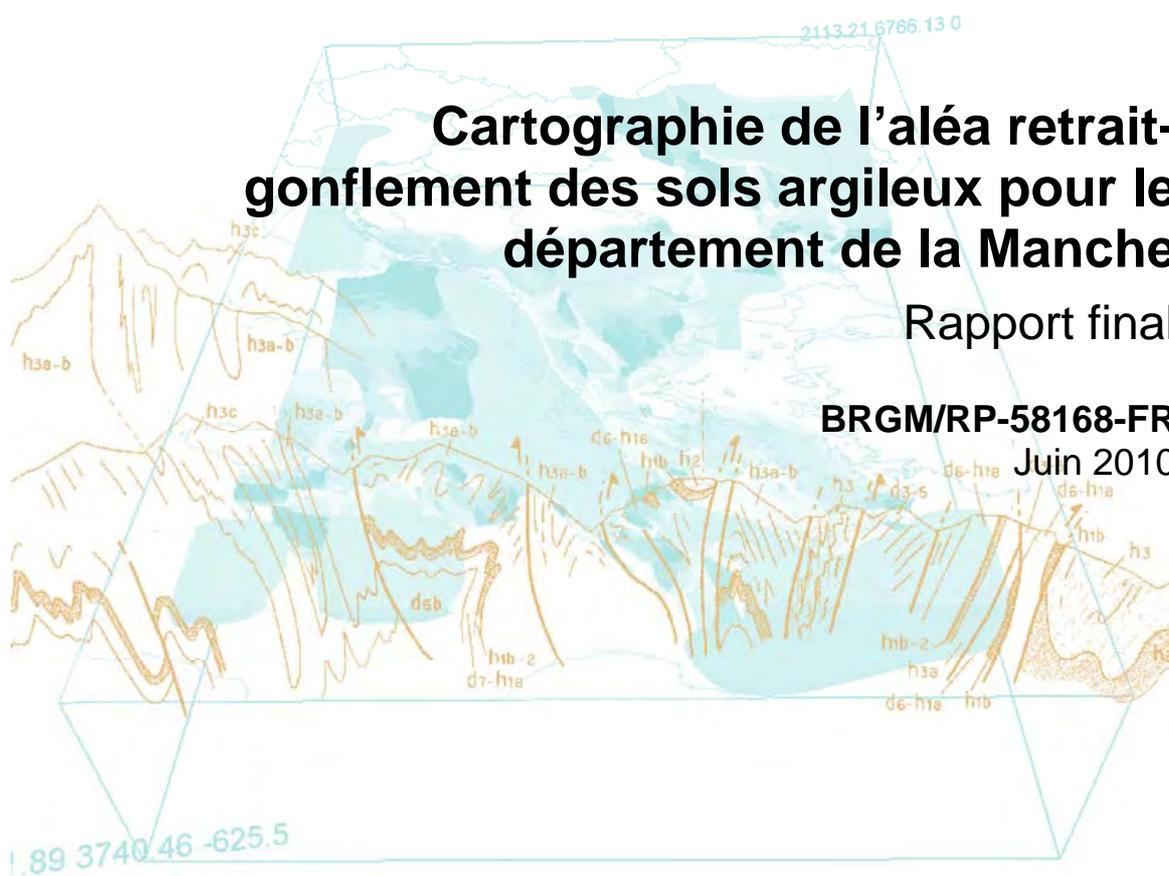


document public



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux pour le département de la Manche

Rapport final

BRGM/RP-58168-FR

Juin 2010



66sciences pour une Terre durable

brgm

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux pour le département de la Manche

Rapport final

BRGM/RP-58168-FR

Juin 2010

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 05RISD09 du BRGM

P. Pannet, E. Tirard, C. Bellenger, A. Lereculey, Y. Lemoine

Vérificateur :

Nom : S. Le Roy

Date : 28/06/2010

Signature :



Approbateur :

Nom : E. Gomez

Date : 28/06/2010

Signature :



Mots clés : argile, marne, argile gonflante, smectite, retrait-gonflement, aléa, risque naturel, sinistre, sécheresse, catastrophe naturelle, géotechnique, cartographie, Manche, Basse-Normandie.

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

PANNET P., TIRARD E., BELLENGER C., LERECULEY A. et LEMOINE Y. (2010) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de la Manche. Rapport BRGM/RP-58168-FR, 120 p., 26 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

©BRGM, 2010, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

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

La Manche fait partie des départements français peu touchés par le phénomène, puisque seulement 16 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés dans le cadre de la présente étude. A la date du 20 avril 2010, une seule commune a été reconnue en l'état de catastrophe naturelle pour ce phénomène depuis 1989 (date de l'intégration du phénomène retrait-gonflement au régime de catastrophe naturelle).

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département de la Manche, dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Cette étude, réalisée par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public sur les risques naturels, s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui concernera à terme l'ensemble du territoire métropolitain, dont les trois départements de Basse-Normandie.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional Basse-Normandie, en collaboration avec le service Risques Naturels et Sécurité du stockage du CO₂ (RNSC) du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 25 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été pris en charge par le Fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture de la Manche.

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la carte géologique harmonisée du département, valide à l'échelle du 1/50 000 et des cartes géologiques éditées par le BRGM à cette même échelle. Les 15 formations ainsi identifiées et cartographiées ont ensuite fait l'objet d'une hiérarchisation quant à leur susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a été établie sur la base de trois critères principaux : la caractérisation lithologique de la formation, la composition minéralogique de sa phase argileuse et son comportement géotechnique, ce qui a conduit à l'établissement d'une carte départementale de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

La carte d'aléa a alors été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, après hiérarchisation de celles-ci en tenant compte non

seulement de la susceptibilité des formations identifiées, mais aussi de la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres en calculant, pour chaque formation sélectionnée, une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée, afin de permettre des comparaisons fiables entre les formations. Toutefois, à l'issue de cette étude, le critère de sinistralité a été jugé non significatif. De fait, le niveau d'aléa correspond au critère de susceptibilité.

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

- 7,35 % est classée en aléa moyen ;
- 30,3 % est classée en aléa faible ;
- 62,3 % correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés comme non concernés par le phénomène, se trouvent localement des zones susceptibles de subir des sinistres. Il s'agit soit de zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à l'altération localisée des calcaires ou à des lentilles argileuses non cartographiées, soit des formations d'altération non cartographiées des schistes et granites du Cadomien et du Briovérien, qui peuvent concerner des surfaces plus conséquentes.

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

Sommaire

1. Introduction.....	11
2. Méthodologie.....	13
2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES... 13	
2.1.1. Facteurs de prédisposition.....	14
2.1.2. Facteurs de déclenchement.....	17
2.2. MÉTHODOLOGIE.....	18
2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses.....	19
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations.....	19
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement....	19
2.2.4. Carte de susceptibilité.....	20
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres.....	20
2.2.6. Détermination des densités de sinistres.....	21
2.2.7. Carte d'aléa.....	21
3. Présentation du département de la Manche.....	23
3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE.....	23
3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE.....	25
3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DE LA MANCHE.....	26
3.3.1. Les aquifères des cordons dunaires littoraux.....	26
3.3.2. L'aquifère des marais de Carentan.....	27
3.3.3. Les aquifères en zone de socle.....	27
3.3.4. L'aquifère du Trias.....	28
3.3.5. Les aquifères superficiels.....	28
3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE.....	28
4. Identification et cartographie des formations géologiques à dominante argilo-marneuse.....	31
4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS	31
4.1.1. Méthode utilisée	31
4.1.2. Établissement de la carte des formations à composante argileuse	33
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL.....	34

4.2.1. Antécambrien.....	36
4.2.2. Primaire	36
4.2.3. Secondaire.....	38
4.2.4. Le Tertiaire.....	39
4.2.5. Les formations quaternaires	39
4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS A COMPOSANTE ARGILEUSE	39
4.3.1. Formations superficielles du Quaternaire	42
4.3.2. Formations tertiaires	44
4.3.3. Formations du Mésozoïque	45
4.3.4. Formations Précambriennes.....	48
4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES	48
5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues.....	51
5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION.....	51
5.1.1. Critères retenus	51
5.1.2. Méthode de classification	51
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE	52
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème	52
5.2.2. Caractérisation lithologique	53
5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE	54
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	54
5.3.2. Source des données.....	55
5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses ou marneuses du département de la Manche	55
5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE	57
5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème	57
5.4.2. Teneur en eau (W _n).....	58
5.4.3. Indice de plasticité (I _p)	58
5.4.4. Essais au bleu de méthylène (VB).....	59
5.4.5. Retrait linéaire (RI).....	59
5.4.6. Caractérisation géotechnique	60
6. Élaboration de la carte de susceptibilité.....	63
6.1. DEGRE DE SUSCEPTIBILITE	63
6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ.....	64
6.3. SYNTHÈSE.....	64
7. Analyse de la sinistralité.....	67

7.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE	67
7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES.....	68
7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES.....	69
7.3.1. Collecte des données.....	69
7.3.2. Bilan	69
7.4. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE URBANISEE	73
7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation.....	73
7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres	75
8. Carte d'aléa.....	77
8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA	77
8.2. CARTE D'ALÉA.....	78
9. Cohérence avec les départements voisins.....	81
10. Conclusion.....	83
11. Bibliographie.....	87

Liste des illustrations

Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche	13
Illustration 2 - Carte de présentation du département de la Manche	25
Illustration 3 - Caractéristiques climatiques du département de la Manche (DDAF Manche)	29
Illustration 4 - Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 de la Manche	32
Illustration 5 - Liste des cartes géologiques 1/50 000 du département de la Manche ..	33
Illustration 6 - Carte géologique simplifiée de la Manche, issue de la carte géologique de la France au 1/1 000 000	35
Illustration 7 - Carte des formations argileuses du département de la Manche	41
Illustration 8 - Barème du critère lithologique.....	53
Illustration 9 - Tableau de caractérisation lithologique des différentes formations géologiques argileuses de la Manche.....	54
Illustration 10 - Barème du critère minéralogique	55
Illustration 11 - Note minéralogique des formations argileuses retenues pour le département de la Manche	56
Illustration 12 - Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité	59
Illustration 13 - Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu	59
Illustration 14 - Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire	60
Illustration 15 - Tableau synthétique des données géotechniques de la Manche	61
Illustration 16 - Indicateur du degré de susceptibilité	63
Illustration 17 - Susceptibilité des formations argileuses retenues	63
Illustration 18 - Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux pour le département de la Manche.....	65
Illustration 19 - Tableau synthétique de répartition des sinistres recensés	70
Illustration 20 - Carte de répartition des sinistres recensés et localisés	72
Illustration 21 - Carte des zones urbanisées sur le département de la Manche	74
Illustration 22 - Taux d'urbanisation et nombre de sinistres par formation	75
Illustration 23 - Sinistralité (densité de sinistres par formation argileuse, NS=sinistralité « non significative »)	76
Illustration 24 -: Tableau de détermination du niveau d'aléa.....	77

Illustration 25 - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des formations argileuses du département de la Manche.....	80
Illustration 26 - Juxtaposition des cartes d'aléa limitrophes à la Manche.....	82

Liste des annexes

Annexe 1 - Rappel sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles.....	97
Annexe 2 - Sinistres	103
Annexe 3 - Liste et coordonnées des organismes ayant fourni des données géotechniques et/ou minéralogiques.....	107
Annexe 4 - Résultats d'analyses spécifiques des 30 échantillons prélevés dans le département de la Manche.....	111

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

Carte 1 – Carte synthétique des formations argileuses et mameuses

Carte 2 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux

Carte 3 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux

1. Introduction

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

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

Sous un climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont souvent déconsolidées, humidifiées et ont épuisé leur potentiel de gonflement à l'état naturel. Mais elles sont dans un état éloigné de leur limite de retrait (teneur en eau en-dessous de laquelle les déformations dues au phénomène de retrait-gonflement deviennent peu significatives) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue de façon notable. Dans ce contexte, les sinistres surviennent donc surtout lorsqu'une période de sécheresse intense ou prolongée provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol, soumise à évapotranspiration.

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle. Depuis l'année 1989 (début d'application de cette procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et la réhydratation des sols), près de 8 000 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle à ce titre. En septembre 2008, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France entre 1989 et 2003 au titre du régime des catastrophes naturelles, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 3,9 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation derrière les inondations.

La région Basse-Normandie est inégalement concernée par ce phénomène. En effet, la Manche n'a pas fait l'objet d'indemnisation dans le cadre du régime des catastrophes naturelles pour des sinistres de ce type car aucune des 603 communes n'a été reconnue catastrophe naturelle à la date du 20 avril 2010. En revanche, les deux autres départements bas-normands que sont l'Orne et le Calvados ont été indemnisés de par leurs respectivement 19 et 18 communes reconnues au moins une fois depuis 1989 en état de catastrophe naturelle.

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

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

La présente étude a été réalisée par le Service Géologique Régional Basse-Normandie en collaboration avec le service Risques Naturels et Sécurité du stockage du CO₂ du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 25 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été pris en charge par le Fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture de la Manche.

Cette étude s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui concernera à terme l'ensemble du territoire métropolitain, une majorité de départements étant déjà couverts par de telles cartes d'aléa à ce jour.

2. Méthodologie

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

Les phénomènes de retrait-gonflement sont dus pour l'essentiel à des variations de volume de 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.

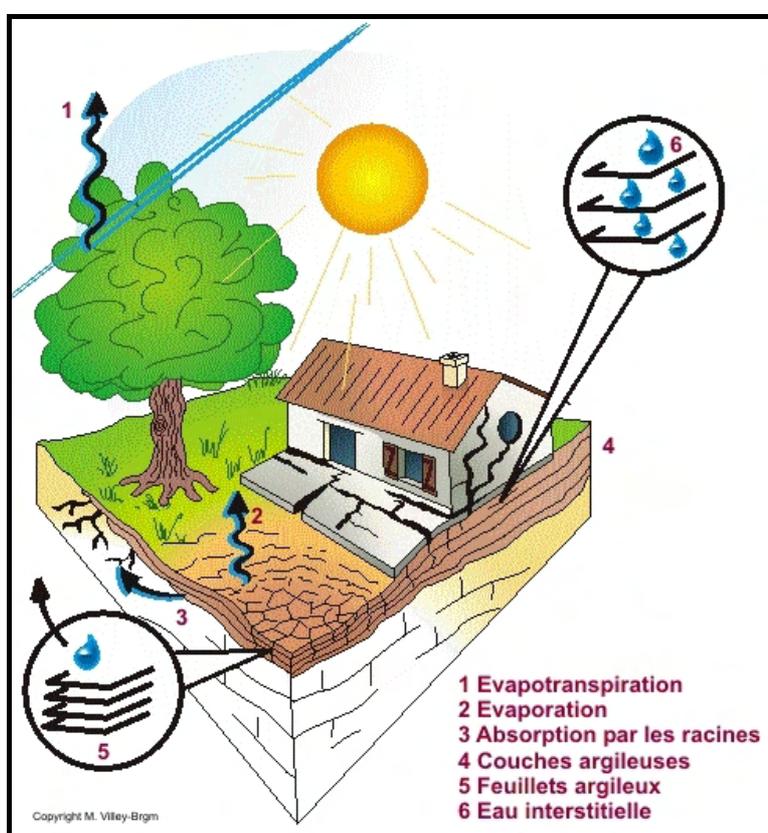


Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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

2.1.1.1. Nature du sol

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

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

La majorité des dossiers consultés montre que les sinistres sont corrélés à la présence d'une formation argileuse ou marneuse bien définie, ce qui conforte le concept adopté. Cependant, il est important de signaler qu'une carte géologique en tant que telle ne suffit pas à déterminer la répartition des sols argileux sujets au retrait-gonflement. En effet, de telles cartes ne prennent pas toujours en compte les éventuelles transformations locales du sol (principalement sous l'effet de l'altération de la roche), et les différents faciès des formations les plus superficielles ne sont pas toujours cartographiées 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 matériau argileux, autrement dit d'éléments fins inférieurs à 2 µm).

En moindre proportion mais non négligeable, la géométrie de la formation argileuse influe sur la susceptibilité au retrait-gonflement. Les effets du phénomène seront d'autant plus importants que la formation sera en position superficielle et que les

niveaux argileux en son sein seront épais et continus. Une alternance de niveaux argileux et de lits plus perméables (sableux, par exemple), sièges de circulations d'eau temporaires, constitue également une configuration défavorable, car à l'origine de fréquentes variations de teneur en eau dans les parties argileuses.

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

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

2.1.1.2. Contexte hydrogéologique

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

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

2.1.1.3. Géomorphologie

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

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

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

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

2.1.1.4. Végétation

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

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

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

2.1.1.5. Défauts de construction

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

L'examen de dossiers d'expertises réalisées dans les autres départements 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.

2.1.2. Facteurs de déclenchement

2.1.2.1. Phénomènes climatiques

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

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

Malheureusement, il est difficile de relier la répartition, dans le temps, des hauteurs de pluies efficaces avec l'évolution des teneurs en eau dans le sol. On observe évidemment qu'après une période de sécheresse prolongée, la teneur en eau dans la

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

2.1.2.2. Facteurs anthropiques

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

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

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

2.2. MÉTHODOLOGIE

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

2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses

La cartographie des formations argileuses et marneuses du département a été réalisée à partir des cartes géologiques du BRGM et des coupes de forage de la Banque des données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM, complétées et actualisées par quelques données ponctuelles issues des rapports d'expertise de sinistres. Cette cartographie a été réalisée à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), numérisée, puis synthétisée et présentée hors texte à l'échelle 1/125 000.

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

2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations

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

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

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de nombreux rapports d'études de sol réalisés par différents bureaux d'études.

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

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

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

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

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

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

2.2.4. Carte de susceptibilité

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

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

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

Pour ce faire, un recensement des sinistres liés à la sécheresse a été effectué auprès de l'ensemble des 601 communes du département par le biais d'un questionnaire d'enquête. Rappelons qu'aucune commune n'est concernée par un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols. La Caisse Centrale de Réassurance et certaines mutuelles n'ont donc aucun dossier de sinistres concernant le département de la Manche.

Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 16 sinistres qui ont été recensés par retour d'enquête auprès des mairies, et tous ont été localisés sur les fonds

topographiques des cartes de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ils sont répartis dans 10 communes.

2.2.6. Détermination des densités de sinistres

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

Dans un souci de rigueur et étant donnée la grande diversité du taux d'urbanisation d'un point à un autre du département, il est apparu nécessaire, conformément à la méthodologie adoptée au niveau national, de pondérer ces densités de sinistres par le taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux a été calculé après numérisation du contour des zones urbanisées du département (à partir des cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000).

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

2.2.7. Carte d'aléa

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

3. Présentation du département de la Manche

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

Le département de la Manche est situé en région Basse-Normandie, dans le nord-ouest de la France. Il est bordé à l'est par les départements bas normands de l'Orne et du Calvados et au sud par les départements de la Mayenne et de l'Ille et Vilaine.

D'une superficie de l'ordre de 6 000 km², ce département s'étire sur environ 140 km du nord au sud et sur 54 km au maximum d'est en ouest et est bordé par 350 km de côtes.

La population de la Manche comporte 492 563 habitants (source : INSEE, données 2009) dont 52 % vivent en milieu rural (moyenne nationale : 20 %). Le département est composé de 52 cantons et 601 communes. Sa préfecture est Saint-Lô et on dénombre 3 sous-préfectures d'arrondissement : Avranches, Coutances et Cherbourg.

D'un point de vue économique, le département de la Manche a une vocation très largement agricole dont témoigne la proportion d'actifs dans le secteur primaire (16 %). La Manche développe également par ailleurs une importante activité maritime liée à l'importance de son littoral.

Enfin, l'industrie se concentre dans le nord Cotentin avec un pôle nucléaire important, notamment à la Hague, et le développement de l'industrie agro-alimentaire.

La Manche tire sa personnalité d'un point de vue géographique de son caractère péninsulaire et non de ses reliefs. En effet, le point culminant du département n'atteint que 368 mètres d'altitude au niveau de la commune de Chaulieu dans le Mortainais.

Le paysage du département est façonné par trois grands bassins versants topographiques et hydrographiques qui sont du nord au sud (Arnaud *et al.*, 2005) :

- la presque-île du Cotentin ;
- le Saint-Lois et le Coutançais ;
- l'Avranchin et le Mortainais.

La presque-île du Cotentin est marquée au sud par une dépression marécageuse qui draine la quasi-totalité des cours d'eau du département. Les marais alimentés par la Douve et le Merderet isolent le Cotentin du reste du département. Le plateau granitique du Nord-Cotentin est relativement élevé à l'ouest avec des côtes escarpées et sauvages. En effet, le cap de la Hague présente un relief mouvementé et une côte déchirée recouverte d'une lande de bruyère. L'altitude décroît ensuite vers l'est jusqu'à finir par une côte basse bordée de rochers.

Le centre Manche, représenté par le Saint-Lois et le Coutançais, offre des paysages de collines bocagères irriguées par la Sienne et la Vire. Le Saint-Lois est compris entre les marais de Carentan au nord et les hauteurs de Percy au sud. Il est entaillé par de

nombreuses vallées. La façade maritime du Coutançais est appelée « côte des havres » en raison de ses échancrures et des embouchures des fleuves côtiers de l'ouest du Cotentin. Le littoral présente une côte sableuse bordée par un complexe dunaire. En marge de cet ensemble, un paysage de formations basses s'individualise au Nord-ouest. En effet, la lande de Lessay qui s'étend le long du littoral constitue un morceau d'Armorique avec ses pins et ses genêts et ferme la presque-île du Cotentin.

