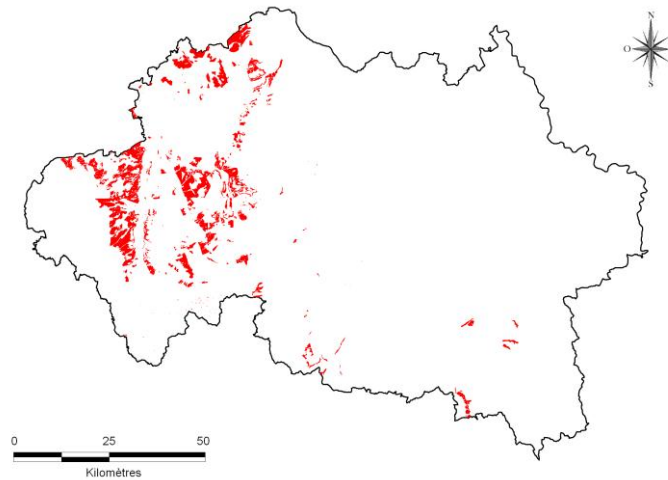
- feuille Lurcy-Lévis : marnes et argiles du bassin de Coulevre dont la fraction argileuse est caractérisée par des attapulgites avec de minces intercalations de smectites et de sépiolite ;

- feuille Montmarault : les argiles matricielles d'une arkose sont la kaolinite et l'illite en traces ; celles de dépôts argilo-sableux sont la kaolinite (50 %), l'illite, la montmorillonite 12 Å et la smectite 14 Å en traces ; celles d'une argilite sont la kaolinite et l'illite en traces ;

- feuille Maringues : sables argileux contenant de la kaolinite dominante associée à de l'illite ;

- feuille Charenton-du-Cher : argiles plus ou moins sableuses à smectite (montmorillonite) et kaolinite ;

- feuille Vichy : argiles et marnes contenant smectite, illite et kaolinite en proportions équivalentes.



*Illustration 13 - Extension géographique des Formations de l'Éocène*

#### **4.4.8. Argiles du Cénozoïque**

Cet ensemble regroupe deux types de formations argileuses d'âge tertiaire indéterminé, géographiquement circonscrites, qui n'ont pu être rattachées à un des autres ensembles.

Le premier correspond aux formations de remplissage du petit bassin d'effondrement de La Chapelle (feuilles Vichy et Maringues), d'âge éocène à oligocène, individualisé au niveau du contact entre les roches viséennes et les granites. Ce sont des argiles de couleurs variées (blanc, bariolé, rouge, gris-noir) dont l'épaisseur dépasse 40 m au centre du bassin.

Il pourrait s'agir de faciès d'altération de type sidérolitique, développés sur des séries détritiques et granitiques (faciès bariolés) et sur des tufs volcaniques (faciès gris).

La kaolinite y est dans tous les cas prédominante : les faciès bariolés à quartz, feldspaths et mica en sont riches, et elle est associée à des oxydes de fer dans les faciès gris.

Une nouvelle analyse minéralogique d'une argile limoneuse prélevée dans le bassin de La Chapelle a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose, albite ; phase argileuse abondante (25 à 50 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (30 %), illite-mica (10 %), kaolinite (50 %), chlorite (10 %).

Le second type correspond à des argiles et sables rouges à débris calcaires, non datés avec précision, qui couronnent les plateaux de Veauce et de Valignat (feuille Gannat), et dont la composition de la phase argileuse n'est pas connue.

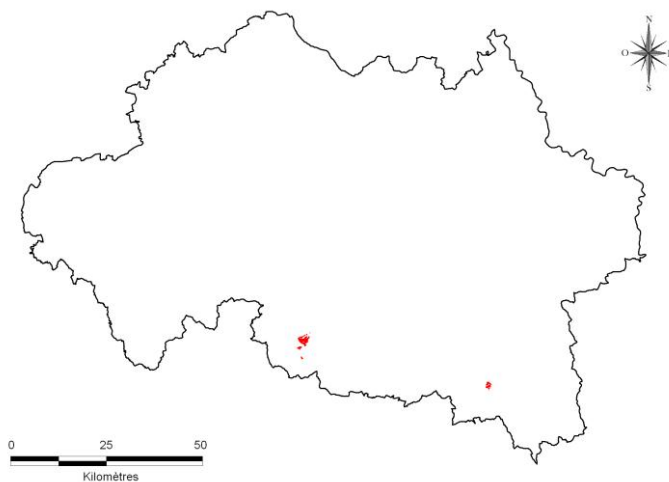


Illustration 14 - Extension géographique des Argiles du Cénozoïque

#### 4.4.9. Argiles vertes et marnes de l'Oligocène

Les formations oligocènes présentes en remplissage des bassins tertiaires du département, et notamment de la Limagne, correspondent à plusieurs cycles sédimentaires superposés, pouvant localement être incomplets ou absents du fait des arrêts ou ralentissements de la subsidence de tout ou partie du bassin. Ce dernier présente une structure profonde complexe, caractérisée par une succession de fosses et de seuils.

L'épaisseur des sédiments oligocènes, considérable à l'aplomb de la fosse de Riom (supérieure à 2 000 m), se réduit vers le nord au niveau du département de l'Allier, par exemple dans la fosse de Vichy.

Compte tenu de la finalité du présent travail, les formations de l'Oligocène, et localement du Miocène inférieur (Aquitaniens) qui leur succèdent en continu, sans limite nette cartographiable (mais dont l'aire de répartition est beaucoup plus réduite, en liaison avec la régression marine progressive), ont été subdivisées en deux grands ensembles sur la base des limites géologiques cartographiées, bien que cette distinction ne soit pas partout aisée :

- un ensemble dénommé "*argiles vertes et marnes de l'Oligocène*", décrit dans le présent paragraphe, dans lequel les faciès et minéraux argileux sont les mieux exprimés ;
- un second ensemble dénommé "*formations de l'Oligocène et du Miocène*", décrit dans le paragraphe suivant, dans lequel les faciès carbonatés (calcaires francs, marneux ...) et les faciès détritiques (sables, grès, ...) occupent une place plus importante que dans le premier ensemble.

D'une manière générale, la montmorillonite est présente dans toutes les séquences sédimentaires oligocènes (notées classiquement A, B1, B2 et C), associée à la kaolinite et/ou l'illite, à l'exception des niveaux détritiques bariolés des séquences A et B1.

L'ensemble dénommé "*Argiles vertes et marnes de l'Oligocène*", présent principalement sur les feuilles Gannat, Vichy et Maringues, est composé de marnes, d'argiles vertes à Cypris (ostracodes) et d'argiles verdâtres, beiges, grises ou blanchâtres, associées localement à des édifices récifaux, calcaires, grès et sables argileux, quartzo-feldspathiques, ou accessoirement conglomératiques.

Les colluvions, alluvions et formations résiduelles associées, directement issues de cet ensemble, sont intégrées dans ce dernier.

Certains des niveaux argileux ne semblent pas constituer des témoins de dépôts argileux à l'origine. En effet, on observe systématiquement, au niveau du contact sable-marne, la présence d'une argile qui semble représenter, au moins pour partie, le produit résiduel de marnes décalcifiées. Cela accrédite l'hypothèse d'une altération sous couverture où les phénomènes de circulation d'eau dans les niveaux sableux auraient un rôle prépondérant.

Plusieurs données analytiques quantitatives permettent de préciser la composition minéralogique des principaux faciès représentatifs de cet ensemble, dans les zones où son extension est la plus importante.

- feuille Vichy : les marnes et argiles contiennent de 20 à 50 % de carbonates et une phase argileuse composée de 40 à 70 % d'illite (exceptionnellement 100 %) et de 30 à 60 % de smectites (1 analyse), ou, d'après 2 analyses, plus riche en smectites (74 et 82 %) et à illite (7 et 18 %) et parfois kaolinite (19 %) ; dans les calcaires et marnes, la calcite représente 70 à 80 % et les minéraux argileux sont la kaolinite (30-40 %) qui est liée à la position bordière dans le bassin, l'illite (40-60 %) et les smectites (20 %) ; l'ensemble marneux contient des minéraux argileux de type kaolinite (40-50 %) et interstratifiés illite/smectites (50-60 %) ;
- feuille Maringues : la fraction argileuse des marnes et des argiles vertes à Cypris et petits édifices récifaux dispersés (Oligocène supérieur) est à smectite (50-60 %) et illite (40-50 %), exceptionnellement à illite seule ;
- feuille Aigueperse : les argiles vertes et marnes sont à interstratifiés illite/smectite (montmorillonite) nettement prédominants, accompagnés parfois de kaolinite.

Une nouvelle analyse minéralogique d'une argile sableuse prélevée près d'Abrest a fourni les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose, albite ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (25 %), illite-mica (45 %), kaolinite (30 %).

Sur la feuille Bourbon-Lancy, à l'extrémité nord-est du département, les sédiments oligocènes de la vallée de la Loire sont à kaolinite dominante.

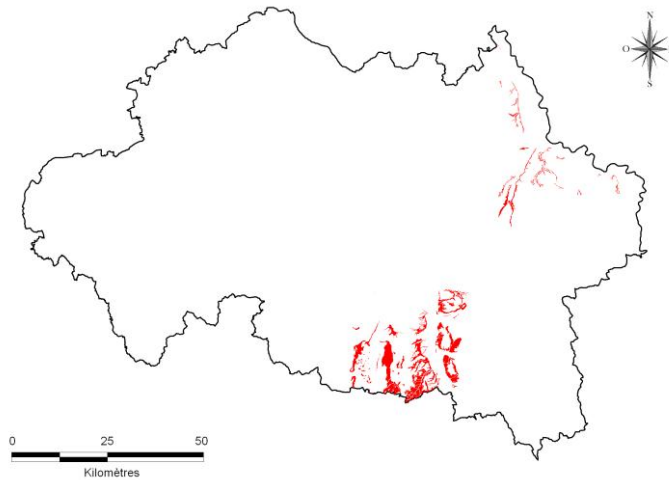


Illustration 15 - Extension géographique des Argiles vertes et marnes de l'Oligocène

#### 4.4.10. Formations de l'Oligocène et du Miocène

Il s'agit des formations oligocènes et miocènes (aquitaniennes) autres que celles décrites au paragraphe précédent, qui ont une plus grande extension géographique, essentiellement présentes sur les feuilles de Bourbon l'Archambault, Moulins, Montmarault, Saint-Pourçain-sur-Sioule, Le Donjon, Gannat, Vichy et de Maringues.

Cet ensemble composite contient des argiles et marnes qui, contrairement au précédent ensemble, n'ont pas été individualisées cartographiquement.

Globalement, d'après la notice de la feuille de Vichy où il est particulièrement complet et bien représenté, il est composé :

- pour l'Oligocène supérieur, de calcaires concrétionnés, sableux ou gréseux, localement quartzeux, parfois à Limnées, calcarénites, sables quartzo-feldspathiques ou argileux, grès parfois carbonatés, marnes, silts, argiles, localement à récifs ;
- pour l'Oligocène inférieur (Stampien), de calcaires à Limnées, de grès et calcaires en plaquettes à Potamides lamarcki, de calcaires concrétionnés algaires à Potamides lamarcki, de niveaux calcaro-détritiques à bancs concrétionnés au sommet, d'arkoses et grès quartzo-feldspathiques parfois conglomératiques, d'argiles et de marnes.

Les données minéralogiques qualitatives et quantitatives sur les fractions argileuses de ces formations sont nombreuses et bien réparties géographiquement :

- feuille Vichy : alternances de sables, argiles et marnes à smectites dominantes, associées à l'illite et la kaolinite ; argiles et marnes associées aux grès quartzo-feldspathiques à kaolinite dominante, illite et exceptionnellement interstratifiés illite/smectites ; alternances de sables argileux et d'argiles vertes à smectites dominantes, associées à la kaolinite et l'illite ; marnes associées aux calcaires concrétionnés (récifs), aux calcarénites et aux sables quartzo-feldspathiques dont les teneurs en minéraux argileux sont importantes (2 séries d'analyses) : smectites (50-70 % et 60-90 %), illite (30-50 % et 10-40 %) ; marnes et argiles vertes associées aux

sables (2 analyses) à smectites dominantes, illite et kaolinite ; arkose (1 analyse) contenant en proportions décroissantes kaolinite, illite et interstratifiés illite/smectites ;

- feuille Maringues : argiles sableuses alternant avec des sables fins et grossiers contenant un mélange en proportions variables de smectites, kaolinite et illite ; argile (Oligocène supérieur) à smectite dominante (70 %), kaolinite (20 %) et illite (10 %) ;

- feuille Moulins : dans les marnes oligo-miocènes associées aux calcarénites à récifs et aux sables dans le bassin, la fraction argileuse contient toujours (3 séries d'analyses) des smectites (montmorillonite seule ou interstratifiés illite/smectite, 73-80 %), associées à l'illite (7-17 %) et/ou à la kaolinite (10-13 %) ;

- feuille Saint-Pourçain-sur-Sioule (Oligocène supérieur-Aquitainien) : argiles vertes plus ou moins sableuses ou calcaires constituées pour l'essentiel de montmorillonite (smectite) et d'illite, exceptionnellement de kaolinite ; marnes (à horizons récifaux ou associées aux calcaires et calcarénites) contenant systématiquement (9 analyses) des smectites prédominantes (montmorillonite seule : 80 %, ou interstratifiés illite/smectite : 71 à 90 %) et de l'illite (6 à 29 %), associées parfois à de la kaolinite (jusqu'à 6 %) ;

- feuille Aigueperse : la fraction argileuse des sables, calcaires argileux, marnes et argiles est systématiquement (5 analyses) à montmorillonite, illite et kaolinite ;

- feuille Montmarault : marnes associées aux calcaires (Oligocène supérieur) contenant 50 % d'illite, de la kaolinite et un peu de smectite 14 Å, associée à des interstratifiés illite/smectite ;

- feuille Hérisson : les argiles silteuses à sableuses et les sables argileux de l'Oligocène supérieur sont à kaolinite dominante et illite, accompagnées souvent de smectite en proportions variables ;

- feuille Bourbon-l'Archambault : argiles carbonatées alternant avec des marno-calcaires (2 analyses) contenant 32 et 38 % d'interstratifiés illite/smectites (smectites < 40 %), 35 et 37 % d'illite et 25 et 33 % de kaolinite ;

- feuille Montluçon : argiles et sables argileux à smectite et kaolinite, accompagnées d'illite.

Une nouvelle analyse minéralogique d'une marne prélevée près d'Ebreuil (feuille Gannat) donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, calcite, albite ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (20 %), interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (50 %), kaolinite (25 %).

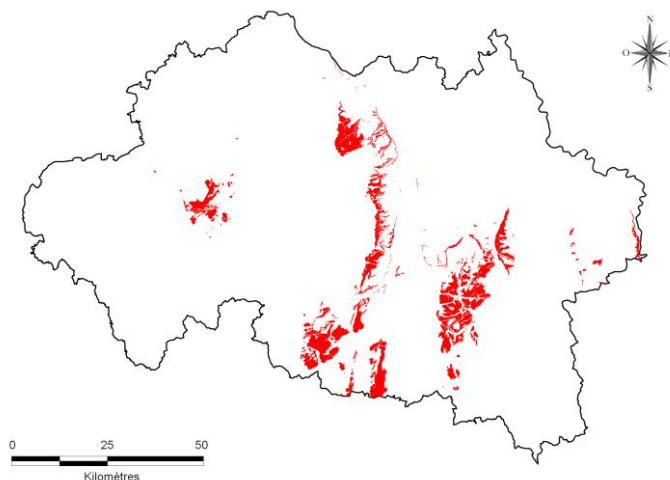


Illustration 16 - Extension géographique des Formations de l'Oligocène et du Miocène

#### 4.4.11. Sables argileux du Mio-Pliocène

Cet ensemble regroupe des sédiments détritiques d'âge mio-pliocène indéterminé, situés géographiquement dans différentes zones du département, et stratigraphiquement entre les formations oligo-miocènes des bassins tertiaires et les formations pliocènes dites "des Sables et argiles du Bourbonnais".

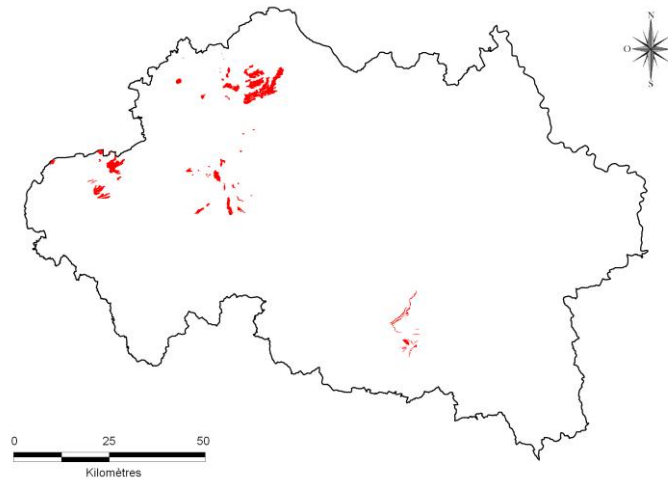
C'est notamment le cas des Sables ou Formation dits "de Vendat" (feuille Vichy), formation fluviatile d'extension notable située dans une cuvette oligocène, dont l'épaisseur est variable, atteignant 25 m au maximum, composée principalement de sables grossiers à très grossiers, quartzo-feldspathiques et micacés, également de sables fins plus ou moins argileux, de silts, de silts argileux et d'argiles.

Les autres formations dispersées rattachées à cet ensemble sont des épandages ou placages de sables à galets et graviers, parfois argileux, de limons sableux, de silts, localement chargés d'argiles.

La fraction argileuse de la formation de Vendat (4 analyses, feuille de Vichy) révèle la prédominance de la smectite (42 à 80 %), associée dans tous les cas à la kaolinite (15 à 47 %) et à l'illite (5 à 11 %).

Une nouvelle analyse minéralogique d'un sable plus ou moins grossier et d'un silt prélevés près de Saint-Didier-la-Forêt a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose, albite ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (25 %), interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (45 %), kaolinite (25 %).

Sur la feuille Hérisson, les dépôts suballuviaux (sables de Magnet) et argilo-sableux du Pliocène supérieur contiennent comme fraction argileuse de la kaolinite prépondérante, de l'illite, associées fréquemment à un peu de smectite ou d'interstratifié illite/smectite.



*Illustration 17 - Extension géographique des Sables argileux du Mio-Pliocène*

#### **4.4.12. Formations des Sables et argiles du Bourbonnais**

Ce sont de loin les formations argileuses individualisées dans cette étude les plus étendues géographiquement : elles affleurent largement dans la moitié orientale du département et sont notamment abondantes à l'affleurement sur les feuilles Moulines, Lurcy-Lévis, Dornes, Dompierre-sur-Besbre, Saint-Pourçain-sur-Sioule, Le Donjon, Vichy et Lapalisse.

En Limagne et Sologne bourbonnaises, elles s'inscrivent dans les limites des bassins d'effondrement oligocènes (Limagne d'Allier et bassin de la Loire), excepté dans le sud du territoire de la feuille Dompierre-sur-Besbre où elles sont plus extensives et reposent directement sur le socle granitique. Vers le nord (Bassin de Paris), leur extension est limitée au fossé de la Loire encadré de failles nord-sud, où elles surmontent les terrains mésozoïques.

Il s'agit d'un très important ensemble d'épandages fluviaux et fluviolacustres transgressifs sur l'Oligo-Miocène, d'âge plio-quadernaire, répartis selon deux cours principaux qui préfigurent en grande partie ceux de la Loire et de l'Allier, et déposés avant l'enfoncement des vallées quadernaires.

Cet ensemble, qui peut atteindre 30 m d'épaisseur, inclut les colluvions qui en sont dérivées, difficiles à différencier avec précision des roches mères sur le terrain. Il est composé de matériaux empruntés aux altérites issues du socle et de produits remaniés de l'Oligocène détritique. Il intègre également les épandages sablo-limoneux du Montet (feuille Montmarault).

Sur certaines cartes géologiques à l'échelle du 1/50 000<sup>ème</sup>, plusieurs sous-ensembles ont été distingués, constituant autant d'unités cartographiques caractérisées par leur dominante argileuse ou sableuse, et par la présence ou non de galets.

Cependant, un schéma général d'organisation de cet ensemble ne peut être établi avec certitude, compte tenu :

- de l'énergie du milieu variable dans le temps et l'espace (milieu calme donnant des matériaux plus fins, ou milieu turbulent produisant des matériaux plus grossiers) ;
- de l'irrégularité structurale consécutive à la genèse de cet ensemble ;
- des difficultés de corrélations entre les coupes géologiques ;
- de la rareté des affleurements ;
- des remaniements superficiels (chaque séquence présente à la base un faciès grossier et au sommet un faciès fin argileux) et des effets de la pédogenèse ;
- des variations latérales de faciès, fonction de la distance aux zones d'apports détritiques ;
- de l'évolution dissymétrique des versants ;
- de la répartition géographique anarchique des faciès argileux francs (lentilles, bancs plus ou moins continus, ...).

De ce fait, chacune des séquences ne pouvant être cartographiée séparément, la globalité de la formation a été prise en compte.

La notice explicative de la feuille Vichy fournit une description complète et précise de ces formations des *Sables et argiles du Bourbonnais*. En rive gauche de l'Allier, trois ensembles sont reconnus mais non dissociés sur la carte. La base est représentée par une masse sablo-caillouteuse (sable quartzeux avec lentilles de sables fins à lits ou cordons de graviers et galets, avec cailloutis en surface. La partie intermédiaire montre des sédiments fins : sables fins, silts et argiles, alors que la partie supérieure est caractérisée par des sables fluviatiles ravinant les sédiments sous-jacents (chenaux) : sables grossiers emballant des galets, localement à lentilles de silts plus ou moins argileux, avec cailloutis de lessivage superficiel. Par endroits, des terrains argilo-sableux pédogénisés peuvent se trouver en position sommitale (feuilles Bourbon l'Archambault, Moulins, ...).

La sédimentation à caractère mixte, fluviatile (horizons sablo-caillouteux, parfois à matrice argileuse) et fluvio-lacustre (sables, silts et argiles marquant un milieu plus calme) se rencontre assez systématiquement au sein de ces formations (feuilles de Vichy, Lurcy-Lévis, Bourbon-Lancy, Moulins, Saint-Pourçain-sur-Sioule et de Maringues).

