

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

Rapport final

BRGM/RP-56594-FR
Septembre 2008

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 07RISD11 du BRGM

A. LERECULEY, M. DURIEZ avec la collaboration de M. IMBAULT

Vérificateur :

Nom : Marc Vincent

Date : 17/09/2008

Signature :



Approbateur :

Nom : Jean-François Pasquet

Date : 18/09/2008

Signature :



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



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

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

LERECULEY A., DURIEZ M. 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, 115 p., 26 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

© BRGM, 2008, 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 plus récemment au cours de l'été 2003.

L'Orne fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 225 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés dans le cadre de la présente étude. A la date du 21 août 2008, 18 communes sur les 507 que compte le département ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2003, soit un taux de sinistralité de 3,5%. Par ailleurs, d'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance actualisées en novembre 2006, l'Orne est située en 70^e position des départements français en termes de coût d'indemnisation pour ce phénomène avec un montant cumulé d'indemnisation évalué à 700 000 euros.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département de l'Orne, 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 concerna 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 Aménagement et Risques Naturels 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 national de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture de l'Orne.

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

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

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

- 2,41 % de la superficie départementale est ainsi classée en aléa fort ;
- 24,18 % est classée en aléa moyen ;
- 47,15 % est classée en aléa faible ;
- 26,26 % correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

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

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux du département de l'Orne, 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.....	18
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations	19
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement	19
2.2.4. Carte de susceptibilité	20
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres	20
2.2.6. Détermination des densités de sinistres.....	20
2.2.7. Carte d'aléa	21
3. Présentation du département de l'Orne.....	23
3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE	23
3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE	24
3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DE L'ORNE.....	24
3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE	26
4. Identification et cartographie des formations géologiques à dominante argilo-marneuse.....	27
4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS	27
4.1.1. Méthode utilisée	27
4.1.2. Établissement de la carte des formations à composante argileuse	29
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL.....	29
4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS A COMPOSANTE ARGILEUSE.....	32
4.3.1. Formations superficielles quaternaires.....	32
4.3.2. Formations tertiaires.....	36
4.3.3. Formations du Mésozoïque.....	37
4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES.....	41

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues	43
5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION.....	43
5.1.1. Critères retenus	43
5.1.2. Méthode de classification	43
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE	44
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème	44
5.2.2. Caractérisation lithologique	45
5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE	46
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	46
5.3.2. Caractérisation minéralogique	46
5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE	52
5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème	52
5.4.2. Teneur en eau (Wn).....	53
5.4.3. Indice de plasticité (I_p)	54
5.4.4. Essais au bleu de méthylène (VB).....	54
5.4.5. Retrait linéaire (RI).....	55
5.4.6. Caractérisation géotechnique	55
6. Élaboration de la carte de susceptibilité	59
6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ	59
6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ	60
6.3. SYNTHÈSE	60
7. Analyse de la sinistralité.....	63
7.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE	63
7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES	64
7.2.1. Localisation des communes sinistrées	64
7.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	65
7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES	67
7.3.1. Collecte des données	67
7.3.2. Bilan.....	67
7.3.3. Cas particulier des communes reconnues et état de catastrophe naturelle	68
7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE	69
7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation	69
7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres.....	73

8. Carte d'aléa	77
8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA.....	77
8.2. CARTE D'ALÉA	78
9. Conclusion	81
10. Bibliographie.....	83

Liste des illustrations

Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche	13
Illustration 2 – Carte de présentation du département de l'Orne (BD Carto)	24
Illustration 3 : Caractéristiques climatiques du département de l'Orne (station Météo France d'Alençon)	26
Illustration 4 – Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 de l'Orne	28
Illustration 5 – Liste des cartes géologiques 1/50 000 ^e du département de l'Orne	28
Illustration 6 – Carte géologique simplifiée (échelle du millionième) de l'Orne	30
Illustration 7 – Barème du critère lithologique	44
Illustration 8 : Tableau de caractérisation lithologique des formations géologiques de l'Orne	45
Illustration 9 – Barème du critère minéralogique	46
Illustration 10 - Notes minéralogiques affectées aux formations argileuses de l'Orne	47
Illustration 11 – Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité	54
Illustration 12 – Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu	54
Illustration 13 – Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire	55
Illustration 14 - Tableau synthétique des données géotechniques de l'Orne : ()données issues des départements voisins	57
Illustration 15 – Susceptibilité des formations argileuses retenues	59
Illustration 16 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux	62
Illustration 17 – Arrêtés interministériels et occurrences	65
Illustration 18 – Etat des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés par commune	66
Illustration 19 – Comparaison des données de sinistres	70
Illustration 20 – Répartition géologique des sinistres recensés et localisés	71
Illustration 21 – Carte des zones urbanisées sur le département de l'Orne	72
Illustration 22 – Taux d'urbanisation et nombre de sinistres par formation	73
Illustration 23 – Sinistralité (densité de sinistres par formation argileuse, NS = sinistralité « non-significative »)	75
Illustration 24 – Niveau d'aléa des formations (NS pour « non-significatif »)	78
Illustration 25 – Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa	79
Illustration 26 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement de l'Orne	80

Liste des annexes

Annexe 1 – Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles	91
Annexe 2 – Sinistres	95
Annexe 3 – Liste et coordonnées des organismes ayant fourni des données géotechniques et/ou minéralogiques.....	105
Annexe 4 – Résultats d'analyses spécifiques des 23 échantillons prélevés dans le département de l'Orne.....	109

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

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

1. Introduction

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

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

Sous un climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont souvent déconsolidées, humidifiées et ont épuisé leur potentiel de gonflement à l'état naturel. Mais elles sont dans un état éloigné de leur limite de retrait (teneur en eau à partir de laquelle toute diminution de cette teneur provoquera une fissuration du matériau argileux par dessiccation) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue de façon notable. Dans ce contexte, les sinistres surviennent donc surtout lorsqu'une période de sécheresse intense ou prolongée provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol, soumise à évapotranspiration.

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle. Depuis l'année 1989 (début d'application de cette procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et la réhydratation des sols), plus de 7 500 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle à ce titre. A fin 2006, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France depuis 1989 au titre du régime des catastrophes naturelles, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 4,3 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation derrière les inondations.

La région Basse-Normandie est concernée par ce phénomène, notamment le département de l'Orne pour lequel les coûts cumulés d'indemnisation par le régime des catastrophes naturelles pour des sinistres de ce type ont été évalués à 700 000 € par la CCR (données de novembre 2006). Ce département, d'une superficie de 6 151 km², compte 293 000 habitants. A la date du 21 août 2008, 18 des 507 communes y ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de mai 1989 à septembre 2003, soit un taux de sinistralité de 3,5%.

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 l'Aménagement

du Territoire (MEEDDAT) a souhaité réaliser une carte de l'aléa retrait-gonflement dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène. Cette étude a été confiée au BRGM qui, dans le cadre de sa mission de service public sur les risques naturels, a élaboré une méthodologie de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles à l'échelle départementale. L'intérêt d'une telle étude est multiple :

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

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 quarantaine de départements (les plus touchés par le phénomène) étant déjà couverts par de telles cartes d'aléa à ce jour.

2. Méthodologie

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

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

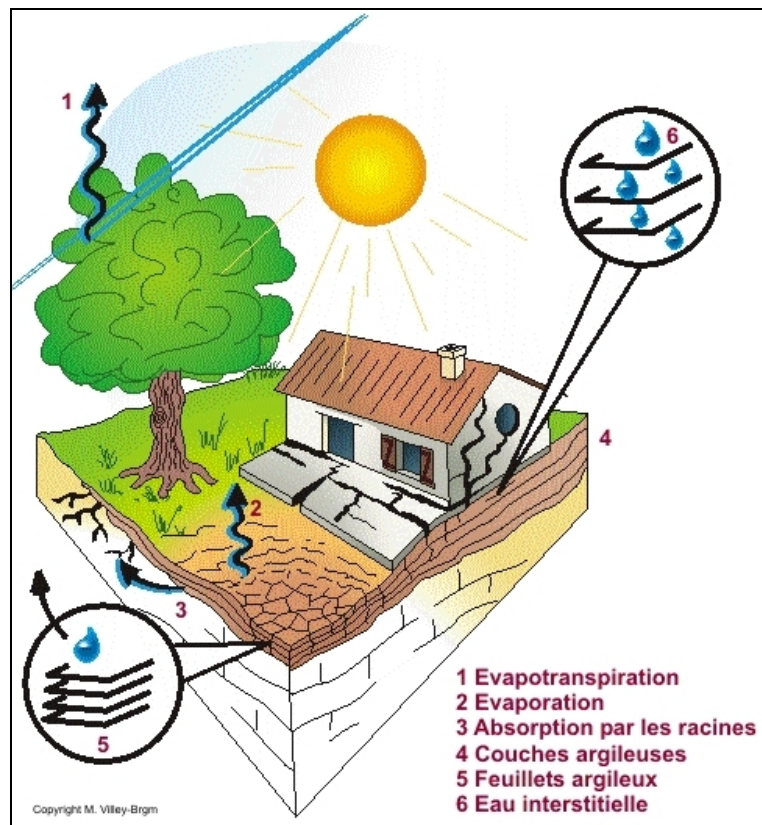


Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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

2.1.1. Facteurs de prédisposition

2.1.1.1. *Nature du sol*

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

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

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

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

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

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

Un facteur prépondérant qui détermine le degré de susceptibilité d'une formation argileuse au phénomène de retrait-gonflement, est sa composition minéralogique. Une

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

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

2.1.1.2. Contexte hydrogéologique

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

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

2.1.1.3. Géomorphologie

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

La présence d'une pente favorise le ruissellement et le drainage par phénomène gravitaire, tandis qu'une morphologie plate sera d'avantage susceptible de recueillir des eaux stagnantes qui ralentiront la dessiccation du sol. Par ailleurs, un terrain en 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 peut consommer jusqu'à 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 le département de l'Orne 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 (Vincent *et al.*, 2007).

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 laissaient supposer des comportements semblables vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cela a

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

2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations

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

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

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de rapports d'expertise de sinistres et d'investigations géotechniques avant construction, réalisés par différents bureaux d'études et auxquels le BRGM a pu avoir accès dans le cadre de la présente étude.

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

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

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

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

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

Enfin, le facteur géomorphologique n'a pas été non plus pris en compte dans la cartographie, même s'il s'agit d'un élément pouvant conditionner la survenance d'un sinistre, dans la mesure où des défauts de réalisation et de conception de fondations sont plus fréquents sur des terrains en pente et s'ajoutent à de fortes variations de

teneur en eau entre l'aval et l'amont de la construction. Ainsi, il a été jugé préférable d'établir la cartographie en partant des contours des formations lithologiques plutôt que de se baser sur un découpage en unités géomorphologiques homogènes.

2.2.4. Carte de susceptibilité

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

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

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

Pour ce faire, un recensement des sinistres sécheresse a été effectué auprès de l'ensemble des 507 communes du département par le biais d'un questionnaire d'enquête. Rappelons que 18 de ces communes ont été, à ce jour, concernées par au moins un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2003.

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

Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 225 sinistres qui ont été recensés et tous ont été localisés sur les cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ils sont répartis dans 48 communes et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département de l'Orne.

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 l'Orne

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

L'Orne est situé en région Basse-Normandie dans le nord-ouest de la France. Ce département a une superficie de 6 151 km². Il est bordé au nord par le département du Calvados, à l'ouest, par la Manche, au sud, par la Mayenne et la Sarthe et à l'est par l'Eure et l'Eure-et-Loir (Illustration 2).

La population de l'Orne comporte environ 293 000 habitants, soit une densité de 48 habitants au km². Le département est découpé en 3 arrondissements (Alençon, Argentan, Mortagne-au-Perche) et comprend 507 communes. Le département de l'Orne est essentiellement rural avec une densité de population bien inférieure à la moyenne nationale qui est d'environ 95 habitants au km². Les zones les plus densément peuplées sont situées autour des villes d'Alençon, Argentan et Flers.