Avranches au sud-est du département domine le bocage et la baie du Mont Saint Michel. L'Avranchin présente un relief adouci issu de la dégradation de schistes précambriens donnant des croupes molles ou des vallées plus évasées par endroit. La baie du Mont Saint Michel, d'une superficie de 25 000 hectares, est couverte d'une végétation d'herbus et est constituée en partie de polders dans la plaine du sud. Le Mortainais, quant à lui, est composé principalement de deux bassins secondaires que traversent sur 60 km deux fleuves côtiers encaissés, la Sélune et la Sée. Ces deux bassins, formés par trois soulèvements parallèles, d'altitudes inégales, constituent les collines sud manche. Elles sont formées par de longues barres de grès et granites alignées Ouest-Est. Leur altitude moyenne est supérieure à 200 mètres.

D'un point de vue géomorphologique et géologique, le partage des grandes unités est voisin du partage géographique énoncé ci-dessus. En effet, une large partie du département appartient au Massif Armoricaïn.

Seule la moitié est du Cotentin et la région de Carentan présentent des formations sédimentaires de couverture, non plissées, qui se rattachent au Bassin parisien.

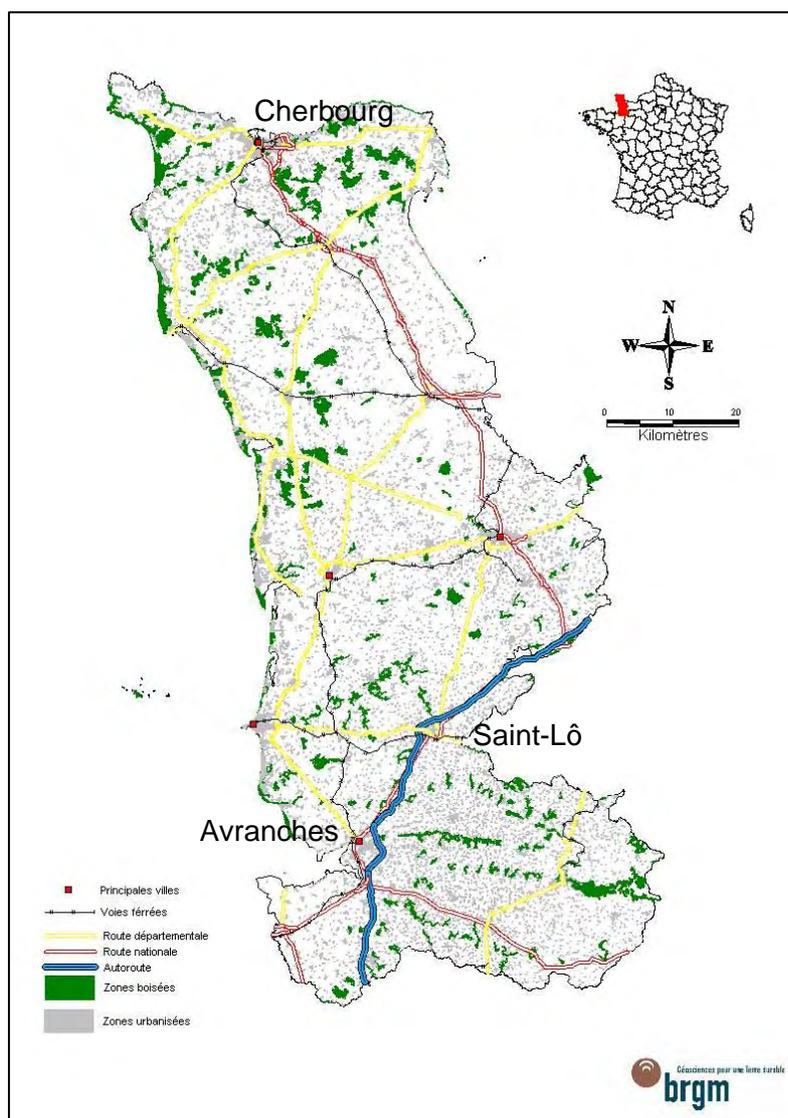


Illustration 2 - Carte de présentation du département de la Manche

La cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles a déjà été réalisée dans les départements limitrophes du Calvados et de l'Orne et le programme est en cours dans les autres départements voisins de la Mayenne et de l'Ille-et-Vilaine. Certaines données récupérées pendant ces études ont permis de compléter les données de base pour la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles de la Manche.

3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

La configuration générale du relief commande la structure hydrographique particulière du département de la Manche. L'étroitesse de la presqu'île du Cotentin ne laisse de place qu'à de petites rivières côtières qui se jettent principalement dans la Manche.

Celles-ci traversent le socle ancien en vallées encaissées, s'étalent ensuite dans les dépressions puis subissent près de leur embouchure l'influence de la mer.

Le sol du département de la Manche est essentiellement constitué de terrains imperméables. Un ruissellement intense crée alors un réseau dense de petites rivières et fleuves.

En raison des écoulements superficiels, les cours d'eau du département sont fragiles et méritent une vigilance particulière.

Avec leurs pentes marquées et leurs températures qui restent fraîches, ces cours d'eau sont majoritairement de type salmonicole.

Dans le centre du département (Bassin de Carentan), des pentes plus faibles permettent le développement de systèmes de marais différents quant à leur faune et à leur flore.

3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DE LA MANCHE

La structure de l'alimentation en eau repose d'abord sur la répartition et l'importance des gisements d'eau souterraine, eux-mêmes liés à la nature de la roche-réservoir (DDTM 50).

On distinguera :

- les terrains de socle ancien (granite, schistes, grès) représentés dans tout le Sud-Manche et le nord-ouest Cotentin. Les aquifères sont généralement de faible extension et assez peu productifs ;
- les terrains sédimentaires du Secondaire, localisés dans la partie est du Cotentin. Selon la nature des dépôts, leur productivité peut être très variable. Les terrains sablo-graveleux de la région de Carentan et de Valognes (Trias) constituent de bons aquifères, mais assez vulnérables à la pollution ;
- les formations meubles récentes, circonscrites dans l'isthme du Cotentin. Les nappes d'eau souterraine y sont très puissantes. C'est le réservoir par excellence du département.

On note donc la présence des aquifères suivants dans le département :

3.3.1. Les aquifères des cordons dunaires littoraux

La façade maritime ouest de la Manche est parcourue en plusieurs secteurs par ces cordons dunaires de sables quaternaires récents. La dune constitue un milieu poreux marqué et les sables constituent le réservoir aquifère d'une petite nappe d'eau douce.

Sa surface s'étend sur quelques kilomètres de long pour moins d'un kilomètre de large (Equilbey, 2001).

En bordure de mer, dans le Cotentin, des niveaux aquifères se rencontrent dans les formations dunaires qui peuvent être exploités localement pour l'irrigation de cultures maraîchères. Il y a très peu d'informations sur ces aquifères, qui ne font pas l'objet d'études approfondies comme pour ceux destinés à l'alimentation en eau potable. Toutefois, ils apparaissent comme des aquifères multicouches, d'une vingtaine de mètres d'épaisseur au maximum et sont constitués par deux horizons de sables coquilliers quaternaires séparés par un niveau de faible perméabilité de tange (argile sableuse).

On distingue 2 nappes :

- un aquifère supérieur à nappe libre surmontant l'horizon de tange ;
- un aquifère inférieur à nappe captive compris entre l'horizon de tange et le substratum rocheux, généralement paléozoïque (Roux, 2006).

C'est principalement l'aquifère inférieur qui est exploité car il arrive souvent que l'aquifère supérieur s'assèche en été.

3.3.2. L'aquifère des marais de Carentan

La seule ressource souterraine notable du département de la Manche est la nappe du bassin d'effondrement de l'isthme du Cotentin.

Il renferme plusieurs bassins sédimentaires, sièges de ressources aquifères importantes pour le département. Ces bassins d'âge tertiaire, s'étendant sur des surfaces de 50 à 100 hectares avec des épaisseurs comprises entre 15 et 100 mètres, sont constitués par des alluvions plio-quaternaires (Roux, 2006). Le secteur de Sainteny Marchésieux renferme deux grands ensembles aquifères séparés par la faille de Sainteny :

- le bassin néogène de Sainteny. Les formations aquifères potentielles y sont représentées par des faciès bioclastiques de type faluns ;
- le bassin plio-quaternaire de Marchésieux qui représente la ressource en eau souterraine la plus importante du département destinée à l'alimentation en eau potable.

3.3.3. Les aquifères en zone de socle

Le socle fissuré renferme des unités aquifères libres appartenant au Massif armoricain, généralement de faible extension, à productivité réduite (5 à 15 m³/h) et sans protection superficielle. Des productivités plus importantes (30 à 60 m³/h) peuvent être localement rencontrées sur des axes de fracturation, de schistosité ou d'altération importants (Equilbey, 2001).

Ils sont de faible extension et souvent peu productifs. De plus, ils ne sont localisés que dans deux types de structures :

- les formations superficielles peu perméables recouvertes dans les vallées par des alluvions récentes. Ces formations sont utiles pour le stockage des pluies, le filtrage puis le transfert vers les niveaux inférieurs ;
- les formations indurées armoricaines devenues perméables grâce à un réseau de fissures et fractures interconnectées (granite d'Avranches).

3.3.4. L'aquifère du Trias

Les premières assises sédimentaires à l'échelle régionale sont les niveaux de sables et galets du Trias. Les médiocres conditions d'affleurement du Trias et le découpage par la tectonique ont morcelé ce réservoir en autant d'unités à géométrie limitée et donc de faible emmagasinement.

3.3.5. Les aquifères superficiels

Ils sont contenus dans les alluvions des principales vallées et présentent généralement une bonne activité.

L'alimentation des nappes et aquifères due aux pluies d'automne et d'hiver peut atteindre 300 à 600 mm dans certaines zones du département de la Manche.

3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département de la Manche est soumis à un climat océanique pur. Cela se traduit par différents phénomènes. Premièrement, les précipitations sont significatives tout au long de l'année mais avec une variabilité géographique importante. La pluviométrie la plus faible est enregistrée à proximité du littoral (Pointe de Barfleur : 600 mm/an) et la plus élevée est enregistrée sur les hauteurs du Mortainais du Nord (1300 mm/an environ). Le nombre de jours de précipitations est relativement élevé, supérieur à 150 jours/an.

D'autre part, les températures peuvent être qualifiées de relativement clémentes avec des amplitudes saisonnières assez faibles (5°C en janvier et 19°C en juillet). Par ailleurs, les gels sont rares et ne surviennent que 10 jours/an en moyenne sur la côte.

Les brumes et brouillards sont peu fréquents et l'ensoleillement varie de 1700 à 1850 heures/an sur la côte ouest du département.

Enfin, en ce qui concerne les vents, on remarque la prédominance de vents marins venus de l'ouest, de force modérée, jointe à l'alternance quotidienne des brises de terre et mer.

Si le climat de la Manche peut sembler uniforme au regard de climats continentaux plus rigoureux, aux contrastes très accentués, on constate toutefois que l'éloignement de la mer et une altitude plus élevée rendent le climat moins clément dans le Mortainais. En effet, l'hiver y est plus précoce, plus long et plus rude. De plus, les jours de neige et les gelées y sont plus nombreux.

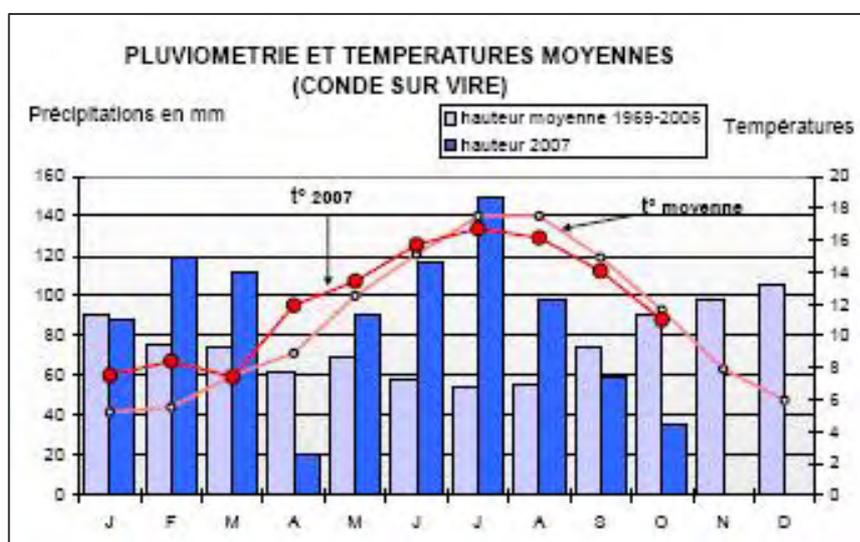


Illustration 3 - Caractéristiques climatiques du département de la Manche (DDAF Manche)

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

4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS

4.1.1. Méthode utilisée

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

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

Cette cartographie a été réalisée à partir de la carte départementale géologique harmonisée (Vernhet, 2003-2005) et des cartes géologiques du BRGM à l'échelle 1/50 000, qui constituent la partie prépondérante des données de base prises en compte pour la réalisation de cette synthèse cartographique. La majorité des cartes géologiques au 1/50 000 a été réalisée, dans le département de la Manche, entre les années 1968 et 1999. Ces différentes cartes ne répondent donc pas aux mêmes objectifs cartographiques, et les connaissances géologiques locales ont pu évoluer entre ces levers. Les formations superficielles, de grande importance pour cette présente étude, ont notamment été davantage prises en compte dans les périodes plus récentes, les travaux anciens étant en ordre général plus axés sur la représentation du substratum.

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

L'assemblage des cartes géologiques (Illustration 4) comporte tout ou partie des 19 cartes suivantes : Cherbourg (72), Saint-Vaast (73), Bricquebec (93), Sainte-Mère-Eglise (94), La-Haye-du-Puits (116), Carentan (117), Balleroy (118), Coutances (142), Saint-Lô (143), Torigny (144), Granville (172), Villedieu (173), Vire (174), Mont-Saint-michel (208), Avranches (209), Mortain (210), Dol-de-Bretagne (246), Saint-Hilaire (247), Landivy (248). La référence de ces cartes est présentée dans le tableau ci-après (Illustration 5).

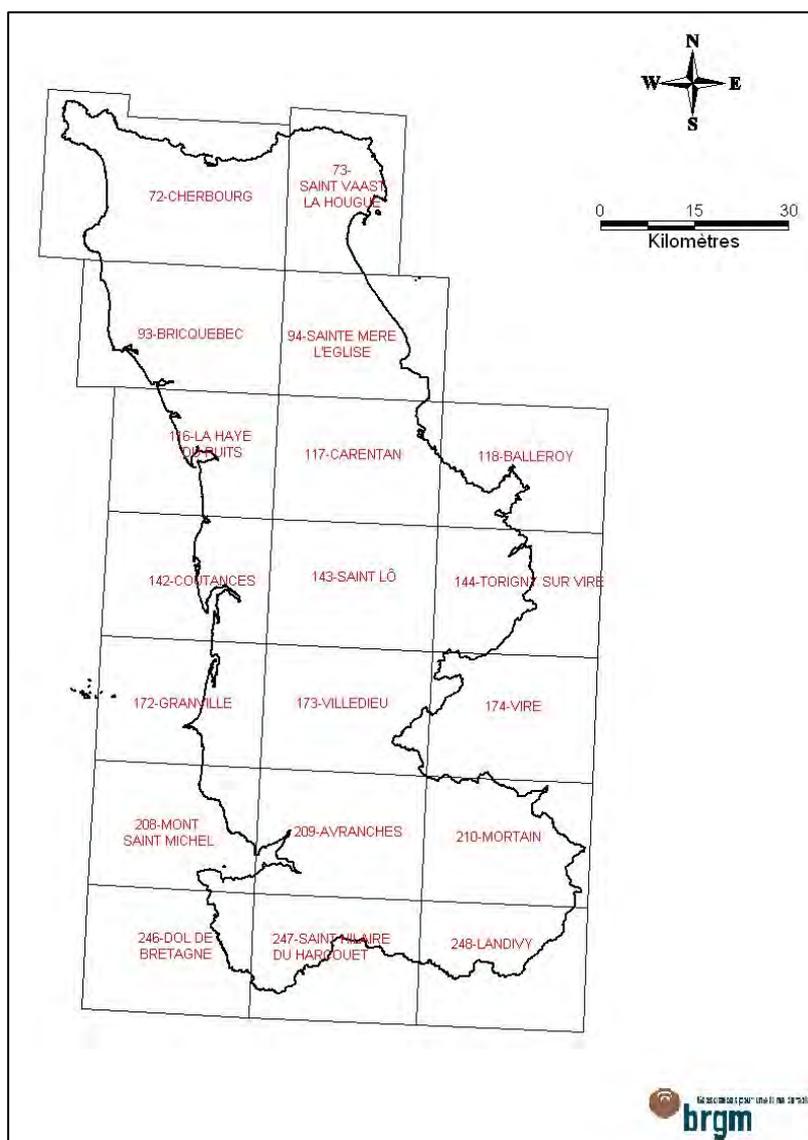


Illustration 4 - Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 de la Manche

n° carte	Nom carte	Nom(s) de(s) l'auteur(s)	Année de parution
72	Cherbourg	M.J. Graindor	1963
73	Saint-Vaast	M.J. Graindor, C. Pareyn	1969
93	Bricquebec	M.J. Graindor, M.M. Roblot, M. Robardet, J. Poncet, C. Lorenz, R. Lemarchand	1968
94	Sainte-Mère-Eglise		
116	La Haye-du-Puits	F. Doré, J. Poncet	1968
117	Carentan	S. Baize, J-P. Camuzard, M. Freslon, C. Langevin, B. Laignel	1997
118	Balleroy	Y. Vernhet, S. Baize, J-P. Coutard, C. Langevin	1999
142	Coutances	L. Dupret, J. Poncet, J-P. Lautridou, P. Hommeril	1989
143	Saint-Lô	L. Dupret, E. Dissler, J. Poncet, J-P. Coutard	1997
144	Torigny	Y. Vernhet, G. Lerouge, V. Heryy, J-C. Besombes, C. Langevin	2000
172	Granville	F. Doré, L. Dupret, J-P. Lautridou, P. Hommeril	1988
173	Villedieu	F. Trautmann, L. Minoux, D. Janjou, C. Langevin	1998
174	Vire	L. Minoux, D. Janjou, C. Langevin, (P. de la Quêrière, G. Verron)	1987
208	Mont-Saint-Michel	A.L'Homer, S. Courbouleix, J. Chantraine, J-P. Deroin	1999
209	Avranches	C. Langevin, L. Minoux, A.L'Homer, J-P. Lautridou, C. Dassibat, G. Verron	1984
210	Mortain	F. Menillet, F. Trautmann	1987
246	Dol-de-Bretagne	S. Bogdanoff, M. Julien	1996
247	Saint-Hilaire	P. Dadet, M. Beurrier, J-P. Lautridou	1984
248	Landivy	Y. Vernhet, P. Chèvremont, C. Langevin	1997

Illustration 5 - Liste des cartes géologiques 1/50 000 du département de la Manche

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

Une carte de ces différentes formations a été établie en homogénéisant et raccordant entre elles les 19 coupures géologiques à l'échelle 1/50 000. Elle servira de support à l'élaboration de la carte finale de l'aléa retrait-gonflement.

4.1.2. Établissement de la carte des formations à composante argileuse

Dans certains cas, les argiles ou marnes constituent la majeure partie de la formation retenue. C'est par exemple le cas des *Calcaires et argiles du Lias* (I1-4) qui présentent un faciès argilo-marneux sur la plus grande partie de leur épaisseur. Mais, dans la majorité des cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département de la Manche sont hétérogènes ; il peut s'agir :

- soit de formations intrinsèquement hétérogènes, qui sont constituées d'un mélange de différents matériaux dont des argiles ou des marnes, mais également des éléments plus grossiers (limons, sables, graves...). L'argile est soit mélangée avec les autres constituants, soit présente sous forme de niveaux individualisés, séparés les uns des autres par des lits intercalaires non argileux, répartis selon une séquence complexe et qui peut présenter des variations spatiales. Dans ces conditions, il n'est pas possible, à l'échelle départementale, de distinguer précisément les zones contenant de l'argile de celles où elle est totalement absente, et l'ensemble de ces formations, par nature hétérogènes, a été considéré comme argileux ;

- soit de formations à la base très peu argileuses (granites, schistes...) mais qui, du fait de leur altération, présentent en de nombreux secteurs des faciès argileux, notamment dans les premiers mètres de sol (*Altérites* du Précambrien *Aa, Ab*). Aussi, il a été décidé de considérer l'ensemble de ces formations comme argileuses. Il faut noter que ces formations d'altération (comme l'ensemble des formations superficielles) n'ont été cartées que très récemment par les géologues. Aussi, de nombreuses feuilles de la carte géologique de la France au 1/50 000 ne font que très peu état de ces formations d'altération. Le département de la Manche n'échappe pas à cet état de fait et à plusieurs endroits, les altérites, non cartographiées, n'ont pu être prises en compte. Seule une cartographie exhaustive des formations superficielles à l'échelle départementale aurait permis de corriger cela.