Comme pour les formations oligocènes, la minéralogie de ces formations a fait l'objet de nombreuses études, et là encore la répartition géographique des données concernant la fraction argileuse des formations est satisfaisante :

- feuille Vichy : les sédiments fins de la partie intermédiaire des formations en rive gauche de l'Allier, qui peuvent atteindre plusieurs mètres d'épaisseur, sont à kaolinite (50-60 %), smectite ou interstratifié illite/smectite (30-40 %) et illite (10-20 %) ; en rive droite, les sables grossiers à lentilles silteuses sont à kaolinite, illite et smectite ;
- feuille Dornes : le banc argileux repère contient 60 à 80 % de kaolinite, 10 à 30 % de smectite et 0,5 à 10 % d'illite ;
- feuille Moulins : les bancs silteux ou argileux, parfois discontinus et d'épaisseur variable, contiennent 50 % de montmorillonite (smectite), 30 % de kaolinite et 20 % d'illite ; à la base des sables grossiers, un niveau argileux est à kaolinite dominante

(60-70 %), smectite (10-30 %) et illite (10-20 %) ; les argiles très compactes des plateaux contiennent un mélange d'illite (40 %), de kaolinite (30 %) et d'interstratifié illite/montmorillonite (30 %) ;

- feuille Saint-Pourçain-sur-Sioule : les argiles et sables situés à la base de l'ensemble contiennent 40 % d'illite, 30 % de smectite et 30 % de kaolinite ; les boules silteuses emballées dans les sables à galets recèlent 40 % de kaolinite, 30 % d'illite et 30 % de smectite ;

- feuille Maringues : les silts associés aux argiles et aux sables sont à smectite dominante (50 %), kaolinite (40 %) et illite (10 %) ;

D'après 46 analyses qualitatives et quantitatives disponibles au total, réparties dans les différentes zones géographiques couvertes par ces formations, les teneurs moyennes en minéraux argileux sont les suivantes : smectites ou interstratifiés illite/smectites (31 %), kaolinite (48 %) et illite (20 %).

Les études minéralogiques détaillées de ces formations considérées dans leur ensemble, notamment celles réalisées par J. Tourenq, ont mis en évidence une évolution géographique d'ouest en est, entre les vallées de l'Allier et de la Loire, très nette au niveau de la composition de la fraction argileuse :

- les dépôts orientaux, situés à l'ouest de la Loire et plus fins, sont à kaolinite dominante (> 50 %) ;

- les dépôts occidentaux, au niveau de la vallée de l'Allier, plus grossiers, sont à smectite prépondérante ;

- les dépôts intermédiaires, situés entre le fleuve Loire et la rivière Allier, contiennent de la smectite et de la kaolinite en proportions équivalentes.

D'une manière générale, il a souvent été observé, au sein des dépôts tertiaires de Limagne, que la présence de kaolinite va de pair avec la position bordière des sédiments.

Une remarque particulière doit être faite au sujet des formations argileuses situées au toit des marnes oligocènes. L'argile verte qui marque généralement le contact entre les marnes et certaines alluvions pourrait résulter en partie d'une décalcification des marnes. D'un point de vue minéralogique, elle est constituée de smectite (50 %), de kaolinite (30 %) et d'illite (20 %).

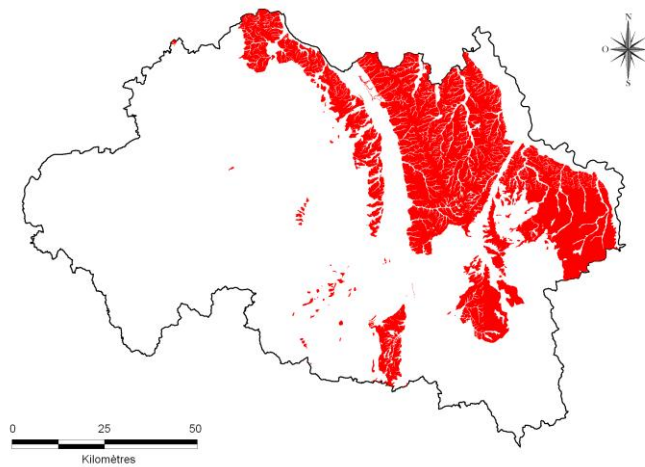


Illustration 18 - Extension géographique des Sables et argiles du Bourbonnais

#### 4.4.13. Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique

Les altérites et les colluvions provenant de l'altération, présumée éocène, et du remaniement, plus ou moins important, des produits d'altération du socle plutonique et métamorphique contiennent toujours des minéraux argileux et peuvent être localement épaisses (plusieurs dizaines de mètres). Il s'agit de matériaux sablo-argileux, allant des sables argileux aux argiles sableuses.

Contrairement à certaines idées reçues, ces formations peuvent contenir des argiles gonflantes de type smectites, en quantités notables voire importantes. C'est ce que montrent les dernières études menées par les spécialistes des formations dites "superficielles" en domaine de socle, et notamment celles qui viennent d'être réalisées dans le cadre des levés géologiques de la feuille Châteaumeillant, située à l'extrémité occidentale du département.

En effet, l'altération soustractive, qui conduit à la formation des latérites et des bauxites, provient de l'interaction eau-roche qui provoque une déstabilisation différentielle des minéraux en fonction de leur propre résistance à l'altération. Au cours de l'hydrolyse des minéraux primaires, les éléments chimiques les plus solubles sont extraits, mis en solution puis exportés. Les éléments restants précipitent de nouveau sous forme de nouvelles phases minérales (argiles, oxydes et hydroxydes principalement). La nature des phases néoformées dépend de la quantité d'éléments disponibles à l'endroit et au moment de leur formation.

En un même site, les minéraux néoformés vont évoluer au cours du temps de manière à rester en équilibre avec une eau de plus en plus pauvre en cations. Ainsi, pour les phyllites, on observe généralement la séquence suivante, en partant du mica noir (biotite) qui est un constituant fréquent des roches plutoniques et métamorphiques (granites, gneiss, micaschistes, ...) :

*Biotite* → *Chlorite* → *Vermiculite* → *Montmorillonite (smectite)* → *Kaolinite* → *Gibbsite*

Il en résulte que, selon la durée et l'intensité de l'altération, et l'importance de l'érosion postérieure à cette dernière (qui peut toucher tout ou partie des altérites), des profils d'altération peuvent livrer, en surface ou subsurface actuelle, des faciès argileux contenant des smectites.

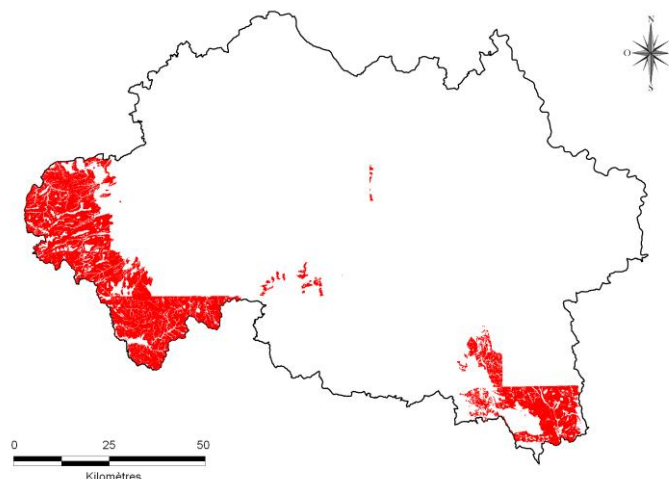
A titre d'exemples, sur la feuille Châteaumeillant, les altérites du socle affleurant au sud sont parfois épaisses (jusqu'à 35 m) mais restent peu évoluées : présence de quartz et de micas hérités, illite-mica, kaolinite rare, traces de smectite et d'interstratifiés illite/smectite.

Un autre exemple provient de l'analyse minéralogique - pratiquée dans le cadre de cette étude - d'une altérite sablo-argileuse prélevée près de Saint-Victor (feuille Montluçon), immédiatement sous une cuirasse ferrugineuse, qui a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz ; phase argileuse très abondante (50 à 70 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (80 %), interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (5 %), kaolinite (10 %).

Dans le présent travail, le maximum d'informations concernant ces altérites a été valorisé et retranscrit cartographiquement.

Notons que sur les feuilles Gannat, Le Donjon et Lapalisse, les altérites n'ont pas été différenciées des roches mères et n'ont donc pas été délimitées sur la carte, ce qui entraîne une disharmonie au niveau des limites avec les feuilles contiguës sur lesquelles ces altérites ont été cartographiées.

Les données de la feuille Montluçon ont été exploitées différemment. Afin de tenir compte des réalités de terrain (faciès sains rares à l'affleurement) et d'harmoniser les contours de cet ensemble avec ceux des feuilles voisines, les contours des monzogranites du massif de Montluçon-Prémilhat ont été considérés comme ceux des altérites. Ce n'est pas le cas pour les autres formations du socle plutonique et métamorphique de la feuille Montluçon.



*Illustration 19 - Extension géographique des Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique*

#### 4.4.14. Colluvions d'Oligocène

Les sédiments oligocènes meubles (sables, calcarénites, ...) ou peu cohérents (argiles, marnes, ...) libèrent par altération des matériaux calcaréo-argilo-sableux et calcaréo-argileux incluant parfois des fragments de calcaires. Ces produits, accumulés sur la plupart des pentes ou dans les dépressions, ne sont cartographiés que lorsque leur épaisseur et leur extension rendent impossible toute observation directe du substratum.

Il s'agit de colluvions alimentées essentiellement ou exclusivement par les *Argiles vertes et marnes de l'Oligocène* et les *Formations de l'Oligocène et du Miocène* (formations géologiques décrites ci-dessus aux paragraphes 4.4.9 et 4.4.10).

Ces dépôts sablo-argileux peuvent être localement développés, comme c'est le cas par exemple dans la dépression de Saint-Germain-des-Fossés/Saint-Gérard-le-Puy.

Une analyse minéralogique nouvelle d'un matériau sablo-argileux d'aspect terreux prélevé près d'Ebreuil (feuille Gannat) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, calcite, orthose, albite ; phase argileuse faible (5 à 25 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (10 %), illite-mica (70 %), kaolinite (20 %).

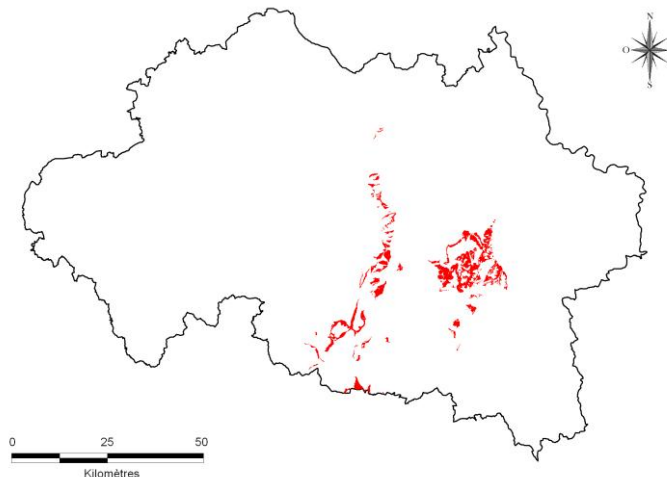


Illustration 20 - Extension géographique des Colluvions d'Oligocène

#### 4.4.15. Colluvions diverses

Cet ensemble regroupe toutes les colluvions argileuses qui n'ont pas été retenues et individualisées dans les autres ensembles, et qui sont suffisamment épaisses (quelques mètres) pour masquer les formations sous-jacentes. Ces colluvions se situent dans les fonds de vallons, les bas de versants, et sur les pentes où les matériaux glissés peuvent entraîner dans leur déplacement les produits de l'altération des terrains supportant le glissement. Elles peuvent passer latéralement à des dépôts plus évolués, alluviaux, desquels elles ne sont pas toujours différenciées.

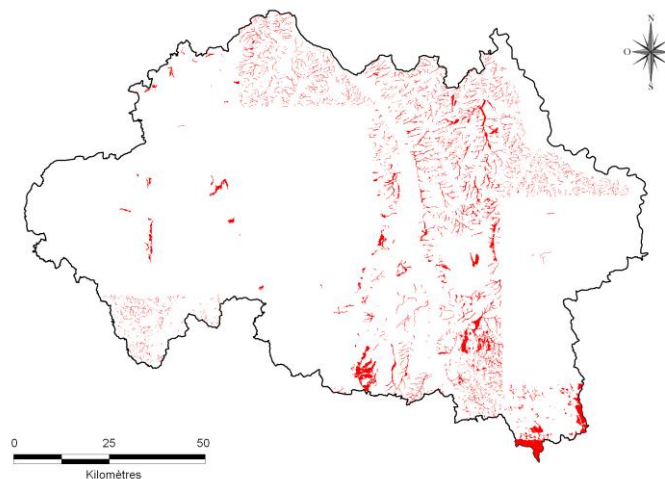
Cet ensemble, par définition hétérogène, a une composition qui reflète généralement le substratum avoisinant, et comprend des argiles, limons, silts, sables, graviers, galets emballés dans une matrice argilo-sableuse.

Il intègre les formations à blocailles, formées de blocs hétérométriques et sables argileux, qui sont particulièrement développées dans les Monts de la Madeleine et les Bois Noirs (feuille Le Mayet-de-Montagne), où elles sont alimentées essentiellement par des roches se débitant en fragments (microgranites, granites à grain fin, ...).

Quelques analyses minéralogiques de la phase argileuse sont disponibles :

- feuille Moulins : argiles et sables à kaolinite (53 %), smectite (38 %) et illite (9 %) ;
- feuille Vichy : argiles et sables à smectite (30 %), interstratifiés illite/smectite (30 %) et kaolinite 40 % ; sables "gros sel" et argiles à smectite (10 %), illite (50 %) et kaolinite (40 %) ;
- feuille Dornes : colluvions argilo-sableuses à galets contenant des interstratifiés illite/smectite (92 %, 45 % de smectite), kaolinite (5 %) et illite (3 %) ;
- feuille Le Mayet-de-Montagne : formation sablo-argileuse à blocs hétérométriques à montmorillonite et kaolinite.

Une nouvelle analyse minéralogique d'un matériau argilo-sableux prélevé près de Saint-Victor (feuille Montluçon) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose ; phase argileuse abondante (25 à 50 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (80 %), interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (5 %), kaolinite (10 %).



*Illustration 21 - Extension géographique des Colluvions diverses*

#### **4.4.16. Limons des plateaux**

Il s'agit d'une couverture limoneuse continue représentée sur de nombreuses cartes géologiques, dans des zones où son faciès et son épaisseur, qui peut atteindre plusieurs mètres (5 m sur la feuille Montluçon), ne permettent pas d'identifier le substratum. Elle se trouve, peu ou non remaniée, souvent en position altimétrique

élevée (plateaux) et provient de l'altération *in situ* des formations du socle plutonique et métamorphique ou des terrains sédimentaires, ayant évolué en surface vers des faciès plus altérés et finement brisés, limoneux.

Elle se caractérise par des dépôts limono-sableux plus ou moins argileux, parfois à éléments grossiers (cailloutis polygénique à matrice argilo-sableuse sur la feuille Lurcy-Lévis par exemple).

Une analyse minéralogique d'un limon caractéristique prélevé près de Verneix (feuille Montluçon) dans le cadre de cette étude a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, orthose, albite ; phase argileuse très faible (0 à 5 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (25 %), interstratifiés 10-14 Å riches en illite-mica (5 %), illite-mica (40 %), kaolinite (20 %), vermiculite (10 %).

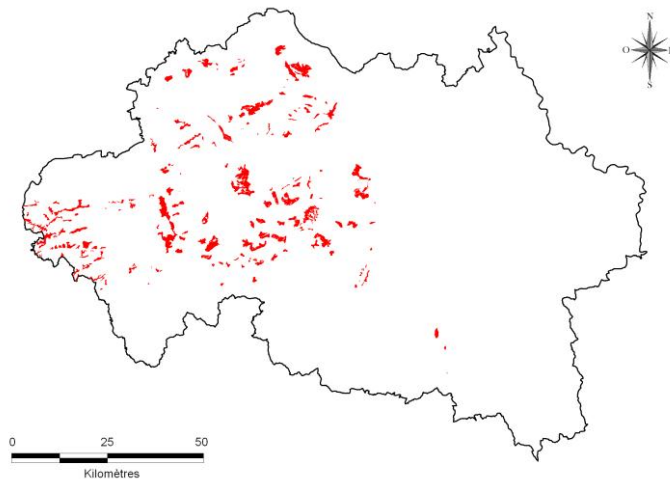


Illustration 22 - Extension géographique des Limons des plateaux

#### 4.4.17. Complexe de Limagne

Egalement dénommé "complexe des dépressions" ou "complexe des terres noires", cet ensemble représente les dépôts de marécages ou marais aujourd'hui asséchés, accumulés dans des dépressions, remarquables dans le paysage par leur surface topographique plate.

Il s'agit de sols dont les constituants proviennent, après transport, de terrasses alluviales déjà établies, ou bien de colluvions diverses imbriquées ou non avec des alluvions, de composition variable, contenant des argiles, des marnes, des sables, et localement des galets.

Ce complexe est bien développé en Limagne où son épaisseur peut atteindre plusieurs mètres. Son âge est toujours tardi-glaciaire, voire même franchement post-glaciaire, et son origine pourrait être liée à des mouvements tectoniques récents.

Sur la feuille de Maringues, la formation qui dérive pour l'essentiel des marnes vertes de l'Oligocène supérieur contient une phase argileuse à smectite et illite (2 analyses) : soit 60 % smectite et 40 % illite, soit 100 % d'interstratifiés illite/smectite.

Une nouvelle analyse minéralogique d'un sable fin argileux à faciès limoneux prélevé près de Briailles (feuille Saint-Pourçain-sur-Sioule) a donné les résultats suivants (annexe 5) : quartz, calcite, orthose, albite ; phase argileuse abondante (25 à 50 %) : interstratifiés irréguliers 10-14 Å riches en smectites (30 %), illite-mica (50 %), kaolinite (10 %), chlorite (10 %).

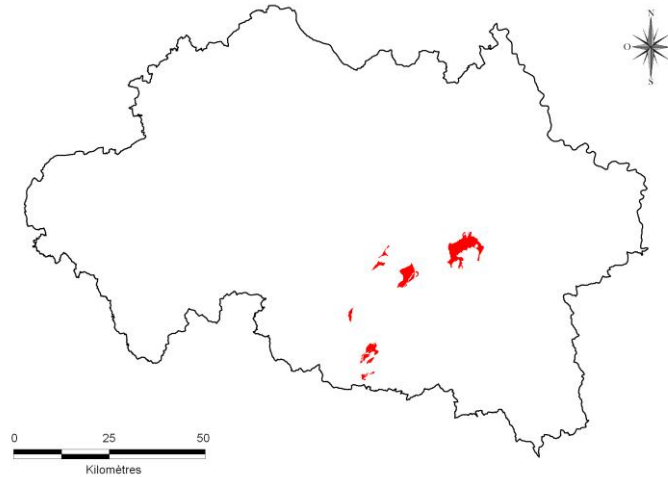


Illustration 23 - Extension géographique du Complexe de Limagne

#### 4.4.18. Alluvions anciennes

Les dépôts alluviaux dits "anciens", par opposition aux dépôts dits "récents", sont différenciés cartographiquement selon des critères altimétriques et morphologiques qui sont utilisés pour les dater relativement les uns par rapport aux autres. Ils sont notamment présents dans les vallées actuelles du Cher, de la Loire, de la Besbre, de l'Allier et de la Sioule, ainsi que dans une vaste zone située au sud de la confluence entre ces deux dernières rivières.

D'une manière générale, les alluvions anciennes sont plus grossières et moins argileuses que les alluvions récentes, les remaniements successifs ayant éliminé les éléments friables et altérés. Mais cette règle peut souffrir de nombreuses exceptions.

Il s'agit de matériaux grossiers : galets, graviers, sables grossiers, cailloutis pouvant provenir du lessivage de sables grossiers argileux.

Ils peuvent contenir également des dépôts plus fins, sablo-argileux fins ou silteux ou limono-argileux, parfois même des intercalations argileuses, provenant par exemple de remaniements superficiels ou d'apports latéraux.

Ces dépôts fins, qui ne sont pas spécifiquement cartographiés, sont probablement peu épais. Par défaut d'information, la totalité de la terrasse a été prise en compte dans la carte de synthèse.

Les parties argileuses des alluvions anciennes (6 analyses au total) montrent partout un mélange ternaire à smectite, illite et kaolinite dont les proportions relatives varient selon les lieux :

- feuille Saint-Pourçain-sur-Sioule (argile sableuse) : smectite (17 %), illite (33 %), kaolinite (44 %), chlorite (6 %) ;
- feuille Vichy (sable grossier argileux) : smectite (27 %), illite (48 %), kaolinite (25 %) ;
- feuille Hérisson : sables grossiers à smectite nettement prédominante ; argiles sableuses à kaolinite dominante ;
- feuille Montluçon : argiles noires plastiques à kaolinite et smectite, avec illite accessoire ; sable fin argileux à smectite prédominante, kaolinite et illite accessoire.

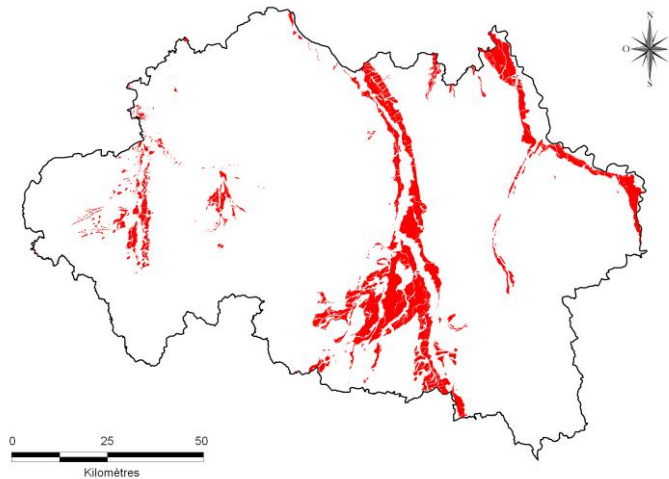


Illustration 24 - Extension géographique des Alluvions anciennes

#### 4.4.19. Alluvions récentes

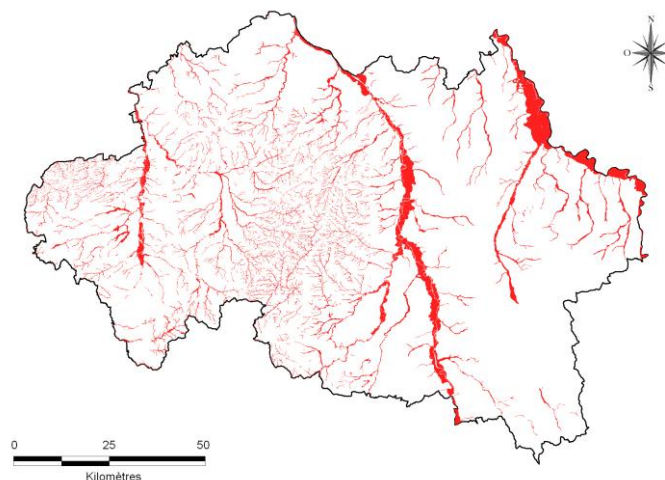
Les alluvions dites "récentes", ou modernes, correspondent à la plus basse des nappes alluviales, qui occupe le lit mineur et les zones inondables (plaine alluviale).