Avec près de 105 000 ha, la forêt tient une place de choix dans la géographie et l'activité économique de l'Orne. Deux parcs naturels régionaux (le Perche et Normandie-Maine) contribuent largement à la valorisation du patrimoine naturel et à l'essor de l'activité touristique du département. L'ouest du département appartient au bocage normand avec des villes comme Flers, Domfront ou La Ferté-Macé. Les plaines d'Argentan et d'Alençon occupent le centre du département. Au nord-est, le Pays d'Auge est la continuité de la cuesta du Calvados. Enfin au sud-est, la forêt et les bois s'étendent pour constituer le Perche.

L'Orne prend sa source aux environs d'Aunon-sur-Orne au nord-est de la forêt d'Ecouves, près de Sées, à une altitude de 240 m, et coule vers le nord-ouest.

Le point culminant de l'Orne est le Signal d'Ecouves à 417 m d'altitude.

Il existe cinq pays dans l'Orne : le Pays d'Alençon (au centre sud), le Pays du Perche (au sud-est), le Pays d'Ouche (au nord-est), le Pays d'Argentan et d'Auge Ornais (au centre nord) et le Pays du Bocage (à l'ouest).

La cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux a déjà été réalisée dans les départements limitrophes du Calvados (Duriez et Lereculey, 2008), de l'Eure (Duriez et Lereculey, 2008), de l'Eure-et-Loir (Bouchut *et al.*, 2003) et de la Sarthe (Le Guern et Javanaud, 2007). Certaines des données récupérées durant ces études ont permis de compléter les données de base pour la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux de l'Orne. Enfin, le programme est en cours dans les autres départements voisins de la Manche et de la Mayenne.

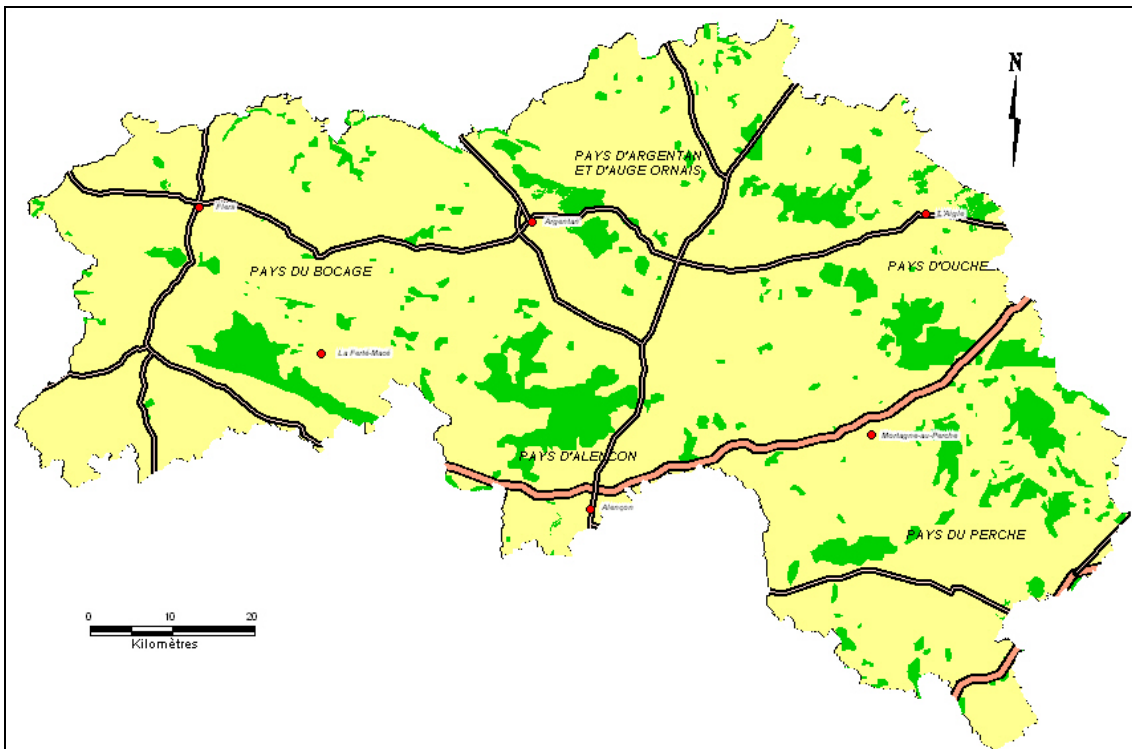


Illustration 2 – Carte de présentation du département de l'Orne (BD Carto)

3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le département de l'Orne est marqué par un réseau hydrographique très hétérogène selon les secteurs. A l'ouest, le réseau hydrographique est très développé avec un chevelu bien marqué, dirigé vers l'ouest. Cette configuration est due au substrat sur lequel les cours d'eau se développent. Le socle du Massif Armoricaïn est peu propice au développement de réseau d'eaux souterraines, si bien que les écoulements se font essentiellement en surface, sauf ponctuellement à l'occasion d'une zone de fracturation plus développée qui facilite les infiltrations en profondeur. Dans le centre du département, les écoulements sont dirigés sud-nord ou nord-sud de part et d'autre du massif de la forêt d'Ecouves. Sur les plateaux crayeux à l'est, le réseau hydrographique est moins développé et est plus souvent géré par l'activité karstique.

3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DE L'ORNE

De la même manière que pour les écoulements de surface, les facteurs lithologiques et structuraux conditionnent l'hydrogéologie de l'Orne. La série stratigraphique montre une alternance de terrains perméables et imperméables.

Le sous-sol du département est formé par des terrains du socle armoricaïn et des terrains sédimentaires d'âge triasique, jurassique et crétacé. La nature stratigraphique des terrains détermine plusieurs types de réservoirs d'eau :

- Les aquifères calcaires à circulations karstiques et de fissures,
- Les aquifères de sable, conglomérats très perméables localement,

- Les aquifères de socle essentiellement fissurés,

Les calcaires, les grès et les sables permettent l'infiltration et constituent les aquifères ; les marnes et les argiles forment des écrans étanches ou peu perméables qui forment le mur et parfois le toit des aquifères.

Le sens général des circulations souterraines suit sensiblement le pendage des couches (essentiellement du sud-ouest vers le nord-est), mais le jeu de failles introduit localement des irrégularités dans l'écoulement ; il en est de même des circulations karstiques qui peuvent engendrer des anomalies.

Les nappes d'eaux principales dans l'Orne sont les suivantes :

- **le domaine de socle**, qui renferme des aquifères libres généralement de faible extension, à productivité réduite (hors grands accidents) et sans protection superficielle ;
- **la nappe du Trias**, qui se retrouve dans les premières assises sédimentaires à l'échelle régionale. Il s'agit de niveaux de sables et galets d'âge triasique. Les médiocres conditions d'affleurement de ces formations et le découpage par la tectonique ont morcelé ce réservoir en autant d'unités à géométrie limitée et donc de faible emmagasinement ;
- **la nappe du Lias**, qui se développe dans des séquences principalement carbonatées, entrecoupées par d'autres séquences marneuses notables. Les surfaces d'affleurement sont restreintes et cette nappe n'est que rarement exploitée en captage ;
- **la nappe (multi-couches) du Bajocien**, constituée des niveaux calcaires du Toarcien supérieur, de l'Aalénien et du Bajocien (Bessin, Suisse Normande). C'est un des principaux aquifères du département, fortement influencé par la fissuration avec de nombreux réseaux karstiques développés près des vallées. C'est une nappe libre vers l'ouest et qui devient captive sous les marnes. Elle est localement très productive (jusqu'à 100 m³/h) ;
- **la nappe (multi-couches) du Bathonien**, composée de niveaux calcaires multicouches entrecoupés de « caillasses » argileuses qui la cloisonnent partiellement. La productivité et l'écoulement de la nappe sont étroitement liés au développement du réseau karstique (fissures), parfois très important en zones de vallées ou de vallées sèches avec des captages de très grande productivité, allant jusqu'à 500 m³/h (vallée de l'Orne entre Alménêches et Argentan) ;
- **les nappes de l'Oxfordien**, contenues dans des couches de sable associées aux calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur. Elles représentent plusieurs véritables aquifères poreux régulièrement productifs ;
- **la nappe du Crétacé**, qui correspond à l'aquifère de la craie du Cénomaniens, moyennement fissurée, qui abrite une nappe libre perchée dont la glauconie de base constitue le mur. Cette nappe est perchée sur les hauteurs des plateaux du Pays d'Auge. Elle est à l'origine de l'apparition de nombreuses sources au contact avec la glauconie sous-jacente notamment. L'exploitation se fait généralement en bordure des vallées avec des débits atteignant jusqu'à 100 m³/h ;

- o **les nappes des alluvions anciennes et récentes**, contenues dans les alluvions des principales vallées du département et présentant généralement une bonne productivité.

3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat de l'Orne constitue une transition entre le climat océanique de la Bretagne et le climat océanique dégradé du bassin parisien.

La région s'étendant du Bocage à la forêt d'Ecouves est la plus arrosée, les températures y sont relativement douces du fait de l'effet de la latitude. Sur les hautes terres du Perche et des pays d'Auge et d'Ouche ainsi que sur les reliefs de la forêt de Bellême, la pluviométrie est relativement abondante sans toutefois atteindre les valeurs du Bocage. Ces régions bénéficient d'une alimentation maritime douce et humide avec des températures assez fraîches l'été. Enfin, les plaines d'Alençon et d'Argentan présentent une pluviométrie peu importante et une amplitude thermique prononcée qui s'accroît lorsque l'on se rapproche des frontières sud-est du département. Le département est soumis à une dominance des vents venus de l'ouest. La pluviométrie départementale est comprise entre 800 mm dans les plaines d'Alençon et d'Argentan et 1100 mm dans le Bocage. Plus à l'est, les collines du Pays d'Auge sont également bien arrosées avec des hauteurs annuelles atteignant 900 mm.

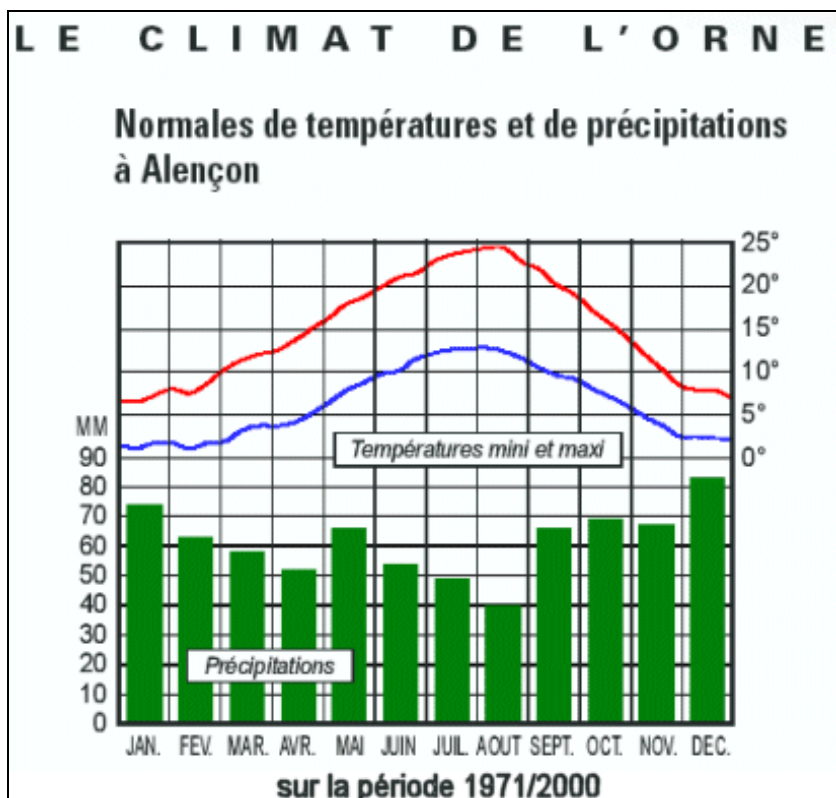


Illustration 3 : Caractéristiques climatiques du département de l'Orne (station Météo France d'Alençon)

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

4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS

4.1.1. Méthode utilisée

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

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

Cette cartographie a été réalisée à partir de la carte départementale géologique harmonisée (Vernhet et Janjou, 2002) et des cartes géologiques du BRGM à l'échelle 1/50 000, ce qui constitue la partie prépondérante des données de base prises en compte pour la réalisation de cette synthèse cartographique. La majorité des cartes géologiques à 1/50 000 a été réalisée, dans le département de l'Orne entre les années 1980 et 1990, même si certaines sont plus récentes en particulier les feuilles d'Authon-du-Perche et La Loupe, qui ont été éditées dans les années 2000. Ces différentes cartes ne répondent pas aux mêmes objectifs cartographiques. Les formations superficielles, de grande importance pour la présente étude, ont été davantage prises en compte dans les périodes récentes, les travaux anciens étant généralement axés davantage 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 de préciser la connaissance de la lithologie et de la minéralogie des formations.