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

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

4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Une carte géologique très simplifiée, tirée de la carte géologique de la France à l'échelle 1/1 000 000, résume ce contexte. L'histoire géologique de la région et plus précisément du département correspond à celle du Massif Armoricaïn.

Le département de la Manche présente une géologie relativement complexe tant par la diversité des natures lithologiques des roches que par l'origine de ces roches qui peuvent être sédimentaires, volcaniques ou métamorphiques ou bien encore par l'âge des différentes formations.

Cependant, le partage des grandes unités géologiques est voisin du partage géographique. En effet, une grande partie du département appartient au Massif Armoricaïn. Seule la moitié est du Cotentin et la région de Carentan présentent des formations sédimentaires de couverture, non plissées, et se rattachent au Bassin Parisien.

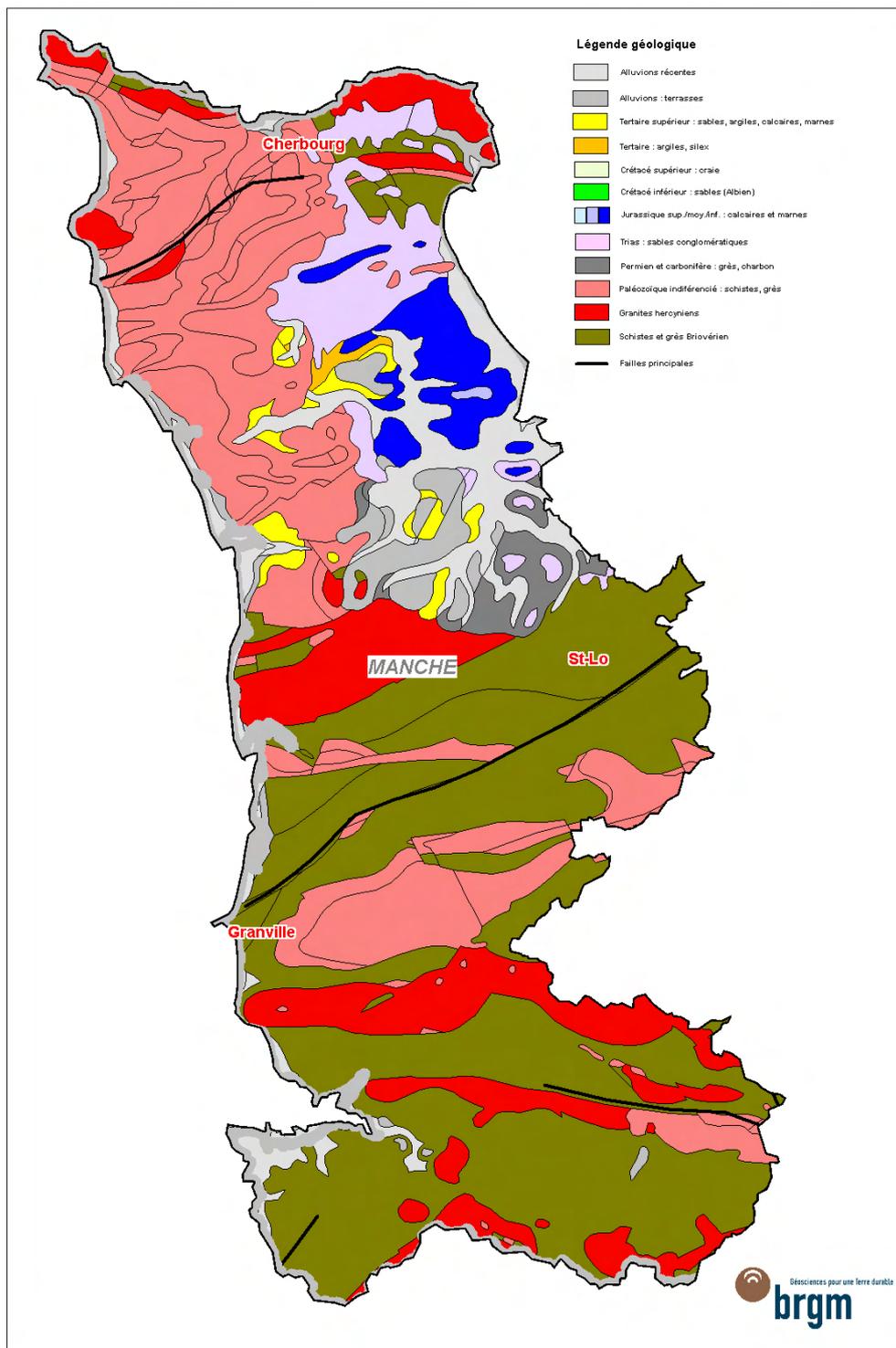


Illustration 6 - Carte géologique simplifiée de la Manche, issue de la carte géologique de la France au 1/1 000 000

Dans le détail, on retrouve du plus ancien au plus récent dans la stratigraphie les terrains suivants :

4.2.1. Antécambrien

4.2.1.1. Les terrains du Pantévrien

On les retrouve uniquement à l'extrême nord-ouest du département au niveau de la pointe de la Hague. Ils sont essentiellement composés de gneiss et amphibolites et constituent le vestige de la plus vieille chaîne de montagne connue en France : la chaîne icartienne. Ils datent de 2 milliards d'années et comptent parmi les plus vieilles roches rencontrées en France (Roux, 2006).

4.2.1.2. Les terrains Briovérien

Ils affleurent surtout dans la moitié sud du département, mais également au niveau de Cherbourg au nord-est du département. Ces terrains sont plissés et constituent des puissantes séries sédimentaires. Celles-ci ont été couplées avec une intense activité magmatique.

Le Briovérien inférieur est marqué par des dépôts volcaniques, des phanites, calcaires (« Calcaires de la Meauffe » notamment), schistes et grès. Au Briovérien supérieur s'est déposé un faciès sédimentaire de type flysch de part et d'autre d'une cordillère dont les témoins subsistent à Coutances et Saint-Lô. Au nord de l'axe formé par la cordillère, le bassin daté du briovérien supérieur au nord du Cotentin présente quelques témoins épars dans certains secteurs. Au sud, le bassin mancennien est fortement représenté et comprend les séries nommées « formation de Granville », constituées majoritairement d'argilites, de grès et de microconglomérats.

Morphologiquement, le pays briovérien est en dépression vis-à-vis des synclinaux paléozoïques et des auréoles métamorphiques des plutons cadomiens.

4.2.2. Primaire

4.2.2.1. Les terrains primaires cambriens et siluriens

Ils s'allongent en une bande synclinale d'orientation O-SO à E-NE, sur une dizaine de kilomètres de large, reposant en discordance sur le Briovérien, depuis la région de Granville à Pont-Farcy sur la Vire. Ils affleurent également avec des couches dévoniennes dans toute la moitié occidentale de la presqu'île du Cotentin (Arnaud *et al.*, 2004).

Ces formations cambriennes sont constituées de grès feldspathiques et poudingues. Les formations siluriennes sont elles essentiellement constituées de grès ou grès quartzites (grès armoricain) et de schistes.

4.2.2.2. Le Dévonien

On y distingue plusieurs types de formations. Tout d'abord, des filons de dolérite se sont mis en place lors de cette période, notamment au niveau du cap de la Hague. Ces derniers sont liés à l'orogénèse varisque (entre 360 et 300 millions d'années). Ils sont relativement abondants dans les roches plutoniques du socle et beaucoup plus rares dans les couches sédimentaires paléozoïques.

On rencontre également des schistes, grès quartzites et calcaires principalement au niveau du synclinal de Siouville. Ces séries présentent généralement un pendage vers le Nord-Ouest.

4.2.2.3. Les grès et charbons du Carbonifère - Permien

Les formations du Carbonifère sont représentées dans le département de la Manche par le petit bassin du Plessis à l'ouest de Carentan. Elles renferment des poudingues, des grès, des schistes, des épanchements volcaniques et de la houille.

Le Permien est une formation très puissante, à dominante rouge, refermant une série calcaire épaisse de plusieurs dizaines de mètres. Les couches permienues, constituées d'argiles et sables rouges traduisant une sédimentation détritique, se sont déposées après les phases principales de l'orogénèse varisque. Elles affleurent principalement à l'ouest du bassin de Carentan et au sud de la ville. Elles sont représentées à l'affleurement par des séries indurées de roches rouges en très grande majorité. On distingue 3 faciès majeurs : les calcaires à laminites (gris), les grès et conglomérats de Cartiny l'Epinay, les siltites et pélites couleur lie de vin de Saint-Jean-de-Daye.

Le passage entre ces deux formations est introduit par une série de transition correspondant à une évolution climatique.

4.2.2.4. Les granites hercyniens

Ils datent de l'orogénèse hercynienne entre le Dévonien et le Permien.

On les rencontre au nord du Cotentin, dans deux zones principales. Les premiers se sont injectés au niveau de Barfleur dans les matériaux paléozoïques détritiques qui constituent le substratum local. Ces derniers sont affectés de plis WSW-ENE, généralement déversés vers le sud. Les phases de déformation sont contemporaines de la mise en place des granites. Les seconds se sont injectés au niveau de Flamanville, dans le flanc sud du synclinal de Siouville, au sein des formations cambro-dévonienues peu déformées.

D'autres roches plutoniques se sont également mises en place au sein des formations anciennes à différentes époques, la plupart dans la phase cadomienne. Les massifs granitiques anciens sont principalement ceux d'Avranches-Mortain, de Vire, de Coutances et du cap de la Hague.

L'intrusion de magma granitique entraîne généralement la formation d'une auréole de métamorphisme dont les roches sont particulièrement résistantes (cornéennes). La largeur de cette auréole est variable selon les secteurs et elle peut même être absente si le contact se fait par accident tectonique.

Toutes les formations antécambriennes et primaires ont été plus ou moins violemment plissées lors des différentes phases orogéniques successives :

- la phase icartienne (2 milliards d'années)
- la phase cadomienne (600 à 540 millions d'années)
- la phase hercynienne ou varisque (360 à 300 millions d'années)

Les formations antécambriennes ont donné des structures tectoniques complexes tandis que les terrains primaires sont disposés selon des structures plus larges et mieux identifiables reposant sur les précambriennes.

4.2.3. Secondaire

4.2.3.1. *Les sables conglomératiques du Trias*

Les couches du Trias, déposées au début de l'ère secondaire, sont essentiellement représentées par des dépôts argileux et surtout sablo-graveleux plus ou moins consolidés. On les rencontre à l'est de Carentan et dans la région de Montebourg et de Sainte-Mère-Eglise (Arnaud *et al.*, 2004).

Le Trias, à dominante de cailloutis et de graviers sous son aspect le plus typique, renferme aussi des séries rouges à base d'argiles plastiques et des calcaires généralement conglomératiques.

Il est indépendant du Permien et repose sur une surface d'érosion.

- Le Trias du Bassin de Carentan se présente sous forme de faciès continentaux, à base de graviers et de cailloutis étroitement associés à un fond sédimentaire argileux de teinte rouge. Ils précèdent la reprise progressive de la sédimentation marine du Lias. Sur le terrain, on distingue 4 faciès principaux : des argiles rouges, des cailloutis et graviers, des conglomérats et calcaires et enfin des argiles grises et sableuses à lignite. Au Nord-est du Cotentin, les cailloutis et graviers sont transformés en conglomérats et arkoses à ciment siliceux.

- Le Trias des bassins de Valognes et Sainte-Mère-Eglise, quant à lui, repose sur des paléo-reliefs post-hercyniens : crêtes de grès paléozoïques et sillons creusés dans les schistes intercalés entre les rides de grès.

4.2.3.2. *Les calcaires et marnes du Jurassique*

Les formations jurassiques ne sont que très peu représentées dans le département de la Manche. Elles surmontent les formations sableuses du Trias. On les nomme calcaires jurassiques de Sainte-Mère-Eglise et de Valognes (calcaires hettangiens).

4.2.3.3. Le Crétacé

Les couches crétacées ne sont représentées dans le département que par quelques lambeaux de faible épaisseur, localisés dans la région comprise entre Sainte-Mère-Eglise et Saint-Sauveur-le-Vicomte. Les dépôts du Crétacé inférieur sont constitués essentiellement de sables tandis qu'au Crétacé supérieur on observe plutôt de la craie.

4.2.4. Le Tertiaire

Les dépôts du Tertiaire se développent à l'ouest de Sainte-Mère-Eglise et au Sud-ouest de Carentan. On compte quatre bassins tertiaires majeurs sur le territoire du département de la Manche : Sainteny-Marchésieux (le plus grand), Lessay, Saint-Sauveur-le-Vicomte et Merderet. Ces bassins d'effondrement associent en fait des formations triasiques (argiles, sables grès, poudingues et conglomérats), crétacées, éocènes (faluns et calcaires), miocènes (calcaires, marnes et faluns) et plio-quadernaires (faluns, sables et graviers). L'ensemble de ces dépôts est le plus souvent recouvert de dépôts quaternaires plus récents, ce qui a toujours rendu difficile leur compréhension. Ils constituent des ressources en eaux souterraines intéressantes pour le département.

4.2.5. Les formations quaternaires

Elles sont représentées par des sables dunaires, abondants sur la côte est et surtout sud-ouest, et par des alluvions. Les alluvions anciennes sont argilo-sableuses et tapissent la partie occidentale du bassin de Carentan ainsi que le bassin tertiaire à l'ouest de Sainte-Mère-Eglise. Les alluvions récentes sont argileuses et tourbeuses ; elles prennent une extension relativement grande à l'abri des cordons dunaires et à proximité des cours d'eau du bassin de Carentan.

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS A COMPOSANTE ARGILEUSE

Ce chapitre dresse l'inventaire des formations géologiques argileuses *s. l.* du département de la Manche retenues dans le cadre de cette étude. Une brève description en est présentée, basée principalement sur les notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, ainsi que sur la Synthèse géologique du Bassin de Paris (Mégnyen, 1980).

Les 17 formations sont décrites depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes. Deux de ces formations (*p* et *RS*) du fait de leur très faible surface d'affleurement (moins de 0,2 km²) et de l'absence de données les concernant n'ont pu être retrouvées sur le terrain et caractérisées, et n'apparaissent par conséquent pas sur la carte d'aléa.

Une carte synthétique des formations argileuses retenues pour le département de la Manche est présentée sur une carte hors-texte à l'échelle 1/125 000 ainsi que sur l'illustration 7.

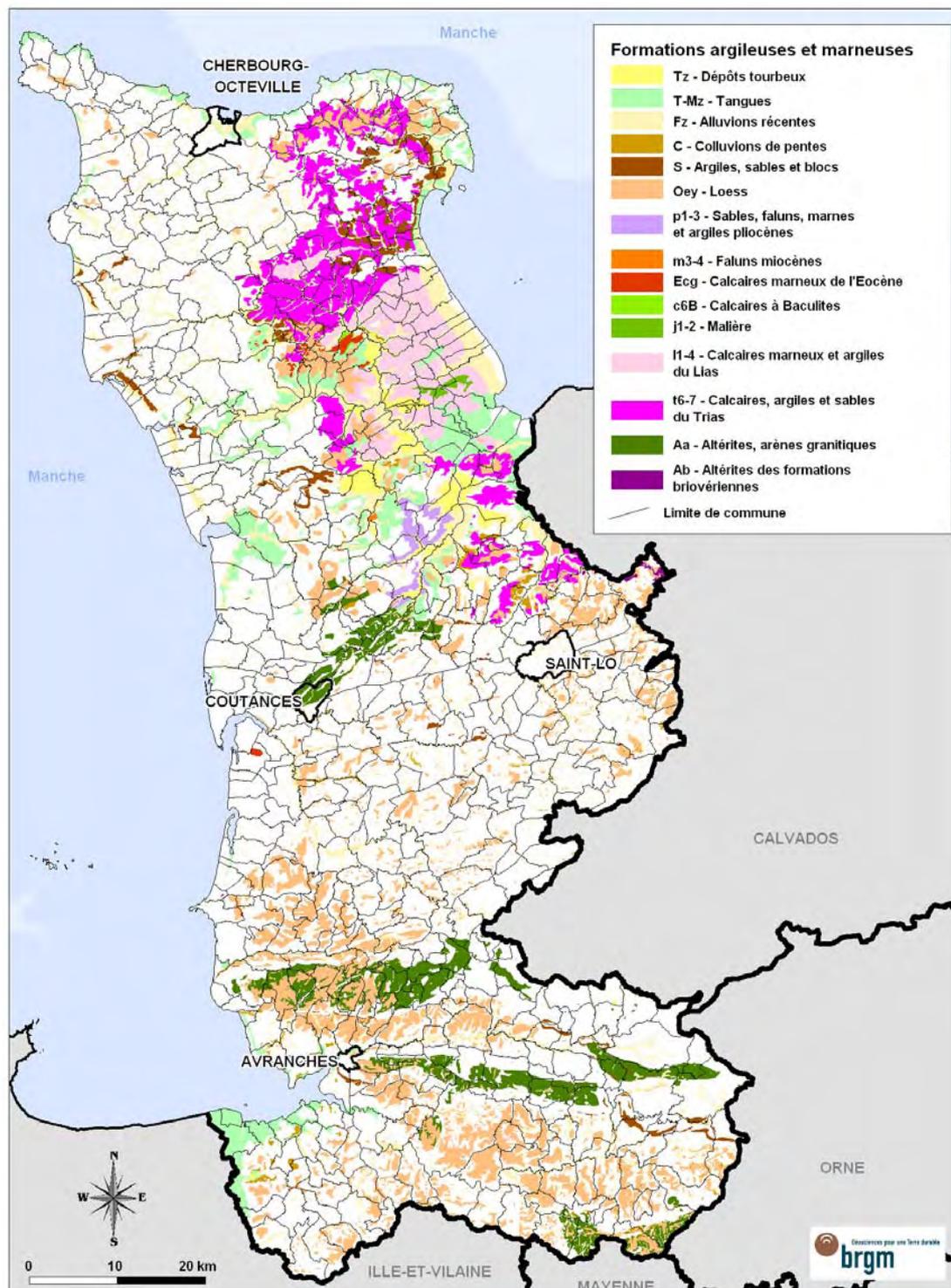
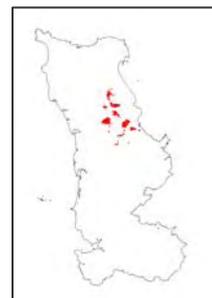


Illustration 7 - Carte des formations argileuses du département de la Manche

4.3.1. Formations superficielles du Quaternaire

4.3.1.1. Formation 1 : Dépôts tourbeux [Tz]

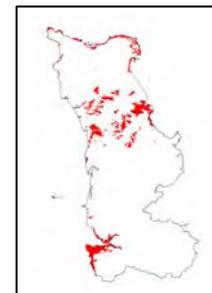
Bien que non sujette au phénomène de retrait-gonflement *sensu stricto*, la tourbe constitue néanmoins un matériau extrêmement sensible aux variations de teneur en eau environnante ; il s'agit en effet d'un matériau organique particulièrement compressible dont la structure poreuse lui permet d'absorber jusqu'à vingt fois son poids en eau. Elle est par conséquent intégrée à cette étude des sols argileux.



Les tourbes sont des dépôts très fins résultant de l'accumulation de débris végétaux pouvant alterner dans les zones côtières avec des sables intertidaux et des horizons calcaires de tangué. Leur granulométrie est essentiellement limono-sableuse. L'épaisseur de ces dépôts est variable mais peut atteindre jusqu'à 15 m dans la région de Dol-de-Bretagne, couvrant une superficie d'environ 51 km² dans le département.

4.3.1.2. Formation 2 : Tangués [T-Mz]

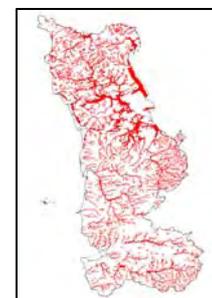
Tous ces dépôts se rencontrent dans les parties les plus basses, et représente 236 km² de la superficie de département. Ces zones étaient anciennement occupées par des lagunes saumâtres avant le dénoyage des zones marécageuses. Les terrains correspondent à d'anciens dépôts de schorres estuariens végétalisés (herbus ou prés salés), dessalés puis mis en culture.



Il peut s'agir de limons compacts plus ou moins argileux et plastiques (LMz), comme dans la baie du Mont-Saint-Michel, dont la teneur en carbonates ne dépasse pas 35 %.

4.3.1.3. Formation 3 : Alluvions récentes [Fz]

Ces alluvions de nature limoneuse, limono-argileuse ou à limono-sableuses du réseau hydrographique actuel ont une épaisseur en général inférieure à 1 m. Elles surmontent des alluvions grossières de fond de vallées, ou des sables éoliens weichséliens remaniés et cryoturbés. Cet ensemble est très largement présent et couvre au total près de 598 km² dans le département.

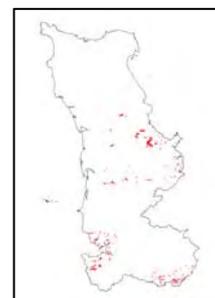


4.3.1.4. Formation 4 : Colluvions de pente [C]

Les colluvions sont des dépôts de bas versant, de fond de vallons ou de petites dépressions sur les versants et au-dessus des haies, dont les matériaux, généralement fins, ont été apportés par les eaux de ruissellement. Elles sont souvent récentes, d'âge holocène, et s'étendent sur 26 km².