Comme les précédentes, elles sont représentées par des matériaux grossiers (sables, graviers, galets) et peuvent contenir des matériaux fins sablo-limono-argileux. C'est notamment le cas dans la vallée du Cher où un niveau de sables limono-argileux épais de 3 m au maximum recouvre généralement les "graves" alluviales (feuille Montluçon), ou dans la vallée de la Loire où les matériaux de surface peuvent être localement essentiellement argileux, de type limons de débordement (feuilles Dornes et Bourbon-Lancy).

Ces formations sont peu compactées et fortement imprégnées par la nappe alluviale.

Deux analyses minéralogiques précisent la composition de la fraction argileuse :

- feuille Hérisson : sable limono-argileux à kaolinite (60 %), interstratifiés illite/smectite (14 %), smectite (2 %), chlorite (5 %) et tosudite (19 %) ;
- feuille Montluçon : argile sableuse à kaolinite (49 %), smectite (10 %), illite (27 %) et chlorite (14 %).



*Illustration 25 - Extension géographique des Alluvions récentes*

#### **4.5. REMARQUES SUR LES FORMATIONS ARGILEUSES**

La carte réalisée dans cette partie (Illustration 6 et également en planche hors-texte à l'échelle 1/125 000) constitue finalement une représentation interprétée des zones potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement, en fonction des données actuellement disponibles au travers de la représentation cartographique des formations superficielles du département.

Les formations argileuses couvrent plus de 76 % de la superficie du département. Parmi les formations qui sont considérées comme non argileuses, certaines peuvent néanmoins contenir des lentilles ou des poches argileuses ou marneuses d'extension limitée. Elles n'ont pas été prises en compte à l'échelle de la cartographie départementale établie dans le cadre de la présente étude même si, localement, ces faciès argileux peuvent être localement à l'origine de quelques sinistres.



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

### **5.1. GENERALITES SUR L'ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE**

#### **5.1.1. Critères retenus**

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

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

#### **5.1.2. Méthode de classification**

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

La seconde étape de cette cartographie consiste à hiérarchiser les formations argileuses et marneuses ainsi identifiées en fonction de leur plus ou moins grande susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de caractéristiques quantifiables, estimées pour chacune des 19 formations sélectionnées :

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

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les différentes formations, la règle adoptée a consisté à utiliser des *valeurs seuils*, couramment admises dans la littérature, distinguant quatre degrés de susceptibilité (faible, moyenne, forte et très forte). Pour permettre la réalisation de calculs, les classes lithologiques distinguées ont également été affectées d'une note. Pour les trois caractéristiques naturelles des terrains, cela permet d'attribuer une note de 1 à 4 à chacune des formations identifiées.

Les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des 19 formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

## 5.2. CRITERE LITHOLOGIQUE

### 5.2.1. Définition du critère lithologique et notation

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

Nous attribuerons par exemple la note maximale à une argile ou une marne épaisse et continue, et la note minimale à une formation hétérogène, présentant des termes argileux non-prédominants ou discontinus, par exemple sous forme de poches ou des lentilles argileuses. Cette caractérisation lithologique des formations est établie sur la base de l'expertise du géologue régional et ne peut être totalement dépourvue d'une certaine subjectivité dans son appréciation. Sa valeur relative en vue d'une hiérarchisation des formations argileuses est cependant difficilement contestable. Le barème d'attribution des notes lithologiques est le suivant (Illustration 26) :

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

Illustration 26 - Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation

### 5.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier

Les principaux éléments ayant permis la caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier ont été détaillés lors de la description de ces formations dans le paragraphe 4.4, et correspondent essentiellement aux descriptions issues des notices des cartes géologiques, complétées par l'expertise du géologue régional. Les notes lithologiques attribuées à chacune des formations sont présentées dans l'illustration 27.

N°	Nom de la formation argileuse	Note lithologique
1	Formations du Viséen	1
2	Formations du Stéphanien	2
3	Formations de l'Autunien gris	2
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	3
5	Formations du Trias	2
6	Formations du Jurassique inférieur	3
7	Formations de l'Eocène	3
8	Argiles du Cénozoïque	3
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	4
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	2
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	2
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	2
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	3
14	Colluvions d'Oligocène	3
15	Colluvions diverses	3
16	Limons des plateaux	2
17	Complexe de Limagne	3
18	Alluvions anciennes	2
19	Alluvions récentes	2

Illustration 27 - Note lithologique des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier

## 5.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

### 5.3.1. Définition du critère minéralogique et notation

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, constitués d'une alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, par exemple smectites/illite ou illite/smectites. La caractérisation

minéralogique des phases argileuses est classiquement réalisée par des analyses de diffractométrie de 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 28) :

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

*Illustration 28 - Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants*

### **5.3.2. Sources des données**

De manière générale, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, ne présentent aucune caractérisation qualitative ou quantitative des minéraux argileux composant les formations géologiques identifiées comme susceptibles. De même, les expertises de sinistres ne se basent que très rarement, pour effectuer leur diagnostic, sur des analyses par diffractométrie de rayons X, qui sont relativement coûteuses.

La caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier a été réalisée à partir de données issues des notices des cartes géologiques et d'une revue bibliographique détaillée, complétées par quelques analyses nouvelles par diffractométrie de rayons X, réalisées spécifiquement pour l'étude et confiées au LRPC de Clermont-Ferrand.

Les informations valorisées dans le cadre de cette étude sont de trois niveaux de précision : présence ou absence d'une phase minérale ; échelle d'abondance relative entre les divers composants argileux (et parfois entre ceux-ci et les composants non argileux) ; quantification (données en %) des espèces minérales argileuses, voire également des autres espèces minérales.

### **5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier**

L'ensemble des données ayant servi à la caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département a été présenté en détail, à la suite de la description lithostratigraphique, dans le paragraphe 4.4.

La détermination du pourcentage moyen de minéraux gonflants a été faite en prenant en compte l'ensemble des données qui ont été recueillies. Les analyses réalisées sur

le département sont privilégiées, mais le nombre d'échantillons, leur répartition géographique et leur représentativité en terme de faciès par rapport à l'ensemble de la formation sont également pris en compte dans la détermination de la note minéralogique (Illustration 29).

N°	Nom de la formation argileuse	Note minéralogique
1	Formations du Viséen	1
2	Formations du Stéphaniens	1
3	Formations de l'Autunien gris	1
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	2
5	Formations du Trias	2
6	Formations du Jurassique inférieur	1
7	Formations de l'Eocène	2
8	Argiles du Cénozoïque	2
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	3
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	3
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	2
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	2
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	2
14	Colluvions d'Oligocène	2
15	Colluvions diverses	2
16	Limons des plateaux	2
17	Complexe de Limagne	2
18	Alluvions anciennes	2
19	Alluvions récentes	1

Illustration 29 - Note minéralogique des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier

## 5.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

### 5.4.1. Définition du critère géotechnique et notation

Ce critère permet d'intégrer à l'analyse de la susceptibilité du matériau en fonction de son comportement géotechnique 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.

#### **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 le plus souvent les limites d'Atterberg (qui permettent de déterminer l'indice de plasticité - IP), le retrait-linéaire, l'essai au bleu de méthylène (qui indique la capacité d'adsorption du sol) et le coefficient de gonflement, éventuellement complétés par une analyse granulométrique pour déterminer le passant à 80  $\mu\text{m}$ . Les analyses sédimentométriques, qui permettraient de déterminer la fraction argileuse du matériau (< 2  $\mu\text{m}$ ), et les analyses aux rayons X, permettant de distinguer le pourcentage de minéraux gonflants ne sont que rarement réalisées.
- caractériser l'état du sol, et notamment son état de dessiccation : des mesures de teneurs en eau, et notamment la réalisation d'un profil de teneurs en eau suivant la profondeur, sont alors effectuées. 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.

### ***Teneur en eau ( $W_n$ )***

Les profils de teneur en eau en fonction de la profondeur de prélèvement (constitués généralement d'une dizaine de mesures réalisées à différentes profondeurs, jusqu'à 4 à 5 m) donnent des indications intéressantes sur la teneur en eau des couches superficielles au moment de la mesure, et par conséquent de leur éventuel état déficitaire.

D'une manière générale, les courbes de profil hydrique sont assez hétérogènes, en « dents de scie », en raison de l'hétérogénéité des matériaux de surface. Les teneurs en eau sont généralement plus faibles en surface, jusqu'à 3 m de profondeur, ce qui

traduit bien un assèchement (réversible) des couches superficielles. Pour de nombreux sinistres cependant, la teneur en eau est supérieure en surface (1 à 2 m de profondeur), ce qui indique qu'il y a eu ré-humidification des couches superficielles.

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

### **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 :

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note
<b><math>Ip &lt; 12</math></b>	<b>faible</b>	<b>1</b>
<b><math>12 \leq Ip &lt; 25</math></b>	<b>moyenne</b>	<b>2</b>
<b><math>25 \leq Ip &lt; 40</math></b>	<b>forte</b>	<b>3</b>
<b><math>Ip \geq 40</math></b>	<b>très forte</b>	<b>4</b>

*Illustration 30 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation*

L'expérience acquise au travers des études déjà réalisées montre cependant que ces coupures sont mal corrélées avec les valeurs de bleu (cf. paragraphe suivant) et que des adaptations sont nécessaires. En particulier, les seuils à 12 et 25 semblent plutôt devoir être décalés vers 15 et 30, voire 20 et 30.

### **Essai au bleu de méthylène (Vb)**

L'essai au bleu de méthylène permet 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 officiel des Laboratoires des Ponts et Chaussées (LCPC, 1979), puis normalisé (norme AFNOR NF P 18-592). Il consiste à mesurer la capacité d'adsorption de 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 au bleu (Vb) :

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

### **Retrait linéaire (RI)**

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

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, 2001) pour caractériser le potentiel de retrait avec ce paramètre.

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

*Illustration 32 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation*

Seules trois valeurs de retrait linéaire ont pu être consultées pour l'ensemble du département de l'Allier.

### **Coefficient de gonflement (Cg)**

L'essai de gonflement à l'œdomètre (ASTM 90) consiste à mesurer une amplitude de gonflement à la suite d'un apport d'eau. Il est par conséquent fortement conditionné par l'état initial de saturation en eau du sol considéré. En effet, pour un même sol, le gonflement relatif sera d'autant plus grand que le sol était initialement plus sec. Cette observation souligne l'intérêt d'associer ces essais avec la réalisation d'un profil hydrique. Ainsi la pression de gonflement ne constitue pas une caractéristique intrinsèque du sol, les valeurs dépendant fortement de l'état de saturation initial du sol considéré.

Le potentiel de gonflement peut cependant être caractérisé par le coefficient de gonflement Cg (pente de la droite de déchargement observée dans un essai œdométrique) pour lequel on propose les coupures suivantes, qui permettent de quantifier de façon relative le potentiel de gonflement des formations argileuses identifiées :

Coefficient de gonflement	Susceptibilité	Note
<b>Cg &lt; 0,025</b>	<b>faible</b>	<b>1</b>
<b>0,025 ≤ Cg &lt; 0,035</b>	<b>moyenne</b>	<b>2</b>
<b>0,035 ≤ Cg &lt; 0,055</b>	<b>forte</b>	<b>3</b>
<b>Cg ≥ 0,055</b>	<b>très forte</b>	<b>4</b>

*Illustration 33 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation*

Dans le département de l'Allier, seules quatre valeurs de coefficient de gonflement ont été recueillies.

#### **5.4.2. Sources des données**

Les données géotechniques qui ont été recueillies pour caractériser les différentes formations argileuses et marneuses affleurant dans le département proviennent de plusieurs sources :

- les rapports de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ou d'expertises de sinistres, réalisés par les bureaux d'études, constituent la principale source de données. Ces dossiers nous ont été transmis soit par les communes, soit par les mutuelles d'assurance, soit par la CCR, soit directement par les bureaux d'études ; les coordonnées complètes des bureaux d'études ayant fourni des données géotechniques sont présentées en annexe 4, conformément au protocole signé entre le BRGM et l'Union Syndicale de Géotechnique (USG) ;
- les mesures de valeur au bleu par le LRPC réalisées sur des échantillons prélevés par le BRGM dans le cadre de cette étude (annexe 5).

### **5.4.3. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier**

La synthèse des données géotechniques qui ont été utilisées dans le cadre de cette étude pour la caractérisation géotechnique des formations et les notes géotechniques attribuées sont présentées dans le tableau de l'illustration 34.

L'attribution des notes géotechniques s'est faite en fonction des corrélations entre les résultats des différents essais et la susceptibilité au retrait-gonflement, comme cela a été présenté dans les paragraphes précédents. Afin de hiérarchiser les résultats issus des différents types d'essais, il a été tenu compte du nombre d'échantillons pour chaque type d'essai, tout en accordant une importance plus forte aux valeurs au bleu, qui caractérisent le mieux la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement.

La note géotechnique la plus élevée est de trois et seules deux formations l'obtiennent : les *Formations de l'Eocène* et les *Argiles vertes et marnes de l'Oligocène*.

N°	Nom des formations	Indice de plasticité			Valeur de bleu (g/100g)			Coefficient de gonflement			Retrait linéaire			Note géotechnique
		Valeur moyenne	Nombre de valeurs	Note	Valeur moyenne	Nombre de valeurs	Note	Valeur moyenne	Nombre de valeurs	Note	Valeur moyenne	Nombre de valeurs	Note	
1	Formations du Viséen				1	1	1							1
2	Formations du Stéphaniens				1,4	1	1							1
3	Formations de l'Autunien gris				5,8	1	2							2
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	30,2	6	3	4,2	2	2	0,068	1	4				2
5	Formations du Trias	50	2	4	0,8	1	1							2
6	Formations du Jurassique inférieur	36	2	3	2,2	1	1							2
7	Formations de l'Eocène	35,4	29	3	5,1	1	2							3
8	Argiles du Cénozoïque				2,8	1	2							2
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	26,2	9	3	7,2	6	3	0,02	3	1	0,46	3	2	3
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	29	17	3	3,6	3	2							2
11	Sables argileux du Mio-Pliocène				1	1	1							1
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	24,7	106	2	2,6	13	2							2
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	13	1	2	8	1	3							2
14	Colluvions d'Oligocène	17,3	3	2	2	1	1							2
15	Colluvions diverses	20,8	28	2	7,8	1	3							2
16	Limons des plateaux	20	8	2	2,2	1	1							2
17	Complexe de Limagne				2,1	1	1							1
18	Alluvions anciennes	30,8	42	3	1,2	17	1							1
19	Alluvions récentes	22,8	12	2	2,7	2	2							2

Illustration 34 - Note géotechnique des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier

## 5.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE

### 5.5.1. Détermination du degré de susceptibilité

Au total, chaque formation a donc été caractérisée par trois notes pour les différents critères pris en compte selon les classifications présentées précédemment.

La moyenne des trois notes obtenues pour chaque formation permet de calculer un degré de susceptibilité globale vis-à-vis du retrait-gonflement. Cette moyenne ainsi obtenue est potentiellement comprise entre 1 et 4.

Les classes de susceptibilité déterminées à partir de la valeur moyenne ainsi calculée sont les suivantes (Illustration 35) :

Note moyenne	Degré de susceptibilité
valeur $\leq$ 2	<b>Faible (niveau 1)</b>
2 < valeur $\leq$ 3	<b>Moyen (niveau 2)</b>
valeur > 3	<b>Fort (niveau 3)</b>

*Illustration 35 - Indicateur du degré de susceptibilité.*

### 5.5.2. Caractérisation de la susceptibilité des formations argileuses et marneuses du département de l'Allier

La détermination du degré de susceptibilité des 19 formations argileuses et marneuses identifiées dans le département de l'Allier est présentée dans le tableau de l'illustration 36.

N°	Nom de la formation argileuse	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Note de susceptibilité	Degré de susceptibilité
1	Formations du Viséen	1	1	1	1,00	Faible
2	Formations du Stéphaniens	2	1	1	1,33	Faible
3	Formations de l'Autunien gris	2	1	2	1,67	Faible
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	3	2	2	2,33	Moyenne
5	Formations du Trias	2	2	2	2,00	Faible
6	Formations du Jurassique inférieur	3	1	2	2,00	Faible
7	Formations de l'Eocène	3	2	3	2,67	Moyenne
8	Argiles du Cénozoïque	3	2	2	2,33	Moyenne
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	4	3	3	3,33	Forte
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	2	3	2	2,33	Moyenne
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	2	2	1	1,67	Faible
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	2	2	2	2,00	Faible
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	3	2	2	2,33	Moyenne
14	Colluvions d'Oligocène	3	2	2	2,33	Moyenne
15	Colluvions diverses	3	2	2	2,33	Moyenne
16	Limons des plateaux	2	2	2	2,00	Faible
17	Complexe de Limagne	3	2	1	2,00	Faible
18	Alluvions anciennes	2	2	1	1,67	Faible
19	Alluvions récentes	2	1	2	1,67	Faible

*Illustration 36 - Degré de susceptibilité des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier*

L'illustration 37 reprend les résultats établis précédemment en classant les formations par niveau de susceptibilité et en précisant les surfaces concernées.

Ces chiffres permettent de constater que la surface du département ayant une susceptibilité forte est relativement réduite, la superficie du département correspondant globalement pour moitié à une susceptibilité faible, pour un quart à une susceptibilité moyenne et pour un autre quart à une susceptibilité a priori nulle. Cela correspond à la sinistralité observée dans le département qui, rappelons-le, n'est pas parmi les plus touchés par le phénomène de retrait-gonflement, comparativement à d'autres départements français, et notamment à ceux du Puy-de-Dôme et de la région Centre voisine.

Numéro de la formation	Nom de la formation	Degré de susceptibilité	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de la superficie départementale
1	Formations du Viséen	Faible	41,74	0,57%
2	Formations du Stéphanién	Faible	93,11	1,26%
3	Formations de l'Autunien gris	Faible	87,34	1,18%
5	Formations du Trias	Faible	312,36	4,23%
6	Formations du Jurassique inférieur	Faible	19,33	0,26%
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	Faible	62,47	0,85%
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	Faible	1593,60	21,60%
16	Limons des plateaux	Faible	183,31	2,48%
17	Complexe de Limagne	Faible	46,01	0,62%
18	Alluvions anciennes	Faible	566,37	7,68%
19	Alluvions récentes	Faible	594,56	8,06%
<b>Total des formations à susceptibilité faible</b>			<b>3600,20</b>	<b>48,80%</b>
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	Moyenne	251,04	3,40%
7	Formations de l'Eocène	Moyenne	265,72	3,60%
8	Argiles du Cénozoïque	Moyenne	4,83	0,07%
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	Moyenne	317,78	4,31%
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	Moyenne	728,86	9,88%
14	Colluvions d'Oligocène	Moyenne	109,94	1,49%
15	Colluvions diverses	Moyenne	262,27	3,55%
<b>Total des formations à susceptibilité moyenne</b>			<b>1940,43</b>	<b>26,30%</b>
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	Forte	100,06	1,36%
<b>Total des formations à susceptibilité forte</b>			<b>100,06</b>	<b>1,36%</b>
<b>Total des formations argileuses</b>			<b>5640,69</b>	<b>76,45%</b>
<b>Formations a priori non-argileuses</b>			<b>1737,23</b>	<b>23,55%</b>
<b>Total du département</b>			<b>7377,92</b>	<b>100,00%</b>

Illustration 37 - Surfaces d'affleurement des formations argileuses et marneuses classées par degré de susceptibilité

### 5.5.3. Carte de susceptibilité

L'illustration 38 représente la carte départementale de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement, réalisée d'après les résultats présentés dans l'illustration 36. La carte départementale de susceptibilité a été établie à partir de la carte interprétée des formations potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement en attribuant à chacune des formations géologiques la classe de susceptibilité définie ci-dessus.

Cette carte est également présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000. Les formations sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur degré de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

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



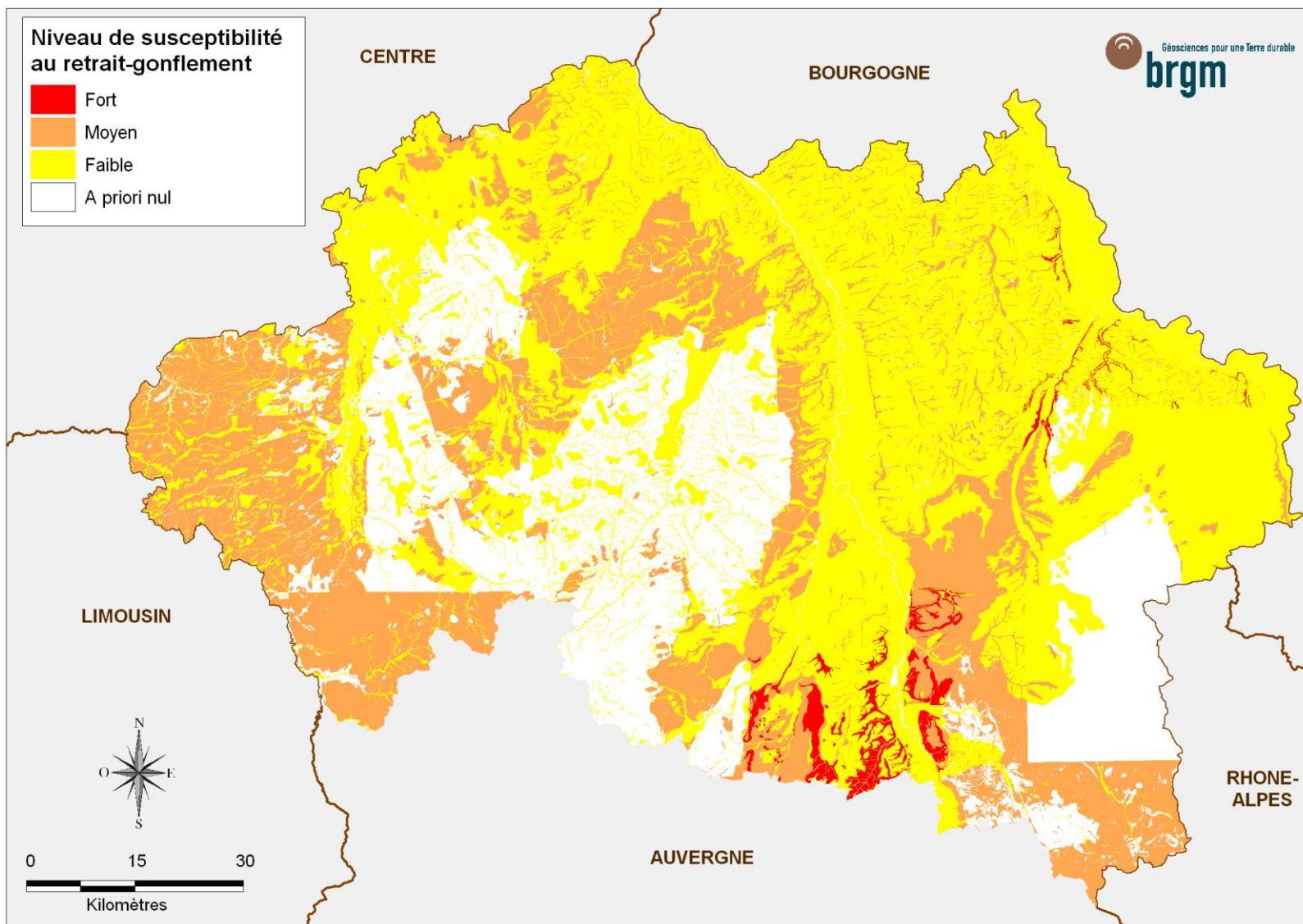


Illustration 38 - Carte de susceptibilité au retrait gonflement des formations argileuses et marneuses retenues dans le département de l'Allier



## **6. Inventaires des communes sinistrées et des sinistres « sécheresse » - Détermination du critère densité de sinistres**

### **6.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE**

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

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

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

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

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

été modifiés pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle concernant les sinistres survenus au cours de l'été 2003.