L'assemblage (Illustration 4) des cartes géologiques comporte tout ou partie des 26 coupures suivantes : Livarot (147), Bernay (148), Vire (174), Condé-sur-Noireau (175), Falaise (176), Vimoutiers (177), Rugles (178), Breteuil-sur-Iton (179), Mortain (210), Flers-de-l'Orne (211), Argentan (212), Sées (213), L'Aigle (214), Verneuil (215), Landivy (248), Domfront (249), La Ferté-Macé (250), Alençon (251), Mortagne-au-Perche (252), La Loupe (253), Villaines-la-Juhel (286), Fresnay-sur-Sarthe (287), Mamers (288), Nogent-le-Rotrou (289), La Ferté-Bernard (323), Authon-du-Perche (324). La référence de ces cartes est présentée dans le tableau ci-après (Illustration 5).

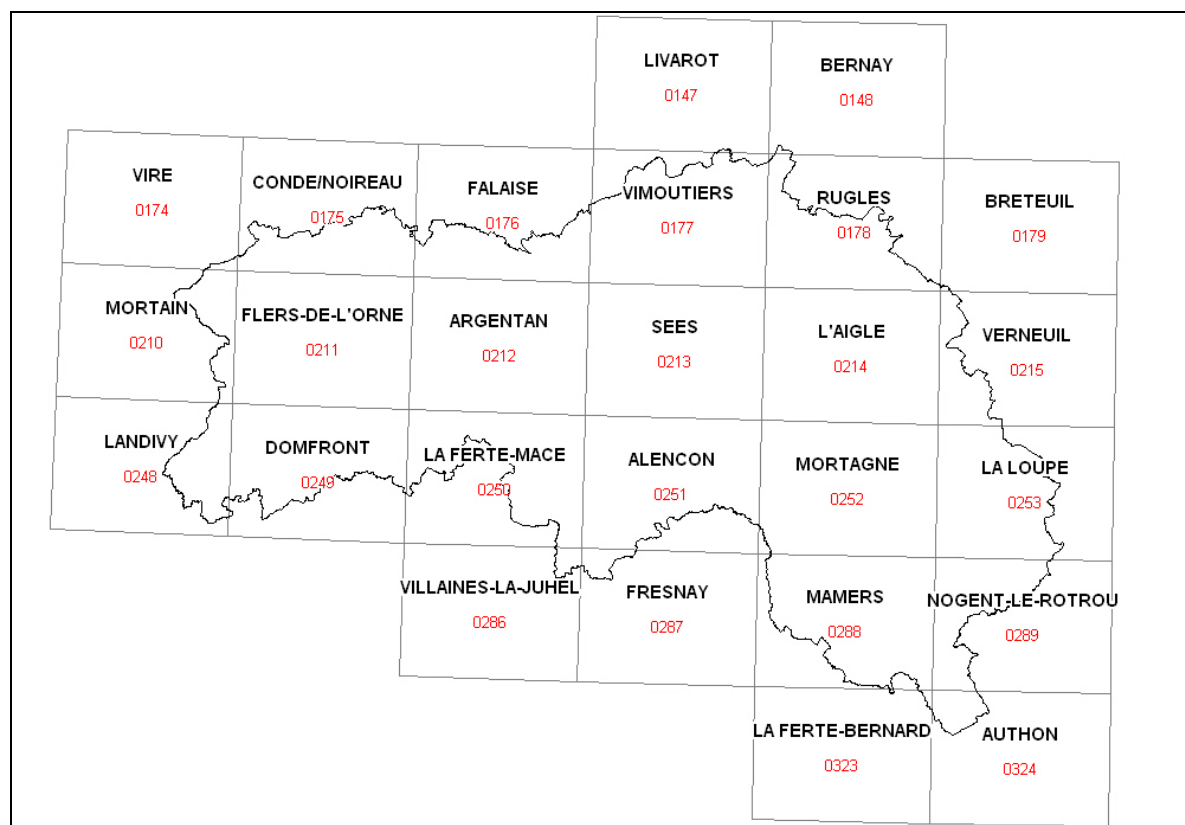


Illustration 4 – Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 de l'Orne

Numéro de carte	Nom de la carte	Nom des auteurs	Année de parution
147	Livarot	F. Ménillet et al.	1999
148	Bernay	G. Kuntz et al.	1985
174	Vire	L. Minoux, D. Janjou, C. Langevin	1987
175	Condé-sur-Noireau	F. Doré, L. Dupret	1993
176	Falaise	P. Gigot, L. Dupret, J. Le Gall	1999
177	Vimoutiers	F. Ménillet, M. Rioult	1994
178	Rugles	G. Kuntz, M. Rioult	1986
179	Breteuil-sur-Iton	G. Kuntz	1982
210	Mortain	F. Ménillet, F. Trautmann	1987
211	Flers-de-l'Orne	A. Bambier, M. Beurrier, F. Doré, C. Enouf, G. Kuntz, C. Langevin, J.-P. Lautridou, M. Rioult, G. Verron, M. Villey	1983
212	Argentan	G. Kuntz, F. Ménillet, J. Le Gall, M. Rioult	1989
213	Sées	F. Ménillet, J. Gérard	1997
214	L'Aigle	F. Ménillet, P. Lebret, P. Béguin, F. Charnet, B. Hérard, B. Lemoine, C. Perron	1998
215	Verneuil	P. Lebret, F. Ménillet, P. Béguin, F. Charnet, D. Fauconnier, S. Gardin, J.C. Koeniguer, C. Monciardini	1996
248	Landivy	Y. Vernhet, P. Chèvremont, C. Langevin	1997
249	Domfront	Y. Vernhet, F. Doré, J.P. Lautridou, H. Talbo, G. Verron, R. Dhellemmes, C. Enouf	1995
250	La Ferté-Macé	F. Doré, L. Dupret, J. Le Gall, F. Chalot-Prat	1977
251	Alençon	C. Dassibat, F. Doré, G. Kuntz, J. Le Gall, M. Rioult, G. Verron	1982
252	Mortagne-au-Perche	G. Moguedet, F. Charnet, F. Gresselin, B. Lemoine	1998
253	La Loupe	G. Moguedet, Y. Marchand, V. Masson, H. Papin, S. Vauthier, F. Charnet, B. Lemoine	2000
286	Villaines-la-Juhel	F. Doré, L. Dupret, J. Le Gall, A. Lebert	1987
287	Fresnay-sur-Sarthe	P. Juignet, A. Lebert, J. Le Gall	1984
288	Mamers	P. Juignet, A. Lebert	1986
289	Nogent-le-Rotrou	M. Isambert, A. Coutelle	1989
323	La Ferté-Bernard	P. Juignet, A. Lebert	1987
324	Authon-du-Perche	M.D. Courme, M. Isambert, P. Maget	2003

Illustration 5 – Liste des cartes géologiques 1/50 000^e du département de l'Orne

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 26 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 *Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires (j4-5M)* qui présentent un faciès argilo-marneux sur la majeure partie de leur épaisseur. Mais, dans de nombreux cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département de l'Orne 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 (*Gaize à cherts, Craie du Cénomaniens et du Turonien* par exemple), mais qui, du fait de leur altération, présentent en de nombreux secteurs des faciès argileux, notamment dans les premiers mètres de sol. Aussi, il a été décidé de considérer l'ensemble de ces formations comme argileuses.

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

La carte des formations argileuses de l'Orne ici présentée 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 (Illustration 6). L'histoire géologique de la région (et par conséquent celle du département) correspond à celle de la bordure orientale du Bassin de Paris.

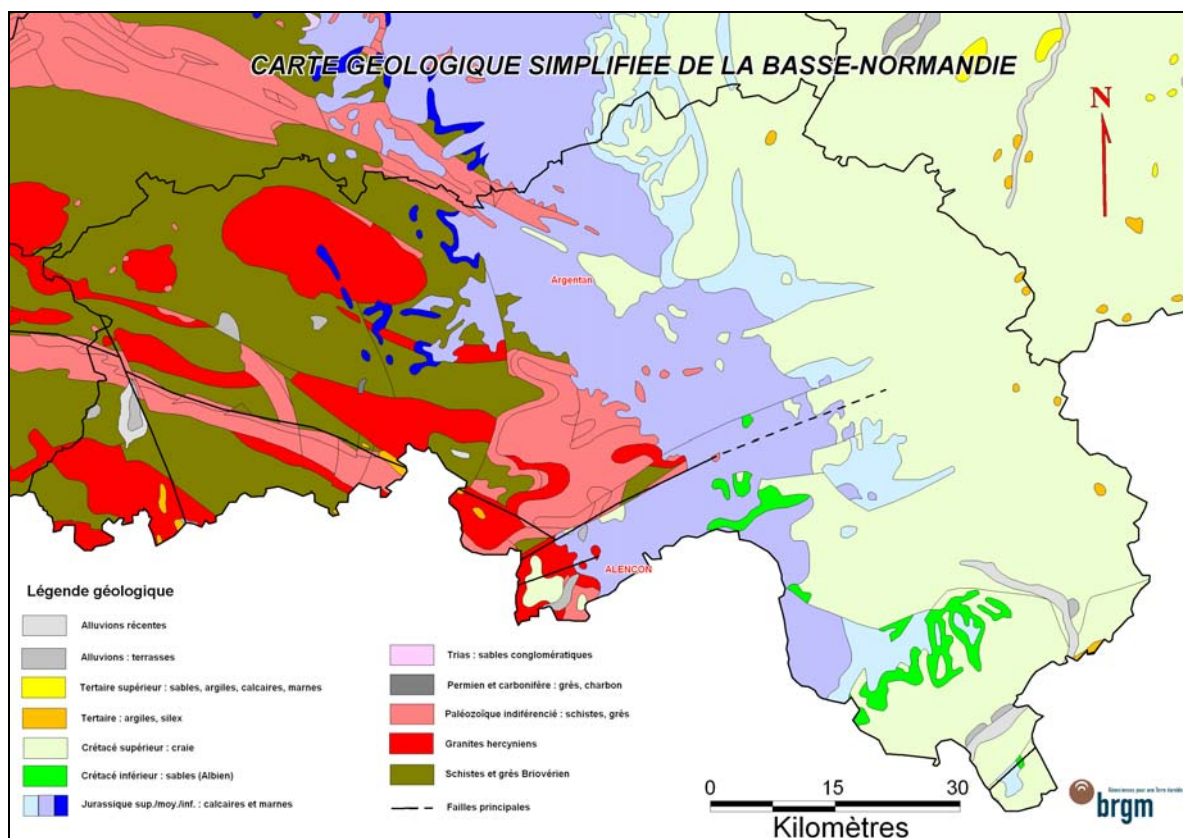


Illustration 6 – Carte géologique simplifiée (échelle du millionième) de l'Orne

Le contexte morphologique général du département de l'Orne (Illustration 2) et la nature géologique de son sous-sol (illustration 6) sont étroitement liés. L'Orne est localisé à la limite de deux grands ensembles géologiques qui influencent largement la morphologie et les paysages :

- le Massif Armoricain, à l'ouest/sud-ouest du département, composé de terrains plissés précambriens et paléozoïques et caractérisé par des paysages vallonnés de bocage ;
- la bordure occidentale du Bassin Parisien, dans les parties centrale et orientale du département, composée de terrains carbonatés jurassiques et crétacés et correspondant à un ensemble de plaines et de plateaux.