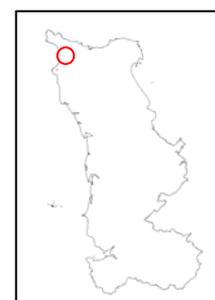
On en distingue deux principaux types :

- des colluvions limoneuses, issues principalement des loëss, auxquelles se sont mêlés, en proportions variables, des matériaux limono-sableux remaniés des altérites, et quelques débris lithiques, généralement de petites tailles ;
- des colluvions provenant essentiellement d'arènes granitiques.



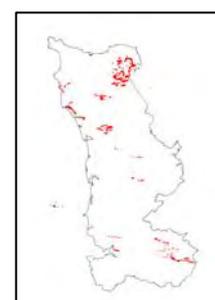
4.3.1.5. Argiles à silex [RS - non distinguées sur la carte]

Cette formation superficielle datée du Paléogène, présente uniquement vers Cherbourg sur 0,17 km², est composée d'argiles à silex issues de la décalcification de calcaires mésozoïques, en place ou solifluées sur les versants. Les silex sont entiers ou fragmentés, emballés d'argile kaolinique, silteuse ou sableuse, et de couleur ocre, rouge, grise, verte ou bariolée. L'absence de donnée et d'affleurement permettant un échantillonnage ne nous permettent pas de cartographier l'aléa de cette formation vis-à-vis du retrait-gonflement.



4.3.1.6. Formation 5 : Argiles, sables et blocs [S]

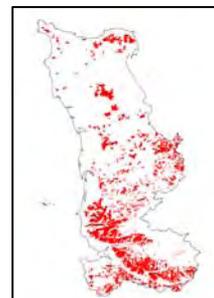
Les faciès notés S sont apparentées à des formations de versant qui regroupent les dépôts de pente, les grèzes et argiles, les éboulis et les coulées de solifluxion. Cet ensemble affleure sur environ 71 km². Ce sont généralement des blocs emballés dans une matrice limoneuse à argileuse. La nature de la matrice est en effet liée à celle des terrains recouverts ou à celle des matériaux de provenance des mouvements gravitaires.



Dans la région de Carentan, il s'agit d'argiles blanches à blocs de grès. Ce sont des épandages d'origine périglaciaires qui ont emprunté son matériel aux formations sous-jacentes, l'argile provenant de l'altération des schistes et grès paléozoïques.

4.3.1.7. *Formation 6 : Lœss [Oey]*

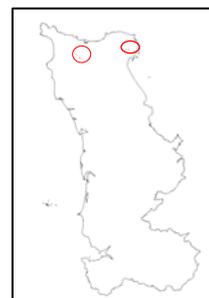
Ce faciès limoneux des sables éoliens qui a une importante extension dans la Manche, puisqu'il s'étend sur une superficie de 623 km², est particulièrement représenté au sud-est de Granville, en placages suivant les pentes. Ces lœss admettent une puissance de 4 m ou plus. Ils ne sont pas carbonatés et sont à dominante de kaolinite, illite, vermiculite et chlorite, ainsi que d'un peu de sables (moins de 10 %). Le classement est bon sauf à la base où le limon est mélangé aux altérites du Briovérien sous-jacent.



4.3.2. Formations tertiaires

4.3.2.1. *Sables et graviers pliocènes [p – non distingués sur la carte]*

Il n'existe que quelques rares marques de cette formation dans la Manche, plus précisément au nord du Cotentin : autour de Martinvast (à Ravalet, le Féragé, La Flague) et sur le plateau de la Pernelle. Cette formation ne couvre en effet que 0,18 km².



Les trois premières localisations comprennent uniquement des sables, sans galets, ni faune, ni microfaune.

Le plateau de la Pernelle montre deux témoins distincts de terrasses marines, à 110 et 95 m d'altitude, dont l'épaisseur ne dépasse guère le mètre. Ils renferment des galets de quartz blancs, des silex crétacées et ainsi que des poudingues triasiques avec marques de chocs, empruntés aux roches affleurant dans le voisinage immédiat, et sont associés à des sables jaunes d'or à matrice sablo-argileuse, faciès habituel du Pliocène de Normandie. Il s'agit en fait d'un cordon littoral dont le matériel a subi ensuite une retouche éolienne.

La quasi absence de données et d'affleurement ne permet pas de caractériser l'aléa de cette formation dans le département de la Manche.

4.3.2.2. *Formation 7 : Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes [p1-3]*

Cette formation regroupe deux faciès distincts que l'on retrouve aux alentours de Carentan sur 22 km². A la base, on trouve les sables de Marchésieux d'une puissance totale de 120 m. Ce sont des sables à



coquilles plus ou moins argileux avec des argiles plastiques grises à la base.

Surplombant ces sables, on trouve un complexe marin indifférencié. Cet ensemble sédimentaire argilo-sableux regroupe plusieurs faciès lithologiques marins différents (marnes du Bosq d'Aubigny, sables de Saint-Sauveur-de-Pierrepont...).

4.3.2.3. Formation 8 : Faluns miocènes [m3-4]

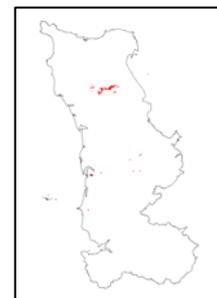
Cet ensemble calcaire n'affleure que rarement sur la carte de Carentan puisque la surface d'affleurement n'est que de 0,90 km². Ces faluns, constitués par une fine agglutination d'organismes ou de débris d'organismes, possèdent une porosité importante qui en fait un excellent réservoir aquifère. Ils reposent généralement sur les argiles permienues ou triasiques par l'intermédiaire d'un cailloutis basal et leur limite supérieure est une surface d'érosion.



La teinte claire, blanchâtre à beige, ainsi que l'abondance des bryozoaires de tous types est caractéristique de cette formation, qui contient également de la glauconie (association de minéraux argileux) et du quartz émoussé. Elle est de plus très riche en carbonates de calcium (jusqu'à 95 %).

4.3.2.4. Formation 9 : Calcaires marneux de l'Eocène [Ecg]

Cette formation qui date de l'Eocène est caractérisée par des dépôts calcaires et marneux couvrant 9 km². Les faciès marneux surplombent les faciès calcaires. Ces derniers ont une épaisseur croissante d'ouest en est avec un maximum de 20 m sur la feuille de Sainte-Mère-Eglise. Les formations marneuses sont plus étendues que les calcaires et peuvent reposer sur le Paléozoïque. Ce faciès doit atteindre 5 m d'épaisseur environ et est constitué par des marnes noires sableuses.

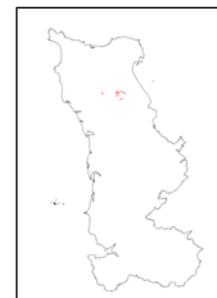


4.3.3. Formations du Mésozoïque

4.3.3.1. Formation 10 : Calcaires à baculites [c6B]

Cette formation du Maestrichtien est très peu étendue sur le territoire de la Manche, localisée au niveau de la carte de Sainte-Mère-Eglise. Le calcaire à Baculites est un calcaire blanchâtre à rosé très fin, plus ou moins lithographique et très riche en foraminifères.

Localement, il débiterait par un niveau à galets contenant des débris du Primaire et du Trias mais également des éléments de grès verts



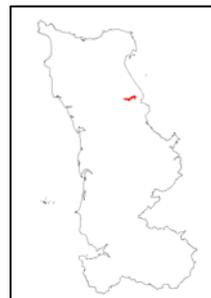
cénomaniens silicifiés.

La surface affleurante représente au alentour de 2 km²

4.3.3.2. Formation 11 : Malière [j1-2]

La Malière du Bajocien est une alternance de calcaire gris-beige légèrement glauconieux et de passées siliceuses vertes tabulaires ; elle n'affleure que rarement près de Sainte-Mère-Eglise et ne représente que 6 km² de superficie dans la Manche.

Cette formation est constituée de trois membres, appartenant pour partie à l'Aalénien moyen à supérieur et au Bajocien inférieur.

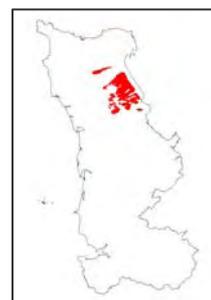


- Le membre inférieur, formé d'alternances de marnes et calcaires argileux bioclastiques, est daté de l'Aalénien moyen à supérieur ; il n'affleure que médiocrement sur les parties basses du platier rocheux. On peut remarquer la présence de bioturbations, mais aussi d'oncolithes ferrugineuses, de gravelles ainsi que de lamelibranches.
- Le membre moyen, épais de 4 à 5 m, est daté du Bajocien inférieur ; il affleure bien sur l'estran et à la base de la falaise des Hachettes, sur une épaisseur de 2 à 3 m. Il est constitué de calcaires bioclastiques, de passées siliceuses tabulaires et de rognons de silex. En partie supérieure se développent des bancs de calcaire plus épais et massifs, mal stratifiés, bioturbés, dépourvus de silex et enrichis en glauconie.
- Le membre supérieur, d'épaisseur très variable, de 0 à 0,30 m, daté aussi du Bajocien inférieur, correspond à un remplissage conglomératique appelé Couche verte.

4.3.3.3. Formation 12 : Calcaires marneux et argiles du Lias [I1-4]

Cette formation se compose d'une part de marnes et calcaires dolomitiques, parfois entrecoupés de sables, et datés de l'Hettangien, d'autre part de marnes à gryphées du Sinémurien. Elle affleure dans les régions de Sainte-Mère-Eglise et Carentan, sur environ 154 km².

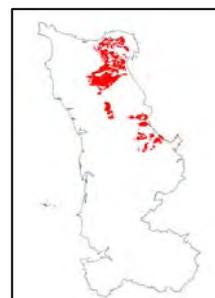
La séquence hettangienne locale débute par des marnes à *Mytilis*, et est représentée à l'affleurement par le Calcaire de Baupte dans la région de Carentan, sur une épaisseur de 25 m, qui est l'équivalent stratigraphique du Calcaire d'Osmanville vers Sainte-Mère-Eglise. L'influence marine est plus marquée que dans la formation sous-jacente, marquant une ouverture du milieu marin. L'érosion a néanmoins décapé les niveaux les plus récents, ce qui diminue les surfaces affleurantes.



La séquence sinémurienne comprend des marnes et des calcaires alternant en bancs peu épais, constituant ainsi la séquence répétitive caractéristique de la formation. Celle-ci repose en légère discordance sur l'Hettangien, marquant une sédimentation plus terrigène et moins littorale. Elle possède un léger pendage de 5 à 10 degrés vers le nord-est, et présente aussi une ondulation ample des argiles et marnes. Cette série monotone et épaisse est faite d'alternance de calcaires argileux et d'argiles, et est riche en bivalves, notamment *Gryphaea arcuata*.

4.3.3.4. Formation 13 : Calcaires, argiles, sables du Trias [t6-7]

Cette formation d'âge triasique couvrant 248 km² est bien représentée, et s'est déposée en milieu lacustre ou lagunaire. Elle peut-être décomposée en trois unités :

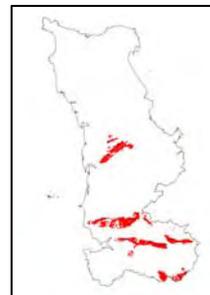


- Les sables, cailloutis avec argiles et calcrètes, constituant les Couches d'Eroudeville. Cette formation d'environ 20 m comprend essentiellement des sables et des graviers feldspathiques, avec galets dispersés ou concentrés en lentilles. A la base existent généralement des couches stratifiées d'argiles violacées, bariolées ou franchement rouges, entrecoupées de lits de graviers, qui reposent sur la surface ameublie et rubéfiée des schistes du socle. Ces couches peuvent être transformées localement (nord du Cotentin) par silicification en poudingues et arkoses barytinifères de très grande dureté.
- Les calcaires argileux formant le Calcaire de Lestre, qui se sont formés lors d'un épisode calcaire très localisé. D'une vingtaine de mètre d'épaisseur, ces calcaires sont vacuolaires et cloisonnés par des filonnets de calcite (aspect de fausses cargneules), conglomératiques et faiblement magnésiens. Les couches inférieures montrent parfois (église de Lestre) des masses amygdaloïdes emballées dans de l'argile brune.
- Les argiles à lignite d'Airel composées d'argile, de sable et de calcaire ; Il s'agit d'alternances d'argiles grises, parfois rouges, vertes ou ocre, de sables gris carbonatés, de conglomérats à galets de boue et d'horizons à lignite. Une abondante faune a été trouvée : lamellibranches d'eau douce, un dinosaure, poissons holostéens, ostracodes gastéropodes, ainsi qu'une flore de cupressales.

4.3.4. Formations Précambriennes

4.3.4.1. Formation 14 : Altérites, arènes granitiques [Aa]

Les granitoïdes subissent des transformations sous l'action des eaux de lessivage qui s'infiltrent dans le sol jusqu'à la roche saine. Ces phénomènes d'altération qui se produisent sous la surface et non à l'air libre consistent en une dégradation progressive des feldspaths et de la biotite dans le profil d'altération par les eaux d'infiltration acides et oxydantes et aboutissent à la formation d'arènes granitiques et altérites.



Le produit d'altération final est une argile-sableuse jaunâtre plus ou moins propre selon l'importance du lessivage.

La surface affleurante représente environ 204 km².

4.3.4.2. Formation 15 : Altérites des formations briovériennes [Ab]

Les formations briovériennes du socle sont presque entièrement recouvertes par un manteau d'altérites en place ou remaniées. Ces altérites sont des formations silteuses ou gréseuses du Briovérien. Elles sont intégralement ou en partie argilisées, avec conservation ou non de quelques éléments du substratum.



Elles n'ont été prises en compte que dans les secteurs où elles apparaissent particulièrement développées, d'une épaisseur plurimétrique et très évoluées. Elles représentent 4 km² et se présentent sous la forme de couches plus ou moins continues d'argile beige à jaunâtre ou sous la forme de poches. Elles sont caractérisées par la présence de nombreux éléments de quartz anguleux, typiques des formations du Briovérien phtanitique.

Il faut noter concernant les altérites de socle en général qu'elles se développent à partir d'un front d'altération et évoluent verticalement. Ainsi, en fonction de la position de l'érosion de ces formations ou de la position de l'échantillon, elles peuvent avoir une minéralogie très différente, allant d'une quasi absence de minéraux gonflants (à la base de la série ou dans la partie finale avec une forte présence de kaolins) à une forte prédominance de minéraux gonflants (en cas de présence de goethite ou d'hématite).

4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES

Parmi les formations qui sont considérées comme non argileuses, certaines peuvent néanmoins contenir des lentilles, des passées ou des poches argileuses ou

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

D'autre part, comme signifié auparavant, les formations issues de l'altération n'ont souvent été cartées que lorsqu'elles se traduisent par une couverture épaisse (plurimétrique) et homogène. Or ces formations sont très souvent présentes de manière hétérogène au-dessus des formations cadomiennes ou briovériennes. La carte laisse apparaître de nombreux manques concernant ces formations d'altération.

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues

5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION

5.1.1. Critères retenus

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

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

5.1.2. Méthode de classification

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

La seconde étape de cette cartographie consiste à hiérarchiser les formations argileuses et marneuses ainsi identifiées, en fonction de leur plus ou moins grande susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de caractéristiques quantifiables, estimées pour chacune des 15 formations sélectionnées :

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

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les différentes formations, la règle adoptée a consisté à utiliser des *valeurs seuils*, couramment

admises dans la littérature, distinguant quatre degrés de susceptibilité (faible, moyenne, forte et très forte). Pour permettre la réalisation de calculs, les grandes classes lithologiques distinguées ont également été affectées d'une note. Pour les trois caractéristiques naturelles des terrains, cela permet d'attribuer une note de 1 à 4 à chacune des formations identifiées.

Les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des 15 formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

Les sources des données ici présentées proviennent en bonne partie de dossiers des archives de deux bureaux d'études (Fondouest à Granville, Hydrogéotechnique à Rouen). Des valeurs de caractérisation proviennent de résultats issus de rapports d'études (Fondasol, Fondouest, Hydrogéotechnique, Technosol, Sol Solution) fournis, pour la plupart, par les communes en retour de courriers d'enquête, mais également par la subdivision DDTM d'Avranches. La DIR nord-ouest a aussi fourni de nombreuses données issues des travaux routiers récents effectués dans le département. Les données issues de la BSS ont également permis de récolter un nombre non négligeable de données bien souvent issues d'études de tracé routier et autoroutier. Une partie des formations géologiques présente une faible extension dans la Manche alors qu'elle est nettement plus importante dans certains départements limitrophes, ce qui justifie d'intégrer, pour leur caractérisation, des données recueillies dans les départements voisins.

5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE

5.2.1. Définition du critère lithologique et barème

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

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

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

Illustration 8 - Barème du critère lithologique

Il faut noter que cette caractérisation lithologique des formations est établie sur la base de l'expertise du géologue régional et qu'elle ne peut être totalement dépourvue d'une certaine subjectivité dans son appréciation. Sa valeur relative en vue d'une hiérarchisation des formations argileuses est cependant difficilement contestable. Le barème utilisé pour distinguer les différentes classes lithologiques est donné dans le tableau de l'illustration 8.

5.2.2. Caractérisation lithologique

Sur la base de ces critères, le tableau de l'illustration 9 permet de synthétiser les différentes notes lithologiques attribuées aux 15 formations potentiellement sujettes au retrait-gonflement, à partir des descriptions établies dans les notices des cartes géologiques au 1/50 000.

Au final, aucune formation n'obtient la note lithologique maximale de 4. Deux formations obtiennent la note de 3, qui signifie que la composante argileuse est dominante dans la formation. Il s'agit des *Calcaires marneux et argiles du Lias*, dont les bancs marno-argileux sont épais et homogènes et des *Tangués*.

10 formations présentent une note de 2 indiquant que le terme argileux n'est pas prédominant, bien que relativement développé.

3 formations obtiennent une note lithologique de 1, ce qui traduit le fait que l'argile y est minoritaire par rapport aux autres éléments plus grossiers et présente de manière diffuse.

N°	Code	Nom de la Formation Géologique	Note Lithologique
1	Tz	Dépôts tourbeux	2
2	T-Mz	Tangues	3
3	Fz	Alluvions récentes	2
4	C	Colluvions de pente	2
5	S	Argiles, sables et blocs	2
6	Oey	Loess	2
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes	2
8	m3-4	Faluns miocènes	1
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Eocène	2
10	c6B	Calcaires à Baculites	1
11	j1-2	Malière	1
12	l1-4	Calcaire marneux et argiles du Lias	3
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	2
14	Aa	Altérites, arènes granitiques	2
15	Ab	Altérites de formations briovériennes	2

Illustration 9 - Tableau de caractérisation lithologique des différentes formations géologiques argileuses de la Manche

5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE

5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème

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

Les bornes retenues pour la classification minéralogique, basées sur le pourcentage de minéraux gonflants (smectites, vermiculites et interstratifiés) contenus dans la phase argileuse du matériau, sont respectivement 25 %, 50 % et 80 % (Illustration 10).

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

Illustration 10 - Barème du critère minéralogique

5.3.2. Source des données

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

Les éléments tirés de la bibliographie sur ce thème sont inégalement répartis selon les formations considérées. Toutefois, nous avons trouvé quelques données dans différents rapports.

Les données disponibles pour la Manche sont issues de l'exploitation des notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, de quelques données de bureaux d'études et de prélèvements de terrain. Ces données ont été complétées par une étude de la bibliographie régionale : Aubry, 1982 ; Baize, 1999 ; Camuzard, 2000 et Garlan, 1985.

Concernant les formations superficielles, les données sont plus discrètes, notamment au point de vue minéralogique. Ces formations sont par définition très hétérogènes et ont pour origine (source) la formation sous-jacente, dont elles reprennent ainsi les caractéristiques. Il faudrait, pour les caractériser pleinement, multiplier les analyses, en de nombreux points et à différentes profondeurs, ce qui exigerait un budget dépassant largement le cadre de ce projet.

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

La détermination du pourcentage moyen de minéraux gonflants a été faite en prenant en compte l'ensemble des données recueillies.

Les données de terrain ayant servi à la caractérisation minéralogique des formations se trouvent en Annexe 4.

Il est à noter que les données recueillies sont pour l'essentiel des résultats d'analyses diffractométriques aux rayons X, valeurs factuelles qui permettent une hiérarchisation des matériaux selon un critère purement local mais ne sont pas nécessairement

représentatives de l'ensemble de la formation géologique, lorsque celle-ci présente de fortes variabilités spatiales.

Les notes minéralogiques attribuées à chaque formation argileuse sont représentées sur l'illustration 11. Au final, sur les 15 formations argileuses retenues pour le département de la Manche, une seule formation a été caractérisée par la note maximale de 4 correspondant à un pourcentage de minéraux gonflants supérieur à 80%. Il s'agit des *Altérites, arènes granitiques*. Il faut toutefois noter concernant cette formation et au vu du faible nombre de données recueillies que ce chiffre peut masquer de fortes disparités. Il en va d'ailleurs de même pour la note de 1 attribuée aux *Altérites de formations briovériennes*. En effet, comme vu précédemment, ces altérites admettent de nombreuses variations verticales et latérales. Selon l'endroit et la profondeur où les échantillons ont été prélevés, le pourcentage de minéraux gonflants peut être très différent. Le faible nombre de données recueillies ne permet probablement pas de marquer ces disparités.