Les études menées en vue de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne sont habituellement réalisées que sur quelques cas de désordres de bâtis par commune. L'ensemble des sinistres d'une commune est rarement pris en compte et il n'est pas rare qu'un seul sinistre permette de classer l'ensemble de la commune en état de catastrophe naturelle. Par ailleurs, dès lors qu'une commune a été reconnue une fois, il n'est pas exigé d'étude géotechnique supplémentaire pour définir une nouvelle période de reconnaissance. Il est également à noter que depuis une circulaire du 23 janvier 2008 du Ministère de l'Intérieur, de l'Outre-Mer et des Collectivités Territoriales, la présence potentielle de sols argileux dans la commune peut être déduite des cartes d'aléa retrait-gonflement publiées sur le site [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr) lorsqu'elles sont disponibles.

De surcroît, ces études préalables sont généralement très succinctes. Une visite de terrain permet de réaliser un bref audit des sinistres, de noter les dates d'apparition des premiers désordres (pour les comparer avec les chroniques pluviométriques), d'observer les pathologies et la nature des terrains, de noter la présence éventuelle de végétation arborée à proximité du bâti sinistré et de recueillir le témoignage des propriétaires. L'examen de la carte géologique du BRGM à l'échelle 1/50 000, complété éventuellement par des observations de terrain ou des sondages, permet de préciser la nature des formations géologiques environnant les sinistres et de déterminer celle qui a été à l'origine des désordres.

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

Dans le cas du département de l'Allier, différents bureaux d'études ont réalisé des dossiers techniques pour établir la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ou expertiser des sinistres pour le compte des compagnies d'assurance.

## **6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES**

### **6.2.1. Localisation des communes sinistrées**

A la date du 04 mai 2011, 122 communes du département de l'Allier ont déjà été reconnues au moins une fois depuis 1989 en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols (Illustration 39).

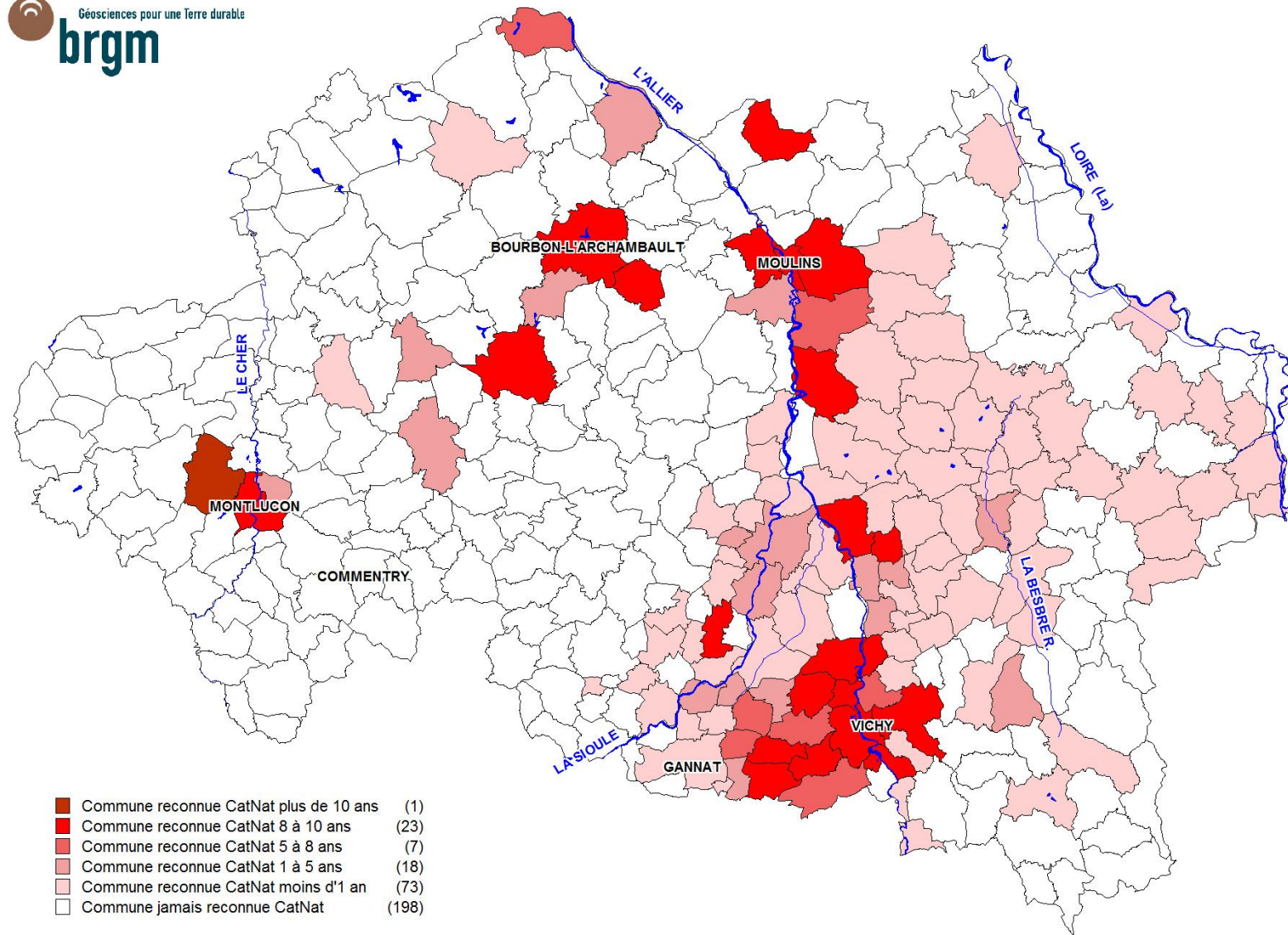


Illustration 39 - Carte des communes sinistrées du département de l'Allier (source : base Gaspar – prim.net – extraction du 04/05/2011)

Ces communes représentent 38,1 % des 320 communes que compte le département. Au total, 35 arrêtés différents reconnaissant l'état de catastrophe naturelle ont été pris dans le département de l'Allier (Illustration 40).

Date de publication de l'arrêté	Date de publication au JO	Nb de communes reconnues
31-juil-92	18-août-92	33
25-janv-93	07-févr-93	1
18-mai-93	12-juin-93	6
06-déc-93	28-déc-93	1
08-mars-94	24-mars-94	1
27-mai-94	10-juin-94	2
30-juin-94	09-juil-94	3
12-janv-95	31-janv-95	1
03-mai-95	07-mai-95	1
08-janv-96	28-janv-96	1
17-juin-96	09-juil-96	1
09-déc-96	20-déc-96	1
21-janv-97	05-févr-97	1
11-févr-97	23-févr-97	1
19-sept-97	11-oct-97	2
17-déc-97	30-déc-97	1
02-févr-98	18-févr-98	4
12-mars-98	28-mars-98	2
09-avr-98	23-avr-98	3
15-juil-98	29-juil-98	4
22-oct-98	13-nov-98	7
19-nov-98	11-déc-98	6
29-déc-98	13-janv-99	2
21-janv-99	05-févr-99	2
23-févr-99	10-mars-99	4
19-mars-99	03-avr-99	2
19-mai-99	05-juin-99	2
22-juin-99	14-juil-99	2
21-juil-99	24-août-99	3
25-août-04	26-août-04	93
27-mai-05	31-mai-05	8
22-nov-05	13-déc-05	1
15-janv-07	25-janv-07	2
13-déc-10	13-janv-11	1
21-févr-11	25-févr-11	1

*Illustration 40 – Liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle « sécheresse » concernant des communes de l'Allier*

La liste des communes concernées est présentée dans les tableaux de l'annexe 2, ainsi que les périodes déclarées sinistrées, les dates des arrêtés interministériels et les dates de leur parution au Journal Officiel. La carte de l'illustration 39 permet de

localiser les 122 communes ayant fait l'objet d'un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle<sup>1</sup>.

Le nombre d'arrêtés par commune varie de un à six, et le nombre total d'occurrences – i.e. le nombre d'arrêtés en distinguant par commune et par période - est égal à 206 pour le département de l'Allier (annexe 3), ce qui le place loin derrière les départements français les plus touchés (plus de 1 000 occurrences, par exemple, pour la Haute-Garonne, le Gers et la Dordogne...).

Cette carte montre que les communes reconnues en état de catastrophe naturelle pour le retrait-gonflement des argiles sont pour la plupart regroupées dans des zones géographiques bien définies : dans le fossé de la Limagne, notamment le long des vallées de l'Allier et de la Sioule et entre ces deux rivières, dans le bassin de Bourbon-l'Archambault, et dans le Val de Cher à la hauteur de Montluçon.

### 6.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

La durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle varie fortement d'une commune à l'autre et il est donc apparu préférable de raisonner en terme de durée cumulée (en années) reconnue en état de catastrophe naturelle pour chaque commune, pour mettre en évidence celles qui ont été le plus longtemps affectées par le phénomène (Illustration 41). Il convient toutefois de noter que, pour Domérat et Cognat-Lyonne, cette durée est faussée car, d'après la base Gaspar, ces communes ont fait l'objet de deux types de reconnaissance ("mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse" et "mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols") pour des périodes qui se chevauchent. Les durées de reconnaissance ont par conséquent été corrigées pour ces deux communes.

Certaines communes sinistrées n'ont été reconnues que pendant 1 mois (Louroux-Hodement), tandis que d'autres ont été reconnues pendant plusieurs années, d'affilée ou en cumulé (le record étant pour la commune de Domérat, avec plus de 11 ans en cumulé).

INSEE Commune	Commune	Durée CatNat (années)	Nb sinistres
03011	AUROUER	9,33	18
03012	AUTRY-ISSARDS	8,75	6
03014	AVRILLY	0,25	0
03018	BAYET	2,92	4
03023	BELLERIVE-SUR-ALLIER	9,83	86
03025	BESSAY-SUR-ALLIER	9,00	15
03029	BILLY	2,83	4
03030	BIOZAT	8,17	9
03034	BOUCE	0,25	0
03036	BOURBON-L'ARCHAMBAULT	9,25	34
03038	BRANSAT	0,25	0
03040	BRESSOLLES	2,58	1

<sup>1</sup> Données communiquées par la Préfecture de l'Allier.

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

INSEE Commune	Commune	Durée CatNat (années)	Nb sinistres
03043	BROUT-VERNET	0,25	0
03044	BRUGHEAS	6,42	11
03046	BUXIERES-LES-MINES	9,25	14
03053	CHANTELLE	0,25	0
03054	CHAPEAU	0,25	0
03059	CHAREIL-CINTRAT	0,25	0
03060	CHARMEIL	9,00	5
03061	CHARMES	2,83	14
03064	CHATEAU-SUR-ALLIER	6,00	21
03065	CHATEL-DE-NEUVRE	0,25	0
03066	CHATEL-MONTAGNE	0,25	0
03067	CHATELPERRON	0,25	0
03071	CHAVROCHES	0,25	0
03079	CINDRE	0,25	0
03080	COGNAT-LYONNE	9,50	28
03083	CONTIGNY	0,25	0
03084	COSNE-D'ALLIER	2,58	1
03087	COULEUVRE	0,75	1
03091	CRECHY	2,83	2
03093	CREUZIER-LE-NEUF	0,25	0
03094	CREUZIER-LE-VIEUX	8,00	8
03095	CUSSET	9,50	34
03098	DESERTINES	2,58	2
03101	DOMERAT	11,33	108
03103	LE DONJON	0,25	0
03109	ESCUROLLES	6,08	13
03110	ESPINASSE-VOZELLE	7,92	54
03112	ETROUSSAT	9,83	17
03118	GANNAT	0,25	0
03124	GUISE	0,25	0
03131	ISSERPENT	2,83	4
03132	JALIGNY-SUR-BESBRE	0,25	0
03133	JENZAT	2,83	5
03137	LANGY	2,83	1
03138	LAPALISSE	0,25	0
03140	LAVAUT-SAINTE-ANNE	0,00	1
03142	LENAX	0,25	0
03148	LORIGES	0,25	0
03149	LOUCHY-MONTFAND	3,17	2
03153	LOUROUX-HODEMENT	0,08	0
03154	LUNEAU	0,25	0
03156	LUSIGNY	0,25	0
03157	MAGNET	0,25	0
03163	MARIOL	0,25	0
03164	LE MAYET-D'ECOLE	2,83	10
03165	LE MAYET-DE-MONTAGNE	0,25	0
03166	MAZERIER	0,25	0
03171	MERCY	0,25	0
03176	MONETAY-SUR-ALLIER	0,25	0
03177	MONETAY-SUR-LOIRE	0,25	0
03178	MONTAIGUET-EN-FOREZ	0,25	0
03179	MONTAIGU-LE-BLIN	0,25	0
03180	MONTBEUGNY	0,25	0
03181	MONTCOMBROUX-LES-MINES	0,25	0
03182	MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	5,08	16
03185	MONTLUCON	9,33	26
03187	MONTOLDRE	0,25	0
03188	MONTORD	0,25	0
03190	MOULINS	9,25	8
03194	NAVES	0,25	0
03196	NEUILLY-EN-DONJON	0,25	0
03197	NEUILLY-LE-REAL	0,25	0
03200	NEUVY	9,25	10
03203	PARAY-LE-FRESIL	0,25	0
03204	PARAY-SOUS-BRIAILLES	0,25	0
03205	PERIGNY	0,25	0
03207	PIERREFITTE-SUR-LOIRE	0,25	0
03208	LE PIN	0,25	0
03209	POEZAT	0,25	0

INSEE Commune	Commune	Durée CatNat (années)	Nb sinistres
03215	RONGERES	9,50	7
03218	SAINT-AUBIN-LE-MONIAL	2,58	4
03220	SAINT-BONNET-DE-ROCHEFORT	0,25	0
03223	SAINT-CHRISTOPHE	0,25	0
03227	SAINT-DIDIER-LA-FORET	0,25	0
03232	SAINT-FELIX	0,25	0
03234	SAINT-GERAND-DE-VAUX	0,25	0
03235	SAINT-GERAND-LE-PUY	0,25	0
03236	SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	9,50	31
03237	SAINT-GERMAIN-DE-SALLES	0,25	0
03239	SAINT-LEGER-SUR-VOUZANCE	0,25	0
03240	SAINT-LEON	0,25	0
03241	SAINT-LEOPARDIN-D'AUGY	1,50	1
03242	SAINT-LOUP	0,25	0
03252	SAINT-PONT	2,83	18
03254	SAINT-POURCAIN-SUR-SIOULE	4,00	3
03257	SAINT-PRIX	0,25	0
03258	SAINT-REMY-EN-ROLLAT	9,00	2
03263	SAINT-VOIR	0,25	0
03264	SAINT-YORRE	0,25	0
03266	SANSSAT	0,25	0
03267	SAULCET	0,25	0
03268	SAULZET	0,25	0
03271	SERBANNES	8,17	24
03273	SEUILLET	0,25	0
03274	SORBIER	0,25	0
03278	TAXAT-SENAT	0,25	0
03284	THONNE	0,25	0
03286	TOULON-SUR-ALLIER	7,50	8
03289	TRETEAU	0,25	0
03291	TREZELLES	3,83	1
03294	USSEL-D'ALLIER	0,25	0
03298	VARENNES-SUR-ALLIER	8,17	14
03299	VARENNES-SUR-TECHE	0,25	0
03300	VAUMAS	0,25	0
03302	VEAUCE	0,25	0
03304	VENDAT	9,00	25
03306	LE VERNET	0,25	0
03310	VICHY	9,00	37
03315	VILLEFRANCHE-D'ALLIER	3,92	9
03321	YZEURE	9,25	34
03001	ABREST	9,58	15

*Illustration 41 - Durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle "sécheresse" et nombre de sinistres recensés et localisés par commune*

On peut noter qu'aucun sinistre n'a été recensé sur certaines communes reconnues en état de catastrophe naturelle. Ceci s'explique par le fait que ces communes n'étaient pas encore reconnues en état de catastrophe naturelle lors de l'inventaire des sinistres (courant 2003). En effet, seules 100 occurrences concernent des périodes antérieures à l'été 2003 (juin 1989 à décembre 1998), alors que 104 correspondent à cet épisode de sécheresse particulier, et 2 seulement à des périodes postérieures (été 2009 et décembre 2009).

On peut de plus noter que lors de la procédure exceptionnelle mise en œuvre suite à la sécheresse de l'été 2003, 296 dossiers de sinistres ont été déposés, dont 113 ont été jugés éligibles.

La sinistralité très significative apparue dans le département n'a donc pu être prise en compte dans cette étude. Toutefois, compte tenu de la représentativité de l'échantillon analysé (paragraphe 6.3), il est probable que la répartition de ces nouveaux sinistres

soit relativement conforme à celle analysée, et ne modifie pas fondamentalement les observations.

### **6.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES**

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de deux sources d'informations principales. Une enquête a été menée en 2002-2003 auprès de toutes les communes ayant été reconnues en état de catastrophe naturelle pour le phénomène à cette date. Toutes ont répondu à cette enquête. La seconde source de sinistres est la Caisse Centrale de Réassurance, interrogée à la même époque. Comme évoqué au paragraphe précédent, aucune enquête spécifique n'a pu être menée sur les communes reconnues en état de catastrophe naturelle depuis, et notamment pour l'été 2003. Toutefois, l'échantillon obtenu étant statistiquement représentatif de l'occurrence du phénomène, il est probable que la prise en compte de nouveaux sinistres présente une répartition similaire vis-à-vis de la géologie.

Des données complémentaires ont été recueillies auprès de certaines mutuelles d'assurance, d'experts et de bureaux d'études, ce qui a permis de répertorier quelques dizaines de sinistres supplémentaires et de recouper les informations entre les différentes sources d'information. Au total, ce sont 826 sinistres qui ont été recensés sur l'ensemble du département de l'Allier. Ce nombre, qui montre bien que ce risque naturel affecte l'Allier de façon significative, est cependant nettement inférieur au nombre de sinistres recensés dans des départements voisins dans le cadre d'études similaires (4 111 dans le Puy-de-Dôme, par exemple).

Ces 826 sinistres se répartissent dans 51 communes, une seule n'ayant jamais été reconnue en état de catastrophe naturelle. Parmi elles, 7 ne comptent qu'un seul sinistre, 20 en comptent entre 2 et 10, 21 entre 11 et 50, tandis que 3 communes en compte plus de 51 : 108 à Domérat, 86 à Bellerive-sur-Allier et 54 à Espinasse-Vozelle (illustrations 41 et 42).

Etant donné le taux de réponses de 100 % des communes reconnues en état de catastrophe naturelle à l'époque de l'enquête et la complémentarité des sources d'information, on peut considérer que les sinistres recensés dans le cadre de cette étude, bien que très probablement non exhaustifs, sont représentatifs de l'ensemble des sinistres survenus dans le département avant 2003 : l'étude des densités de sinistres par formation géologique est donc possible à partir de cet échantillon. On rappelle que les sinistres survenus ultérieurement n'ont pas pu être intégrés à l'étude.

Ces 826 sinistres ont été localisés sur les fonds topographiques de l'IGN à 1/25 000. Ce travail a été réalisé grâce aux cartes et plans de localisation renvoyés par les communes et ceux consultés dans les dossiers réalisés par les différents bureaux d'études.

La liste des sinistres avec leurs coordonnées en Lambert II Carto 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 (sinistres communiqués par deux sources différentes ou sinistres récurrents sur un même site), n'apparaissent pas dans ce tableau.

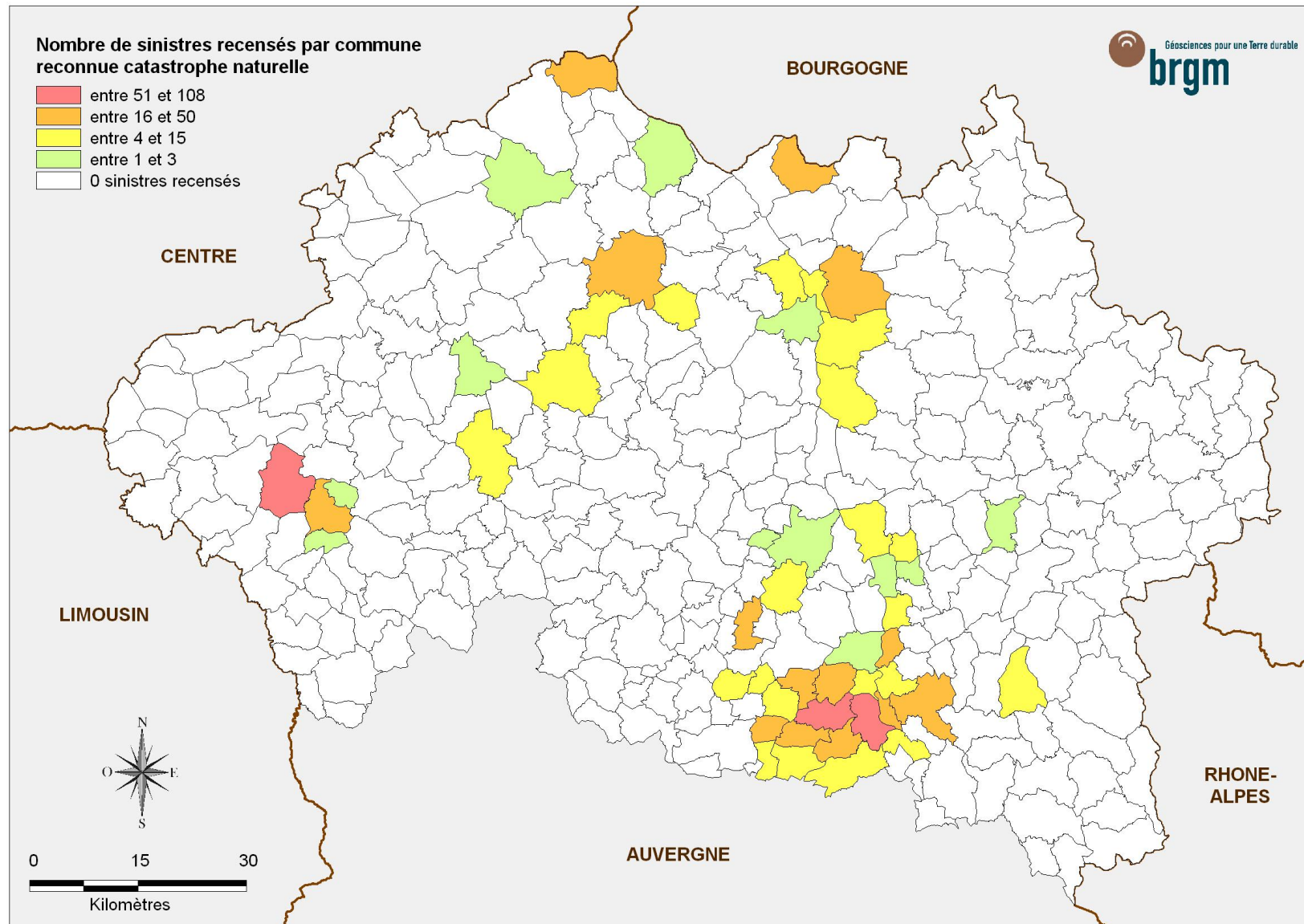


Illustration 42 - Carte de répartition par commune des sinistres recensés dans le département de l'Allier

## 6.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES

La nature géologique des terrains affleurants constitue le principal facteur de prédisposition au phénomène de retrait-gonflement, ce qui conduit à étudier la répartition des sinistres par formation géologique.