Dans le détail, on distingue d'ouest en est et de bas en haut dans la stratigraphie, les terrains suivants (Illustration 6) :

- le Briovérien

Les terrains du Briovérien affleurent, dans le département de l'Orne, dans une large partie ouest du département. Les formations protérozoïques sont constituées de séries successives détritiques, d'épaisseur variable, de grès, grauweekes et siltites. Ces terrains ont été déformés au cours de l'orogénèse cadomienne (540-600 Ma) et affectés à l'échelle régionale par un métamorphisme de faible intensité mais plus localement par un métamorphisme de contact liés à la mise en place de granitoïdes cadomiens syn- à tardi-orogéniques. Localement, ces terrains peuvent renfermer des

filons qui ont été exploités depuis fort longtemps, de manière artisanale. Ces terrains sont généralement recouverts par une couche d'altération, sous forme d'arène pour les secteurs granitiques.

- Le Paléozoïque

La couverture paléozoïque est discordante sur le socle cadomien. Elle est composée de terrains dont l'âge de mise en place se situe entre le Cambrien et le début du Dévonien. Le Cambrien débute par des sédiments terrigènes grossiers (conglomérats) et localement carbonatés (calcaires), puis par une alternance de grès et schistes. La transgression ordovicienne envahit toute la région et se traduit par le dépôt de sédiments terrigènes silto-conglomératiques. Au Silurien, se développent les ampélites noires à matière organique et graptolites, marqueurs de transgression. Au Dévonien, les terrains sont essentiellement schisteux et quartzeux ou gréseux. Les terrains paléozoïques affleurent essentiellement au centre-sud du département (au nord d'Alençon), au nord (secteur de Falaise), ainsi qu'à l'est (sur une ligne Bagnoles-de-l'Orne – Domfront).

- Le Mésozoïque

Le Mésozoïque affleure dans la partie orientale du département de l'Orne, en limite avec les départements du Calvados, de l'Eure, de l'Eure-et-Loir et de la Sarthe.

Les terrains du Trias constituent la base du Mésozoïque et sont essentiellement localisés au nord du département près de la commune de Nécy. Cette formation fluviatile détritique composée d'argiles panachées grises et rouges, de sables et de conglomérats peut présenter des variations latérales de faciès très rapides.

Le Jurassique Inférieur (Lias) est caractérisé par des faciès détritiques conglomératiques (sables et grès) puis par des calcaires à bélemnites. A la fin du Lias, les Argiles à Poisson surmontent les argiles blanches grisâtres. Le Lias affleure dans les secteurs de Briouze et du Houlme.

Au Jurassique Moyen (Dogger), la sédimentation carbonatée bajo-bathonienne caractérise des milieux internes, les faciès s'organisant en séquences décamétriques soulignées par des discontinuités sédimentaires. Les calcaires bajo-bathoniens parfois à niveaux plus marneux occupent une large bande centrale nord-ouest / sud-est. Plus à l'est, les reliefs mous du Pays d'Auge et d'Ouche, occupés par des herbages généralement humides, sont constitués des terrains argileux et marneux du Jurassique moyen et supérieur. L'approfondissement progressif au Callovien inférieur marque une sédimentation plus fine avec des faciès marneux et argilo-silteux. Son extension géographique est plus réduite que celle du Dogger et se situe sur une plus mince bande centrale nord-sud du département.

Au début du Crétacé, la mer envahit peu à peu la Normandie par l'est et, dans le département de l'Orne, ce n'est qu'à l'Aptien supérieur que les premiers dépôts du Crétacé se font. La transgression débute par des sables ferrugineux puis par la glauconie de base, les sables verts glauconieux et des marnes glauconieuses. Au fur et à mesure de la transgression, les formations s'appauvrissent en argile, glauconie et quartz à la faveur de carbonate de calcium pour former les faciès crayeux de la craie cénomaniennne et turonienne. Le relief particulier du bassin mancellien reçoit des apports détritiques armoricains de sables, d'abord grossiers puis plus fins, qui

s'intercalent dans les dépôts crayeux du Cénomaniens et du Turonien. Sur la bordure orientale du département, la présence d'une cuesta marque morphologiquement le passage des terrains argileux du Jurassique supérieur à la craie. L'ensemble de cette zone crayeuse est recouvert d'un manteau d'altérites à silex dont l'épaisseur passe de quelques mètres en bordure de cuesta à plus de 15-20 m vers l'est.

- Le Tertiaire

Le Tertiaire affleure très peu dans l'Orne où on le retrouve essentiellement dans les environs de Céaucé sous forme de petits bassins tertiaires, dans le sud-ouest du département. Il se dessine deux ensembles : l'un composé de sables, cailloutis, argiles et calcaires de type laguno-lacustres daté du Ludien supérieur, l'autre composé de sables et graviers, surmontés par des dalles de grès silicifiés.

- Le Quaternaire

L'ensemble de ces formations a subi les glaciations successives. Les plateaux ont été recouverts par des limons pendant les périodes froides et les vallées ont été creusées au fur et à mesure de l'enfouissement des rivières, laissant des terrasses fluviales successives. Lors des périodes de réchauffement, la glace fondant, les limons ont été remaniés pour être colluvionnés dans les vallées. Une partie du territoire est recouverte par une couche de limons qui masque localement les formations du socle, les calcaires du Bajocien-Bathonien, les marnes et argiles du Jurassique supérieur ou encore l'argile à silex issue des formations crayeuses. Le Quaternaire a façonné le paysage jusqu'à son apparence actuelle.

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS A COMPOSANTE ARGILEUSE

Ce chapitre dresse l'inventaire des formations géologiques argileuses au sens large du département de l'Orne 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 (Mégrien, 1980).

Les 29 formations sont décrites depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes. Leurs contours sont présentés sur la carte hors-texte à l'échelle 1/125 000 ainsi que sur l'illustration 20.

4.3.1. Formations superficielles quaternaires

Ces formations quaternaires se présentent en général sous forme de lambeaux localisés ou de véritable couverture dont l'épaisseur peut varier de quelques décimètres à plusieurs mètres. Elles peuvent, dans certains cas, ne pas être représentées sur les cartes géologiques. En effet, une carte géologique est une **représentation interprétative** correspondant à des critères de choix du ou des auteurs en fonction des attentes de la communauté scientifique à l'époque de la réalisation de la carte. De plus, l'échelle du 1/50 000 est souvent mal adaptée à la représentation de placages superficiels de faible extension, constitués d'argiles

d'altération qui peuvent s'exprimer sous différentes formes : poche d'argile, karst, zone fracturée, lentille de colluvions, etc.

4.3.1.1. Tourbe [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 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, de granulométrie essentiellement limono-sableuse. L'épaisseur de ces dépôts est généralement inférieure à un mètre, atteignant au maximum 1,5 m. Ces dépôts se retrouvent en recouvrement des alluvions récentes, en fond de vallée.

4.3.1.2. Alluvions récentes, Holocène [Fz]

Sur l'ensemble du département, les alluvions récentes sont essentiellement de nature limoneuse, limono-argileuse ou limono-tourbeuse, avec parfois quelques graviers. La granulométrie et l'épaisseur de la formation sont étroitement liées à l'ampleur du cours d'eau à l'origine de ces dépôts. C'est surtout dans les vallées des principaux cours d'eau du département (Orne, Sarthe, Huisne, Mayenne, Varenne, Touques...) que l'épaisseur de cette formation dépasse 1 m.

4.3.1.3. Alluvions anciennes, Pléistocène [Fu-y]

Les alluvions anciennes apparaissent sous la forme de terrasses ou lambeaux de terrasses successives déposées par le cours d'eau lors du creusement de la vallée, et comprennent aussi des épandages torrentiels. Les dépôts se composent de nappes de galets ou de nappes sableuses emballées localement dans une matrice à composante argileuse. Les matériaux grossiers contenus proviennent des formations géologiques situées en amont du bassin versant.

Localement, certaines terrasses jugées trop minces ont été éliminées de la carte des formations argileuses au profit des formations argileuses sous-jacentes qui peuvent être à l'origine de sinistres malgré leur recouvrement alluvial.

4.3.1.4. Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique [Cjs]

Les dépôts de pente et de solifluxion, ainsi que les colluvions sur socle et calcaires du Jurassique sont généralement constitués par des blocs emballés dans une matrice limoneuse, parfois argileuse. La nature de la matrice est liée à celle des terrains recouverts ou à celle des matériaux de provenance des mouvements gravitaires. Cette formation correspond aux colluvions sur le socle et les formations du Jurassique, lesquelles ont été distinguées des colluvions sur formations du Crétacé.

4.3.1.5. Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé [Cc]

Les colluvions sont formées d'éléments hétérogènes issus des produits d'altération de la craie. Il s'agit essentiellement de limons argilo-sableux contenant des morceaux de silex ou parfois de blocs de craie soliflués sur les pentes des plateaux de formations crétacées. Les matériaux qui composent les colluvions proviennent pour la plus grande partie des *argiles à silex sur formations du Crétacé* (RSc) et des *limons des plateaux* (LP). Cette formation Cc est lithologiquement proche de la formation B-LPS « *formation à silex solifluée et limons à silex* » à laquelle ont été rattachés les éboulis et grèzes provenant des plateaux de l'est du département. Ces colluvions sont des colluvions indifférenciées, localisées sur la moitié orientale du département, et des colluvions issues de formations du Crétacé en place ou solifluées. L'épaisseur de la formation est variable, généralement de quelques mètres au maximum.

4.3.1.6. Lœss des plaines d'Argentan et d'Alençon, Quaternaire [Œy]

Les lœss couvrent une partie des formations calcaires du Dogger et des argiles à silex associées (région d'Argentan-Sées). Parfois enrichis en argiles, localement sableux, ils ont été mis en place lors des périodes périglaciaires du Quaternaire par transport éolien. Après leur dépôt, ils se mélangent légèrement avec les formations recouvertes, si bien que leurs caractéristiques sont étroitement liées à celles des formations sous-jacentes. L'épaisseur de cette formation varie de quelques dizaines de centimètres à plusieurs mètres.

4.3.1.7. Limons des plateaux, Quaternaire [LP]

Les limons des plateaux correspondent à la couverture limoneuse des plateaux crayeux du Pays d'Auge, du Pays d'Ouche et du Perche. Ils recouvrent les argiles à silex ou les altérites de craie cénomaniennes, produits d'altération de la craie sous-jacente. Le mode de formation des limons des plateaux est analogue à celui du lœss. Les limons des plateaux ont été traités différemment de ces derniers, car les formations géologiques recouvertes ne sont pas les mêmes, leur nature influant sur les caractéristiques minéralogiques ou géotechniques des formations superficielles.

4.3.1.8. Formation à silex solifluée et limons à silex [B-LPS]

Cet ensemble regroupe la formation à silex solifluée et la formation des biefs et limons à silex, leur lithologie étant analogue. Ces formations sont issues d'un remaniement de l'argile à silex et des limons des plateaux crayeux pour former un faciès intermédiaire, dont la lithologie est plus proche de celle des argiles à silex que de celle des limons. Elle se compose de silex et fragments de silex emballés dans une matrice à dominance argileuse plus ou moins abondante, parfois limoneuse ou sableuse. L'épaisseur de la formation est généralement de quelques dizaines de centimètres et dépasse rarement 3 m.

Ce faciès est localisé essentiellement au sommet des plateaux dans le Pays d'Auge, Pays d'Ouche et Perche.

4.3.1.9. Argiles à silex sur formations du Crétacé [RSc]

Les argiles à silex des plateaux crayeux du Pays d'Auge, du Pays d'Ouche et du Perche sont des argiles rouges de décalcification, parfois sableuses ou à passées sableuses, qui contiennent des morceaux de silex. Les argiles à silex sont le produit de décalcification de la craie. Les argiles à silex des calcaires du Trias et du Jurassique inférieur et moyen ont cependant été différenciées, dans un souci de caractériser le plus finement possible la nature de ces recouvrements dont les caractéristiques lithologiques, minéralogiques et géotechniques dépendent fortement de la formation d'origine. L'épaisseur de ces argiles à silex varie de quelques mètres à une vingtaine de mètres sur les plateaux crayeux.