N°	Code	Nom de la Formation Géologique	Nombre de Données	% de Minéraux gonflants (Smectite+ I-S)	Note Minéralogique 50
1	Tz	Dépôts tourbeux	0	-	NS
2	TMz	Tangues	2	51,00	3
3	Fz	Alluvions récentes	1	1,00	1
4	C	Colluvions de pentes	2	3,00	1
5	S	Argiles, sables et blocs	1	5,00	1
6	Oey	Loess	2	5,50	1
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes	14	56,64	3
8	m3-4	Faluns miocènes	3	18,00	1
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Eocène	1	31,00	2
10	c6b	Calcaires à Baculites	1	15,00	1
11	j1-2	Malière	2	8,00	1
12	l1-4	Calcaire marneux et argiles du Lias	4	18,50	1
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	1	0,00	1
14	Aa	Altérites, arènes granitiques	2	87,50	4
15	Ab	Altérites de formations briovériennes	3	12,67	1

Illustration 11 - Note minéralogique des formations argileuses retenues pour le département de la Manche

Deux formations qui affleurent sur près de 260 km² (4,3 % de la superficie totale du département) admettent une note de 3, attestant d'un fort potentiel gonflant de la phase argileuse de ces formations : il s'agit des *Tangues* et des *Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes*.

Une note minéralogique de 2 a été attribuée à une seule formation : *Calcaires marneux de l'Eocène*.

Enfin, 10 formations (dont les altérites briovériennes pour lesquelles des observations sont émises précédemment) représentant près de 30 % du territoire du département de la Manche ont reçu la note minéralogique de 1.

5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE

5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème

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

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

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

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

mais ne sont pas pertinents pour caractériser la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement.

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

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

5.4.2. Teneur en eau (W_n)

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

D'une manière générale, les courbes de profil hydrique sont assez hétérogènes, en « dents de scie », en raison de l'hétérogénéité des matériaux de surface. Les teneurs en eau sont généralement plus faibles en surface, jusqu'à 3 m de profondeur, ce qui traduit bien un assèchement (réversible) des couches superficielles. Pour de nombreux sinistres cependant, la teneur en eau est supérieure en surface (1 à 2 m de profondeur), ce qui indique qu'il y a eu ré-humidification des couches superficielles.

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

5.4.3. Indice de plasticité (I_p)

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

On considère généralement (Chassagneux *et al.*, 1995) que la susceptibilité d'une argile au retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité I_p de la manière suivante (Illustration 12) :

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

Illustration 12 - Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité

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

5.4.4. Essais au bleu de méthylène (VB)

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

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

On considère généralement (Chassagneux *et al.*, 1995) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (Illustration 13). Ce paramètre permet, avec le concours avantageux des limites d'Atterberg, une analyse statistique du comportement au retrait-gonflement.

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

Illustration 13 - Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu

5.4.5. Retrait linéaire (RI)

La valeur du retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait volumique possible d'un sol lors de son assèchement. Initialement, le sol est saturé en eau.

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

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

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

Illustration 14 - Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire

5.4.6. Caractérisation géotechnique

Les sources de données présentées proviennent de l'exploitation d'archives de bureaux d'études (Fondouest à Granville, Hydrogéotechnique à Rouen), et des dossiers récupérés en archives de la DDTM (notamment liés à la construction d'ouvrages civils). D'autres résultats sont issus de rapports de bureaux d'études transmis par les communes en retour du courrier d'enquête. D'autres données proviennent des études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des départements voisins (14, 61, 35). Enfin, plusieurs données sont issues des prélèvements de terrain qui ont été effectués au cours du mois de décembre 2009 sur l'ensemble du département.

A l'issue de cette recherche de données, les 15 formations préalablement définies comme argileuses ont pu être caractérisées selon le critère géotechnique.

Parmi ces formations, aucune n'obtient la note maximale de 4. Une seule obtient la note de 3, ce qui traduit selon ce critère une susceptibilité importante de la formation au retrait-gonflement. Il s'agit des *Calcaires, argiles et sables du Trias*.

Les autres formations se partagent entre les notes 1 et 2, ce qui conformément à ce qui a été vu au niveau du critère minéralogique, traduit une susceptibilité au retrait-gonflement relativement modeste des formations à composante argileuse dans le département de la Manche.

N°	Code	Nom de la Formation Géologique	Nombre de données	Nombre de données IP	Moyenne IP	Note IP	Nombre de données VBS	Moyenne VBS	Note VBS	Note Géotechnique 50
1	Tz	Dépôts tourbeux	4	4	11,13	1	0			1
2	T-Mz	Tangues	18	7	11,29	1	11	0,86	1	1
3	Fz	Alluvions récentes	48	16	17,69	2	32	1,29	1	1
4	C	Colluvions de pentes	4	4	17,88	2	0			2
5	S	Argiles, sables et blocs	6	2	13	2	4	1,8	1	1
6	Oey	Loess	27	6	9,83	1	21	1,01	1	1
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes	4	2	17	2	2	2,1	1	1
8	m3-4	Faluns miocènes	1	0			1	1,28	1	1
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Éocène	2	1	23	2	1	1,72	1	2
10	c6B	Calcaires à Baculites	1	0			1	2,78	2	2
11	j1-2	Malière	1	0			1	1,92	1	1
12	l1-4	Calcaires marneux et argiles du Lias	14	4	19,25	2	10	2,77	2	2
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	18	9	32,8	3	9	4,93	2	3
14	Aa	Altérites, arènes granitiques	1	0			1	3,49	2	2
15	Ab	Altérites des formations briovériennes	2	0			2	1,81	1	1

Illustration 15 - Tableau synthétique des données géotechniques de la Manche

6. Élaboration de la carte de susceptibilité

6.1. DEGRE DE SUSCEPTIBILITE

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

Pour les formations dont l'une des caractéristiques n'a pu être évaluée, la moyenne est effectuée à partir des deux autres notes. La 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 :

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

Illustration 16 - Indicateur du degré de susceptibilité

Moyennant ce traitement, les notes de susceptibilité attribuées aux 15 formations retenues comme étant argileuses sont les suivantes :

N°	Code	Nom de la Formation Géologique	Note Lithologique	Note Minéralogique	Note Géotechnique	Indice de Susceptibilité	Niveau de Susceptibilité
1	Tz	Dépôts tourbeux	2	/	1	1,50	Faible
2	T-Mz	Tangues	3	3	1	2,33	Moyen
3	Fz	Alluvions récentes	2	1	1	1,33	Faible
4	C	Colluvions de pente	2	1	2	1,67	Faible
5	S	Argiles, sables et blocs	2	1	1	1,33	Faible
6	Oey	Loess	2	1	1	1,33	Faible
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes	2	3	1	2,00	Faible
8	m3-4	Faluns miocènes	1	1	1	1,00	Faible
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Eocène	2	2	2	2,00	Faible
10	c6B	Calcaires à Baculites	1	1	2	1,33	Faible
11	j1-2	Malière	1	1	1	1,00	Faible
12	l1-4	Calcaire marneux et argiles du Lias	3	1	2	2,00	Faible
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	2	1	3	2,00	Faible
14	Aa	Altérites, arènes granitiques	2	4	2	2,67	Moyen
15	Ab	Altérites de formations briovériennes	2	1	1	1,33	Faible

Illustration 17 - Susceptibilité des formations argileuses retenues

6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

L'illustration 18 présente la carte départementale de susceptibilité des formations géologiques au phénomène de retrait-gonflement, réalisée d'après les résultats présentés dans l'illustration 17.

La carte départementale de susceptibilité a été établie à partir de la carte interprétée des formations potentiellement sujettes au 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 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.

6.3. SYNTHÈSE

Au total, 13 des 15 formations ont été caractérisées comme faiblement susceptibles vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. Elles couvrent environ 30,3 % de la superficie du département de la Manche.

Seules les *Altérites*, *arènes granitiques* ainsi que les *Tangues* apparaissent comme moyennement susceptibles et couvrent 7,3 % de la superficie totale du département.

Aucune formation n'a été caractérisée comme fortement susceptible vis-à-vis du retrait-gonflement.

Les formations *a priori* non argileuses occupent environ 62,3 % de la surface du département. Il faut toutefois rappeler qu'il existe très probablement des formations d'altération à composante argileuse qui ne sont pas cartées, mais qui peuvent localement provoquer des sinistres.

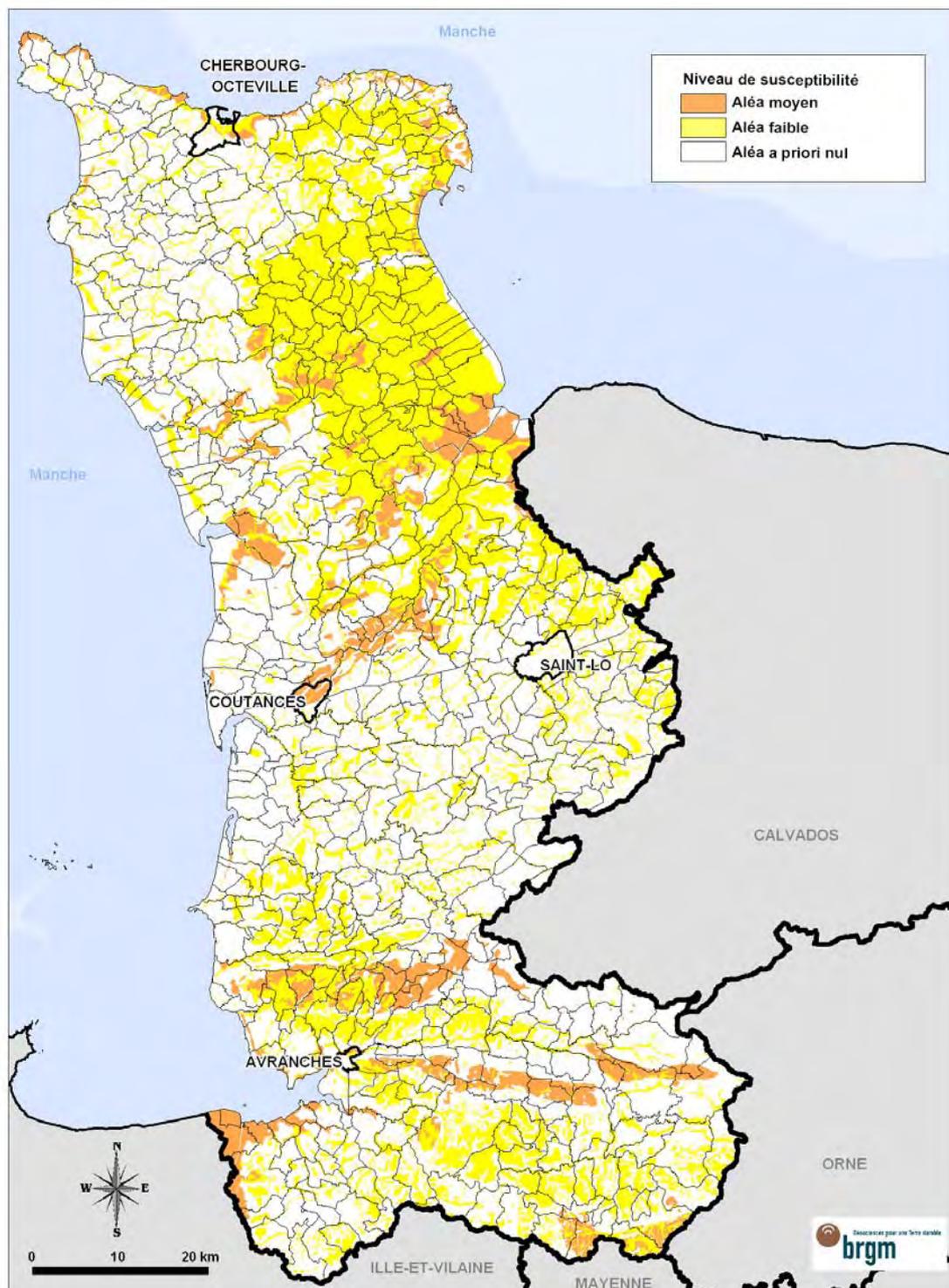


Illustration 18 - Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux pour le département de la Manche

7. Analyse de la sinistralité

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

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

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

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

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

Depuis décembre 2000, l'analyse du contexte climatique est confiée à Météo-France et effectuée sur la base d'un suivi de l'état hydrique des sols. Celui-ci est calculé dans 92 stations de référence au moyen d'un modèle à double réservoir, sur la base d'une réserve utile de 200 mm, dont on suit le niveau de remplissage au pas de temps 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 depuis la sécheresse de l'été 2003, pour permettre la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

concernant les sinistres survenus au cours des épisodes de ce type (sécheresses estivales brèves, mais intenses).

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 lorsqu'elles sont disponibles.

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

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

7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES

A la date du 30 avril 2010, une seule commune du département de la Manche a été reconnue en état de catastrophe naturelle au titre de « mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols ». Il s'agit de la commune de Portbail qui a fait partie des trois seules communes du département qui ont effectué une demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à la Préfecture à la suite de la sécheresse de 2003.

7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES

7.3.1. Collecte des données

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de plusieurs sources d'informations jugées complémentaires :

- la consultation des dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle disponibles à la Préfecture de la Manche ;
- la consultation du site internet « prim.net » du MEEDM sur les catastrophes naturelles ;
- une enquête auprès de l'ensemble des communes du département de la Manche ;
- la consultation de dossiers communiqués par des bureaux d'études ou des assureurs ;
- la consultation de rapports BRGM (Equilbey, 2003 ; Arnaud et Pasquet, 2004) ;
- des visites de terrain sur des communes où la détermination de l'origine des sinistres était problématique.

L'enquête effectuée auprès des communes s'est faite par envoi d'un courrier, accompagné d'une lettre circulaire de M. le Préfet de la Manche, aux 601 mairies du département. Les courriers signés par M. le Préfet de la Manche ont été envoyés depuis le Service Géologique Régional Basse-Normandie du BRGM le 2 février 2009. Une première relance par courrier ou fax a été faite entre le 11 et le 14 mai 2009 auprès des 314 mairies qui n'avaient pas répondu à l'enquête. Une seconde relance a été effectuée les 2 et 3 juillet 2009 auprès des 138 communes qui n'avaient toujours pas donné suite à notre enquête. Quelques relances ont ensuite été effectuées par voie téléphonique et par voie postale, plus ciblées cette fois auprès des communes où le BRGM avait eu la connaissance de sinistre(s) par d'autres sources (préfecture, CCR..).

Le taux de réponse final atteint 87 %, avec 9 réponses de communes signalant des sinistres et 514 réponses de communes se déclarant non concernées.

7.3.2. Bilan

Au total, 23 sinistres répartis sur 11 communes ont été recensés sur l'ensemble du département de la Manche.

L'illustration 19 présente la carte de répartition des sinistres dans le département de la Manche.

La localisation des sinistres a été effectuée sur fonds topographiques à 1/25 000 de l'IGN, depuis le logiciel map-info. Ce travail a été réalisé grâce aux plans de localisation renvoyés par les communes, ou figurant dans les dossiers consultés, ainsi

que par la consultation des sites internet www.mappy.fr, www.viamichelin.fr, www.pagesjaunes.fr, www.cadastre.gouv.fr.

Commune	Nombre de sinistres
Chérencé-le-Héron	2
Clitourps	1
Colomby	1
Le Valdécie	2
Ligreville	3
Nay	7
Portbail	2
Rauville-la-Place	2
Saint-Denis-le-Gast	1
Saint-Jean-le-Thomas	1
Savigny	1
Total:	16

Illustration 19 - Tableau synthétique de répartition des sinistres recensés

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

D'un point de vue géographique, les sinistres se répartissent de manière hétérogène (Illustration 20), et leur faible nombre ne permet pas de distinguer des zones plus touchées que d'autres par le phénomène.

L'examen des études après sinistres indique que 70 % seulement des sinistres localisés sont répartis sur les formations retenues comme argilo-marneuses, ces dernières n'occupant que 37,7 % de la superficie totale du département. 7 sinistres sont en effet localisés sur des formations retenues comme non argileuses. Ces 7 sinistres sont attribuables à des altérites de formations de socle, non cartographiées.

Rappelons toutefois que certaines formations considérées comme étant a priori non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou placages d'argiles non cartographiés, et plusieurs formations de socle (schistes, granites notamment) peuvent être recouvertes par des formations argileuses issues de l'altération chimique de la roche en place. Ces formations ne sont malheureusement pas cartographiées de manière exhaustive.

Parmi les formations retenues comme argileuses, seules six présentent au moins un sinistre. Il s'agit des formations suivantes :

- T-Mz – Tangués
- Fz – Alluvions récentes
- C – Colluvions de pentes
- Oey – Loess
- t6-7 – Calcaires, argiles et sables du Trias
- Aa – Altérites, arènes granitiques

Parmi les formations argileuses, 9 ne comptent aucun sinistre recensé à ce jour. Il s'agit des formations Tz, S, p1-3, m3-4, Ecg, c6B, j1-2, l1-4, Ab. Il faut cependant noter que certaines de ces formations n'affleurent que très peu dans le département (parfois moins d'1 km²).

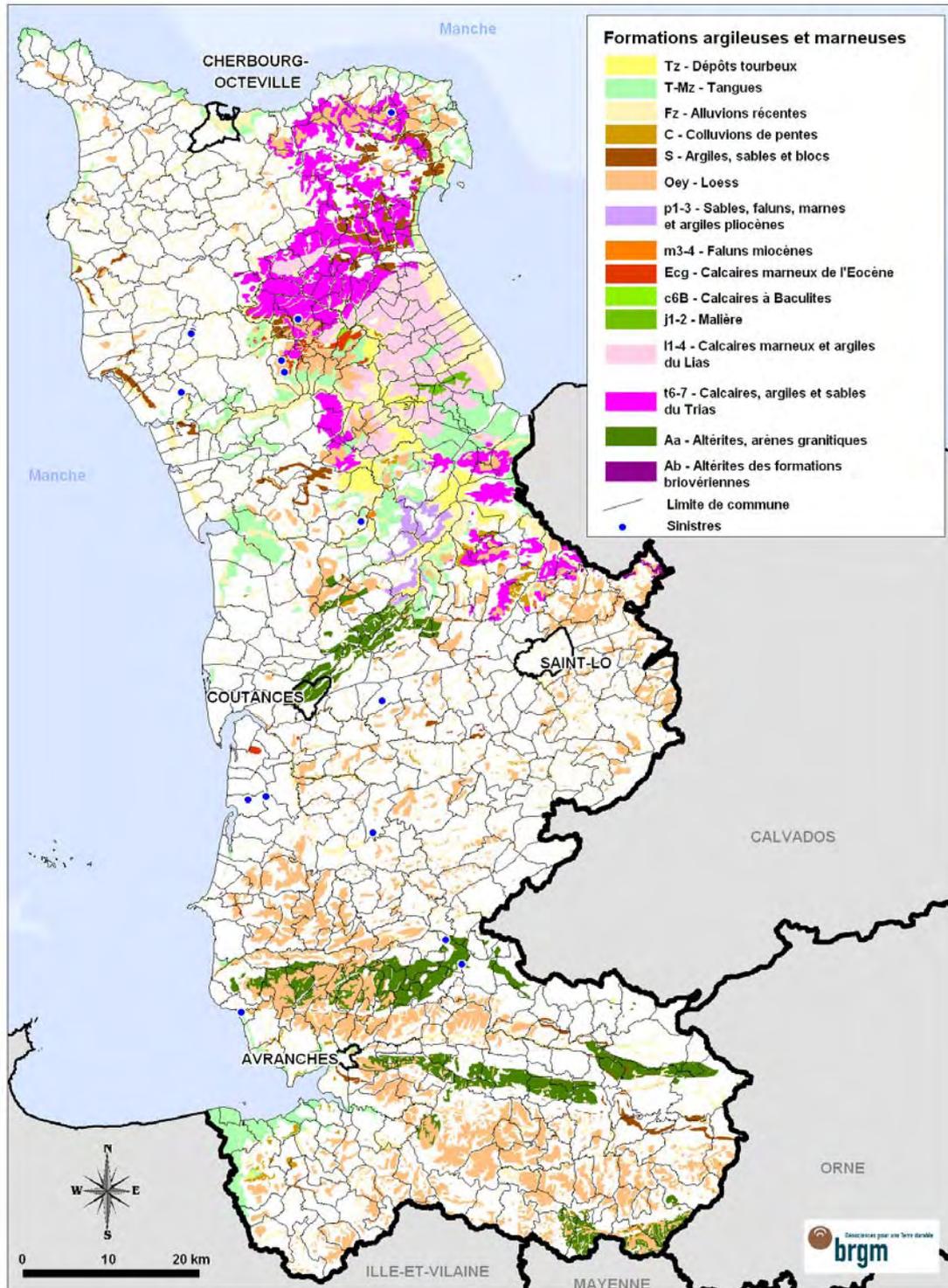


Illustration 20 - Carte de répartition des sinistres recensés et localisés

7.4. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE URBANISEE

Étant donné que les surfaces d'affleurement des différentes formations géologiques sont extrêmement variables, il est important de raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique (ramenées à 100 km² de surface d'affleurement). Cependant, il faut garder à l'esprit que l'urbanisation n'est pas uniforme sur l'ensemble du département et cela peut donc biaiser l'analyse sur les densités de sinistres par formation. En effet, une formation géologique s'étendant principalement en milieu rural peu bâti sera nécessairement moins touchée qu'une formation aussi susceptible mais très urbanisée.