Pour chaque site de sinistre recensé, le croisement avec les cartes géologiques a permis de déterminer la nature de la formation concernée. 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 des formations argileuses et marneuses établie dans le cadre de la présente étude.

L'illustration 43 présente, pour chaque formation argileuse ou marneuse, le nombre de sinistres, la superficie de la formation et la densité de sinistres pour 100 km<sup>2</sup>.

Numéro de la formation	Nom de la formation argileuse	Superficie (km <sup>2</sup> )	Pourcentage de la superficie départementale	Nombre de sinistres	Densité de sinistres (sin. / 100km <sup>2</sup> )
1	Formations du Viséen	41,74	0,57%	0	0,00
2	Formations du Stéphanién	93,11	1,26%	2	2,15
3	Formations de l'Autunien gris	87,34	1,18%	5	5,72
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	251,04	3,40%	47	18,72
5	Formations du Trias	312,36	4,23%	1	0,32
6	Formations du Jurassique inférieur	19,33	0,26%	6	31,04
7	Formations de l'Eocène	265,72	3,60%	92	34,62
8	Argiles du Cénozoïque	4,83	0,07%	0	0,00
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	100,06	1,36%	136	135,93
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	317,78	4,31%	73	22,97
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	62,47	0,85%	2	3,20
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	1593,60	21,60%	184	11,55
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	728,86	9,88%	8	1,10
14	Colluvions d'Oligocène	109,94	1,49%	23	20,92
15	Colluvions diverses	262,27	3,55%	23	8,77
16	Limons des plateaux	183,31	2,48%	3	1,64
17	Complexe de Limagne	46,01	0,62%	0	0,00
18	Alluvions anciennes	566,37	7,68%	179	31,61
19	Alluvions récentes	594,56	8,06%	31	5,21
<b>Total formations argileuses et marneuses</b>		<b>5640,69</b>	<b>76,45%</b>	<b>815</b>	<b>14,45</b>
<b>Formations non-argileuses</b>		<b>1737,23</b>	<b>23,55%</b>	<b>11</b>	<b>0,63</b>
<b>Total département</b>		<b>7377,92</b>	<b>100,00%</b>	<b>826</b>	<b>11,20</b>

Illustration 43 - Répartition des sinistres par formation géologique retenue dans le département de l'Allier

### 6.4.1. Répartitions des sinistres par formation géologique

Il apparaît par ailleurs que 815 sinistres sur les 826 recensés - soit près de 98,7 % des événements - sont localisés sur des formations argileuses et marneuses, alors que ces dernières occupent 76,5 % de la surface totale du département. Ce résultat est tout à

fait satisfaisant et montre donc la très bonne corrélation entre les faciès argileux et marneux cartographiés et les sinistres répertoriés. La densité de sinistres de l'ensemble des formations a priori non argileuses est près de 23 fois inférieure à celle des formations argileuses ou marneuses.

Les 11 sinistres qui sont localisés sur des formations a priori non argileuses peuvent s'expliquer de différentes façons :

- certaines formations considérées comme a priori non argileuses peuvent contenir localement des poches ou niveaux d'argiles : cela concerne en particulier, comme on l'a vu dans la description lithostratigraphique des formations, le socle granitique et métamorphique (cas du petit horst de Bourbon-l'Archambault par exemple) ;
- quelques sinistres ont pu être mal localisés (on remarque que ces sinistres se trouvent toujours près de la limite d'une formation argileuse) ;
- certains contours de formations géologiques peuvent être localement inexacts ;
- certains sinistres ont été attribués au retrait-gonflement des argiles alors qu'ils sont en réalité dus à un autre phénomène (tassement de remblais ou de formations compressibles, défauts de construction,...).

Parmi les formations argileuses ou marneuses, 3 formations présentent un nombre très élevé de sinistres : ce sont les *Sables et argiles du Bourbonnais* (184 sinistres), les *Alluvions anciennes* (179 sinistres) et les *Argiles vertes et marnes de l'Oligocène* (136 sinistres), qui totalisent à elles seules 60 % des sinistres recensés. Ce chiffre s'explique par la grande extension de ces formations, qui couvrent plus de 30 % du territoire départemental, et par leurs répartitions géographiques dans des secteurs parmi les plus urbanisés du département (Limagne d'Allier, en particulier).

Il faut également noter trois autres formations qui se distinguent par un nombre élevé de sinistres : les *Formations de l'Eocène* (92 sinistres), les *Formations de l'Oligocène et du Miocène* (73 sinistres) et les *Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien* (47 sinistres).

#### **6.4.2. Densités de sinistres par formation géologique**

Etant 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 km<sup>2</sup> de surface d'affleurement).

Les formations qui ont une densité de sinistres élevée sont d'abord les *Argiles vertes et marnes de l'Oligocène* (135,9 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>), puis viennent les *Formations de l'Eocène* (34,6 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>), les *Alluvions anciennes* (31,6 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>), les *Formations du Jurassique inférieur* (31,0 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>), les *Formations de l'Oligocène et du Miocène* (23,0 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>), les *Colluvions d'Oligocène* (20,9 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>), les *Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien* (18,7 sinistres pour 100 km<sup>2</sup>).

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 peu

urbanisé aura moins de probabilité de donner lieu à des sinistres sur le bâti qu'une formation sur laquelle sont rassemblées des zones urbaines. Cela explique que l'on ait été amené à raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique, ramenées à 100 km<sup>2</sup> de surface urbanisée.

## **6.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE URBANISEE**

### **6.5.1. Détermination de la densité de sinistres par formation**

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

La surface totale des zones bâties du département a été ainsi estimée à environ 47,9 km<sup>2</sup>, soit 0,65 % de la superficie départementale (Illustration 44).

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses avec celle des zones bâties permet d'estimer la surface totale occupée par les zones bâties dans les formations retenues comme argileuses à 39,75 km<sup>2</sup>, soit 0,70 % de leur surface totale d'affleurement. Les surfaces bâties et le nombre de sinistres recensés sont indiqués pour chaque formation dans le tableau de l'illustration 45.

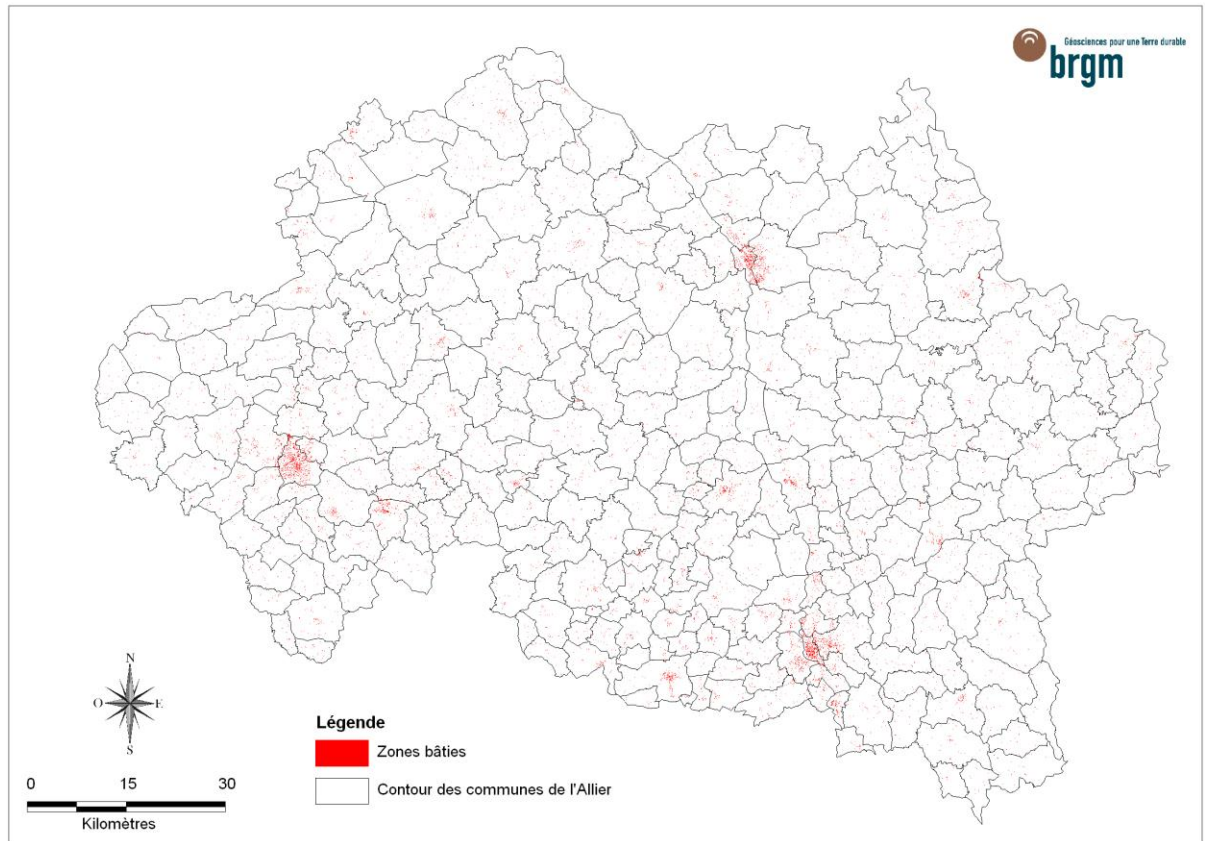


Illustration 44 - Carte des zones bâties dans le département de l'Allier selon la BD Topo de l'IGN

### 6.5.2. Détermination du critère « densité de sinistre »

Le critère utilisé pour évaluer la fréquence d'occurrence des sinistres pour chaque formation géologique est la densité de sinistres rapportée à 100 km<sup>2</sup> d'affleurement réellement bâtis (Illustration 45). Des seuils, basés sur la valeur moyenne des densités de sinistres pour les formations géologiques retenues (2 050,34 sinistres/100 km<sup>2</sup> bâtis ici, arrondi à 2 050), ont été arbitrairement définis, à partir de ce critère, pour donner une note « densité de sinistres » à chaque formation, ce qui permet de les classer en fonction de la sinistralité :

*note 1* : moins de 2 050 sinistres (seuil égal à la moyenne) pour 100 km<sup>2</sup> de surface bâtis dans la formation ;

*note 2* : entre 2 050 et 4 100 sinistres (valeur haute égale à deux fois la moyenne) pour 100 km<sup>2</sup> de surface bâtis dans la formation ;

*note 3* : plus de 4 100 sinistres pour 100 km<sup>2</sup> de surface bâtis dans la formation.

La note de sinistralité relative au critère « densité de sinistres » est indiquée dans la dernière colonne du tableau de l'illustration 45.

Il est à noter que ce niveau de sinistralité, bien que très significatif, reste largement inférieur à ceux obtenus dans les départements français les plus concernés. Les comparaisons avec la plupart de ces départements restent délicates car la surface bâtie a été parfois évaluée avec d'autres outils, moins précis. Par exemple, dans plusieurs départements de la région Ile-de-France où le même type de données ont valorisées (Essonne, Val-de-Marne et Seine-Saint-Denis), la densité de sinistres atteint en moyenne 9 000 sinistres pour 100 km<sup>2</sup> de surface bâtie argileuse, avec des pointes allant jusqu'à plus de 50 000 sinistres pour 100 km<sup>2</sup> bâtis dans certaines formations argileuses particulièrement réactives.

En Auvergne, le département voisin du Puy-de-Dôme, qui fait partie des départements les plus affectés en France, présente une densité de sinistres moyenne de plus de 12 000 sinistres pour 100 km<sup>2</sup> de surface bâtie argileuse, avec des pointes allant jusqu'à plus de 20 000 à 30 000 sinistres pour 100 km<sup>2</sup> bâtis dans certaines formations (respectivement les *Argiles, marnes et calcaires de l'Oligocène et colluvions dérivées* et le *Complexe de Limagne*, que l'on retrouve toutes deux dans l'Allier).

Numéro de la formation	Nom de la formation argileuse	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de la superficie départementale	Nombre de sinistres	Surface bâtie (km <sup>2</sup> )	% de la surface bâtie départementale	Taux d'urbanisation	Densité de sinistres pour 100 km <sup>2</sup> de formation urbanisée	Note de sinistralité
1	Formations du Viséen	41,74	0,57%	0	0,21	0,43%	0,49%	0,00	1
2	Formations du Stéphaniens	93,11	1,26%	2	0,81	1,69%	0,87%	246,83	1
3	Formations de l'Autunien gris	87,34	1,18%	5	0,34	0,72%	0,39%	1 457,38	1
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	251,04	3,40%	47	1,06	2,20%	0,42%	4 453,71	3
5	Formations du Trias	312,36	4,23%	1	1,17	2,45%	0,38%	85,37	1
6	Formations du Jurassique inférieur	19,33	0,26%	6	0,16	0,34%	0,84%	3 680,42	2
7	Formations de l'Eocène	265,72	3,60%	92	2,22	4,63%	0,83%	4 146,53	3
8	Argiles du Cénozoïque	4,83	0,07%	0	0,02	0,03%	0,33%	0,00	1
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	100,06	1,36%	136	1,11	2,31%	1,11%	12 268,28	3
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	317,78	4,31%	73	2,70	5,64%	0,85%	2 703,23	2
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	62,47	0,85%	2	0,22	0,45%	0,35%	923,50	1
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	1 593,60	21,60%	184	7,38	15,41%	0,46%	2 492,58	2
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	728,86	9,88%	8	3,66	7,64%	0,50%	218,51	1
14	Colluvions d'Oligocène	109,94	1,49%	23	0,97	2,02%	0,88%	2 378,41	2
15	Colluvions diverses	262,27	3,55%	23	1,47	3,07%	0,56%	1 562,82	1
16	Limons des plateaux	183,31	2,48%	3	0,76	1,58%	0,41%	395,70	1
17	Complexe de Limagne	46,01	0,62%	0	0,15	0,31%	0,32%	0,00	1
18	Alluvions anciennes	566,37	7,68%	179	10,64	22,22%	1,88%	1 681,59	1
19	Alluvions récentes	594,56	8,06%	31	4,71	9,83%	0,79%	658,32	1

<b>Total formations argileuses et marneuses</b>	5 640,69	76,45%	815	39,75	82,99%	0,70%	2 050,34
---	----------	--------	-----	-------	--------	-------	----------

<b>Formations non-argileuses</b>	1 737,23	23,55%	11	8,15	17,01%	0,47%	135,00
----------------------------------	----------	--------	----	------	--------	-------	--------

<b>Total département</b>	7 377,92	100,00%	826	47,90	100,00%	0,65%	1 724,52
--------------------------	----------	---------	-----	-------	---------	-------	----------

Illustration 45 - Densité de sinistres par formation ramenée à 100 km<sup>2</sup> de surface bâtie et détermination du critère densité de sinistres

## 7. Carte d'aléa

### 7.1. DETERMINATION 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 et marneuses identifiées a été caractérisée à partir de la moyenne des notes attribuées pour chacun des critères lithologique, minéralogique et géotechnique, comme indiqué au chapitre 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 la valeur 1, 2 ou 3.

Concernant la sinistralité, le critère utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km<sup>2</sup> d'affleurement réellement bâti. La note de sinistralité est établie en comparant ce résultat aux valeurs seuils, comme indiqué au chapitre 6, et vaut selon les cas 1, 2 ou 3.

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

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

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

Le classement ainsi obtenu est présenté dans l'illustration 46.

Numéro de la formation	Nom de la formation argileuse	Superficie (km <sup>2</sup> )	Note de susceptibilité	Note de sinistralité	Indice d'aléa	Niveau d'aléa
1	Formations du Viséen	41,74	1	1	3	Faible
2	Formations du Stéphanién	93,11	1	1	3	Faible
3	Formations de l'Autunien gris	87,34	1	1	3	Faible
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	251,04	2	3	7	Moyen
5	Formations du Trias	312,36	1	1	3	Faible
6	Formations du Jurassique inférieur	19,33	1	2	4	Faible
7	Formations de l'Eocène	265,72	2	3	7	Moyen
8	Argiles du Cénozoïque	4,83	2	1	5	Faible
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	100,06	3	3	9	Fort
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	317,78	2	2	6	Moyen
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	62,47	1	1	3	Faible
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	1593,60	1	2	4	Faible
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	728,86	2	1	5	Faible
14	Colluvions d'Oligocène	109,94	2	2	6	Moyen
15	Colluvions diverses	262,27	2	1	5	Faible
16	Limons des plateaux	183,31	1	1	3	Faible
17	Complexe de Limagne	46,01	1	1	3	Faible
18	Alluvions anciennes	566,37	1	1	3	Faible
19	Alluvions récentes	594,56	1	1	3	Faible

Illustration 46 - Calcul du niveau d'aléa de chacune des formations argileuses retenues dans le département de l'Allier

Le tableau de l'illustration 47 présente les surfaces des différentes formations classées par niveau d'aléa.

Il apparaît ainsi que seules les *Argiles vertes et marnes de l'Oligocène* sont définies par un aléa fort, ce qui représente 1,36 % de la surface du département.

Quatre formations ont été classées en aléa moyen, couvrant 12,8 % du territoire départemental, la part de chacune d'entre elles étant comprise entre 1,5 % et 4,3 %.

Quatorze formations ont été caractérisées par un aléa faible, affleurant sur un total de 62,3 % de la superficie du département. Les *Formations des Sables et argiles du Bourbonnais* représente plus d'un tiers de cette catégorie en termes de surface d'affleurement.

Les résultats obtenus, avec seulement 1,36 % de la surface départementale classée en aléa fort et 12,80 % en aléa moyen, sont en accord avec le taux de sinistralité du département, comparé à d'autres départements affectés par le phénomène.

Numéro de la formation	Nom de la formation	Niveau d'aléa	Superficie (km <sup>2</sup> )	% de la superficie départementale
1	Formations du Viséen	Faible	41,74	0,57%
2	Formations du Stéphanién	Faible	93,11	1,26%
3	Formations de l'Autunien gris	Faible	87,34	1,18%
5	Formations du Trias	Faible	312,36	4,23%
6	Formations du Jurassique inférieur	Faible	19,33	0,26%
8	Argiles du Cénozoïque	Faible	4,83	0,07%
11	Sables argileux du Mio-Pliocène	Faible	62,47	0,85%
12	Formations des Sables et argiles du Bourbonnais	Faible	1593,60	21,60%
13	Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique	Faible	728,86	9,88%
15	Colluvions diverses	Faible	262,27	3,55%
16	Limons des plateaux	Faible	183,31	2,48%
17	Complexe de Limagne	Faible	46,01	0,62%
18	Alluvions anciennes	Faible	566,37	7,68%
19	Alluvions récentes	Faible	594,56	8,06%
<b>Total formations à aléa faible</b>			<b>4596,16</b>	<b>62,30%</b>
4	Formations de l'Autunien rouge et du Saxonien	Moyen	251,04	3,40%
7	Formations de l'Eocène	Moyen	265,72	3,60%
10	Formations de l'Oligocène et du Miocène	Moyen	317,78	4,31%
14	Colluvions d'Oligocène	Moyen	109,94	1,49%
<b>Total formations à aléa moyen</b>			<b>944,48</b>	<b>12,80%</b>
9	Argiles vertes et marnes de l'Oligocène	Fort	100,06	1,36%
<b>Total formations à aléa fort</b>			<b>100,06</b>	<b>1,36%</b>
<b>Total des formations argileuses</b>			<b>5640,69</b>	<b>76,45%</b>
<b>Formations a priori non-argileuses</b>			<b>1737,23</b>	<b>23,55%</b>
<b>Total du département</b>			<b>7377,92</b>	<b>100,00%</b>

Illustration 47 - Classement des formations géologiques en fonction de leur niveau d'aléa

## 7.2. CARTE D'ALEA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Elle est présentée sur l'illustration 48 et en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000 (où les sinistres, les zones bâties et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont issus des cartes géologiques à la même échelle.

Les formations retenues sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) correspondant à leur niveau d'aléa retrait-gonflement (respectivement faible, moyen et fort). Elles affleurent sur plus des  $\frac{3}{4}$  de la superficie de l'Allier (76,45%)

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent 23,55 % de la surface départementale.

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés en 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 ou du socle. 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 différences observées entre la carte de susceptibilité au retrait-gonflement et la carte d'aléa ainsi établie portent sur 3 formations dont la susceptibilité moyenne est modérée par une faible sinistralité, conduisant à un aléa final faible. Il s'agit des *Argiles du Cénozoïque*, des *Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique* et des *Colluvions diverses*.