4.3.1.10. Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique [RSj]

Cette formation correspond aux argiles de décalcification des calcaires qui forment la plaine d'Argentan. Elles contiennent des silex et des blocs décalcifiés de calcaire. Localement, la formation renferme des sables. Elle est généralement recouverte par des loess. L'épaisseur des argiles à silex atteint quelques mètres.

Les argiles à silex issues des calcaires du Trias, du Lias et du Dogger ont été identifiées de manière spécifique par rapport à celles issues de la craie car les caractéristiques minéralogiques et géotechniques de ces faciès sont directement héritées de leur formation d'origine. La séparation des argiles à silex en deux grands domaines permet ainsi d'affiner la cartographie de ces formations sur une base essentiellement lithologique.

4.3.1.11. Altérites de craie cénomanienne et turonienne [Rc]

Les dépôts de craie du Perche sont enrichis en dépôts détritiques et ont subi une altération pendant les périodes d'émersion, au Tertiaire en particulier. Ce sont des argiles silteuses ou sableuses souvent verdâtres (glauconie) contenant des morceaux de silex. Leur épaisseur avoisine le mètre atteignant 5 m au maximum.

Les altérites de la craie sont localisées à l'est du département, essentiellement dans le Perche. Elles affleurent sur les pentes qui annoncent la cuesta du Crétacé.

4.3.1.12. Argiles laguno-lacustres de la Goulande [FL]

Ces argiles ont une extension cartographique très limitée. En effet, on les retrouve uniquement à quelques kilomètres à l'est de Domfront dans un petit fossé tectonique d'âge supposé pléistocène inférieur (Bambier *et al*, 1983), où elles ont été reconnues par sondages. On y observe une succession de niveaux argileux gris, noirs, bruns ou roses, plus ou moins sableux avec des intercalations carbonatées. Malgré leur surface d'affleurement très limitée, ces argiles n'ont pas pu être rattachées à une autre formation argileuse du fait de leur configuration en bassin tectonique profond de plusieurs dizaines de mètres.

4.3.1.13. Altérites des formations briovériennes [Ab]

Les formations briovériennes sont presque entièrement recouvertes par un manteau d'altérites en place ou remanié. Elles sont argileuses parfois limoneuses, compactes, plus ou moins sableuses, emballant des blocs d'origine diverse. Leur épaisseur est

généralement de 1 à 2 m mais peut atteindre 10 m en sondage. Par altération, les grauwackes se décomposent en limons sableux et argileux ; les siltites donnent un limon en plaquettes puis un limon argileux gris, beige ou ocre.

4.3.1.14. Arènes de granites et granodiorites [Aa]

L'arénisation est le résultat d'un long processus où l'on observe des profils dont la composition est avant tout liée à la pente, avec de haut en bas : un niveau de mise en place mécanique (colluvions, dépôts de solifluxion), puis un niveau d'arénisation résultant d'une division des arènes cimentées, enfin un niveau de cémentation (formation de smectites et kaolinite).

Les arènes sont constituées essentiellement de sable avec un peu d'argile type kaolin. Les altérites des granodiorites sont localisées dans l'extrémité sud-ouest du département.

4.3.2. Formations tertiaires

4.3.2.1. Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Éocène [e-g]

La formation affleure dans deux secteurs du département : elle regroupe les formations sableuses éocènes des plateaux des Pays d'Auge et d'Ouche et les formations sableuses, graveleuses et argileuses du bassin de Céaucé.

Dans le Pays d'Ouche et le Pays d'Auge, la formation affleure sous la forme de lambeaux ou de poches par-dessus la formation à silex d'altération de la craie. Ce sont des sables, parfois cimentés sous forme de blocs de grès. Ils sont quartzeux parfois très argileux. Ils contiennent de la glauconie.

Les sables de la région de Céaucé se sont déposés dans un petit fossé tectonique au même titre que les argiles et calcaires lacustres à Bithynies. Ce sont des sables grossiers à graveleux, épais d'une dizaine de mètres qui contiennent des poches d'argile. Ils sont surmontés par des dalles de grès conglomératiques ou à grains fins. L'ensemble de la série atteint au minimum une quinzaine de mètres d'épaisseur.

4.3.2.2. Argiles et calcaires lacustres de l'Éocène [eC]

La formation des argiles et calcaires de l'Éocène regroupe les meulrières du graben de Longny-au-Perche ainsi que les argiles et calcaires à Bithynies de Céaucé.

A Longny-au-Perche, la formation est composée d'un calcaire lacustre présentant une alternance de niveaux marneux et de niveaux indurés, meuliérisés.

Les argiles et calcaires à Bithynies se sont mis en place dans de petits fossés tectoniques d'orientation N160. Il s'agit d'une alternance de niveaux de sables argileux, argiles et calcaires crayeux. La formation repose directement sur le socle granitique et est composée à la base par un niveau d'arènes remaniées. La formation des calcaires et argiles à Bithynies peut atteindre 15 m d'épaisseur.

4.3.3. Formations du Mésozoïque

4.3.3.1. Sables du Perche et du Maine [c1SPM]

La formation regroupe les sables du Perche et les sables du Maine.

Sables du Perche

Les sables du Perche sont des sables hétérométriques souvent grossiers, parfois indurés en grès. Ce sont des résidus de l'altération de la craie sableuse du Perche. Les sables contiennent des lits plus argileux, notamment à la base, mais aussi certaines passées graveleuses. Les sables contiennent parfois de la glauconie. Ils affleurent sur les « points hauts » du Perche. Leur épaisseur varie de quelques mètres jusqu'à 50 m.

Sables du Maine

Les sables du Maine affleurent uniquement au sud-ouest d'Alençon (feuille n°251 – Alençon et 286 – Villaines-la-Juhel). La base de la formation est composée d'un horizon conglomératique à graviers. Les sables sont fins à moyens, plus ou moins argileux, parfois grésifiés en partie inférieure, avec des intercalations de niveaux argileux bariolés et des niveaux limonitiques. La partie supérieure des sables du Maine renferme quelques bancs gréseux ferrugineux. Localement un niveau d'argiles bariolées (1,5-2 m) est visible au sommet des sables. Les sables du Maine sont épais d'au moins 15 m.

4.3.3.2. Craie de Théligny [c1T]

La craie de Théligny se développe en passage latéral de la craie de Rouen dans la région de Céton. C'est un calcaire fin glauconieux présentant des niveaux enrichis en marnes vers le sommet. L'épaisseur de la Craie de Théligny est de l'ordre de 15 à 20 m.

4.3.3.3. Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard [c1R]

La Craie de Rouen affleure principalement le long de la vallée de l'Huisne et dans le secteur de Saint-Germain-de-la-Coudre et de l'Hermitière. Elle se situe au dessus de la craie glauconieuse. La formation débute par une glauconitite passant à une marne glauconieuse puis à un ensemble de bancs massifs de craie blanche grenue siliceuse avec quelques cordons de silex gris. La partie moyenne est constituée par des marnes et craies glauconieuses intercalées de niveaux de gaizes. La partie supérieure est marquée par un banc de grès calcaire qui forme la transition avec les Sables du Perche sus-jacents. La formation peut passer latéralement (au sud) aux Marnes de Nogent-le-Bernard qui sont des marnes glauconieuses en bancs métriques séparés par des horizons de craie plus ou moins noduleuse.

L'ensemble de la série a une épaisseur qui varie entre 20 et 50 m.

4.3.3.4. Gaize à cherts, Craies du Cénomaniens et du Turonien [c1Cr]

La formation est composée par deux entités principales : la gaize et la craie cénomano-turonienne :

La gaize à cherts

La base de la formation est composée d'une succession de niveaux de marnes silteuses à niveaux très glauconieux entrecoupés par des niveaux grésocalcaires, calcaires ou cherteux. L'épaisseur du niveau avoisine la dizaine de mètres mais peut localement atteindre une quarantaine de mètres dans la région de Céton.

La craie glauconieuse du Cénomaniens et la craie marneuse du Turonien

La formation se prolonge avec la craie glauconieuse du Cénomaniens, puis la craie marneuse du Turonien. Il s'agit d'une craie très riche en glauconie à la base, qui s'appauvrit vers le sommet. Parcourue par des bancs de silex réguliers, la craie devient de plus en plus blanche dans la partie supérieure. L'épaisseur de craie varie de 20 à 65 m environ.

Cette formation affleure dans le Perche, dans les régions de Mortagne, de Nocé et de Céton.

4.3.3.5. Glauconie de base [n6-c1]

La formation de la glauconie de base débute par un niveau de glauconite, conglomératique à la base, riche en graviers. Il s'agit ensuite d'une série de glauconite sableuse entrecoupée par plusieurs niveaux de galets et graviers de nature variée. L'épaisseur de la formation atteint 10 à 15 m, parfois jusqu'à 25 m.

La glauconie de base s'étend à l'est de la plaine d'Alençon (Nord d'Alençon, Essay-Le Mêle-sur-Sarthe), dans le Perche (Coulimer, Pervençères, Bazoches-sur-Hoëne, Bellême, Nocé, Céton...), dans le secteur de la forêt de Gouffern et la région d'Exmes à la faveur de certaines buttes témoins et dans le Pays d'Auge pour des épaisseurs plutôt analogues à la dizaine de mètres dans les hautes vallées de la Touques et de la Vie.

4.3.3.6. Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniens [n5-c1]

La formation des *craies, gaize et marnes interstratifiées* est très hétérogène, il s'agit de l'ensemble des formations de la base du Crétacé indifférenciées dont la majorité a été décrite sommairement plus haut. Parmi elles, figurent :

- les argiles de l'Albien : silts et argiles avec localement des sables fins (épaisseur : 2-3 m) ;
- la gaize ;
- la glauconie de base ;
- la craie glauconieuse.

Ce regroupement de formations géologiques est localisé principalement dans le Pays d'Auge (vallées de la Touques et de la Vie) et sur les buttes-témoins d'Exmes, de la forêt de Gouffern et au Merlerault.

4.3.3.7. Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien [j5]

La formation des calcaires coralliens de l'Oxfordien est issue du regroupement de trois faciès principaux : les sables du Vairais, le « roussier » de Gacé, le calcaire à Astartes et les calcaires du Kimméridgien.

Les sables du Vairais

Les sables du Vairais sont constitués, à la base, par des sables argileux à intercalations de grès en plaquettes. Ils sont recouverts par d'autres sables argileux présentant localement des veines argilo-sableuses. Le sommet est composé d'un niveau de grès à ciment calcitique ou limonitique et d'un autre niveau de calcaire bioclastique à lentilles sableuses. L'épaisseur des sables du Vairais atteint la vingtaine de mètres.

Le « roussier » de Gacé

Le « roussier » de Gacé est un calcaire ferrugineux à pelles, possédant localement quelques intercalations argileuses. A l'ouest de Moulins-la-Marche, le calcaire ferrugineux recouvre une formation composée de silts sablonneux plus ou moins argileux à rognons de calcaire d'une épaisseur de 12 m environ. L'épaisseur du roussier de Gacé varie de 10 à 35 m.

Le calcaire à Astartes

Le calcaire à Astartes est un calcaire fin sub-lithographique qui présente des intercalations argileuses. Localement, le calcaire présente aussi des intercalations de sables, parfois cimentés en grès. Les intercalations de sables prennent une importance croissante vers le sud du département, dans la partie supérieure de la formation, pour former un cortège de plusieurs mètres d'épaisseur de sables et grès (Sables et grès de Cherré). L'épaisseur des calcaires à Astartes varie de quelques mètres à 40 m.

Les calcaires du Kimméridgien :

Les calcaires du Kimméridgien sont sub-lithographiques, à pellets ou oolites. Ils sont parfois entrecoupés par des niveaux de sable argileux et par quelques bancs d'argiles ou de marnes.

Les affleurements sont situés dans la partie orientale du département, dans les vallées augeronnes de la Touques et de la Vie et affleurent à la faveur des failles du Perche (Le Merlerault, Moulins-la-Marche, Mortagne-au-Perche et Bellême).