Ainsi, les densités de sinistres par formation géologique ont été rapportées à 100 km² de surface effectivement urbanisée, conformément à la méthodologie retenue au niveau national.

7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation

Les contours des zones urbanisées du département ont été tracés à partir des cartes topographiques IGN à l'échelle 1/25 000. Ils ont ensuite été numérisés et superposés à la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Ceci a permis de calculer, pour chacune des 15 formations retenues, la surface d'affleurement qui se trouve être réellement urbanisée. Ces contours sont donnés à titre indicatif et peuvent présenter quelques décalages avec la réalité, notamment dans les secteurs urbanisés très récemment.

La surface totale des zones urbanisées du département a été ainsi estimée à 344,15 km², soit environ 5,63 % de la superficie totale (Illustration 21).

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses avec celle des zones urbanisées permet d'estimer la surface totale occupée par les zones urbanisées dans les formations retenues à 105,56 km², soit environ 4,6% de leur surface totale d'affleurement. Les surfaces urbanisées et le nombre de sinistres recensés sont indiqués pour chaque formation dans le tableau de l'illustration 22.

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

C'est en particulier le cas de 7 formations : Tz, p1-3, m3-4, Ecg, c6B, j1-2 et Ab (respectivement *Dépôts tourbeux* ; *Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes* ; *Faluns miocènes* ; *Calcaires marneux de l'Eocène* ; *Calcaire à baculites* ; *Malière* ; *Altérites des formations briovériennes*) dont la surface d'affleurement urbanisée est si réduite que la présence d'un seul sinistre conduirait à une densité de sinistre très élevée qui ne peut être considérée comme réellement significative.

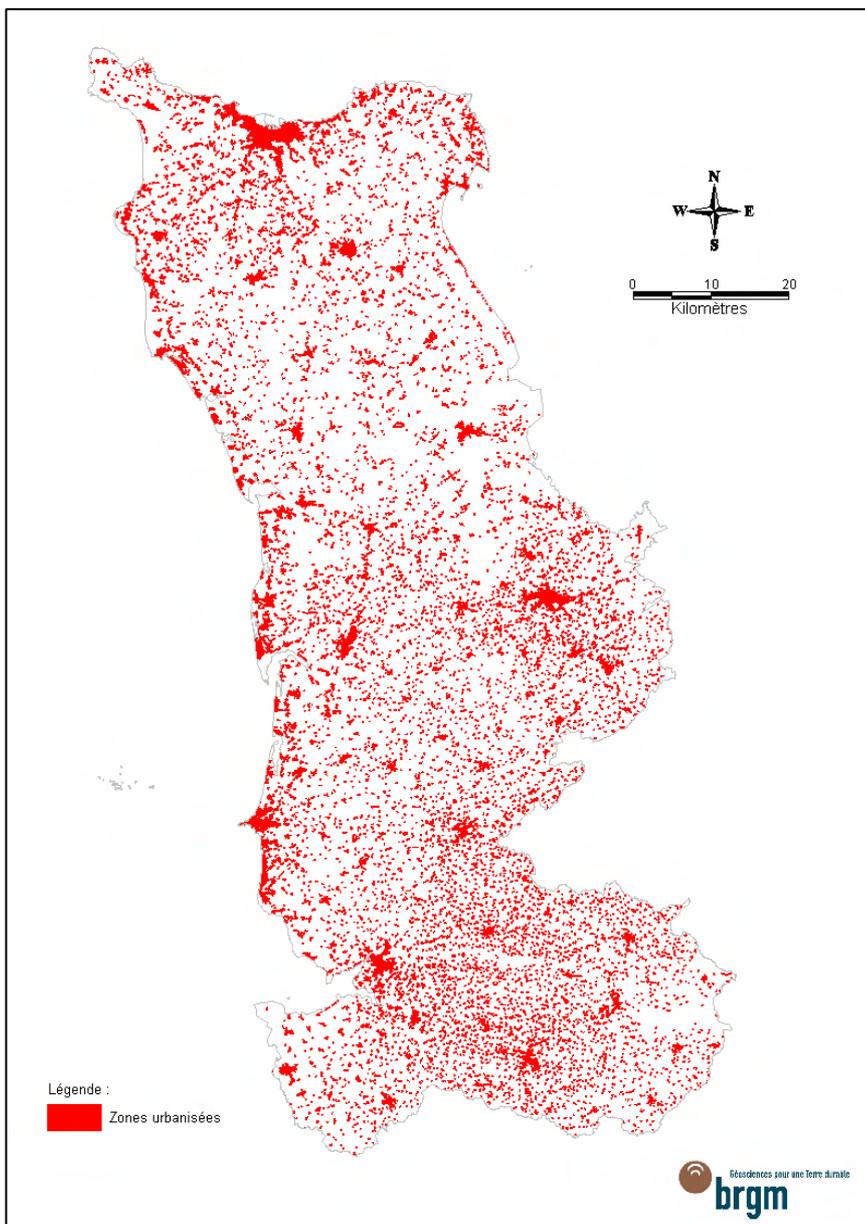


Illustration 21 - Carte des zones urbanisées sur le département de la Manche

N°	Code	Formations argileuses	Nombre de sinistres	% de sinistres	Superficie d'affleurement (km ²)	% d'affleurement	Surface urbanisée (km ²)	% urbanisé
1	Tz	Dépôts tourbeux	0	0,00%	51,25	0,86%	0,21	0,06%
2	T-Mz	Tangues	7	30,43%	235,67	3,94%	17,02	4,95%
3	Fz	Alluvions récentes	3	13,04%	597,62	9,99%	21,97	6,38%
4	C	Colluvions de pentes	1	4,35%	26,44	0,44%	1,64	0,48%
5	S	Argiles, sables et blocs	0	0,00%	71,1	1,19%	3,35	0,97%
6	Oey	Loess	2	8,70%	622,81	10,41%	29,42	8,55%
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles Pliocènes	0	0,00%	22,32	0,37%	0,82	0,24%
8	m3-4	Faluns miocènes	0	0,00%	0,9	0,02%	0,02	0,01%
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Eocène	0	0,00%	8,94	0,15%	0,26	0,08%
10	c6B	Calcaires à Baculites	0	0,00%	1,67	0,03%	0,06	0,02%
11	j1-2M	Malière	0	0,00%	5,72	0,10%	0,14	0,04%
12	l1-4	Calcaires marneux et argiles du lias	0	0,00%	153,84	2,57%	7,15	2,08%
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	1	4,35%	248,06	4,15%	12,55	3,65%
14	Aa	Altérites et arènes granitiques	2	8,70%	204,14	3,41%	10,91	3,17%
15	Ab	Altérites des formations briovériennes	0	0,00%	3,85	0,06%	0,04	0,01%
Total des formations argileuses			16	69,57%	2254,33	37,69%	105,56	30,67%
Formations non argileuses			7	30,43%	3726,73	62,31%	238,59	69,33%
TOTAL			23		5981,06	100%	344,15	100%

Illustration 22 - Taux d'urbanisation et nombre de sinistres par formation

7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres

Comme précisé précédemment, les densités de sinistres par formation géologique ont été calculées en prenant en compte la surface urbanisée de la formation. La prise en compte du taux d'urbanisation modifie en effet sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques en termes de densité de sinistres, dans la mesure où le taux d'urbanisation varie d'une formation à l'autre.

La densité ainsi calculée est en moyenne pour les formations retenues comme argileuses de 15 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement urbanisés. A titre indicatif, cette densité de sinistre calculée suivant la même méthode pour l'ensemble des formations argileuses dans une cinquantaine de départements parmi les plus concernés s'élève en moyenne plus de 1 000 sinistres pour 100 km² de formation affleurante urbanisée. Le département de la Manche reste donc très peu affecté à ce jour par le phénomène.

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est le seuil de 15 sinistres pour 100 km² qui a été retenu pour définir les coupures suivantes pour l'attribution de notes caractérisant la sinistralité :

- *note 1* : moins de 15 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation ; cette note concerne pour le département de la Manche l'ensemble des formations sur lesquelles se trouvent des sinistres. Les autres formations dont la surface urbanisée a été jugée significative obtiennent de fait cette note si leur densité de sinistre est inférieure à la moyenne.
- *note 2* : entre 15 et 30 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation ;

- *note 3* : plus de 30 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation, ce qui correspond aux formations présentant une densité de sinistres supérieure au double de la moyenne.

N°	Code	Formations argileuses	Nombre de sinistres	Densité de sinistres pour 100 km ² urbanisés	Note de sinistralité
1	Tz	Dépôts tourbeux	0	0,00	NS
2	T-Mz	Tangues	7	41,13	3
3	Fz	Alluvions récentes	3	13,65	1
4	C	Colluvions de pentes	1	60,98	NS
5	S	Argiles, sables et blocs	0	0,00	NS
6	Oey	Loëss	2	6,80	1
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles Pliocènes	0	0,00	NS
8	m3-4	Faluns miocènes	0	0,00	NS
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Eocène	0	0,00	NS
10	c6B	Calcaires à Baculites	0	0,00	NS
11	j1-2M	Malière	0	0,00	NS
12	l1-4	Calcaires marneux et argiles du lias	0	0,00	1
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	1	7,97	1
14	Aa	Altérites et arènes granitiques	2	18,33	2
15	Ab	Altérites des formations briovériennes	0	0,00	NS

Total des formations argileuses	16	15,16
Formations non argileuses	7	2,93
TOTAL	23	6,68

Illustration 23 - Sinistralité (densité de sinistres par formation argileuse, NS=sinistralité « non significative »)

8. Carte d'aléa

8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA

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 6. L'indice de susceptibilité ainsi obtenu a été décliné en trois classes, qualifiées respectivement par une susceptibilité faible, moyenne et forte, et peut prendre la valeur 1, 2 ou 3.

Pour le facteur densité de sinistres, le critère utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km² d'affleurement réellement urbanisé. La méthodologie de détermination de l'aléa au niveau national prend donc en compte la sinistralité. Toutefois, **au vu du nombre extrêmement faible de sinistres recensés et du nombre de formations argileuses pour lesquelles ce critère ne peut être considéré comme représentatif dans le département de la Manche, ce critère n'est pas significatif. Il a donc été décidé de ne pas le prendre en compte dans l'évaluation de l'aléa.**

Pour chaque formation argileuse ou marneuse, le niveau d'aléa est donc équivalent au niveau de susceptibilité.

N°	Code	Nom de la Formation Géologique	Note Lithologique	Note Minéralogique	Note Géotechnique	Niveau de Susceptibilité	Niveau d'Aléa
1	Tz	Dépôts tourbeux	2	-	1	Faible	Faible
2	T-Mz	Tangues	3	3	1	Moyen	Moyen
3	Fz	Alluvions récentes	2	1	1	Faible	Faible
4	C	Colluvions de pentes	2	1	2	Faible	Faible
5	S	Argiles, sables et blocs	2	1	1	Faible	Faible
6	Oey	Loess	2	1	1	Faible	Faible
7	p1-3	Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes	2	3	1	Faible	Faible
8	m3-4	Faluns miocènes	1	1	1	Faible	Faible
9	Ecg	Calcaires marneux de l'Eocène	2	2	2	Faible	Faible
10	c6B	Calcaires à Baculites	1	1	2	Faible	Faible
11	j1-2	Malière	1	1	1	Faible	Faible
12	l1-4	Calcaire marneux et argiles du Lias	3	1	2	Faible	Faible
13	t6-7	Calcaires, argiles et sables du Trias	2	1	3	Faible	Faible
14	Aa	Altérites, arènes granitiques	2	4	2	Moyen	Moyen
15	Ab	Altérites des formations briovériennes	2	1	1	Faible	Faible

Illustration 24 -: Tableau de détermination du niveau d'aléa

8.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Elle est présentée sur l'illustration 25 et en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000 (où les sinistres, les zones urbanisées et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont issus des cartes géologiques éditées à cette même échelle.

Les formations retenues sont représentées par couleurs (jaune, orange et rouge) correspondant à leur niveau d'aléa retrait-gonflement (respectivement faible, moyen et fort). Elles couvrent près de 38 % de la superficie du département. Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent 62 % de la superficie départementale. Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés d'aléa *a priori* nul, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée. Cela est dû à deux raisons particulières :

- comme vu précédemment, les altérites des formations cadomiennes et briovériennes n'ont pas été cartées de manière homogène sur l'ensemble du département. Ainsi, et notamment pour les feuilles les plus anciennes réalisées en fonction des exigences de l'époque, la formation géologique présente en profondeur a été préférée à la formation d'altération. Il est donc fortement probable qu'une surface non négligeable de formation *a priori* non argileuse soit couverte par ces formations d'altération potentiellement argileuses et donc susceptibles de provoquer des sinistres. Ainsi, parmi les 7 sinistres recensés sur des formations *a priori* non argileuses, tous se trouvent sur des formations de socles soumises aux fronts d'altération (2 dans des schistes du Caradocien ; 5 dans les schistes du Briovérien). Des extrapolations, notamment par les données de sondages ont été tentées afin de délimiter au mieux ces altérites non cartographiées, mais le maillage trop faible des sondages possédant des données utiles n'a pas permis d'obtenir de résultats concluants. Seule une cartographie des formations superficielles à l'échelle du département permettrait de cartographier efficacement ces formations d'altération ;
- l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses ou l'altération localisée de formations carbonatées. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

13 formations couvrant plus de 30 % de la superficie du département sont caractérisées par un aléa faible. Cela représente la grande majorité des formations à caractère argileux du département. Il faut toutefois noter que plusieurs formations caractérisées par un aléa faible présentent de par leurs conditions de dépôt de fortes hétérogénéités spatiales. Ainsi, il est possible que localement certaines de ces formations (formations du Miocène et du Pliocène notamment) présentent des surfaces argileuses homogènes et à caractère gonflant susceptible de provoquer des sinistres (bassin de Sainteny-Marchésieux notamment).

2 formations couvrant plus de 7 % de la surface du département sont considérées en aléa moyen indiquant une prédisposition au phénomène de retrait-gonflement en cas de sécheresse.

A l'issue de cette étude, et bien que très peu de sinistres soient recensés dans le département de la Manche, une partie non négligeable de la surface du département est considérée comme susceptible au phénomène de retrait-gonflement des argiles.

Cela peut paraître étonnant, mais il s'avère que le département de la Manche n'a, depuis que les chroniques météorologiques sont recensées, jamais connu de sécheresse majeure (pas de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle en 2003...). Un tel phénomène n'est pourtant pas à exclure dans l'avenir, notamment dans le contexte de changement climatique. Si tel était le cas, le département pourrait être touché par le phénomène de retrait-gonflement.

Pour illustrer cette hypothèse, un phénomène d'assèchement de marais a provoqué en 2009 plusieurs sinistres assimilables à du tassement différentiel (Pannet et Tirard, 2009). Dans une commune du bassin de Marchésieux, un marais a été asséché. Les tourbes se rétractant de près de 50 cm ont créé un gradient hydraulique et induit la vidange de la partie supérieure des nappes alentour (nappe des sables de Saint-Vigor notamment). Les argiles présentes dans les formations concernées (il s'agit des *Tangués* qui ont été classées en aléa moyen dans cette étude) jusque là humectées en permanence se sont asséchées et un phénomène de retrait a provoqué l'effondrement d'une grange et la fissuration prononcée de plusieurs maisons d'habitation. Ce sont en tout sept sinistres qui ont été répertoriés suite à ce phénomène.

Ce cas montre que l'absence de sinistres recensés jusqu'à présent ne signifie pas que l'aléa cartographié dans cette étude n'existe pas.

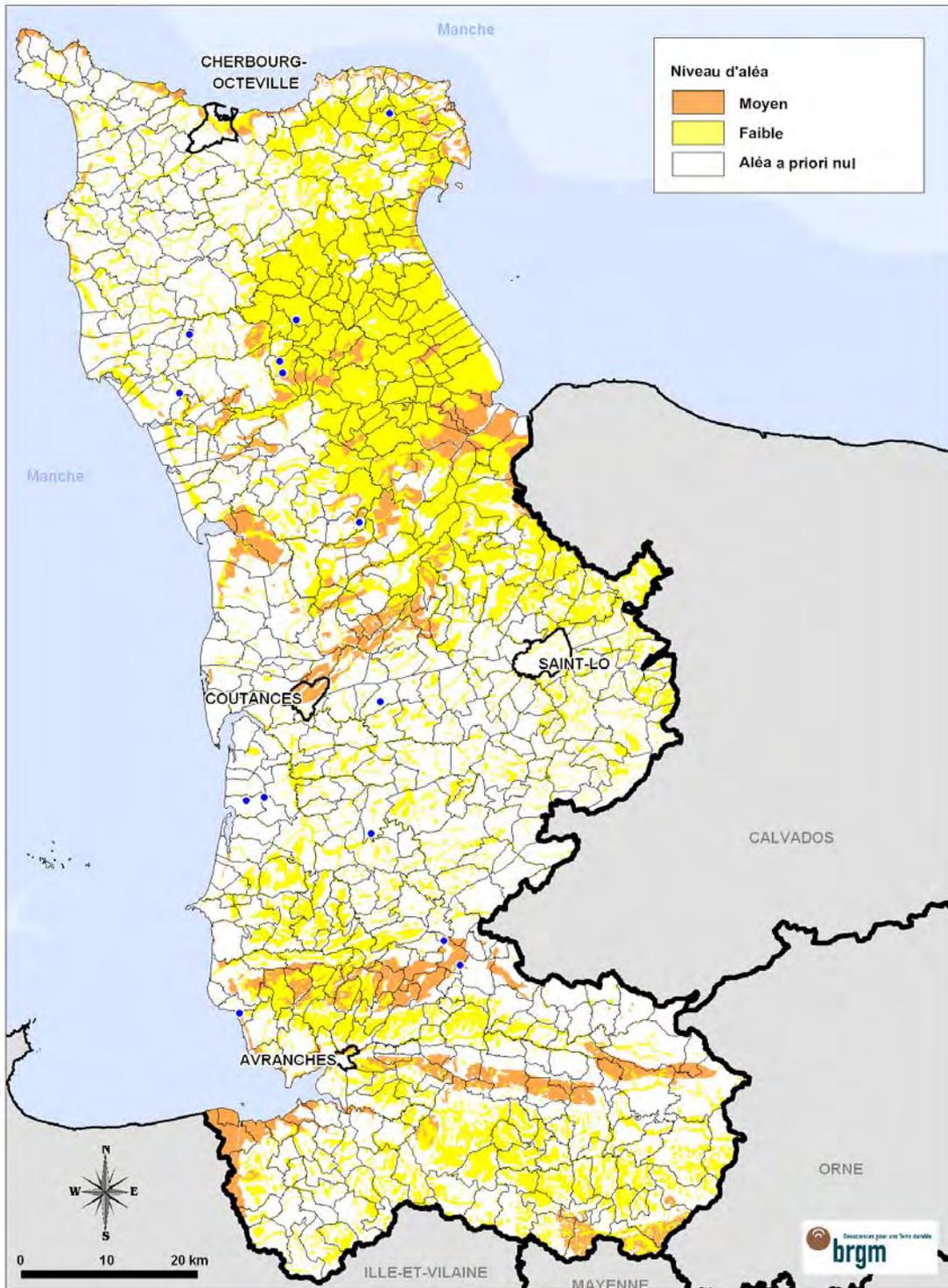


Illustration 25 - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des formations argileuses du département de la Manche

9. Cohérence avec les départements voisins

La plupart des départements limitrophes de la Manche disposent d'ores-et-déjà d'une carte d'aléa publiée. Il s'agit des départements du Calvados (14), de l'Orne (61) et de l'Ille-et-Vilaine (35 – carte encore en cours de validation). La carte est cependant encore en cours de réalisation pour le département de la Mayenne (53). L'illustration 26 juxtapose ces 3 cartes d'aléa à celle établie pour la Manche. Dans l'ensemble, les résultats sont relativement cohérents entre les départements, seules quelques discontinuités apparaissant avec les départements du Calvados et de l'Orne au niveau de la valeur de l'aléa et de la limite des formations argileuses.

Discontinuités dans le niveau d'aléa

Deux formations ont été jugées en aléa moyen dans la Manche, alors qu'elles avaient été reconnues en aléa faible dans le Calvados et dans l'Orne.