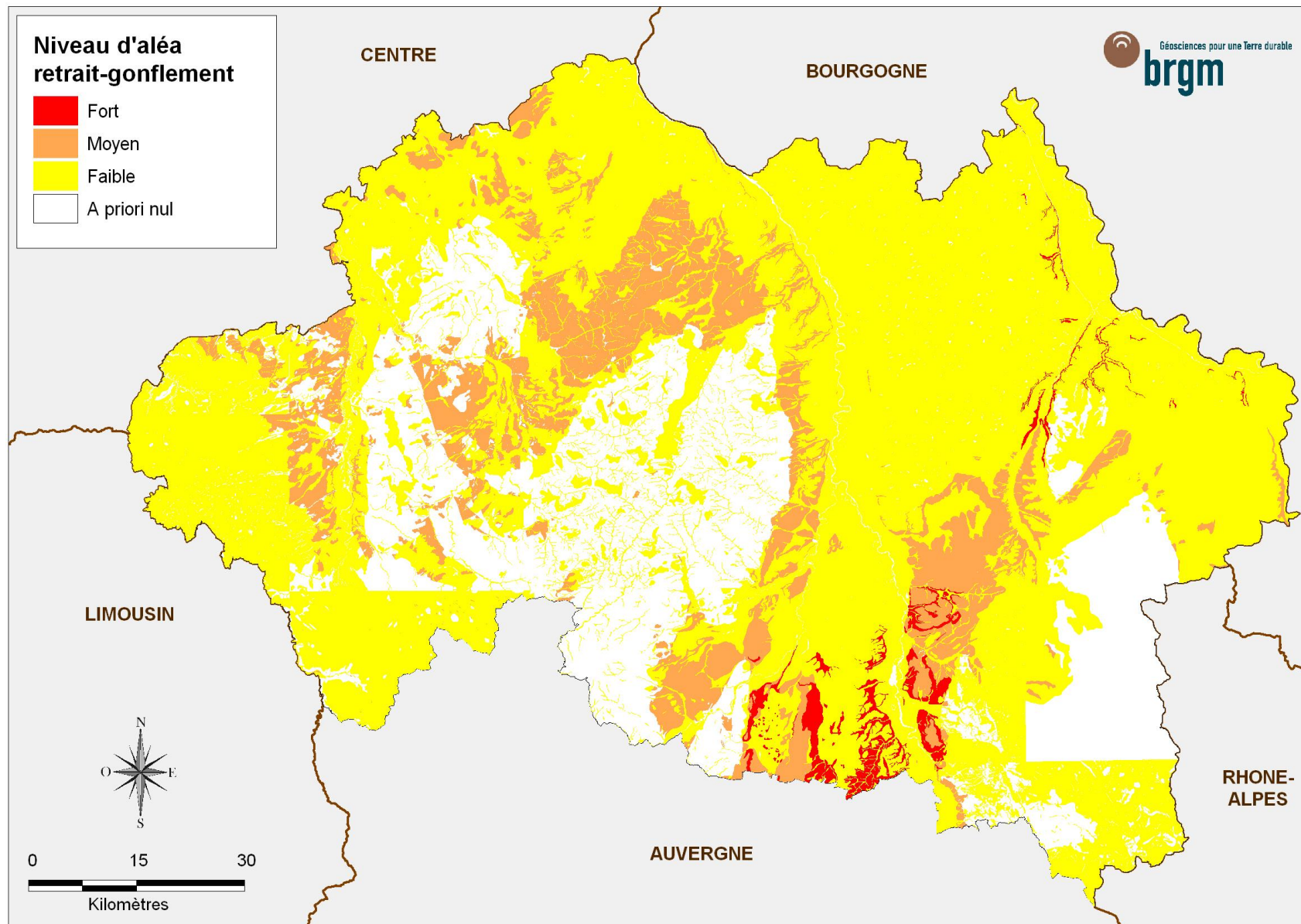


Illustration 48 : Carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Allier



## 8. Conclusion

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

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une méthodologie générale développée par le BRGM à la demande du Ministère de l'Écologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement (MEDDTL) et de la profession des assureurs. Mise au point lors d'études similaires menées dans les Alpes de Haute-Provence et les Deux-Sèvres, elle a ensuite été appliquée à l'ensemble du territoire métropolitain.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argilo-marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 publiées lors de l'étude et de maquettes des autres cartes, voire localement de cartes à l'échelle 1/80 000. La carte synthétique recense en définitive 19 formations, dont l'une des caractéristiques est la forte hétérogénéité, liée aux nombreuses entités géologiques existantes dans le département.

Les formations *a priori* non argileuses – et donc *a priori* non concernées par le phénomène - occupent 23,55 % de la surface du département, soit environ 1 737,23 km<sup>2</sup>. Les formations argileuses occupent donc plus des trois quarts du département. Il est à noter la grande extension de certaines formations, comme par exemple les *Formations des Sables et argiles du Bourbonnais* et les *Altérites et colluvions issues du socle plutonique et métamorphique* couvrant à elles deux plus de 30 % de la surface de l'Allier.

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

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

En définitive, la carte départementale d'aléa a été établie à partir de la carte synthétique des formations à dominante argilo-marneuse, en se basant sur leur hiérarchisation qui combine leur susceptibilité et la sinistralité associée. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres, en calculant pour chaque formation une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement bâtie, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre elles. Au total, 826 sinistres répartis dans 51 communes du département ont ainsi été recensés et localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif car n'incluant pas les sinistres apparus en 2003 et ultérieurement, paraît représentatif du phénomène tel qu'il a été observé avant 2003 dans le département.

Trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible) ont donc été distingués afin de caractériser les formations argileuses ou marneuses vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur une superficie départementale totale de 7 377,92 km<sup>2</sup>,

- 1,36 % de la superficie est classée en aléa fort ;
- 12,80 % en aléa moyen ;
- 62,30 % en aléa faible ;
- 23,55 % de la surface correspondent à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses mais présentant des lentilles argileuses ou à l'altération localisée de formations géologiques. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département de l'Allier, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous forme de planche hors-texte à l'échelle 1/125 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène.

Elle constitue également le préalable à l'élaboration de Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa faible, moyen et fort, 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.

## 9. Bibliographie

### Références principales citées dans le texte

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

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

**Barthelemy F.** (2000) – Les argiles pour tuiles et briques en régions Ile de France et Centre. Rapport BRGM RP 40889.

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

**Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., 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). Échelle communale et départementale. Approche méthodologique. Rapport BRGM R 38695.

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

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

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

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

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

**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. École des Mines d'Alès, 74 p., 9 ann.

**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.

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

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

**Prian J.-P., Donsimoni M., 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 h.-t.

**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.

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

**Vincent M., Le Nindre Y.M., Meisina C., Chassignol A.L.** (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM R 39967*, 89 p.

**Vincent M.** (2006) – Retrait-gonflement des sols argileux : un aléa géologique lié aux conditions climatiques – Géosciences (la revue du BRGM pour une Terre Durable), n°3, mars 2006, pp. 50 à 55.

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

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

**Vincent M., Plat E., Le Roy S.** (2007) - Cartographie de l'aléa Retrait-Gonflement et Plans de Prévention des Risques. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4<sup>ème</sup> trim. 2007, pp. 189-200

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

### Autres références thématiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Carrière M., Chevalier M., Toulemont M., Verdier M.** (1996) – Sécheresse et catastrophe naturelle. Aspects techniques, juridiques et administratifs. « Le

comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996

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

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

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

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

**Dumas P., Chavarot A., Legrand H., Macaire A., Dimitrov C., Martin X., Queffelec C.** (2005) : Rapport particulier sur les risques de subsidence dus à la sécheresse – Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles. *Inspection générale des Finances* n° 2005-M-020-07, *Conseil général des Ponts et Chaussées* n° 2004-0304-01, *Inspection générale de l'Environnement* n° IGE/05/006

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

**Fityus SG., Smith DW., Allman MA.** (2004) - An expansive soil test site near Newcastle. *ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(7), pp. 686-695

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

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

**Gouvenot D., Modaressi A.** (2007) – L'état de sécheresse exceptionnelle et ses conséquences sur l'habitat. *Experts*, n° 75, juin 2007, pp. 54-58

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

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

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

- Jacquard C.** (2007) – Pathologie des fondations superficielles sur sols argileux. Retour d'expérience en Midi-Pyrénées. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4<sup>ème</sup> trim. 2007, pp. 155-164
- Lautrin D.** (1989) – Utilisation pratiques des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 160, pp. 29-41
- Madsen M.T., Müller-Vonmoos M.** (1989). The swelling behaviour of clays. In Elsevier (Éd.) : *Applied Clay Science*, 4, pp. 143-156
- Madiou H., Lechani M., Hannachi N.** (1997) – Patholex : un système expert pour la pathologie dans la construction. Le cas de la sécheresse. *Sécheresse*, 3, 8, pp. 201-206
- Magnan D.** (1993) – Caractérisation *in situ* des sols gonflants : l'essai expansol. Thèse de doctorat Univ. Joseph Fourier, Grenoble 1
- Magnan J.P. et Youssefian G.** (1989) – Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 159, pp. 93-104
- Mantho A.T.** (2005) – Échanges sol – atmosphère : application à la sécheresse. *Thèse de doctorat de l'École Nationale des Ponts et Chaussées*, 250 p.
- Meisina C., Chassagneux D., Leroi E., Mouroux P.** (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Article et présentation au 8<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'environnement
- Millot G.** (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.
- Ministère de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Délégation aux Risques majeurs** (1993) – Sécheresse et Construction. *Guide de Prévention*. Édit. La Documentation Française, Paris
- Mouroux P., Margron P., Pinte J.C.** (1988) - La construction économique sur sols gonflants. *Manuel et méthodes* n°14, 125 p., BRGM Éditeur
- Mariotti M.** (1976) – Le gonflement des sols argileux surconsolidés (aspects du phénomène, influence sur les structures, précautions à envisager). *Mines et Géologie*, 39, pp. 13-28
- Noël C.** (1991) – Tassement de sols d'assise de fondations consécutifs à la sécheresse. L'expertise dans le cadre de la garantie « catastrophes naturelles ». SNEIC-INFO, 4
- Norie A., Vincent M.** (2000) - Établissement de Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles : « mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux » - Approche méthodologique dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM/RP-50591-FR*, 14 p., 4 fig., 4 ann.

**Philipponnat G.** (1978) – Désordres dus à la présence de sols gonflants dans la région parisienne. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, n° 364, p. 1-15

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Vincent M., Cojean R., Fleureau J.-M., Cui Y. J., Jacquard C., Kazmierczak J.-B., Masroufi F., Tessier D., Alimi-Ichola I., Magnan J.-P., Blanchard M., Fabre D., Pantet A., Audiguier M., Plat E., Souli H., Taibi S., Tang A.-M., Morlock C., Maison T., Mrad M., Bréda N., Djeran-Maigre I., Duc M., Soubeyroux J.-M., Denis A., Proust D., Geremew Z., Le Roy S., Dumont M., Hemmati S., Nowamooz H., Coquet Y., Pothier C., Makki L., Chrétien M., Fontaine C.** (2009) – Rapport de synthèse final du projet ARGIC (Analyse du retrait-gonflement et de ses Incidences sur les Constructions) – Projet ANR-05-PRGCU-005. Rapport BRGM/RP-57011-FR en partenariat entre le Centre de Géosciences, le BRGM, le LMSSMat, le CERMES, Fondasol, l'INERIS, le LAEGO, l'INRA, le LGCIE, le LCPC, Météo-France, le GHYMAC et l'Université de Poitiers, 92 p., 29 ill., 6 tabl., 39 ann. (sur CD Rom)

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

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

**BRGM – Cartes géologiques de la France à 1/50 000 et notices explicatives :**

- Charenton-du-Cher (573) : Obert D., Gély J.P., Mathis V., Normand M., Trouillet A., Freytet P. (1997) ;
- Lurcy-Lévis (574) : Fleury R., Lablanche G., Lefavrais-Raymond A., Gros Y., Mathis V., Belkessa R. (1989) ;
- Dornes (575) : Clozier L., Turland M., Belkessa R., (1982) ;
- Bourbon-Lancy (576) : Delfour J., Clozier L., Carrat H.G., Cornet J., Lefavrais-Raymond A. (1990) ;
- Hérisson (596) : Turland M., Hottin A.M., Cojean R., Ducreux J.L, Debeglia N., D'Arcy D. , Mathis V., Carroué J.P., Piboule M. (1990) ;
- Bourbon-l'Archambault (597) : Turland M., Mathis V., Grolier J., Monier G., Croisé G., Debriette P.J., Milhau D., Mercier-Batard F., Carroué J.P., Piboule M., Debeglia N. (1990) ;
- Moulins (598) : Giot D., Gentilhomme P., Bouiller R., Clozier L., Fleury R., Belkessa R., Rey R., Châteauneuf J.J., Tourenq J. (1976) ;
- Dompierre-sur-Besbre (599) : Delfour J., Feys R., Carrat H., Clozier L., Mercier-Batard F., Cornet J. (1989) ;
- Paray-le-Monial (600) : Donzeau M., Chèvremont P., Marteau P., Debriette P.J., Jauffret D., Lambert J., Mouterde R., Thiéblemont D., Wernli R., Wyns R. (2001) ;
- Boussac (618) : Cohen-Julien M., Quenardel J.M., Freytet P., Lemaire D., Lerouge G., Le Cœur C., Delbos R. (1991) ;
- Montluçon (619) : Turland M., Hottin A.M., Feys R. (1989) ;
- Montmarault (620) : Turland M., Gentilhomme P., Duthou J.L., D'arcy D., Carroué J.P., Debeglia N. (1991) ;
- Saint-Pourçain-sur-Sioule (621) : Giot D., Gentilhomme P., Bouiller R., Clozier L., Fleury R., Gagnière G., Rey R., Châteauneuf J.J., Tourenq J. (1976) ;
- Evau-les-Bains (643) : Hottin A.M., Gros Y., Marteau P., Marchand G., Maurin G., Debacque G., Constants J., Turland M., Freytet P. (1991) ;
- Montaigut-en-Combrailles (644) : Desthieux F., Bambier A. (1980) ;
- Gannat (645) : Grolier J., Giot D., Barruol J., Carroué J.P. , Gagnière G., Risler J.J. (1976) ;
- Vichy (646) : Dadet P., Clozier L., Giot D., Jeambrun M., Fleury R., Belkessa R., Carroué J.P. , Batard F. , Farjanel G., Châteauneuf J.J., Tourenq J. (1980) ;
- Aigueperse (669) : Alsac C., D'arcy D., Bouiller R., Féraud J., Giot D., Jeambrun M. (1988) ;
- Maringues (670) : Dadet, P. Jeambrun M., Clozier L., Fleury R., Giot D., Gagnière G., Batard F., Carroué J.P. (1981) ;
- Le Mayet-de-Montagne (671) : Jeambrun M., Le V.T., Bouiller R. (1978).

**Sites internet :**

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

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

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

<http://www.prim.net> : site internet du le Ministère en charge de l'Écologie sur la prévention des risques majeurs, affichant les risques naturels et technologiques ainsi que les reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle



## **Annexe 1**

# **Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles**



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

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

À l'échelle microscopique, les minéraux argileux se caractérisent par une structure minéralogique en feuillets. Ceux-ci sont constitués d'un assemblage de silicates ( $\text{SiO}_3$ ) et d'aluminates ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) 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 122 communes de l'Allier reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse à la date du 04 mai 2011 et à la réhydratation des sols et dates des périodes de reconnaissance (source des données : base GASPARG – prim.net)**



INSEE Commune	Commune	Date Début CatNat	Date Fin CatNat	Date de publication	Date de publication au JO
03001	Abrest	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-déc-96	02-févr-98	18-févr-98
		01-janv-97	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
		01-mars-98	30-sept-98	23-févr-99	10-mars-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03011	Aurouër	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	30-sept-98	23-févr-99	10-mars-99
03012	Autry-Issards	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
03014	Avrilly	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03018	Bayet	01-janv-91	31-août-93	08-mars-94	24-mars-94
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03023	Bellerive-sur-Allier	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	30-sept-93	30-juin-94	09-juil-94
		01-oct-93	31-oct-96	19-sept-97	11-oct-97
		01-nov-96	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
		01-mars-98	31-déc-98	22-juin-99	14-juil-99
03025	Bessay-sur-Allier	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
		01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
03029	Billy	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03030	Biozat	01-juin-89	31-mai-92	18-mai-93	12-juin-93
		01-juin-92	30-avr-97	02-févr-98	18-févr-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03034	Boucé	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03036	Bourbon-l'Archambault	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	28-févr-98	15-juil-98	29-juil-98
		01-mars-98	31-août-98	19-nov-98	11-déc-98
03038	Bransat	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03040	Bressolles	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
03043	Broût-Vernet	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03044	Brugheas	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juin-95	31-oct-96	11-févr-97	23-févr-97
		01-nov-96	31-déc-98	19-mai-99	05-juin-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03046	Buxières-les-Mines	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-août-98	19-nov-98	11-déc-98
03053	Chantelle	01-juil-03	30-sept-03	22-nov-05	13-déc-05
03054	Chapeau	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03059	Chareil-Cintrat	01-juil-03	30-sept-03	15-janv-07	25-janv-07
03060	Charmeil	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92

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

INSEE Commune	Commune	Date Début CatNat	Date Fin CatNat	Date de publication	Date de publication au JO
		01-janv-92	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03061	Charmes	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03064	Château-sur-Allier	01-janv-93	30-avr-97	09-avr-98	23-avr-98
		01-mai-97	31-déc-98	19-mai-99	05-juin-99
03065	Châtel-de-Neuvre	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03066	Châtel-Montagne	01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03067	Châtelperron	01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03071	Chavroches	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03079	Cindré	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03080	Cognat-Lyonne	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-déc-95	17-juin-96	09-juil-96
		01-janv-92	31-août-98	19-nov-98	11-déc-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03083	Contigny	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03084	Cosne-d'Allier	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
03087	Couleuvre	01-janv-98	30-sept-98	23-févr-99	10-mars-99
03091	Créchy	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03093	Creuzier-le-Neuf	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03094	Creuzier-le-Vieux	01-juin-89	31-mai-92	18-mai-93	12-juin-93
		01-juin-93	28-févr-98	15-juil-98	29-juil-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03095	Cusset	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	30-avr-97	02-févr-98	18-févr-98
		01-mai-97	31-août-98	19-nov-98	11-déc-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03098	Désertines	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
03101	Domérat	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	30-sept-93	30-juin-94	09-juil-94
		01-juin-89	30-avr-97	12-mars-98	28-mars-98
		01-juin-97	30-sept-98	23-févr-99	10-mars-99
		01-juil-09	31-oct-09	13-déc-10	13-janv-11
03103	Donjon	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03109	Escurolles	01-janv-92	31-oct-97	09-avr-98	23-avr-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03110	Espinasse-Vozelle	01-juin-89	30-sept-93	30-juin-94	09-juil-94
		01-sept-95	31-août-96	09-déc-96	20-déc-96
		01-sept-96	30-sept-98	19-mars-99	03-avr-99
		01-oct-98	31-déc-98	21-juil-99	24-août-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03112	étroussat	01-juin-89	31-déc-91	25-janv-93	07-févr-93

INSEE Commune	Commune	Date Début CatNat	Date Fin CatNat	Date de publication	Date de publication au JO
		01-janv-92	31-déc-98	22-juin-99	14-juil-99
		01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03118	Gannat	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03124	Gouise	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03131	Isserpent	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03132	Jaligny-sur-Besbre	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03133	Jenzat	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03137	Langy	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03138	Lapalisse	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03142	Lenax	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03148	Loriges	01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03149	Louchy-Montfand	01-déc-93	31-oct-96	21-janv-97	05-févr-97
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03153	Louroux-Hodement	01-déc-09	31-déc-09	21-févr-11	25-févr-11
03154	Luneau	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03156	Lusigny	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03157	Magnet	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03163	Mariol	01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03164	Mayet-d'Ecole	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03165	Mayet-de-Montagne	01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03166	Mazerier	01-juil-03	30-sept-03	27-mai-05	31-mai-05
03171	Mercy	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03176	Monétay-sur-Allier	01-juil-03	30-sept-03	15-janv-07	25-janv-07
03177	Monétay-sur-Loire	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03178	Montaiguët-en-Forez	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03179	Montaigu-le-Blin	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03180	Montbeugny	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03181	Montcombroux-les-Mines	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03182	Monteignet-sur-l'Andelot	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-mars-94	21-juil-99	24-août-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03185	Montluçon	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-mars-93	12-janv-95	31-janv-95
		01-avr-93	30-avr-97	09-avr-98	23-avr-98
		01-mai-97	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
		01-mars-98	30-sept-98	19-mars-99	03-avr-99
03187	Montoldre	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03188	Montord	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04

INSEE Commune	Commune	Date Début CatNat	Date Fin CatNat	Date de publication	Date de publication au JO
03190	Moulins	01-juin-89	31-mai-92	18-mai-93	12-juin-93
		01-juin-92	31-déc-94	08-janv-96	28-janv-96
		01-janv-95	31-août-98	19-nov-98	11-déc-98
03194	Naves	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03196	Neuilly-en-Donjon	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03197	Neuilly-le-Réal	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03200	Neuvy	01-juin-89	31-mai-92	18-mai-93	12-juin-93
		01-juin-92	31-août-98	29-déc-98	13-janv-99
03203	Paray-le-Frésil	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03204	Paray-sous-Briailles	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03205	Périgny	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03207	Pierrefitte-sur-Loire	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03208	Pin	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03209	Poëzat	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03215	Rongères	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-août-98	29-déc-98	13-janv-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03218	Saint-Aubin-le-Monial	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
03220	Saint-Bonnet-de-Rochefort	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03223	Saint-Christophe	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03227	Saint-Didier-la-Forêt	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03232	Saint-Félix	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03234	Saint-Gérand-de-Vaux	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03235	Saint-Gérand-le-Puy	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03236	Saint-Germain-des-Fossés	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-mars-97	19-sept-97	11-oct-97
		01-avr-97	31-août-98	21-janv-99	05-févr-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03237	Saint-Germain-de-Salles	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03239	Saint-Léger-sur-Vouzance	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03240	Saint-Léon	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03241	Saint-Léopardin-d'Augy	01-juil-96	31-déc-97	21-juil-99	24-août-99
03242	Saint-Loup	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03252	Saint-Pont	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03254	Saint-Pourçain-sur-Sioule	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	28-févr-93	27-mai-94	10-juin-94
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03257	Saint-Prix	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04

INSEE Commune	Commune	Date Début CatNat	Date Fin CatNat	Date de publication	Date de publication au JO
03258	Saint-Rémy-en-Rollat	01-juin-89	31-mai-92	18-mai-93	12-juin-93
		01-juin-92	28-févr-98	22-oct-98	13-nov-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03263	Saint-Voir	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03264	Saint-Yorre	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03266	Sanssat	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03267	Saulcet	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03268	Saulzet	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03271	Serbannes	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	30-avr-97	17-déc-97	30-déc-97
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03273	Seuillet	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03274	Sorbier	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03278	Taxat-Senat	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03284	Thionne	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03286	Toulon-sur-Allier	01-juin-89	31-août-93	03-mai-95	07-mai-95
		01-sept-95	31-août-98	21-janv-99	05-févr-99
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03289	Treteau	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03291	Trézelles	01-juin-89	31-déc-92	27-mai-94	10-juin-94
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03294	Ussel-d'Allier	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03298	Varennes-sur-Allier	01-juin-89	31-mai-93	06-déc-93	28-déc-93
		01-juin-93	30-avr-97	02-févr-98	18-févr-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03299	Varennes-sur-Tèche	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03300	Vaumas	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03302	Veauce	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03304	Vendat	01-juin-89	31-mai-92	18-mai-93	12-juin-93
		01-juin-92	28-févr-98	15-juil-98	29-juil-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03306	Vernet	01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03310	Vichy	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	28-févr-98	15-juil-98	29-juil-98
		01-juil-03	30-sept-03	25-août-04	26-août-04
03315	Villefranche-d'Allier	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-96	30-avr-97	12-mars-98	28-mars-98
03321	Yzeure	01-juin-89	31-déc-91	31-juil-92	18-août-92
		01-janv-92	31-août-98	19-nov-98	11-déc-98