4.3.3.8. Marnes à Pernes [j4-5P]

Plus argileuse à la base, elle est constituée d'alternances de marnes et de calcaires argilo-silteux de couleur gris jaunâtre. Les Marnes à Pernes, dont l'épaisseur est estimée entre 15 et 30 m, constituent l'équivalent des Marnes de Vaunoise, des Marnes du Tertre (Saosnois), et des Marnes de Villers (Pays d'Auge). Elles

correspondent à un milieu de sédimentation de vasière subsidente ouverte aux conditions marines. L'épisode ferrugineux qui termine souvent le dépôt des marnes oxfordiennes en Normandie-Maine n'a pas été retrouvé dans le Perche où il semble ne pas exister.

4.3.3.9. *Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires [j4-5M]*

Les entités principales de la formation sont : les marnes d'Escoville, l'oolithe de Chemilli et marnes de Calez-en-Saosnois, les marnes et calcaires d'Exmes, l'assise des Carreaux. Il s'agit d'un grand ensemble à dominance argileuse.

L'ensemble des formations sont marneuses, parfois silteuses ou sableuses contenant des intercalations de calcaires gréseux (assise des Carreaux) ou de calcaires oolithiques (oolithes de Chemilli), sous la forme de bancs, de lentilles ou de nodules. La série n'est pas continue dans la stratigraphie. L'épaisseur cumulée atteint 125 m.

La formation affleure largement sur le tiers oriental du département depuis le Pays d'Auge jusqu'au contact entre la plaine d'Alençon et le Perche, depuis Trun et Vimoutiers au nord jusqu'à Alençon et Pervençères au sud, en passant par Exmes, Le Merlerault, la forêt de Gouffern et Sées.

4.3.3.10. *Marnes et calcaires calloviens du Maine [j4]*

Cet ensemble des marnes et calcaires du Callovien est issu du regroupement de plusieurs formations géologiques : l'oolithe de Suré, les marnes et calcaires d'Assé-le-Riboul, les marnes à brachiopodes de la forêt de Gouffern, les marnes de Montmarlo et de Rouillé et les sables de Saint-Fulgent.

La majeure partie de cet ensemble est constituée par des marnes essentiellement sableuses avec des alternances de bancs ou plaquettes de calcaires gréseux ou de calcaires à oolithes ferrugineuses. Des passées sableuses sont réparties au niveau des marnes et calcaires d'Assé-le-Riboul et surtout au niveau des sables de Saint-Fulgent. La série n'est pas continue dans la stratigraphie. L'épaisseur cumulée atteint environ 105 m.

Les marnes et calcaires du Callovien affleurent de manière plus localisée que les Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires, ponctuellement au nord et à l'est de Sées, ainsi qu'au nord-est d'Alençon. Ils affleurent un peu plus largement près de Mamers (Chemilli).

4.3.3.11. *Calcaires du Bajocien et Bathonien [j2-3]*

La formation des calcaires du Bajocien et du Bathonien regroupe de nombreuses formations à dominance calcaire des plaines d'Argentan et d'Alençon, : les calcaires indifférenciés du Bajocien et du Bathonien, les marnes et calcaires de Bourg-le-Roi, le calcaire d'Argentan, le calcaire de Mamers et caillasse des Barronières, les caillasses de Belle-Eau, de Basse-Ecarde et de Chambois, la caillasse d'Aubry-en-Exmes, les calcaires de Valframbert et des Mées, le calcaire de Sarceaux, le calcaire à Nérinées, le calcaire d'Ecouché et le calcaire de Damigny – oolithes de Villaines-la-Carelle.

La succession est de nature calcaire pour sa grande majorité. Ce sont des calcaires sableux, argileux, bioclastiques ou à oolithes à petites intercalations argileuses ponctuelles. Les niveaux de caillasses sont des niveaux de marnes à niveaux de calcaire intercalés, souvent en rognons. Son épaisseur maximale totale cumulée est de 140 m.

Les calcaires du Bajocien et du Bathonien affleurent depuis Trun et Argentan au nord jusqu'à Sées au sud. Ils apparaissent ponctuellement au Merlerault à la faveur d'une flexure d'origine tectonique ainsi que dans l'agglomération d'Alençon et à l'ouest de Mamers.

4.3.3.12. *Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias [I3-4]*

La formation est issue du regroupement de l'ensemble des formations qui constituent le Lias. L'ensemble est formé des Sables et grès de Sainte-Opportune à la base. Il s'agit d'un faciès gréseux à passées sableuses et localement argileux. La série se prolonge avec une succession de niveaux de marnes alternant avec des bancs calcaires. Des niveaux de conglomérats, de grès ou de sable sont intercalés dans la succession. La partie sommitale de la formation est davantage enrichie en argile avec plusieurs niveaux d'argiles présentant de fines intercalations calcaires (argiles blanches et argiles à poissons du Toarcien).

L'ensemble affleure ponctuellement le long du contact entre le Massif Armoricaire et le Bassin Parisien dans les régions d'Argentan et d'Alençon. Les formations du Lias forment des pointements enclavés dans la zone de socle (région de Briouze).

4.3.3.13. *Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias [t6]*

Les dépôts du Trias présentent des variations latérales de faciès fréquentes. Il s'agit de lentilles d'argiles panachées plastiques, de sables, de gravillons et de conglomérats à matrice sableuse ou argileuse, plus ou moins indurées.

Le Trias est au contact entre le socle et les couches sédimentaires du bassin de Paris. Son extension géographique est faible et se limite à quelques pointements dans le Nord du département, dont certains sont enclavés dans la zone de socle.

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.

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 29 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 29 formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

Les sources des données ici présentées proviennent principalement de dossiers des archives de trois bureaux d'études (Fondouest à Granville, Hydro'Géotechnique à Rouen et Antea à Rouen). D'autres données ont été fournies par le concessionnaire autoroutier ALIS-A28. Des valeurs de caractérisation proviennent de résultats issus de rapports de bureaux d'études (CETE, CEBTP-Solen, Fondasol, Hydro'Géotechnique, Fondouest) fournis, pour la plupart, par les communes en retour de courrier d'enquête. Enfin, une partie des données a été récoltée lors des projets de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans les départements voisins (Calvados, Eure, Eure-et-Loir, Sarthe). Une partie des formations géologiques présente une faible extension dans l'Orne 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 (Illustration 7).

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 7 – 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 7.

5.2.2. Caractérisation lithologique

Sur la base de ces critères, le tableau de l'illustration 8 permet de synthétiser les différentes notes lithologiques attribuées aux 29 formations potentiellement sujettes au retrait-gonflement, à partir des descriptions établies dans les notices des cartes géologiques au 1/50 000.

N°	Code	Formation	Note lithologique
1	Tz	Tourbe	4
2	Fz	Alluvions récentes	2
3	Fu-y	Alluvions anciennes	1
4	Cjs	Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	2
5	Cc	Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	2
6	Oey	Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	2
7	LP	Limons des plateaux	2
8	B-LPS	Formation à silex solifluée et limons à silex	3
9	RSc	Argiles à silex sur formations du Crétacé	3
10	RSj	Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	3
11	Rc	Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	3
12	FL	Argiles laguno-lacustres de la Goulande	1
13	Ab	Altérites des formations briovériennes	2
14	Aa	Arènes de granites et granodiorites	1
15	e-g	Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	1
16	eC	Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	3
17	c1SPM	Sables du Perche et du Maine	1
18	c1T	Craie de Théligny	2
19	c1R	Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	1
20	c1Cr	Gaize à cherts, Craies du Céomanien et du Turonien	3
21	n6-c1	Glauconie de base	3
22	n5-c1	Craies, gaizes, marnes interstratifiées de l'Albien et du Céomanien	3
23	j5	Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	2
24	j4-5P	Marnes à Pernes	4
25	j4-5M	Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	3
26	j4	Marnes et calcaires calloviens du Maine	3
27	j2-3	Calcaires du Bajocien et du Bathonien	1
28	l3-4	Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	2
29	t6	Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	3

Illustration 8 : Tableau de caractérisation lithologique des formations géologiques de l'Orne

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, alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, par exemple smectites/illite ou illite/smectites. La caractérisation minéralogique des argiles se détermine par des analyses de diffractométrie aux rayons X.

Les bornes retenues pour la classification minéralogique, basée sur le pourcentage de minéraux gonflants (smectites, vermiculites et interstratifiés) contenus dans la phase argileuse du matériau, sont respectivement 25 %, 50 % et 80 % (Illustration 9).

% 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 9 – Barème du critère minéralogique

5.3.2. Caractérisation minéralogique

Dans l'Orne, les données minéralogiques sont en nombre variable selon les formations géologiques. Elles sont généralement plus abondantes pour les formations à grande extension géographique. Les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne présentent aucune caractérisation des minéraux argileux et les rapports issus de bureaux d'études ne contiennent aucune donnée minéralogique.

Les données disponibles pour l'Orne sont issues de la lecture des notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, de la synthèse géologique du Bassin de Paris (Mégny, 1980) et de plusieurs études de géologie régionale (Dugué, 1989 et 1991 ; Dugué *et al.*, 1998 ; Camuzard, 2000 et 2006 ; Juignet, 1965 et 1974 ; Lautridou, 1985 ; Laignel, 1993 et 1997 ; Laignel *et al.*, 1998 ; Quesnel, 1993 et 1997).

Concernant les formations superficielles, certains travaux de grande qualité ont été effectués localement. Cependant, ces formations sont par définition très hétérogènes et leurs caractéristiques dépendent en grande partie de celles de la formation sous-jacente, dont elles sont issues. Les données recueillies laissent apparaître une très forte variabilité, horizontale mais aussi verticale. Il est ainsi très difficile de caractériser les formations superficielles, le budget disponible pour la présente étude étant très insuffisant pour apporter une amélioration significative des connaissances sur ce sujet.

Les données départementales ont été partiellement enrichies avec celles recueillies simultanément à l'occasion de l'établissement des cartes d'aléa retrait-gonflement dans les départements voisins du Calvados, de l'Eure et de la Sarthe.

Le nombre et la qualité des données ainsi récupérées sont très variables selon les formations géologiques. Afin de combler certaines lacunes d'information, une campagne de terrain a été menée dans le département et dans les zones limitrophes des départements voisins (département de la Sarthe en particulier). 25 échantillons ont ainsi été prélevés pour des analyses diffractométriques aux rayons X afin de déterminer la composition minéralogique de la fraction argileuse de ces matériaux. Les résultats sont présentés en Annexe 4.

Ci-dessous sont rassemblées par formation argileuse les données minéralogiques disponibles d'après la bibliographie et les résultats obtenus à partir des échantillons prélevés sur le terrain. Nous utiliserons les abréviations suivantes : K (kaolinite), Sm (smectite), I (illite), C (chlorite), V (vermiculite),. Ces abréviations sont aussi utilisées dans le cas des interstratifiés (ex : Sm/I pour interstratifiés smectite/illite, V/I pour interstratifiés vermiculite/illite). Les notes attribuées par formation géologique sont présentées dans le tableau de l'illustration 10.

n°	Code	Formation	Note Minéralogique
1	Tz	Tourbe	-
2	Fz	Alluvions récentes	-
3	Fu-y	Alluvions anciennes	-
4	Cjs	Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	2
5	Cc	Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	-
6	Oey	Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	2
7	LP	Limons des plateaux	3
8	B-LPS	Formation à silex solifluée et limons à silex	2
9	RSc	Argiles à silex sur formations du Crétacé	2
10	RSj	Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	1
11	Rc	Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	4
12	FL	Argiles laguno-lacustres de la Goulande	1
13	Ab	Altérites des formations briovériennes	2
14	Aa	Arènes de granites et granodiorites	1
15	e-g	Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	1
16	eC	Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	2
17	c1SPM	Sables du Perche et du Maine	3
18	c1T	Craie de Théligny	3
19	c1R	Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	3
20	c1Cr	Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien	4
21	n6-c1	Glauconie de base	4
22	n5-c1	Craies, gaizes, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne	3
23	j5	Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	3
24	j4-5P	Marnes à Pernes	1
25	j4-5M	Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	2
26	j4	Marnes et calcaires calloviens du Maine	2
27	j2-3	Calcaires du Bajociennne et du Bathonien	1
28	l3-4	Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	2
29	t6	Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	1

Illustration 10 - Notes minéralogiques affectées aux formations argileuses de l'Orne

- **Tourbe [Tz]**

Aucune donnée disponible ne concerne les dépôts tourbeux. Aucune note minéralogique n'a donc été attribuée à cette formation de tourbe.