- Pour la formation des *Tangués*, il est probable que des variations latérales de faciès expliquent des comportements différents d'un affleurement à l'autre. Ainsi, en Ille-et-Vilaine, cette formation a également été classée en aléa moyen en raison notamment d'une fraction argileuse significative et d'une sinistralité jugée forte. Plus au nord, dans le Calvados, ces sols sont apparus un peu moins argileux, et n'ont occasionné qu'une sinistralité jugée faible (la minéralogie n'ayant cependant pas pu être caractérisée). Ces écarts peuvent donc sans doute être attribués à une évolution des faciès rencontrés entre le nord et le sud du département.
- Pour les *Altérites, arènes granitiques*, le niveau moyen dans la Manche se justifie essentiellement par une caractérisation minéralogique défavorable, les deux échantillons prélevés dans le cadre de l'étude faisant apparaître plus de 85 % d'interstratifiés. Dans le Calvados et l'Orne, par contre, les données minéralogiques issues de la bibliographie indiquaient plutôt des minéraux non gonflants (kaolinite), avec des smectites peu représentées. Il convient toutefois de rappeler que la minéralogie des altérites de socle est très variable suivant la position du prélèvement dans le profil d'altération, ce qui rend délicate l'interprétation de ce critère.

Discontinuités dans la limite des formations argileuses

Très peu de discontinuités apparaissent au niveau des contours des formations argileuses. Seule la formation argileuse de l'Orne correspondant aux *Alluvions anciennes* (Fu-y), classée en aléa faible dans ce département, ne se prolonge localement pas dans la Manche. Après analyse, les formations concernées correspondent dans la carte harmonisée de la Manche aux *Alluvions saaliniennes* (Fx) et aux *Alluvions périglaciaires du Quaternaire moyen* (Fv). Les indications des cartes géologiques, la bibliographie ainsi que les contrôles de terrain ne montrent que de très fines passées argileuses réparties de manière très hétérogènes sur l'ensemble de ces affleurements. Il a donc été choisi de ne pas considérer ces formations comme argileuses.

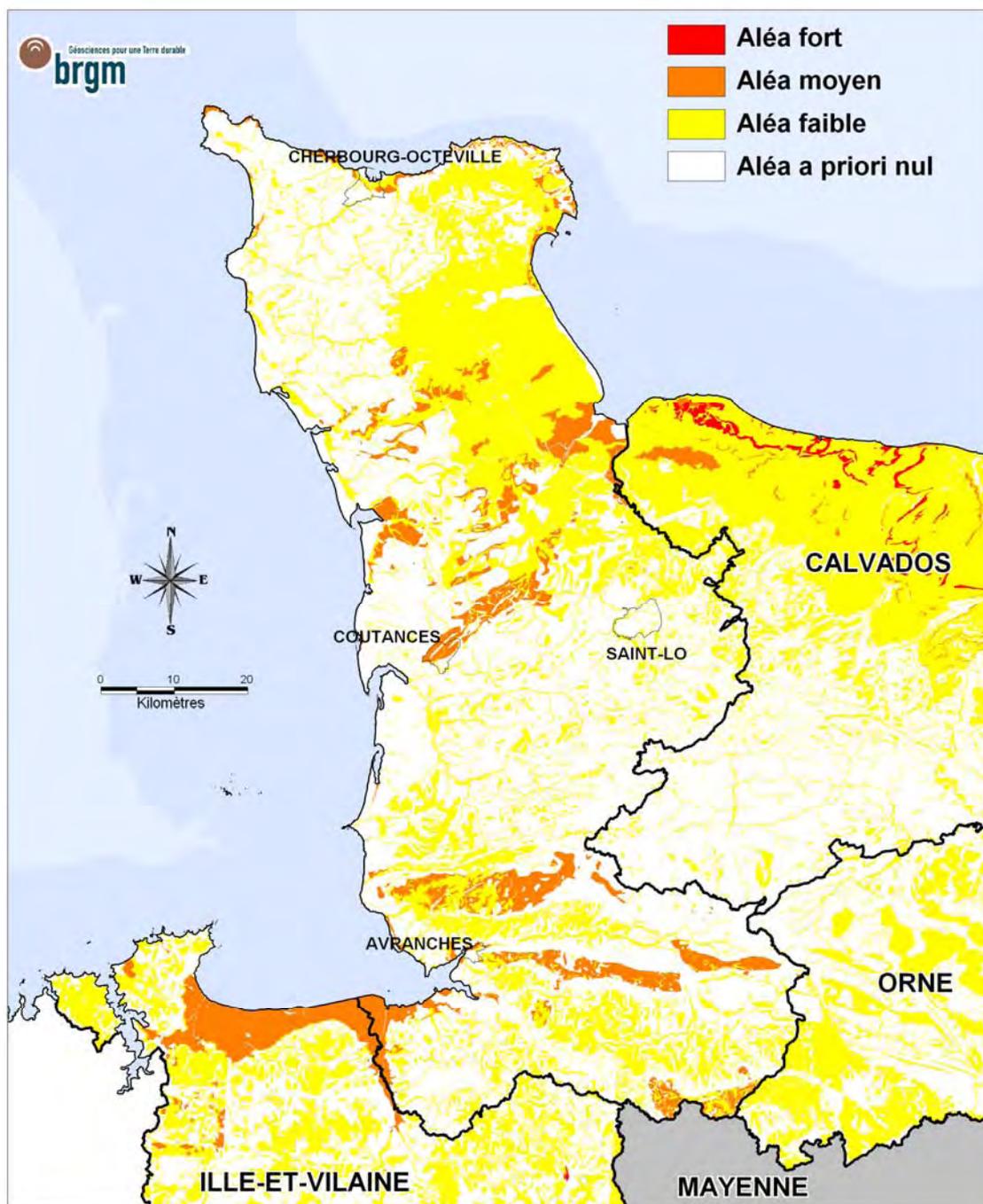


Illustration 26 - Juxtaposition des cartes d'aléa limitrophes à la Manche

10. Conclusion

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

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

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argilo-marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et d'observations bibliographiques existantes. La carte synthétique recense en définitive 15 formations argileuses, dont l'une des caractéristiques est la forte hétérogénéité, liée à leurs conditions de dépôts ou leur altération superficielle.

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

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

En définitive, la carte départementale d'aléa devait être 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 urbanisée, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre elles. Au total, 23 sinistres répartis dans 11 communes du département ont ainsi été recensés et localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très largement représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

Toutefois, à l'issue de cette étude, le critère de sinistralité a été jugé non significatif. De fait, le niveau d'aléa correspond au critère de susceptibilité.

Ainsi, trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible) ont été distingués afin de caractériser les formations argileuses ou marneuses vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Mais concernant le département de la manche, aucune formation argileuse n'a été classée en aléa fort.

Sur une superficie départementale totale de 5 981 km² ;

- 7,35 % sont classés en aléa moyen ;
- 30,3 % sont classés en aléa faible ;
- 62,3 % correspondent à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés comme non concernés par le phénomène, se trouvent localement des zones susceptibles de subir des sinistres. Il s'agit soit de zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à l'altération localisée des calcaires ou à des lentilles argileuses non cartographiées, soit et ça peut concerner des surfaces plus importantes, des formations d'altérations non cartographiées des schistes et granites du Cadomien et du Briovérien.

D'autre part, très peu de sinistres ont été recensés, et le département de la Manche ne semble pas avoir connu à ce jour de sécheresse majeure. Ainsi, comme l'ont montré des cas de retrait d'argiles liés à l'abaissement soudain de niveaux de nappe, il est possible qu'en cas de sécheresse majeure, les zones d'aléa cartographiées ainsi que quelques zones couvertes de produits d'altération qui n'ont pu être précisément cartographiées, subissent des sinistres.

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

Enfin, si lors d'études de sols sur des zones cartographiées comme non argileuses des formations argileuses d'altération sont identifiées, il conviendra de prendre là aussi de respecter des règles constructives préventives.

11. 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.

Arnaud L., Pasquet J-F. (2004) – Désordres survenus sur une habitation, commune de Lingreville (Manche). Rapport BRGM/RP-53467-FR. 28p., 5 fig., 3 photos.

Arnaud L., Couëffé R., Pasquet J.F. (2005) – Inventaire préliminaire des mouvements de terrain du département de la Manche. Rapport final. BRGM/RP-54402-FR. 141 p., 8 fig., 8 tabl., 8 ann.

Aubry J. (1982) – Formations permienes et triasiques du bassin de Carentan, quelques aspects de la distinction entre les deux formations. Thèse, Université de Caen.

Baize S. (1999) – Géologie et hydrogéologie des bassins néogènes du Cotentin. Rapport, Université de Caen, CNRS.

BRGM BNO (1999) – Schéma départemental des carrières de la Manche. Rapport BRGM/RR-40963-FR. 159p., 6ann.

BRGM (2006) – Présence d'argile sur le territoire de la commune de Portbail (lieu-dit « le Pont de gris »).

Camuzard J-P. (2000) – Les sols, marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux. Thèse, Annexes. Université de Caen.

Camuzard J-P. (2006) – Les sols, marqueurs de la dynamique des systèmes géomorphologiques continentaux. Essai méthodologique d'interprétation des enregistrements pédosédimentaires, application à l'analyse structurale des formations superficielles et à l'étude de la dynamique des milieux continentaux métastables.

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 n° 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 n° R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. hors-texte.

Dassibat C., Pascaud P., Clément J-P. (1984) – Inventaire des sites potentiels de matériaux de couverture. Rapport BRGM. 84 BNO 003. 16p., 5 tabl., 3 ann., 1 carte h.-t.

Dugué O. (2001) – Campagne de sondages mars 2001 pour le lever de la carte géologique n°94 de Sainte-Mère-Église. Rapport BRGM.

Duriez M., Lereculey A., avec la collaboration de **Kostecki J., Levesque J-C. et Plat E.** (2008) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Calvados. Rapport BRGM/RP-56219-FR, 120p., 26 ill., 4ann., 3 cartes h.-t.

Duriez M., Lereculey A., avec la collaboration de **Imbault M.** (2008) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Orne. Rapport BRGM/RP-56594-FR, 113p., 26 ill., 4ann., 3 cartes h.-t.

Equilbey E., avec la collaboration de **Lebret P., Mouglin B., Vigouroux P.** (2001) – Inondations par les eaux souterraines printemps 2001. Synthèse des constats effectués dans le département de la Manche. Rapport BRGM/RP-51044-FR. 147p., 37 fig., 3 tabl., 2 ann.

Equilbey E. (2003) – Effondrement d'un mur de bâtiment, parcelle AE 10, lieu –dit « La-Croix-Perrier », Commune de Savigny (Manche). Rapport BRGM/RP-52246-FR.

Garlan T. (1985) – Sédimentologie du Briovérien supérieur de Normandie et du Maine. Thèse, Université de Caen.

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

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

Mégnien C. (1980) – Synthèse géologique du Bassin de Paris. Mémoire BRGM n°101, n°102, n°103.

Pannet P., Tirard, E. (2009) – Désordres sur des bâtiments au lieu-dit « le Village ès doux », Commune de Nay (Manche). Avis du BRGM. Rapport BRGM/RP-57611-FR, 32p., 3 ill., 18 ph.

Roux J-C. (2006) – Aquifères et eaux souterraines en France. Tome 1. BRGM Ed.

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

Vernhet Y. (2003) – Carte géologique harmonisée du département de la Manche (hors Cotentin). Rapport BRGM/RP-52715-FR. 228 p., 3 fig, 18 tabl., 2 ann., 1 pl. h.-t.

Vernhet Y. (2005) – Carte géologique harmonisée de la partie nord du département de la Manche. Rapport BRGM/RP-53745-FR. 113 p., 3 fig, 18 tabl., 2 ann., 1 pl. h.-t.

Vincent M., Bouchut J., Fleureau J.-M., Masrouri F., Oppenheim E., Heck J.-V., Ruaux N., 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. 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 géotechnique n°120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 45-58.

Autres références thématiques

Alba J.M. et Dufor M. (1993) – Phénomènes de gonflement-retrait dans les sols marno-argileux. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics, Sols et Fondations*, 514.

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

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

Belantour N., Tacherifet S. et Pakzad M. (1997) – Etude des comportements mécanique, thermo-mécanique et hydro-mécanique des argiles gonflantes et non gonflantes fortement compactées. *Revue Française de Géotechnique*, 78, 31-50.

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

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

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

Bouchut J., Fleureau J.M., Masrouri F., Ruaux N., Oppenheim E. (2005) - Etudes des mécanismes de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement des sols argileux et de ses interactions avec le bâti – rapport d'avancement. BRGM/RP-54175-FR.

Caillère S., Hénin, S. et Rautureau M. (1989) – Les argiles. Editions Septima, Paris

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

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

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

Cui Y.J. (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'Ecole des Ponts, Paris, 11-12 décembre 1996.

Cuisinier O. (2002) – Comportement hydromécanique des sols gonflants compactés. *Thèse soutenue le 31 octobre 2002. Institut National Polytechnique de Lorraine*.

Cuisinier O., Masrouri F. (2004) – Microstructure et comportement hydromécanique d'un sol gonflant non saturé. *Revue Française de Géotechnique*, n° 108, pp. 47-56.

Delage P. (1988) – Aspects du comportement des sols non saturés. *Revue Française de Géotechnique*, n° 40, pp. 33-43

Delage P., Cui Y.J. (2000) – L'eau dans les sols non saturés. *C301. Techniques de l'ingénieur. Traité Construction, Vol. C2*.

Delage P., Cui Y.J. (2000) – Comportement mécanique des sols non saturés. *C302. Techniques de l'ingénieur. Traité Construction, Vol. C2*.

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

Exbrayat L. (2001) - Dispositions constructives de nature à prévenir et/ou supprimer les effets de la dessiccation/réhydratation des sols - évaluation des coûts - SOLEN GEOTECHNIQUE n°G01339GT.

Flavigny E. (1992) – Discussion de l'article "Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie". *Revue Française de Géotechnique*, n° 57, 59, 75-78.

Gillot J.S. (1987) – Clay in engineering geology. Elsevier, *Developments in Geological Engineering*, 41, Elsevier Publishing Company, pp. 469.

Guillot X. (2002) – Couplage entre propriétés microscopiques et comportement mécanique d'un matériau argileux. *Thèse soutenue le 7 janvier 2002. Ecole Centrale de Paris.*

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'Etude de l'Ecole des Ponts, Paris, 11/12/1996.*

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

Lautrin D. (1987) – Une procédure rapide d'identification des argiles. *Bull. liaison Labo P. et Ch., n° 152, pp. 75-84.*

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

Madsen M.T. and Müller-Vonmoos M. (1989). The swelling behaviour of clays. *Applied Clay Science, n°4, p.143-156.* Elsevier Science Publishers.

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

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

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

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

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

Millot G. (1964) – Géologie des argiles. Edit. 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.

Mouroux P., Margron P. et Pinte J.C. (1988) – La construction économique sur sols gonflants. Edit. BRGM, Manuels et Méthodes n° 14.

- Noel C.** (1991) – Tassement de sols d'assise de fondations consécutifs à la sécheresse. L'expertise dans le cadre de la garantie "catastrophes naturelles". SNEIC-INFO, 4.
- Parcevaux P.** (1980) – Etude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux. *Thèse de doctorat Université Pierre et Marie Curie, Paris VI*, 266 p.
- Pejon O.J., Le Roux A. et Guignard D.** (1997) – Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement, importance de la minéralogie et des textures. *Bull. Int. Eng. Geol.*, 55, 105-119.
- Philipponnat G.** (1987) – Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. 6^e *Int. Conf. Exp. Soils*, 7-10, New Delhi.
- Philipponnat G.** (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Revue Française de Géotechnique*, n° 57, p. 5-22.
- Piantone P.** (1986) – Minéralogie et cristallographie des phyllosilicates : application à l'étude des altérations hydrothermales. *Rap. BRGM 86 DAM 019 GMX*, 61 p.
- 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. Franç. Géotech.*, 67, 57-67.
- Rolland S.** (2002) – Transferts hydriques dans des sols argileux gonflants : influence du confinement. *Thèse soutenue le 18 janvier 2002. Institut National Polytechnique de Lorraine.*
- Rolland S., Stemmelen D., Moyne C., Masroui F.** (2003) – Transfert hydrique dans un sol argileux gonflant non saturé : influence du confinement. *Revue Française de Géotechnique*, n° 104, pp. 21-35.
- 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, 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'Ecole des Ponts. Paris, 11-12/12/1996.
- Serratrice J.F., Soyez B.** (1996) – Les essais de gonflement. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 204, p. 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.

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

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

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

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.

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

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

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

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

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

Vincent M. (2005) – Établissement de cartes départementales de l'aléa retrait-gonflement des argiles. *Le Monde des Cartes*, revue du Comité Français de Cartographie, n° 185, septembre 2005, pp. 40 à 43

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), n° 146, septembre 2005, pp. 43 à 47.

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., Le Roy S., Dubus I., Surdyk N. (2006) – Suivi de l'évolution en profondeur de la dessiccation des sols argileux en période de déficit hydrique. Rapport final de phase 1. Rapport BRGM/RP-54567-FR, 189 p., 127 ill.

Vincent M., Cojean R., Fleureau J.-M., Cui Y. J., Jacquard C., Kazmierczak J.-B., Masroui 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. et 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*, t. 305, série II, p.511-516.

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

Cartes géologiques à 1/50 000

Baize S., Aubry J., Coutard J.P., et al. (1997) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°117 (Carentan). Ed. BRGM.

Beurrier M., Villey M., Langevin C., et al. (1984) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°209 (Avranches). Ed. BRGM.

Bogdanoff S., Jourdan C., Lafond R.L. (1997) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°246 (Dol de Bretagne). Ed. BRGM.

Doré F., Dupret L., Lautridou J.P., et al. (1987) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°172 (Granville). Ed. BRGM.

Dupret L., Dissler E., Poncet J., Coutard J.P. (1997) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°143 (Saint Lô). Ed. BRGM.

Dupret L., Poncet J., Lautridou J.P., et al. (1987) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°142 (Coutances). Ed. BRGM.

Graindor M.J. (1963) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°72 (Cherbourg). Ed. BRGM.

Graindor M.J., Pareyn C. (1969) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°73 (Saint Vaast la Hougue). Ed. BRGM.

Graindor M.J., Roblot M.M., Ronardet M., et al. (1976) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°93 (Bricquebec). Ed. BRGM.

Janjou D., Langevin C., Minoux L., Lautridou J.P. (1986) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°174 (Vire). Ed. BRGM.

Lautridou J.P., Beurrier M., Dadet P., Le Métour J. (1983) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°247 (Saint-Hilaire-Du-Harcouët). Ed. BRGM.

L'Homer A., Courbouleix S., Beurrier M., et al. (1999) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°208 (Baie du Mont Saint Michel). Ed. BRGM.

Ménillet F., Villey M., Trautmann F., et al. (1987) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°210 (Mortain). Ed. BRGM.

Poncet J., Doré F., Robardet M., Hommeril P. (1977) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°116 (La Haye du Puits). Ed. BRGM.

Trautmann F., Janjou D., Langevin C., Minoux L. (1987) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°173 (Villedieu-les-Poêles). Ed. BRGM.

Vernhet Y., Chèvremont P. (1997) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°248 (Landivy). Ed. BRGM.

Vernhet Y., Hervy V., Lerouge G., Besombes J.C. (2000) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°144 (Torigny sur Vire). Ed. BRGM.

Vernhet Y., Pareyn C., Villey M., et al. (1999) – Carte géologique au 1/50 000, feuille n°118 (Balleroy). Ed. BRGM.

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

<http://www.mappy.fr> et <http://www.viamichelin.fr> : sites internet d'itinéraires routiers et cartes urbaines.

<http://www.manche.equipement.gouv.fr> : site internet de la direction départementale de l'équipement de la Manche.

<http://www.manche.pref.gouv.fr> : site internet de la préfecture de la Manche.

<http://www.cg50.fr> : site internet du Conseil général de la Manche.

<http://www.INSEE.fr> : site internet de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques.

Annexe 1

-

Rappel sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

atteindre des valeurs très élevées à la surface du sol, surtout si celle-ci est soumise à une évaporation intense.