## **Annexe 3**

### **Liste des sinistres recensés dans le cadre de cette étude**



Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
ABREST	685 487	2 124 106
ABREST	687 877	2 121 047
ABREST	685 445	2 124 159
ABREST	685 651	2 123 961
ABREST	685 291	2 123 805
ABREST	684 091	2 122 129
ABREST	685 841	2 123 042
ABREST	685 314	2 124 034
ABREST	685 629	2 123 234
ABREST	685 475	2 123 990
ABREST	685 490	2 123 939
ABREST	685 452	2 124 045
ABREST	685 527	2 123 956
ABREST	687 412	2 122 467
ABREST	687 434	2 122 427
AUROUER	672 942	2 186 511
AUROUER	673 395	2 188 129
AUROUER	671 984	2 186 338
AUROUER	676 830	2 187 337
AUROUER	673 715	2 188 056
AUROUER	673 708	2 187 874
AUROUER	673 650	2 188 129
AUROUER	673 613	2 188 087
AUROUER	673 835	2 188 091
AUROUER	672 433	2 186 537
AUROUER	673 893	2 187 984
AUROUER	675 166	2 185 929
AUROUER	672 579	2 187 249
AUROUER	672 729	2 190 302
AUROUER	676 318	2 187 197
AUROUER	673 662	2 187 811
AUROUER	673 598	2 188 028
AUROUER	673 627	2 188 021
AUTRY-ISSARDS	659 852	2 174 480
AUTRY-ISSARDS	660 853	2 170 713
AUTRY-ISSARDS	658 876	2 170 600
AUTRY-ISSARDS	660 838	2 170 796
AUTRY-ISSARDS	661 485	2 173 627
AUTRY-ISSARDS	659 503	2 172 436
BAYET	670 801	2 139 573
BAYET	671 450	2 141 431
BAYET	671 499	2 141 451
BAYET	671 339	2 139 211
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 111	2 124 421
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 316	2 125 647
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 089	2 124 497
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 309	2 124 379
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 619	2 123 616
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 512	2 123 933
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 469	2 123 942
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 448	2 124 342
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 489	2 123 988

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 507	2 124 009
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 577	2 126 463
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 071	2 124 356
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 092	2 123 371
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 589	2 124 673
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 877	2 122 977
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 460	2 124 102
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 595	2 124 445
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 537	2 124 020
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 075	2 124 410
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 164	2 124 453
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 931	2 124 982
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 308	2 124 195
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 329	2 124 050
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 254	2 124 270
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 587	2 123 648
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 737	2 124 349
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 537	2 123 940
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 813	2 122 904
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 919	2 123 843
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 769	2 123 577
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 707	2 123 385
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 593	2 126 127
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 568	2 125 880
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 393	2 125 903
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 733	2 122 971
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 644	2 126 050
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 518	2 123 910
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 976	2 124 278
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 826	2 123 711
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 027	2 124 566
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 704	2 124 507
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 099	2 123 623
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 164	2 124 447
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 591	2 124 901
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 073	2 126 283
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 029	2 123 643
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 712	2 123 993
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 557	2 126 341
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 584	2 123 146
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 981	2 123 851
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 602	2 123 220
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 895	2 123 540
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 896	2 124 820
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 674	2 125 973
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 271	2 124 547
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 587	2 124 031
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 150	2 123 512
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 681	2 123 422
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 602	2 124 485
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 943	2 123 616
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 419	2 124 123

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 610	2 123 626
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 768	2 123 984
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 012	2 123 539
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 375	2 125 417
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 312	2 124 449
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 077	2 123 293
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 547	2 124 243
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 476	2 122 856
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 654	2 124 581
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 946	2 123 638
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 353	2 125 699
BELLERIVE-SUR-ALLIER	681 343	2 125 654
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 715	2 124 056
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 258	2 123 830
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 668	2 123 542
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 654	2 124 077
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 144	2 123 033
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 136	2 124 013
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 920	2 124 246
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 178	2 124 710
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 526	2 124 566
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 529	2 124 519
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 863	2 124 516
BELLERIVE-SUR-ALLIER	682 293	2 124 671
BELLERIVE-SUR-ALLIER	683 009	2 123 594
BESSAY-SUR-ALLIER	678 873	2 161 123
BESSAY-SUR-ALLIER	678 942	2 161 441
BESSAY-SUR-ALLIER	679 014	2 161 482
BESSAY-SUR-ALLIER	678 909	2 160 850
BESSAY-SUR-ALLIER	679 959	2 161 958
BESSAY-SUR-ALLIER	679 005	2 160 520
BESSAY-SUR-ALLIER	679 336	2 161 517
BESSAY-SUR-ALLIER	678 842	2 161 153
BESSAY-SUR-ALLIER	678 701	2 160 754
BESSAY-SUR-ALLIER	679 122	2 161 239
BESSAY-SUR-ALLIER	678 690	2 159 687
BESSAY-SUR-ALLIER	679 822	2 161 946
BESSAY-SUR-ALLIER	679 293	2 161 672
BESSAY-SUR-ALLIER	678 698	2 160 487
BESSAY-SUR-ALLIER	680 251	2 161 616
BILLY	684 353	2 137 981
BILLY	684 435	2 137 903
BILLY	684 585	2 135 948
BILLY	684 305	2 135 900
BIOZAT	672 141	2 119 911
BIOZAT	672 427	2 119 915
BIOZAT	672 089	2 120 048
BIOZAT	672 410	2 119 979
BIOZAT	675 574	2 120 368
BIOZAT	674 933	2 119 420
BIOZAT	672 188	2 120 586
BIOZAT	672 149	2 119 851

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

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
BIOZAT	672 264	2 120 129
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 402	2 175 505
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 532	2 176 559
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	651 207	2 177 126
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 368	2 176 576
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 277	2 176 070
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 307	2 176 152
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 277	2 178 940
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 540	2 176 209
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 036	2 176 089
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	654 950	2 176 655
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 513	2 176 119
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	654 929	2 175 706
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 401	2 176 307
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 138	2 175 477
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 286	2 175 674
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 833	2 176 157
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 541	2 177 240
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 582	2 175 656
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	654 828	2 175 744
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 020	2 174 607
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	651 635	2 173 892
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 414	2 177 160
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 120	2 173 590
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 493	2 175 617
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	654 963	2 175 839
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 254	2 176 253
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 100	2 175 901
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 559	2 175 997
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 574	2 176 659
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 244	2 176 088
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 232	2 176 176
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	656 077	2 179 644
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	655 689	2 177 340
BOURBON-L'ARCHAMBAULT	657 117	2 175 669
BRESSOLLES	675 124	2 170 563
BRUGHEAS	678 693	2 120 084
BRUGHEAS	679 174	2 119 374
BRUGHEAS	679 212	2 119 352
BRUGHEAS	679 210	2 119 321
BRUGHEAS	679 122	2 119 351
BRUGHEAS	677 161	2 116 606
BRUGHEAS	679 537	2 120 222
BRUGHEAS	677 770	2 118 678
BRUGHEAS	681 734	2 122 923
BRUGHEAS	679 174	2 119 311
BRUGHEAS	678 928	2 117 674
BUXIERES-LES-MINES	647 378	2 163 242
BUXIERES-LES-MINES	644 890	2 165 207
BUXIERES-LES-MINES	647 745	2 163 240
BUXIERES-LES-MINES	645 000	2 163 798
BUXIERES-LES-MINES	646 665	2 163 632

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
BUXIERES-LES-MINES	649 496	2 166 585
BUXIERES-LES-MINES	645 689	2 163 887
BUXIERES-LES-MINES	644 221	2 163 856
BUXIERES-LES-MINES	648 086	2 163 428
BUXIERES-LES-MINES	648 106	2 163 475
BUXIERES-LES-MINES	646 058	2 165 675
BUXIERES-LES-MINES	647 220	2 164 415
BUXIERES-LES-MINES	647 267	2 166 341
BUXIERES-LES-MINES	646 426	2 165 681
CHARMEIL	680 981	2 130 095
CHARMEIL	680 967	2 130 116
CHARMEIL	681 726	2 129 444
CHARMEIL	681 810	2 129 230
CHARMEIL	681 710	2 128 748
CHARMES	670 821	2 120 078
CHARMES	671 128	2 119 865
CHARMES	671 045	2 119 811
CHARMES	670 861	2 119 773
CHARMES	670 794	2 119 854
CHARMES	670 721	2 120 019
CHARMES	669 522	2 118 674
CHARMES	670 921	2 119 965
CHARMES	670 869	2 120 043
CHARMES	670 673	2 120 711
CHARMES	671 047	2 119 876
CHARMES	670 199	2 119 827
CHARMES	670 479	2 121 665
CHARMES	671 109	2 119 846
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 846	2 196 384
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 833	2 196 520
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 809	2 196 429
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 783	2 196 496
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 746	2 196 498
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 842	2 196 424
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 881	2 196 444
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 986	2 196 382
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 855	2 196 457
CHATEAU-SUR-ALLIER	653 015	2 196 327
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 725	2 196 543
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 678	2 196 697
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 733	2 196 887
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 807	2 196 270
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 134	2 198 063
CHATEAU-SUR-ALLIER	651 048	2 197 430
CHATEAU-SUR-ALLIER	649 459	2 197 426
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 766	2 196 524
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 840	2 196 415
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 919	2 196 404
CHATEAU-SUR-ALLIER	652 866	2 196 347
COGNAT-LYONNE	675 433	2 123 758
COGNAT-LYONNE	676 087	2 123 878
COGNAT-LYONNE	677 218	2 124 238

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
COGNAT-LYONNE	673 380	2 123 429
COGNAT-LYONNE	673 507	2 123 597
COGNAT-LYONNE	672 881	2 123 322
COGNAT-LYONNE	675 683	2 123 796
COGNAT-LYONNE	675 977	2 123 792
COGNAT-LYONNE	677 057	2 124 061
COGNAT-LYONNE	675 497	2 123 755
COGNAT-LYONNE	675 200	2 123 552
COGNAT-LYONNE	675 970	2 123 830
COGNAT-LYONNE	676 198	2 123 916
COGNAT-LYONNE	676 738	2 123 814
COGNAT-LYONNE	672 881	2 123 060
COGNAT-LYONNE	675 566	2 123 619
COGNAT-LYONNE	675 345	2 123 657
COGNAT-LYONNE	673 042	2 123 331
COGNAT-LYONNE	673 109	2 123 158
COGNAT-LYONNE	673 071	2 123 205
COGNAT-LYONNE	674 868	2 123 496
COGNAT-LYONNE	673 538	2 123 856
COGNAT-LYONNE	672 597	2 122 766
COGNAT-LYONNE	675 320	2 123 549
COGNAT-LYONNE	676 927	2 124 083
COGNAT-LYONNE	675 493	2 123 792
COGNAT-LYONNE	675 149	2 123 458
COGNAT-LYONNE	674 991	2 123 663
COSNE-D'ALLIER	636 690	2 165 342
COULEUVRE	642 012	2 184 476
CRECHY	684 089	2 140 742
CRECHY	684 037	2 140 716
CREUZIER-LE-VIEUX	684 733	2 129 464
CREUZIER-LE-VIEUX	684 178	2 130 385
CREUZIER-LE-VIEUX	687 246	2 128 830
CREUZIER-LE-VIEUX	684 240	2 128 034
CREUZIER-LE-VIEUX	686 794	2 129 035
CREUZIER-LE-VIEUX	684 186	2 128 842
CREUZIER-LE-VIEUX	684 407	2 128 494
CREUZIER-LE-VIEUX	683 920	2 128 078
CUSSET	687 346	2 125 786
CUSSET	684 551	2 128 014
CUSSET	688 696	2 129 279
CUSSET	686 067	2 125 919
CUSSET	686 218	2 127 030
CUSSET	685 462	2 126 623
CUSSET	686 598	2 127 922
CUSSET	685 577	2 126 290
CUSSET	685 551	2 127 449
CUSSET	686 036	2 125 797
CUSSET	686 167	2 125 554
CUSSET	688 139	2 126 532
CUSSET	685 962	2 126 162
CUSSET	687 408	2 127 897
CUSSET	685 624	2 127 423

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
CUSSET	687 386	2 126 175
CUSSET	686 021	2 125 463
CUSSET	685 500	2 125 966
CUSSET	685 843	2 126 873
CUSSET	685 763	2 125 463
CUSSET	685 916	2 127 186
CUSSET	685 992	2 126 133
CUSSET	686 642	2 128 116
CUSSET	686 817	2 128 168
CUSSET	685 710	2 126 010
CUSSET	685 743	2 125 936
CUSSET	685 798	2 126 103
CUSSET	685 598	2 126 060
CUSSET	686 983	2 127 392
CUSSET	685 958	2 125 680
CUSSET	685 853	2 125 444
CUSSET	687 408	2 126 550
CUSSET	686 453	2 126 512
CUSSET	688 171	2 129 516
DESERTINES	621 757	2 151 118
DESERTINES	621 728	2 151 141
DOMERAT	617 942	2 149 013
DOMERAT	617 838	2 149 213
DOMERAT	618 576	2 152 382
DOMERAT	617 086	2 150 796
DOMERAT	615 967	2 153 563
DOMERAT	615 701	2 153 297
DOMERAT	615 144	2 151 310
DOMERAT	614 819	2 151 179
DOMERAT	615 198	2 151 328
DOMERAT	614 905	2 151 389
DOMERAT	615 305	2 151 249
DOMERAT	614 181	2 150 474
DOMERAT	614 844	2 150 843
DOMERAT	613 315	2 150 839
DOMERAT	615 319	2 151 237
DOMERAT	615 837	2 149 973
DOMERAT	614 858	2 151 237
DOMERAT	615 779	2 149 989
DOMERAT	615 351	2 151 114
DOMERAT	615 367	2 150 660
DOMERAT	615 706	2 154 356
DOMERAT	614 821	2 151 227
DOMERAT	613 943	2 152 192
DOMERAT	615 225	2 151 993
DOMERAT	615 286	2 152 134
DOMERAT	615 804	2 151 138
DOMERAT	613 721	2 150 357
DOMERAT	617 630	2 151 535
DOMERAT	617 874	2 149 315
DOMERAT	613 999	2 153 115
DOMERAT	615 801	2 150 099

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
DOMERAT	613 845	2 152 644
DOMERAT	617 882	2 149 479
DOMERAT	616 813	2 149 394
DOMERAT	614 075	2 150 374
DOMERAT	618 693	2 150 990
DOMERAT	614 861	2 151 301
DOMERAT	617 679	2 149 877
DOMERAT	615 225	2 151 971
DOMERAT	613 798	2 152 807
DOMERAT	614 765	2 151 625
DOMERAT	613 971	2 152 173
DOMERAT	614 967	2 151 074
DOMERAT	615 812	2 150 003
DOMERAT	615 571	2 150 140
DOMERAT	616 740	2 150 718
DOMERAT	617 690	2 151 595
DOMERAT	614 768	2 150 853
DOMERAT	614 808	2 151 634
DOMERAT	616 312	2 153 745
DOMERAT	614 507	2 151 757
DOMERAT	615 708	2 150 266
DOMERAT	618 000	2 149 772
DOMERAT	617 726	2 151 562
DOMERAT	617 745	2 151 595
DOMERAT	617 852	2 151 562
DOMERAT	614 856	2 151 443
DOMERAT	616 881	2 149 592
DOMERAT	618 913	2 151 461
DOMERAT	614 887	2 151 741
DOMERAT	618 019	2 152 078
DOMERAT	613 794	2 152 933
DOMERAT	614 320	2 152 118
DOMERAT	615 612	2 150 951
DOMERAT	615 626	2 150 170
DOMERAT	615 679	2 151 172
DOMERAT	615 205	2 150 823
DOMERAT	614 894	2 151 763
DOMERAT	614 643	2 150 670
DOMERAT	614 330	2 153 969
DOMERAT	616 182	2 149 893
DOMERAT	617 002	2 149 537
DOMERAT	616 758	2 149 838
DOMERAT	615 513	2 151 241
DOMERAT	614 865	2 151 279
DOMERAT	615 631	2 154 272
DOMERAT	613 066	2 152 975
DOMERAT	616 068	2 151 016
DOMERAT	614 890	2 151 999
DOMERAT	615 505	2 149 380
DOMERAT	616 986	2 149 605
DOMERAT	614 905	2 150 988
DOMERAT	617 671	2 151 373

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
DOMERAT	615 497	2 151 803
DOMERAT	617 797	2 151 376
DOMERAT	618 408	2 152 560
DOMERAT	616 613	2 149 487
DOMERAT	616 635	2 149 498
DOMERAT	614 860	2 150 909
DOMERAT	615 842	2 151 132
DOMERAT	615 206	2 151 234
DOMERAT	613 439	2 150 878
DOMERAT	612 973	2 153 283
DOMERAT	615 215	2 151 218
DOMERAT	614 729	2 150 799
DOMERAT	614 967	2 151 002
DOMERAT	614 878	2 151 965
DOMERAT	614 578	2 152 250
DOMERAT	614 455	2 150 636
DOMERAT	617 526	2 151 338
DOMERAT	614 902	2 151 555
DOMERAT	617 284	2 149 581
DOMERAT	616 108	2 149 756
DOMERAT	615 568	2 152 008
DOMERAT	618 153	2 149 940
DOMERAT	615 117	2 151 671
DOMERAT	616 692	2 149 402
DOMERAT	615 615	2 150 530
ESCUROLLES	670 980	2 127 087
ESCUROLLES	671 994	2 127 877
ESCUROLLES	671 497	2 126 543
ESCUROLLES	671 882	2 127 264
ESCUROLLES	671 958	2 127 452
ESCUROLLES	671 790	2 127 823
ESCUROLLES	671 792	2 127 496
ESCUROLLES	671 649	2 127 461
ESCUROLLES	671 806	2 128 029
ESCUROLLES	672 394	2 127 452
ESCUROLLES	671 770	2 127 116
ESCUROLLES	672 354	2 126 966
ESCUROLLES	672 157	2 126 838
ESPINASSE-VOZELLE	676 294	2 125 582
ESPINASSE-VOZELLE	676 490	2 125 657
ESPINASSE-VOZELLE	675 573	2 125 939
ESPINASSE-VOZELLE	675 713	2 125 995
ESPINASSE-VOZELLE	676 204	2 125 476
ESPINASSE-VOZELLE	675 760	2 124 733
ESPINASSE-VOZELLE	677 727	2 125 622
ESPINASSE-VOZELLE	675 853	2 126 079
ESPINASSE-VOZELLE	675 477	2 125 946
ESPINASSE-VOZELLE	676 250	2 125 264
ESPINASSE-VOZELLE	675 741	2 125 955
ESPINASSE-VOZELLE	675 200	2 126 011
ESPINASSE-VOZELLE	678 060	2 125 917
ESPINASSE-VOZELLE	678 577	2 125 095

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

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
ESPINASSE-VOZELLE	676 285	2 125 075
ESPINASSE-VOZELLE	678 548	2 126 325
ESPINASSE-VOZELLE	675 987	2 126 477
ESPINASSE-VOZELLE	676 319	2 125 616
ESPINASSE-VOZELLE	676 238	2 125 585
ESPINASSE-VOZELLE	676 608	2 125 672
ESPINASSE-VOZELLE	675 306	2 125 871
ESPINASSE-VOZELLE	677 073	2 127 527
ESPINASSE-VOZELLE	677 699	2 126 561
ESPINASSE-VOZELLE	676 039	2 125 265
ESPINASSE-VOZELLE	677 547	2 126 645
ESPINASSE-VOZELLE	675 974	2 125 246
ESPINASSE-VOZELLE	677 950	2 125 226
ESPINASSE-VOZELLE	677 674	2 124 854
ESPINASSE-VOZELLE	678 995	2 124 815
ESPINASSE-VOZELLE	676 210	2 125 091
ESPINASSE-VOZELLE	676 198	2 125 538
ESPINASSE-VOZELLE	675 999	2 126 191
ESPINASSE-VOZELLE	676 251	2 125 420
ESPINASSE-VOZELLE	676 164	2 125 452
ESPINASSE-VOZELLE	679 046	2 124 645
ESPINASSE-VOZELLE	676 217	2 125 511
ESPINASSE-VOZELLE	676 077	2 126 371
ESPINASSE-VOZELLE	676 276	2 125 663
ESPINASSE-VOZELLE	678 246	2 126 878
ESPINASSE-VOZELLE	676 975	2 125 758
ESPINASSE-VOZELLE	680 357	2 125 898
ESPINASSE-VOZELLE	676 083	2 125 293
ESPINASSE-VOZELLE	676 158	2 126 800
ESPINASSE-VOZELLE	676 097	2 125 414
ESPINASSE-VOZELLE	676 143	2 125 436
ESPINASSE-VOZELLE	676 021	2 125 361
ESPINASSE-VOZELLE	676 437	2 125 678
ESPINASSE-VOZELLE	678 336	2 125 014
ESPINASSE-VOZELLE	676 690	2 125 552
ESPINASSE-VOZELLE	679 175	2 127 106
ESPINASSE-VOZELLE	677 703	2 125 577
ESPINASSE-VOZELLE	677 790	2 124 494
ESPINASSE-VOZELLE	676 031	2 125 472
ESPINASSE-VOZELLE	675 458	2 125 759
ETROUSSAT	667 917	2 136 537
ETROUSSAT	667 783	2 136 918
ETROUSSAT	667 904	2 136 837
ETROUSSAT	667 963	2 136 456
ETROUSSAT	668 030	2 135 995
ETROUSSAT	668 086	2 135 713
ETROUSSAT	667 982	2 135 783
ETROUSSAT	668 000	2 135 617
ETROUSSAT	668 290	2 135 925
ETROUSSAT	668 285	2 135 971
ETROUSSAT	668 108	2 135 010
ETROUSSAT	668 202	2 134 782