- **Alluvions récentes [Fz]**

Aucune donnée disponible ne concerne les alluvions récentes. Aucune note minéralogique n'a donc été attribuée aux alluvions récentes.

- **Alluvions anciennes [Fu-y]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°210, 212, 251.

La notice de la carte géologique de Mortain indique principalement de la kaolinite. La carte 251 indique une prépondérance de l'illite et kaolinite sur la pyrophyllite et la vermiculite ainsi que la présence de minéraux comme la kaolinite, l'illite, la smectite et pyrophyllite, la vermiculite, un peu de goethite. Dans des sables noirs, la kaolinite domine sur des interstratifiés illite-smectite. Aucune note minéralogique n'a cependant été affectée aux alluvions anciennes compte tenu du petit nombre de données disponibles et de la grande hétérogénéité de cette formation.

- **Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique [Cjs]**

Origine des données : notice de la carte géologique n°251.

Les indications de la notice indiquent une proportion égale entre l'illite et la kaolinite et la présence d'interstratifiés illite-smectite. Les analyses issues des échantillons de terrain montre une moitié de minéraux gonflants type smectites et une autre moitié composée d'illite et de kaolinite.

- **Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé [Cc]**

Origine des données : notice de la carte géologique n°212.

Une seule proportion est mentionnée à savoir que 40% de la fraction fine est constitué de kaolinite. Aucune note minéralogique n'a été affectée aux colluvions sur formations crétacées compte tenu du petit nombre de données disponibles et de l'hétérogénéité de cette formation.

- **Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon [Oey]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°174, 176, 210, 211, 212, 213, 248, 249 ; Lautridou (1968, 1985).

La formation des loess est renseignée en éléments qualitatifs. Les notices des cartes géologiques indiquent une proportion de kaolinite souvent dominante sur l'illite, la smectite et la vermiculite. Les proportions peuvent se rééquilibrer entre la kaolinite, l'illite et la smectite. La thèse de Lautridou révèle une nette prédominance de la kaolinite dans les loess du Bocage. Quelques données complémentaires sont issues du département voisin du Calvados.

- ***Limons des plateaux [LP]***

Origine des données : notices des cartes géologiques n°252, 253 ; Lautridou (1968, 1985).

La bibliographie étudiée mentionne, pour la fraction argileuse des limons, une prédominance de la smectite et/ou d'interstratifiés contenant de la smectite (I/Sm, V/Sm).

- ***Formation à silex solifluée et limons à silex [B-LPS]***

Dans la bibliographie, aucune donnée n'a été retrouvée dans le département de l'Orne. Cependant, cette formation correspond aux limons à silex notés *qCRs* dans l'Eure. Ces formations limoneuses sont situées sur les plateaux crayeux dans un contexte géomorphologique semblable. Les valeurs issues de l'Eure peuvent être rapprochées aux limons à silex dans l'Orne, et ces informations nous donnent un ordre de grandeur de proportions de minéraux gonflants. La note minéralogique attribuée aux *Limons à silex et argile à silex solifluée* [B-LPS] a été déduite directement de celle des *Argiles à silex remaniée et limons à silex [qCRs]*.

- ***Argiles à silex sur formations du Crétacé [RSc]***

Origine des données : Laignel (1993, 1997), Quesnel (1997), Camuzard (2000) ; notices des cartes géologiques n°147, 177, 178, 213, 214, 215, 252, 254, 289.

Les différentes sources bibliographiques donnent une prédominance de la kaolinite sur l'illite et la smectite dans les zones d'affleurement de l'argile à silex sur craie. En revanche, plus en profondeur, la smectite devient dominante sur les autres minéraux.

- ***Argiles à silex sur formations du Trias et du Jurassique [RSj]***

Origine des données : notices des cartes géologiques n°174, 176, 212.

Les argiles à silex sur calcaires jurassiques sont décrites comme ayant un cortège minéralogique en proportions égales de kaolinite, illite et smectites avec une légère prédominance de la smectite. Localement, l'argile à silex issue de la décalcification des calcaires jurassiques est composée en majorité de kaolinite, parfois exclusive, et d'illite dans de moindres proportions. Les argiles à silex sur Lias sont riches en kaolinite et illite avec prédominance soit de l'illite soit de la kaolinite.

- ***Argiles laguno-lacustres de la Goulande [FL]***

La minéralogie de ces argiles a été analysée avec des échantillons issus de la campagne de terrain et montre une nette prédominance de la kaolinite sur l'illite et la smectite.

- ***Altérites des formations briovériennes [Ab]***

Origine des données : notices des cartes géologiques n°174, 176, 212 ; Camuzard (2000).

D'après la bibliographie consultée, la fraction argileuse est essentiellement composée de kaolinite avec un peu de chlorite ou d'interstratifiés chlorite-vermiculite ou chlorite-smectite.

- **Arènes de granites et granodiorites [Aa]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n° 176, 210, 212, 249 ; Lautridou (1985), Vérague (1990).

Dans la bibliographie, la fraction argileuse ne représente que 10 % de la formation. La kaolinite est souvent prédominante avec de l'illite, la smectite étant peu représentée. Quelques interstratifiés irréguliers s'observent : I/V, CI/V.

- **Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Éocène [e-g]**

Origine des données : notices de la carte géologique n° 251.

Les données minéralogiques présentées ont été obtenues sur un même site et leur nombre est restreint (5). Cependant, les valeurs sont relativement homogènes et montrent une très nette dominance de la kaolinite sur les autres minéraux (smectites).

- **Argiles et calcaires lacustres de l'Éocène [eC]**

Cette formation possède une phase argileuse constituée pour moitié de smectite et interstratifiés illite/smectite avec des proportions égales entre l'illite et la kaolinite.

- **Sables du Perche et du Maine [c1SPM]**

Origine des données : Juignet (1965, 1974), notices des cartes géologiques n°177, 213, 214, 215, 251, 252, 253, 289, 323 et 324.

Les sables du Perche et du Maine sont caractérisés par une prédominance de la smectite sur les autres minéraux. On peut noter aussi la présence assez régulière des interstratifiés I/S ou de la montmorillonite. Les sables du Maine sont un peu différents en termes de minéralogie, avec une légère prédominance de la kaolinite.

- **Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard [c1R] et Craie de Théligny [c1T]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°149, 179 et 180 ; Juignet (1965,1974), Mégnien (1980).

Ces deux formations très proches géologiquement sont en passage latéral l'une de l'autre. Elles sont caractérisées par une dominance de la smectite ou de la montmorillonite (> 70%) sur l'illite et la kaolinite. Les proportions d'argiles varient de 25 à 50 % de la roche.

- **Gaize à cherts, Craies du Cénomanién et du Turonien [c1Cr]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°289 ; Laignel (1997), Mégnien (1980), Juignet (1965, 1974).

Dans les différents faciès de la formations, la montmorillonite est toujours dominante sur l'illite ou la kaolinite qui sont accessoires.

- ***Glauconie de base [n6-c1]***

Origine des données : notice de la carte géologique n°212, 251 et 289 ; Juignet (1965, 1974).

D'après l'ensemble de la bibliographie consultée, la fraction argileuse de cette formation est dominée par la smectite, associée à de la kaolinite et à de l'illite. En certains endroits, l'illite est exclusive. La proportion d'argile dans la roche varie de 5 (dans la craie) à 97 %.

- ***Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomanién [n5-c1]***

Origine des données : Juignet (1965, 1974), notice de la carte géologique n°251.

D'après la bibliographie consultée, la fraction argileuse est essentiellement constituée de smectites (30 à 90 %) ou montmorillonite avec des traces d'illite associées.

- ***Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien [j5]***

Origine des données : Dugué (1989), notices des cartes géologiques n°177 et 214.

Les données sur cette formation sont les plus nombreuses. Elles révèlent une proportions de 40 % de smectites et d'illite et 20 % de kaolinite.

- ***Marnes à Pernes [j4-5P]***

Origine des données : notice de la carte géologique n°177, 213 et 214 ; Mégnien *et al.* (1980), Dugué (1989).

L'illite domine dans la fraction argileuse et est associée à de la kaolinite et de la smectite en proportions à peu près égales.

- ***Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires [j4-5M]***

Origine des données : notice de la carte géologique n°176, 177 et 214 ; Camuzard (2000), Dugué (1989).

La fraction argileuse des marnes est fortement marquée par la smectite prédominante ou en proportions égales avec la kaolinite et l'illite. Des interstratifiés apparaissent au Callovien moyen.

- ***Marnes et calcaires calloviens du Maine [j4]***

Origine des données : notices des cartes géologiques n°213 ; Dugué (1989).

L'illite domine la kaolinite et la smectite, lesquelles sont présentes dans des proportions égales, associées à des interstratifiés I/S.

- ***Calcaires du Bajocien et du Bathonien [j2-3]***

Origine des données : Mégnien *et al.* (1980) ; notices des cartes géologiques 177, 212 et 287.

D'après la bibliographie consultée, l'illite domine souvent la kaolinite et les interstratifiés. L'illite peut être associée à la montmorillonite.

- **Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias [I3-4]**

Origine des données : notice des cartes géologiques n°212.

La fraction argileuse de la formation est dominée par la kaolinite. Dans certains cas, cette dernière est présente, dans des proportions égales, avec l'illite, la smectite et des interstratifiés. Dans les niveaux argileux, la smectite vient à dominer les autres minéraux.

- **Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias [t6]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°176.

Les données d'échantillons sont très peu nombreuses. Le Trias de l'Orne affleure dans le nord du département, en limite avec le Calvados. Les données du Calvados ont été reprises pour attribuer une note minéralogique au Trias, dont les affleurements sont sensiblement plus étendus dans le Calvados. La bibliographie mentionne de manière générale une prédominance de l'illite et de la kaolinite accompagnés de smectite ou interstratifiés, localement de chlorite.

5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE

5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème

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

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

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

avec ou sans retrait, plastique ou liquide). D'autres essais peuvent également être mis en œuvre, comme la mesure du rapport de gonflement.

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

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

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

5.4.2. Teneur en eau (W_n)

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

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

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

5.4.3. Indice de plasticité (I_p)

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

On considère généralement (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 11), même si les corrélations entre ce paramètre et les valeurs de bleu laissent à penser que les seuils de 12 et 25 demanderaient probablement à être réhaussés au vu de l'expérience acquise dans d'autres départements :

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 11 – Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité

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 12). 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
$2,5 \text{ à } 6$	moyenne	2
$6 \text{ à } 8$	forte	3
> 8	très forte	4

Illustration 12 – 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 (Illustration 13).

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 13 – Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire

5.4.6. Caractérisation géotechnique

Les sources des données ici présentées proviennent tout d'abord de l'exploitation des archives de trois bureaux d'études : Fondouest à Granville, Hydro'Géotechnique à Rouen et Antea à Rouen. Des données ont aussi été fournies par le concessionnaire de l'autoroute A 28, la société ALIS. Un courrier a été envoyé à toutes les communes du département, ainsi qu'aux principales communautés de communes, afin de leur demander l'accès aux dossiers d'études géotechniques réalisées avant la construction de bâtiments. Un certain nombre de résultats sont ainsi issus de rapports de bureaux d'études (CEBTP-Solen, Fondasol, Hydro'Géotechnique, Fondouest, CETE, Géotec, Technologie Routière, Abrotec, GroupeJ, Coulais Consultants) fournis principalement par les communes en retour de courrier d'enquête mais aussi par le BRGM, la CCR (Caisse Centrale de Réassurance), le service de protection civile de la Préfecture de l'Orne et certaines mutuelles d'assurances (MAAF et Matmut notamment) contactées dans le cadre de l'étude (Annexe 3).