Annexe 2

-

Sinistres

- Liste des sinistres localisés et formations géologiques identifiées

Commune	Formation	premier désordre	X (L2E, m)	Y (L2E, m)
Chérencé-le-Héron	Aa	2004	341018	2427056
Chérencé-le-Héron	Aa	2003	339212	2429858
Clitourps	Fz	1976	333065	2524404
Colomby	t6-7	1984	322488	2500835
Le Valdécie	NonA	2006	310502	2499418
Le Valdécie	NonA	2006	310386	2499151
Ligreville	NonA	2004	318716	2446195
Ligreville	NonA	2004	318840	2446248
Ligreville	NonA		316774	2445849
Nay	TMz	2009	329705	2477705
Nay	TMz	2009	329545	2477441
Nay	TMz	2009	329545	2477468
Nay	TMz	2009	329572	2477435
Nay	TMz	2009	329565	2477532
Nay	TMz	2009	329622	2477565
Nay	TMz	2009	329639	2477629
Portbail	Fz		309197	2492430
Portbail	Fz	2003	309221	2492400
Rauville-la-Place	Oey	2008	320903	2494748
Rauville-la-Place	Oey	2005	320583	2496026
Saint-Denis-le-Gast	NonA		330921	2442115
saint-Jean-le-Thomas	C		316033	2421615
Savigny	NonA	2003	332000	2457159

Annexe 3

-

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

BUREAUX D'ETUDES :

FONDOUEST SA :

Route d'Hudimesnil

50290 LONGUEVILLE

Tel : 02 33 91 34 10

Fax : 02 33 91 34 29

HYDRO'GEOTECHNIQUE Agence Nord-Ouest :

16 rue d'Anjou

ZAC Champ Cornu

76240 LE MESNIL-ESNARD

Tél. : 02 35 80 14 29

Fax : 02 35 91 55 78

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

USG

Maison de l'Ingénierie

3, rue Léon Bonnat

75 016 PARIS

Direction Départementale du Territoire et de la Mer du département de la Manche

86 r Guillaume Michel

50180 AGNEAUX

Conseil général de la Manche

Route de Villedieu

50050 SAINT LO Cedex

DIR Nord-Ouest

Rue Nicéphore Niepce

14120 MONDEVILLE

Annexe 4

-

Résultats d'analyses spécifiques des 30 échantillons prélevés dans le département de la Manche

- Analyses minéralogiques par diffraction des Rayons X
- Analyses géotechniques : essais d'adsorption au bleu de méthylène

ANALYSES MINÉRALOGIQUES PAR DIFFRACTION AUX RAYONS X

1. Nature de l'essai :

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

2. Appareillage et conditions expérimentales :

Appareillage : Diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé

Conditions expérimentales :

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

Traitement des diagrammes : Logiciel DIFFRAC^{plus}

3. Résultats d'analyse (Coordonnées : Lambert II étendu, en mètres)

Echantillon 1 (Fz) (X = 354684 ; Y = 2455770)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 1%
- vermiculite + chlorite probable : ~ 16%
- illite et/ou micas : ~ 48%
- kaolinite : ~ 35%

Echantillon 2c (Ab) (X = 359780 ; Y = 2471480)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 3%
- vermiculite + chlorite + interstratifié smectite/illite : ~ 7%
- illite et/ou micas : ~ 40%
- kaolinite : ~ 50%

Echantillon 3a (C) (X = 346802 ; Y = 2469670)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 3%
- vermiculite + chlorite probable : ~ 10%
- illite et/ou micas : ~ 28%
- kaolinite : ~ 59%

Echantillon 3b (C) (X = 348436 ; Y = 2471388)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 3%
- vermiculite + chlorite : ~ 9%
- illite et/ou micas : ~ 32%
- kaolinite : ~ 56%

Echantillon 4a (Aa) (X = 332029 ; Y = 2466717)

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

- interstratifié smectite/chlorite + vermiculite probable : ~ 85%
- illite et/ou micas : ~ 7%
- kaolinite : ~ 8%

Echantillon 4b (Aa) (X = 333352 ; Y = 2466920)

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

- interstratifié smectite/chlorite + interstratifié smectite/illite probable : ~ 90%
- illite et/ou micas : ~ 4%
- kaolinite : ~ 6%

Echantillon 7a (m3-4) (X = 330738 ; Y = 2478433)

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

- vermiculite + chlorite : ~ 7%
- illite et/ou micas : ~ 26%
- kaolinite : ~ 67%

Echantillon 7b (m3-4) (X = 330953 ; Y = 2478571)

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

- vermiculite + chlorite : ~ 6%
- illite et/ou micas : ~ 32%
- kaolinite : ~ 62%

Echantillon 10 (T-Mz) (X = 339399 ; Y = 2486541)

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

- interstratifié smectite/chlorite + chlorite : ~ 67%
- illite et/ou micas : ~ 16%
- kaolinite : ~ 17%

Echantillon 11a (j1-2) (X = 337666 ; Y = 2492902)

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

- vermiculite + chlorite : ~ 8%
- illite et/ou micas : ~ 53%
- kaolinite : ~ 39%

Echantillon 11b (j1-2) (X = 337740 ; Y = 2492781)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 4%
- vermiculite + chlorite probable : ~ 4%
- illite et/ou micas : ~ 55%
- kaolinite : ~ 37%

Echantillon 12a (Oey) (X = 326703 ; Y = 2495872)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 6%
- vermiculite + chlorite probable : ~ 19%
- illite et/ou micas : ~ 33%
- kaolinite : ~ 42%

Echantillon 12b (Oey) (X = 327010 ; Y = 2495785)

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

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 5%
- vermiculite + chlorite : ~ 20%
- illite et/ou micas : ~ 33%
- kaolinite : ~ 42%

Echantillon 13 (Ecg) (X = 327878 ; Y = 2498664)

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

- interstratifié smectite/chlorite + chlorite : ~ 31%
- illite et/ou micas : ~ 27%
- kaolinite : ~ 42%

Echantillon 14b (c6b) (X = 330173 ; Y = 2499803)

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

- chlorite + interstratifié smectite/illite : ~ 15%

- illite et/ou micas : ~ 56%
- kaolinite : ~ 29%

Echantillon 16a (I1-4) (X = 331521 ; Y = 2499650)

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

- chlorite + interstratifié smectite/illite probable : ~ 9%
- illite et/ou micas : ~ 65%
- kaolinite : ~ 26%

Echantillon 16b (I1-4) (X = 330765 ; Y = 2499938)

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

- chlorite + interstratifié smectite/illite probable : ~ 5%
- illite et/ou micas : ~ 64%
- kaolinite : ~ 31%

Echantillon 21a (S) (X = 335667 ; Y = 2521688)

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

- vermiculite + chlorite : ~ 5%
- illite et/ou micas : ~ 53%
- kaolinite : ~ 42%

Echantillon 24 (p) (X = 311227 ; Y = 2515738)

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

- vermiculite + chlorite : ~ 20%
- illite et/ou micas : ~ 36%
- kaolinite : ~ 44%

Cet échantillon n'a pas été pris en compte, car il s'agit de la seule donnée prélevée sur le seul site d'affleurement identifié concernant cette formation. (Rappelons que cette formation couvre moins de 0,2 km²).

ESSAIS D'ADSORPTION AU BLEU DE METHYLENE (compte-rendu de laboratoire)

Origine des échantillons : RG Manche

Identification des échantillons : (Coordonnées : Lambert II étendu en mètres)

2a (X = 359748 ; Y = 2471447)	5a (X = 335143 ; Y = 2470416)	11c (X = 337798 ; Y = 2492957)	21b (X = 335446 ; Y = 2521694)
2b (X = 359764 ; Y = 2471447)	5b (X = 334415 ; Y = 2470149)	13b (X = 328008 ; Y = 2498694)	21c (X = 335502 ; Y = 22521695)
4c (X = 333376 ; Y = 2466784)	7c (X = 330684 ; Y = 2478294)	14a (X = 330259 ; Y = 2499738)	

Nature des Essais et documents de référence :

- Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par essai à la tache (norme NF P 94-068)

RESULTATS DES ANALYSES

RESULTATS DES ESSAIS D'ADSORPTION DE BLEU DE METHYLENE

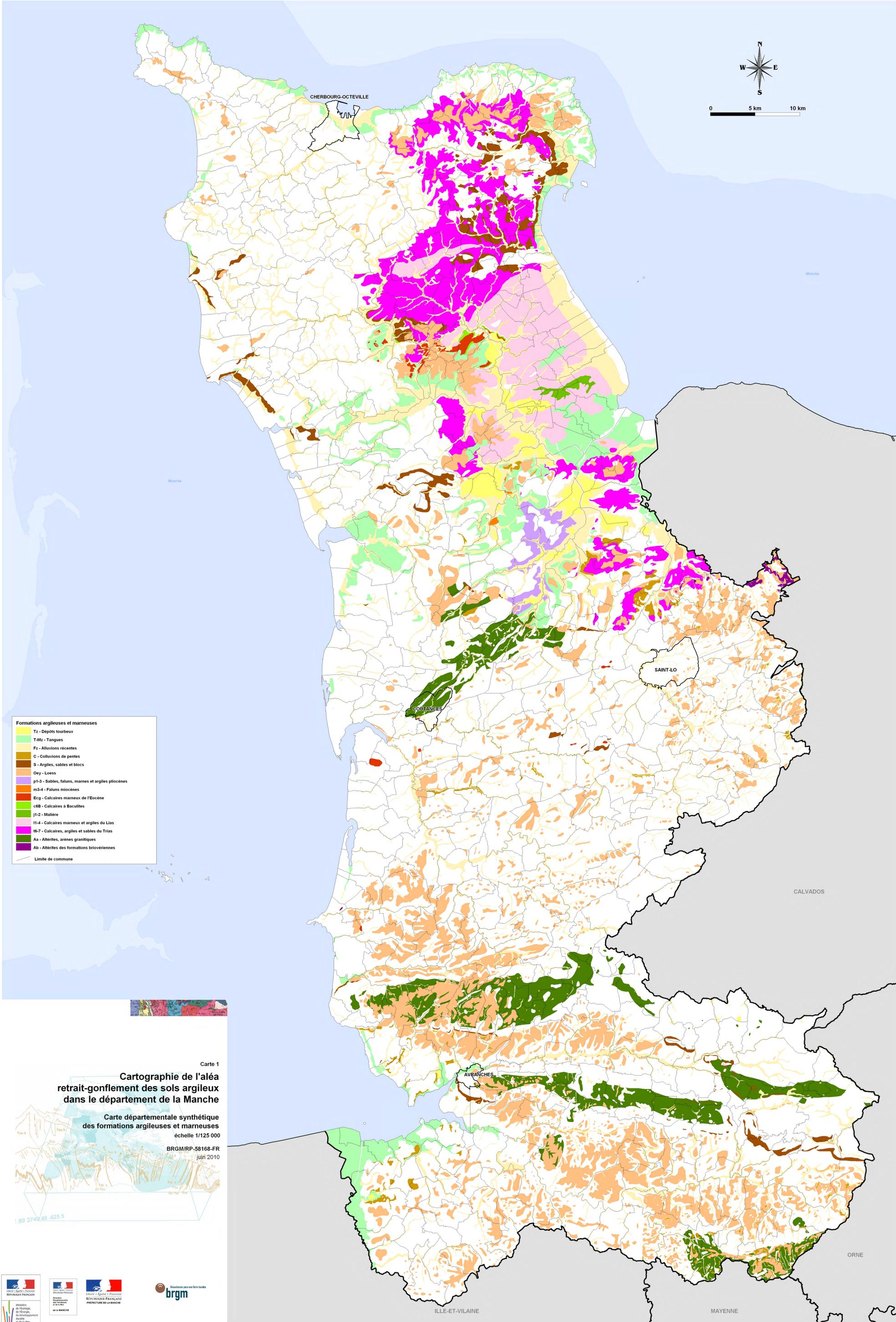
Pour les essais d'adsorption au bleu de méthylène, les échantillons sont dispersés dans de l'eau, puis laissé au repos au moins 12 heures.

Référence de l'échantillon	VBS
	En g de bleu /100g de matériau
2a (Ab)	1,79
2b (Ab)	1,83
4c (Aa)	3,49
5a (p1-3)	1,85
5b (p1-3)	1,52
7c (m3-4)	1,28
11c (j1-2M)	1,92
13b (Ecg)	1,72
14a (c6b)	2,78
21b (S)	1,15
21c (S)	1,27



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

Service géologique régional Basse-Normandie
Citis Odussée
4, avenue de Cambridge
14209 – Hérouville-Saint-Clair
Tél : 02 31 06 66 40

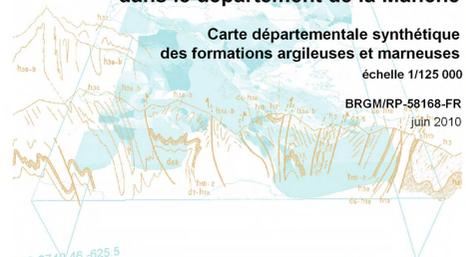


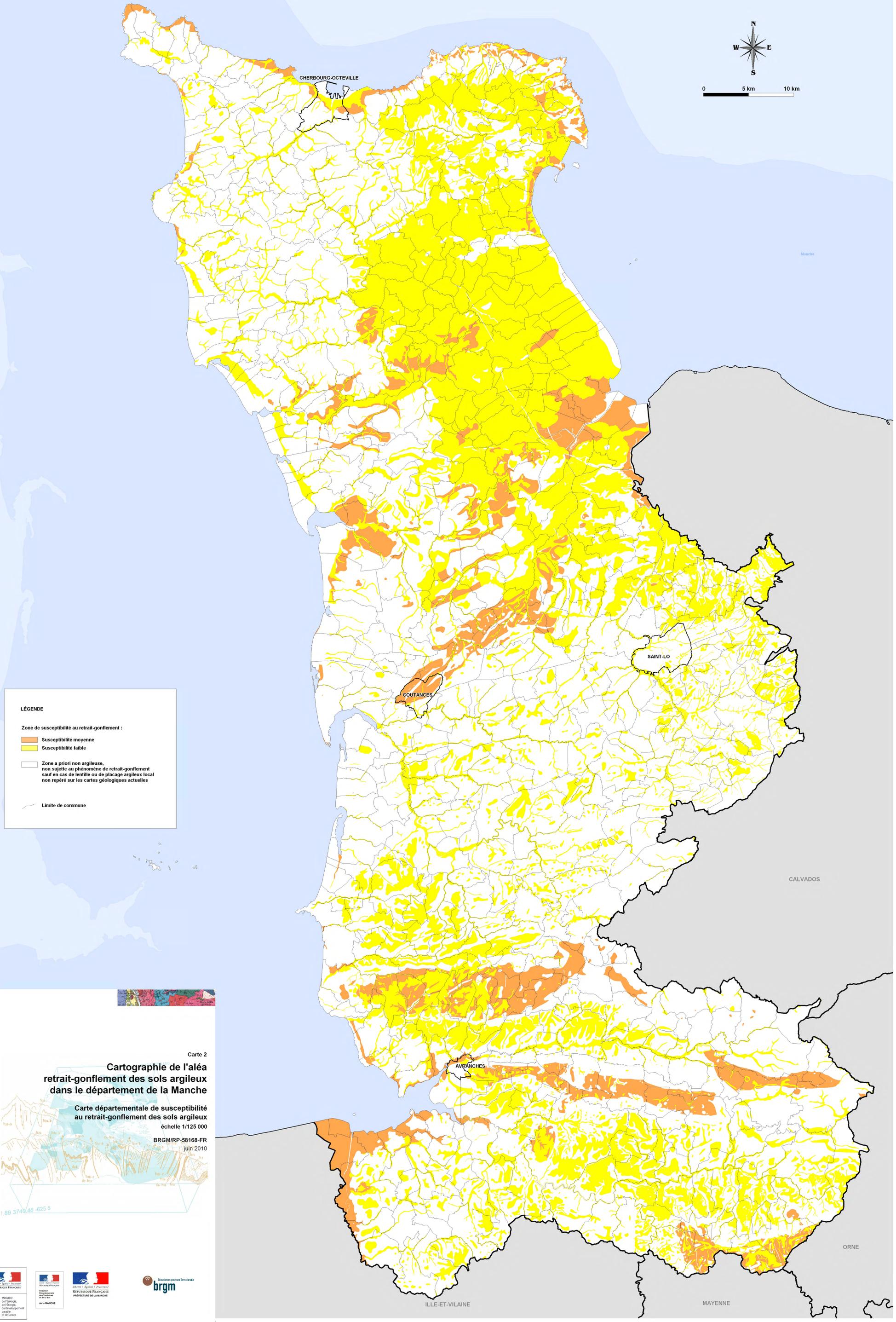
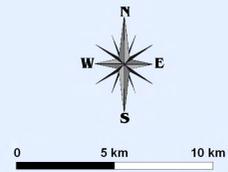
- Formations argileuses et marneuses**
- Tz - Dépôts tourbeux
 - T-Mz - Tangues
 - Fz - Alluvions récentes
 - C - Colluvions de pentes
 - S - Argiles, sables et blocs
 - Oey - Loess
 - p1-3 - Sables, faluns, marnes et argiles pliocènes
 - m3-4 - Faluns miocènes
 - Ec9 - Calcaires marneux de l'Eocène
 - c8B - Calcaires à Baculites
 - j1-2 - Mâlière
 - I1-4 - Calcaires marneux et argiles du Lias
 - t6-7 - Calcaires, argiles et sables du Trias
 - Aa - Altérites, arènes granitiques
 - Ab - Altérites des formations briovériennes
- Limite de commune

Carte 1
**Cartographie de l'aléa
 retrait-gonflement des sols argileux
 dans le département de la Manche**

Carte départementale synthétique
 des formations argileuses et marneuses
 échelle 1/125 000

BRGM/RP-58168-FR
 juin 2010





LÉGENDE

Zone de susceptibilité au retrait-gonflement :

- Susceptibilité moyenne
- Susceptibilité faible

Zone a priori non argileuse, non sujette au phénomène de retrait-gonflement sauf en cas de lentille ou de placage argileux local non repéré sur les cartes géologiques actuelles

Limite de commune

Carte 2

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

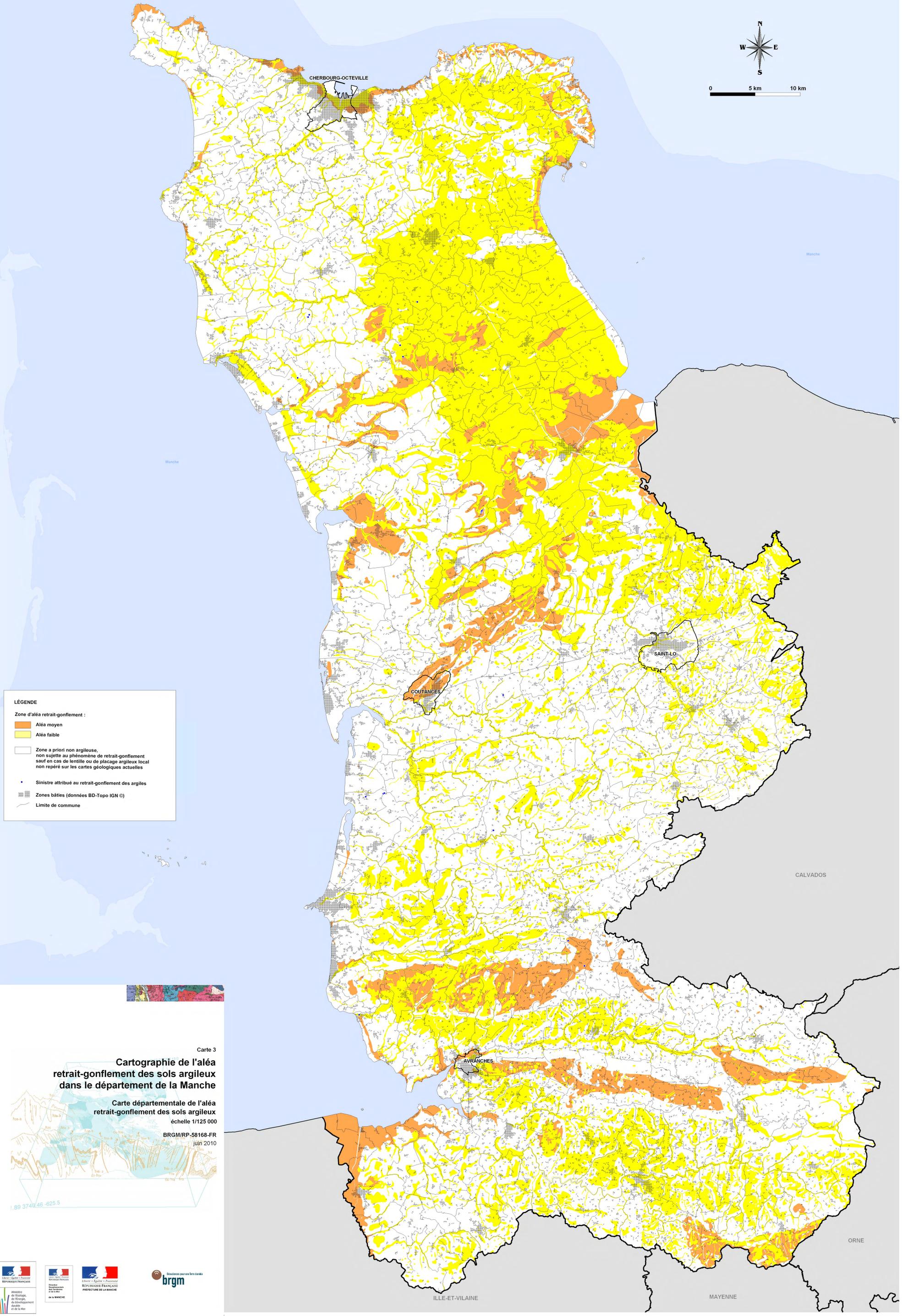
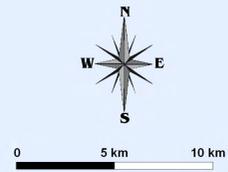
Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux

échelle 1/125 000

BRGM/RP-58168-FR

juin 2010

1 89 3749 46 -625 5



LÉGENDE

Zone d'aléa retrait-gonflement :

- Aléa moyen
- Aléa faible

Zone a priori non argileuse, non sujette au phénomène de retrait-gonflement sauf en cas de ténacité ou de placage argileux local non repéré sur les cartes géologiques actuelles

Sinistre attribué au retrait-gonflement des argiles

Zones bâties (données BD-Topo IGN ©)

Limite de commune

Carte 3

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

Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux

échelle 1/125 000

BRGM/RP-58168-FR

juin 2010

1 89 3740 46 -625 5

Ministère de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer

Préfecture de la Manche

BRGM