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
ETROUSSAT	668 231	2 134 782
ETROUSSAT	667 520	2 134 077
ETROUSSAT	667 558	2 134 050
ETROUSSAT	667 633	2 134 063
ETROUSSAT	668 489	2 134 707
ISSERPENT	698 359	2 130 051
ISSERPENT	697 967	2 130 037
ISSERPENT	698 369	2 130 001
ISSERPENT	698 069	2 129 929
JENZAT	666 142	2 128 679
JENZAT	666 227	2 128 714
JENZAT	666 632	2 128 998
JENZAT	666 243	2 129 249
JENZAT	665 755	2 130 009
LANGY	687 921	2 143 962
LAVAUT-SAINTE-ANNE	620 138	2 146 601
LE MAYET-D'ECOLE	670 189	2 130 823
LE MAYET-D'ECOLE	669 975	2 130 407
LE MAYET-D'ECOLE	669 988	2 130 448
LE MAYET-D'ECOLE	670 123	2 129 953
LE MAYET-D'ECOLE	669 855	2 130 167
LE MAYET-D'ECOLE	669 589	2 129 859
LE MAYET-D'ECOLE	669 568	2 129 501
LE MAYET-D'ECOLE	669 448	2 129 476
LE MAYET-D'ECOLE	669 384	2 129 071
LE MAYET-D'ECOLE	669 431	2 129 525
LOUCHY-MONTFAND	669 333	2 145 347
LOUCHY-MONTFAND	669 573	2 145 578
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 229	2 125 195
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 061	2 125 240
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 155	2 125 216
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 271	2 125 032
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 399	2 124 984
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 458	2 124 931
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 001	2 124 548
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	670 617	2 123 329
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	670 608	2 123 172
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	669 937	2 123 443
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 039	2 125 124
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 089	2 125 192
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 220	2 125 147
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 401	2 124 937
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	671 103	2 124 809
MONTEIGNET-SUR-L'ANDELOT	669 634	2 123 128
MONTLUCON	620 954	2 146 654
MONTLUCON	619 106	2 151 109
MONTLUCON	618 926	2 150 694
MONTLUCON	618 898	2 151 237
MONTLUCON	618 607	2 149 579
MONTLUCON	620 528	2 149 084
MONTLUCON	619 121	2 151 064
MONTLUCON	621 255	2 146 864

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

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
MONTLUCON	622 232	2 149 334
MONTLUCON	619 184	2 151 085
MONTLUCON	621 263	2 149 100
MONTLUCON	619 359	2 150 494
MONTLUCON	621 160	2 149 839
MONTLUCON	619 074	2 150 570
MONTLUCON	621 448	2 150 302
MONTLUCON	619 544	2 150 988
MONTLUCON	619 020	2 150 815
MONTLUCON	619 057	2 151 204
MONTLUCON	619 394	2 147 155
MONTLUCON	619 917	2 147 058
MONTLUCON	621 482	2 149 943
MONTLUCON	618 935	2 150 255
MONTLUCON	619 370	2 150 202
MONTLUCON	619 044	2 150 690
MONTLUCON	619 282	2 150 500
MONTLUCON	618 970	2 150 945
MOULINS	676 305	2 172 898
MOULINS	675 085	2 174 143
MOULINS	676 263	2 173 109
MOULINS	675 378	2 175 213
MOULINS	676 859	2 172 373
MOULINS	676 257	2 175 186
MOULINS	676 259	2 175 213
MOULINS	676 159	2 173 735
NEUVY	672 801	2 173 706
NEUVY	672 434	2 172 867
NEUVY	672 741	2 173 776
NEUVY	672 627	2 176 821
NEUVY	672 850	2 173 578
NEUVY	672 692	2 173 822
NEUVY	672 874	2 173 841
NEUVY	673 088	2 173 697
NEUVY	671 774	2 176 156
NEUVY	672 202	2 176 182
RONGERES	685 835	2 144 443
RONGERES	685 757	2 144 549
RONGERES	685 574	2 144 962
RONGERES	685 512	2 144 825
RONGERES	685 146	2 144 439
RONGERES	685 072	2 144 514
RONGERES	685 313	2 143 910
SAINT-AUBIN-LE-MONIAL	650 506	2 169 610
SAINT-AUBIN-LE-MONIAL	651 198	2 170 154
SAINT-AUBIN-LE-MONIAL	651 211	2 170 084
SAINT-AUBIN-LE-MONIAL	651 164	2 170 094
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 525	2 135 181
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 528	2 133 112
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 533	2 135 160
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 391	2 135 235
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	685 252	2 135 123

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 478	2 135 108
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 353	2 133 735
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 385	2 135 097
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 285	2 135 258
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	685 519	2 133 597
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 778	2 134 700
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 696	2 134 698
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 470	2 135 169
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 522	2 135 210
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 783	2 135 137
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	685 148	2 134 124
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 960	2 134 539
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 290	2 133 895
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 918	2 133 389
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 691	2 135 148
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 517	2 135 260
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	683 752	2 131 899
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 197	2 132 597
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 621	2 133 431
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 533	2 135 152
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 570	2 135 482
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 472	2 135 156
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	685 302	2 134 212
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 670	2 135 339
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	684 396	2 135 083
SAINT-GERMAIN-DES-FOSSES	683 535	2 132 187
SAINT-LEOPARDIN-D'AUGY	659 011	2 185 781
SAINT-PONT	674 127	2 129 644
SAINT-PONT	673 793	2 129 615
SAINT-PONT	673 964	2 129 813
SAINT-PONT	675 260	2 129 074
SAINT-PONT	674 209	2 129 726
SAINT-PONT	674 241	2 129 275
SAINT-PONT	674 046	2 129 908
SAINT-PONT	673 966	2 130 170
SAINT-PONT	674 016	2 130 313
SAINT-PONT	675 312	2 129 392
SAINT-PONT	674 894	2 126 612
SAINT-PONT	674 343	2 129 787
SAINT-PONT	675 015	2 127 587
SAINT-PONT	674 259	2 129 243
SAINT-PONT	674 241	2 129 956
SAINT-PONT	673 841	2 130 398
SAINT-PONT	675 221	2 129 795
SAINT-PONT	674 361	2 130 161
SAINT-POURCAIN-SUR-SIOULE	676 058	2 145 280
SAINT-POURCAIN-SUR-SIOULE	671 796	2 143 515
SAINT-POURCAIN-SUR-SIOULE	673 331	2 145 907
SAINT-REMY-EN-ROLLAT	682 420	2 134 254
SAINT-REMY-EN-ROLLAT	680 341	2 131 254
SERBANNES	680 282	2 122 844
SERBANNES	680 338	2 123 359

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

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
SERBANNES	680 288	2 123 333
SERBANNES	680 300	2 123 426
SERBANNES	676 872	2 121 376
SERBANNES	680 511	2 123 528
SERBANNES	680 643	2 123 528
SERBANNES	676 913	2 121 484
SERBANNES	680 401	2 122 437
SERBANNES	676 827	2 121 437
SERBANNES	678 953	2 122 661
SERBANNES	679 344	2 122 510
SERBANNES	679 332	2 122 913
SERBANNES	680 525	2 123 482
SERBANNES	681 063	2 122 912
SERBANNES	680 422	2 122 475
SERBANNES	680 466	2 122 472
SERBANNES	680 450	2 122 435
SERBANNES	680 265	2 122 466
SERBANNES	680 253	2 122 410
SERBANNES	680 688	2 123 384
SERBANNES	680 579	2 123 492
SERBANNES	678 473	2 122 563
SERBANNES	678 545	2 122 497
TOULON-SUR-ALLIER	679 331	2 169 040
TOULON-SUR-ALLIER	679 281	2 169 033
TOULON-SUR-ALLIER	679 209	2 169 165
TOULON-SUR-ALLIER	679 015	2 168 281
TOULON-SUR-ALLIER	678 969	2 168 308
TOULON-SUR-ALLIER	679 324	2 168 738
TOULON-SUR-ALLIER	678 845	2 168 597
TOULON-SUR-ALLIER	679 270	2 166 152
TREZELLES	697 938	2 148 175
VARENNES-SUR-ALLIER	681 948	2 147 444
VARENNES-SUR-ALLIER	681 756	2 147 114
VARENNES-SUR-ALLIER	681 746	2 147 067
VARENNES-SUR-ALLIER	681 894	2 146 905
VARENNES-SUR-ALLIER	683 239	2 146 016
VARENNES-SUR-ALLIER	683 336	2 145 803
VARENNES-SUR-ALLIER	683 116	2 146 659
VARENNES-SUR-ALLIER	682 584	2 146 235
VARENNES-SUR-ALLIER	682 340	2 146 157
VARENNES-SUR-ALLIER	683 309	2 145 965
VARENNES-SUR-ALLIER	683 418	2 146 476
VARENNES-SUR-ALLIER	682 167	2 146 915
VARENNES-SUR-ALLIER	682 356	2 147 323
VARENNES-SUR-ALLIER	683 407	2 145 766
VENDAT	679 717	2 128 545
VENDAT	680 045	2 130 015
VENDAT	677 862	2 131 241
VENDAT	680 036	2 131 212
VENDAT	680 194	2 131 110
VENDAT	678 613	2 127 666
VENDAT	678 803	2 129 988

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
VENDAT	679 504	2 128 652
VENDAT	679 496	2 128 678
VENDAT	677 595	2 130 667
VENDAT	678 294	2 130 443
VENDAT	679 001	2 130 192
VENDAT	678 793	2 130 023
VENDAT	679 640	2 128 535
VENDAT	677 728	2 130 627
VENDAT	679 698	2 128 489
VENDAT	679 029	2 130 156
VENDAT	677 595	2 131 457
VENDAT	677 759	2 128 827
VENDAT	679 666	2 130 151
VENDAT	679 532	2 130 760
VENDAT	677 854	2 130 403
VENDAT	677 879	2 130 333
VENDAT	678 199	2 130 597
VENDAT	678 853	2 127 698
VICHY	685 244	2 124 716
VICHY	685 213	2 124 699
VICHY	685 310	2 124 546
VICHY	685 319	2 124 532
VICHY	685 339	2 124 502
VICHY	685 396	2 124 413
VICHY	685 436	2 124 314
VICHY	685 374	2 124 654
VICHY	684 885	2 125 635
VICHY	684 861	2 125 646
VICHY	684 871	2 125 709
VICHY	684 879	2 125 582
VICHY	683 889	2 125 080
VICHY	684 900	2 125 726
VICHY	684 904	2 125 753
VICHY	685 596	2 124 613
VICHY	684 949	2 125 575
VICHY	685 259	2 124 733
VICHY	685 217	2 124 832
VICHY	685 291	2 124 805
VICHY	685 004	2 125 133
VICHY	685 085	2 124 815
VICHY	683 939	2 127 539
VICHY	683 621	2 127 225
VICHY	684 159	2 127 775
VICHY	684 790	2 125 537
VICHY	685 062	2 124 911
VICHY	685 115	2 124 828
VICHY	685 215	2 124 800
VICHY	685 236	2 124 794
VICHY	685 435	2 124 597
VICHY	685 486	2 124 612
VICHY	685 414	2 124 563
VICHY	685 499	2 124 444

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

Commune	Coordonnées X en Lambert 2 étendu(m)	Coordonnées Y en Lambert 2 étendu (m)
VICHY	684 644	2 125 210
VICHY	683 826	2 127 180
VICHY	684 211	2 124 983
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	639 613	2 155 331
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	640 629	2 155 265
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	639 854	2 155 164
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	640 202	2 154 480
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	639 934	2 155 596
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	640 310	2 155 499
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	640 004	2 155 363
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	640 017	2 155 463
VILLEFRANCHE-D'ALLIER	640 088	2 155 651
YZEURE	678 578	2 173 348
YZEURE	677 507	2 174 832
YZEURE	681 816	2 175 384
YZEURE	678 644	2 174 573
YZEURE	677 466	2 173 852
YZEURE	678 443	2 174 511
YZEURE	678 362	2 174 897
YZEURE	677 381	2 174 282
YZEURE	677 356	2 175 250
YZEURE	677 196	2 173 025
YZEURE	678 388	2 173 211
YZEURE	680 457	2 176 258
YZEURE	678 244	2 172 952
YZEURE	678 569	2 174 611
YZEURE	678 341	2 174 886
YZEURE	677 700	2 174 501
YZEURE	678 777	2 174 289
YZEURE	678 405	2 173 101
YZEURE	677 866	2 175 390
YZEURE	677 128	2 173 933
YZEURE	677 343	2 173 810
YZEURE	677 858	2 173 550
YZEURE	678 498	2 174 500
YZEURE	678 661	2 173 367
YZEURE	678 910	2 173 585
YZEURE	678 128	2 173 663
YZEURE	678 924	2 173 544
YZEURE	678 888	2 173 536
YZEURE	677 830	2 176 005
YZEURE	677 870	2 173 547
YZEURE	677 837	2 175 969
YZEURE	677 841	2 173 539
YZEURE	677 434	2 173 643
YZEURE	678 369	2 170 875

## **Annexe 4**

### **Liste et coordonnées des bureaux d'études et organismes ayant fourni des données géotechniques**



**CEBTP**

11, rue Louis Rosier  
63 000 - Clermont-Ferrand

**Fondasol Centre SA**

ZI du Brézet  
213, avenue Jean Mermoz  
63 100 - Clermont-Ferrand

**Géocentre**

Fosse Nouvelle  
18 200 - Arcomps

**Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand - Centre d'Études Techniques de l'Équipement de Lyon**

ZI du Brézet  
8-10, rue Bernard Palissy  
63 017 - Clermont-Ferrand cedex 2

**Solen Géotechnique**

16, allée Prométhée  
28 000 - Chartres



## **Annexe 5**

### **Résultats des analyses minéralogiques et géotechniques réalisées dans le cadre de cette étude**



Dossier n° 03.02.15949

Date :

26 FEV. 2004

DEPARTEMENT DE L'ALLIER

**PPR – RETRAIT – GONFLEMENT DES  
ARGILES**

RESULTATS ANALYTIQUES

- 1 – Essais géotechniques
- 2 – Déterminations minéralogiques par diffraction  
des rayons X

Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement - LABORATOIRE REGIONAL DES PONTS ET CHAUSSEES  
Zone industrielle du Brézet 8 - 10 rue Bernard Palissy - 63017 CLERMONT-FERRAND CEDEX 2  
Tél : 04 73 42 10 10 - Fax : 04.73.42.10.01

**SOMMAIRE**

<b>1 – ESSAIS GEOTECHNIQUES .....</b>	<b>2</b>
<b>2 – DETERMINATIONS MINERALOGIQUES PAR DIFFRACTION DES RAYONS X .....</b>	<b>4</b>

## 1 – ESSAIS GEOTECHNIQUES

Ils ont été réalisés spécifiquement à partir de prélèvements effectués sur les faciès géologiques déterminés lors de la cartographie des formations argileuses et marneuses et ce sur les cas où les données issues de la bibliographie étaient insuffisantes.

Les résultats analytiques obtenus figurent dans le tableau ci-après.

Les essais ont été effectués à l'automne 2003 au Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de CLERMONT-FERRAND.

PPR – RGA POUR LE DEPARTEMENT DE L'ALLIER

ESSAIS GEOTECHNIQUES

N° échantillon	Désignation	Teneurs en eau – Wnat (1)	Argilosité – essai au bleu de méthylène VBS (2)	Analyse granulométrique. Passants à 80 microns (3). Passants à 2 microns (4)
102601	TRIAS – Les Chaumes	2,5%	0,8	21,1%
102602	AUTSA – Franchesse	1,1%	0,9	8,5%
102603	ALCOS – La Roussille	19,9%	8,0	64,7%
102604	AUTGR – Saint Hilaire	12,9%	5,8	97,6%
102605	COLAU – Thizon	17,7%	7,8	68,8%
102606	LIMPL – Vilsoul	5,9%	2,2%	64,4%
102607	OLIAM – Abrest	21,9%	3,3	71,8%
102608	JURAS – Aimay	21,2%	2,2	43,2%
102609	COMLI – Briailles	16,2%	2,1	34,6%
102610	COLOL – Ebreuil	7,7%	2,0	48,8%
102611	OLISC – Ebruil	7,2%	2,0	83,7%
102612	ARGCH – Jonchères	31,4%	2,8	85,5%
102613	MIOPL – Marcenat	3,6%	1,0	12,0%
102614	STEPH – Noyant	9,6%	1,4	90,0%
102615	VISEE – Molles	4,8%	1,0	9,2%

(1) – Détermination de la teneur en eau naturelle pondérale d'un sol (norme NF P94050 – sept 1995).

(2) – Détermination de la valeur au bleu de méthylène d'un sol par essai à la tache (norme NF P94068 – oct 1998)

(3) – Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage (norme NF P94056 – mars 1996)

(4) – Analyse granulométrique par sédimentométrie (norme NF P94057 – mai 1992)

## **2 – DETERMINATIONS MINERALOGIQUES PAR DIFFRACTION DES RAYONS X**

Les mêmes prélèvements réalisés pour les essais géotechniques spécifiques ont fait également l'objet de diffraction aux rayons X. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de trois tableaux :

- abondance relative de la phase argileuse,
- pourcentages de minéraux non argileux (relativement à leur abondance),
- pourcentages de minéraux argileux (relativement à leur abondance).

Ces déterminations ont été faites au SEPA de la COGEMA à BESSINES SUR GARTEMPE (HAUTE VIENNE).

09/12/2003  
SAN/2003/1339

## DIFFRACTION "X"

Pour étudier les argiles, les échantillons ont été tamisés par voie humide pour récupérer la fraction  $< 40\mu\text{m}$ , après mise en suspension homogène.

L'étude semi-quantitative de la fraction argileuse est réalisée à partir de lames orientées, après élimination des carbonates si nécessaire. Des traitements ont été ensuite appliqués : chauffage à  $490^{\circ}\text{C}$  et saturation à l'éthylène-glycol. La fraction  $< 40\mu\text{m}$  a été choisie car elle est plus représentative de toutes les argiles présentes. Les interstratifiés de type 10-14s irréguliers sont des argiles gonflantes présentant un empilement aléatoire de feuillets d'ILLITE-MICA et de SMECTITE ; la SMECTITE étant dominante et assurant le caractère gonflant de l'interstratifié.

L'étude qualitative des minéraux non argileux est réalisée à partir de poudres désorientées, sans tamisage à  $40\mu\text{m}$ , ni décarbonatation. L'élongation des pics principaux est donnée en coups par seconde (cps/s) à titre indicatif.

### DIFFRACTION « X »

Le tableau ci-dessous permet d'approcher, pour chaque échantillon, le pourcentage de la phase argileuse par rapport à la roche totale. Cette étude a été réalisée à partir des poudres désorientées (après application de coefficients correcteurs théoriques) et en tenant compte des informations données par l'étude des lames orientées ayant servi à déterminer les argiles (ainsi que leur pourcentage relatif dans la phase argileuse). Ces valeurs sont données à titre indicatif.

Référence SEPA	Référence	Abondance de la phase argileuse			
		Trace (0à5)	Faible (5à25%)	Abondant (25 à 50%)	Très abondant ( 50 à 70%)
2003016120	102601		x		
2003016121	102602		x		
2003016122	102603				x
2003016123	102604		x		
200316124	102605			x	
200316125	102606	x			
200316126	102607		X		
200316127	102608	X			
200316128	102609			X	
200316129	102610		X		
200316130	102611		X		
200316131	102612			X	
200316132	102613		X		
200316133	102614			X	
200316134	102615		X		

COGEMA - SEPA  
Section Analyses

09/12/2003  
SAN/2003/1335

# MINÉRAUX NON ARGILEUX

REFERENCE SEPA	REFERENCE	QUARTZ SiO <sub>2</sub>	CALCITE CaCO <sub>3</sub>	DOLOMITE OU ANKERITE	ANALCIME	ORTHOSE	ALBITE	ANATASE TiO <sub>2</sub>
2003016120	102601	3411				86		
2003016121	102602	3834				381	100	
2003016122	102603	1854				Trace		
2003016123	102604	1581						
2003016124	102605	4308				52		
2003016125	102606	4695				489	302	
2003016126	102607	1767			Trace ?	172	273	
2003016127	102608	3078	742	150		258	81	
2003016128	102609	3153	121		Trace ?	128	253	
2003016129	102610	2085	966	Trace ?		247	89	
2003016130	102611	258	2541			44	Trace	
2003016131	102612	1353				87	54	
2003016132	102613	4839				276	55	
2003016133	102614	1587				172	93	Trace ?
2003016134	102615	4743					110	Trace ?

L'échantillon n° 2003016129 peut contenir un peu d'HEMATITE (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)

L'ANKERITE est une DOLOMITE Ferrifère « 2CO<sub>3</sub>Ca.CO<sub>3</sub>(Mg,Fe) », ses pics sont très proches de ceux de la DOLOMITE.

L'ANALCIME est une ZEOLITHES (Silicate d'alumine alcalin hydraté)

L'ORTHOSE est un Feldspath potassique (silicate d'alumine potassique)

L'ALBITE est un Feldspath sodique (Silicate d'alumine sodique)

Ci-joint, pour exemple le spectre de l'échantillon n° 2003016130

COGEMA – SEPA  
Direction Analyses

09/12/2003  
SAN/2003/1339

# MINÉRAUX ARGILLEUX

Afin d'apprécier l'importance relative de la phase argileuse, l'élongation du pic principal en cps/s de chaque argile est notée dans le tableau suivant (après application des coefficients correcteurs nécessaires).

REFERENCE SEPA	REFERENCE	INTERSTRATIQUES			ILLITE-MICA Nature Alumineuse	KAOLINITE	CHLORITE	VERMICULITE
		Irréguliers 10-14 s	Riches en ILLITE- MICA 10 -14 s	Mal défini, légèrement gonflant				
2003016120	102601		30-5 %		555-80 %	92-15 %		
2003016121	102602	243-15 %	Trace ?		265-20 %	938-65 %		
2003016122	102603	1076-80 %	40-5 %		85-5 %	155-10 %		
2003016123	102604		400-30 %		660-45 %	350-25 %		
2003016124	102605	1155-80 %	50-5 %		95-5 %	145-10 %		
2003016125	102606	88-25 %	20-5 %		145-40 %	81-20 %	Trace	35-10 %
2003016126	102607	300-25 %	Trace ?		592-45 %	356-30 %		
2003016127	102608	130-15 %	30-5 %		360-50 %	126-15 %	120-15 %	
2003016128	102609	330-30 %	Trace ?	Trace	595-50 %	150-10 %	142-10 %	
2003016129	102610	75-10 %	Trace ?		580-70 %	172-20 %	Trace	
2003016130	102611	325-20 %	60-5 %		842-50 %	360-25 %		
2003016131	102612	250-30 %	Trace ?		105-10 %	434-50 %	70-10 %	
2003016132	102613	108-25 %	24-5 %		192-45 %	105-25 %		
2003016133	102614		Trace ?	190-15 %	400-25 %	650-45 %		245-15 %
2003016134	102615	160-20 %		50-5 %	370-40 %	336-35 %		
2003016135	102901	300-20 %			620-35 %	340-20 %		
2003016136	102902	563-85 %	24-5 %		32-5 %	42-5 %		

Dans l'échantillon n° 2003016122/124/136, l'interstratifié 10-14 s irrégulier est proche d'une SMECTITE.

Ci-joint, en exemple, le spectre de l'échantillon n°2003016135.



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

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

**Service géologique régional Auvergne**

Campus des Cézeaux  
12, avenue des Landais  
63170 - Aubière - France  
Tél. : 04 73 15 23 00