Par ailleurs, plusieurs données sont directement issues des études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux effectuées dans les départements voisins, notamment en ce qui concerne les formations du Perche et du Maine qui s'étendent principalement en dehors des limites administratives de l'Orne.

Enfin, 23 échantillons ont été prélevés sur le terrain dans le département de l'Orne, essentiellement dans le secteur du Perche. Ils ont fait l'objet d'une caractérisation géotechnique (valeur au bleu de méthylène). Les résultats détaillés sont précisés en Annexe 4.

L'ensemble de ces données est synthétisé dans le tableau de l'illustration 14.

Au total, 905 données de caractérisation géotechnique (dont 889 concernent effectivement des formations retenues comme argileuses) ont été exploitées. Elles proviennent du traitement des dossiers des bureaux d'études Fondouest (148), Hydro'Géotechnique (239 dont 7 dans la Sarthe), Antea (4), Fondasol (61), DDE-CETE (150 dont 57 dans la Sarthe), CEBTP-Solen (39) mais aussi du concessionnaire de l'autoroute A 28 ALIS (33), des mairies (9), et des prélèvements effectués sur le terrain dans le cadre de l'étude (23).

- Pour l'indice de plasticité, 667 données ont permis la caractérisation des formations argileuses.
- Pour la valeur de bleu, 520 données ont été utilisées.
- Pour le coefficient de gonflement, 7 données seulement ont pu être recueillies.
- Pour le retrait linéaire, 5 données ont également été exploitées.

En définitive, les données dont nous avons pu disposer permettent de caractériser les 29 formations argileuses du département de l'Orne.

6. Élaboration de la carte de susceptibilité

6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ

Au total, chaque formation a donc été caractérisée par trois notes, une pour chacun des critères pris en compte selon les classifications présentées précédemment. La moyenne des trois notes obtenues permet de calculer, pour chaque formation, un degré de susceptibilité générale vis-à-vis du retrait-gonflement. Pour les formations dont l'une des caractéristiques n'a pu être évaluée, la moyenne est calculée 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)

Moyennant ce traitement, les notes de susceptibilité attribuées aux 29 formations retenues comme argileuses sont les suivantes (Illustration 15) :

Formations argileuses	Note litho	Note minéralo	Note géotech	Note suscept	Niveau suscept
Tz - Tourbe	4	-	1	2,50	moyen
Fz - Alluvions récentes	2	-	1	1,50	faible
Fu-y - Alluvions anciennes	1	-	2	1,50	faible
Cjs - Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	2	2	1	1,66	faible
Cc - Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	2	-	2	2,00	faible
Oey - Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	2	2	1	1,66	faible
LP - Limons des plateaux	2	3	1	2,00	faible
B-LPS - Formation à silex soliflué et limons à silex	3	2	1	2,00	faible
RSc - Argiles à silex sur formations de Crétacé	3	2	2	2,33	moyen
RSj - Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	3	1	2	2,00	faible
Rc - Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	3	4	2	3,00	moyen
FL - Argiles laguno-lacustres de la Goulande	1	1	2	1,33	faible
Ab - Altérites des formations briovériennes	2	2	1	1,66	faible
Aa - Arènes de granites et granodiorites	1	1	1	1,00	faible
e-g - Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	1	1	1	1,00	faible
eC - Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	3	2	2	2,33	moyen
c1SPM - Sables du Perche et du Maine	1	3	3	2,33	moyen
c1T - Craie de Théligny	2	3	2	2,33	moyen
c1R - Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	1	3	2	2,00	faible
c1Cr - Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien	3	4	2	3,00	moyen
n6-c1 - Glauconie de base	3	4	3	3,33	fort
n5-c1 - Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne	3	3	1	2,33	moyen
j5 - Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	2	3	2	2,33	moyen
j4-5P - Marnes à Pernes	4	1	2	2,33	moyen
j4-5M - Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	3	2	2	2,33	moyen
j4 - Marnes et calcaires calloviens du Maine	3	2	1	2,00	faible
j2-3 - Calcaires du Bajociennne et du Bathonien	1	1	1	1,00	faible
l3-4 - Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	2	2	2	2,00	faible
t6 - Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	3	1	1	1,66	faible

Illustration 15 – Susceptibilité des formations argileuses retenues

6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

L'illustration 16 représente la carte départementale de susceptibilité des formations géologiques au phénomène de retrait-gonflement, réalisée d'après les résultats présentés dans le tableau de l'illustration 15.

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

Les formations faiblement susceptibles couvrent 39,63 % de la superficie du département. Dix-sept formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit des :

- Fz - Alluvions récentes (408,24 km² soit 6,64 % de la superficie totale du département) ;
- Fu-y - Alluvions anciennes (66,26 km² soit 1,08 %) ;
- LP - Limons des plateaux (111,26 km² soit 1,81 %) ;
- Cjs – Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique (205,83 km² soit 3,35 %) ;
- Cc – Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé (130,58 km² soit 2,12 %) ;
- Oey – Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon (255,45 km² soit 4,15 %) ;
- B-LPS – Formation à silex solifluée et limons à silex (537,35 km² soit 8,73 %) ;
- RSj – Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique (35,07 km² soit 0,57 %) ;
- FL – Argiles laguno-lacustres de la Goulande (0,14 km² soit 0,001 %) ;
- Ab – Altérites des formations briovériennes (142,59 km² soit 2,32 %) ;
- Aa – Arènes de granites et granodiorites (204,20 km² soit 3,32 %) ;
- c1R – Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard (175,12 km² soit 2,85 %) ;
- e-g – Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Éocène (9,33 km² soit 0,15 %) ;
- j4 – Marnes et calcaires calloviens du Maine (73,49 km² soit 1,19 %) ;
- j2-3 – Calcaires du Bajocien et du Bathonien (68,14 km² soit 1,11 %) ;
- l3-4 – Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias (11,88, km² soit 0,19 %) ;
- t6 – Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias (3,05 km² soit 0,05 %).

Les formations moyennement susceptibles couvrent 31,70 % de la superficie du département. Onze formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit des :

- Tz – Tourbe (3,97 km² soit 0,06 % de la superficie départementale) ;
- RSc – Argiles à silex sur formations du Crétacé (451,96 km² soit 7,35 %) ;
- Rc – Altérites de craie cénomaniennne et turonienne (212,88 km² soit 3,46 %) ;
- eC – Argiles et calcaires lacustres de l'Éocène (0,51 km² soit 0,01 %) ;
- c1SPM – Sables du Perche et du Maine (227,90 km² soit 3,70 %) ;
- c1T – Craie de Théligny (10,72 km² soit 0,17 %) ;
- c1Cr – Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien (198,29 km² soit 3,22 %) ;
- n5-c1 – Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne (121,07 km² soit 1,97 %) ;
- j5 – Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien (157,93 km² soit 2,57 %) ;
- j4-5P – Marnes à Pernes (72,10 km² soit 1,17 %) ;
- j4-5M – Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires (492,51 km² soit 8,01 %).

Les formations fortement susceptibles couvrent moins de 2,5 % de la superficie du département. Une seule formation a été rattachée à cette catégorie des formations fortement susceptibles : n6-c1 – Glauconie de base (148,23 km² soit 2,41 % de la superficie totale du département).

Il est à noter que les formations *a priori* non argileuses occupent 26,26 % de la surface du département.

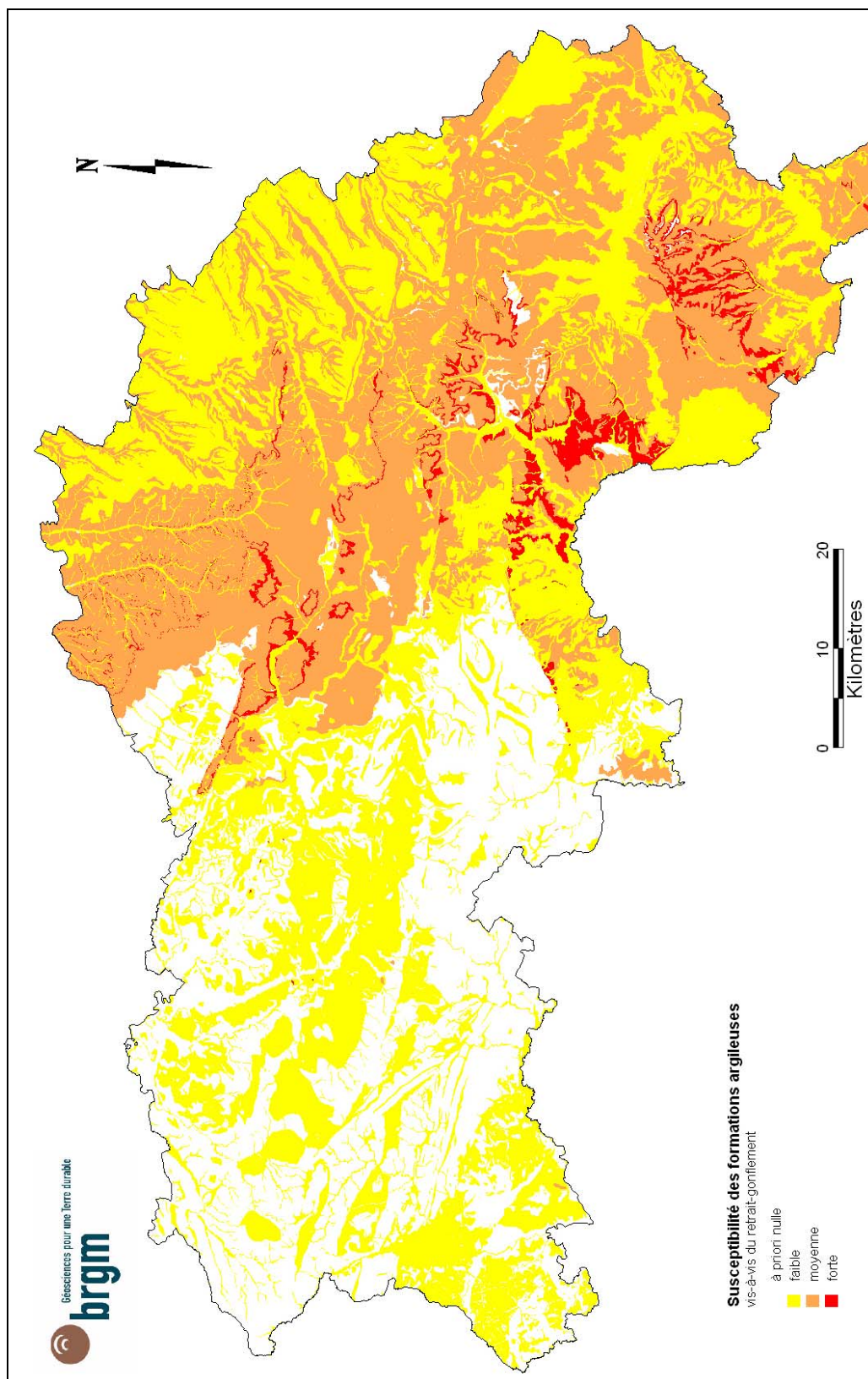


Illustration 16 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux

7. Analyse de la sinistralité

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

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

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

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

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

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

Les études menées en vue de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne sont habituellement réalisées que sur quelques cas de désordres de bâtis par commune. L'ensemble des sinistres d'une commune est rarement pris en compte et il n'est pas rare qu'un seul sinistre permette de classer l'ensemble de la commune en

état de catastrophe naturelle. Par ailleurs, dès lors qu'une commune a été reconnue une fois, il n'est pas exigé d'étude géotechnique supplémentaire pour définir une nouvelle période de reconnaissance.

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

7.2.1. Localisation des communes sinistrées

Dans le département de l'Orne à la date du 21 août 2008 (Annexe 2), 18 communes ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2003.

Les 18 communes reconnues représentent un peu moins de 4 % des 507 communes du département et couvrent 244 km², soit 4 % de sa superficie totale.

Au total, 22 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris à ce jour dans le département de l'Orne, dont les dates s'échelonnent entre le 25 janvier 1993 et le 22 février 2007. L'illustration 17 présente le nombre de communes concernées par les différents arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse au cours de cette période.

D'après les données disponibles sur le site internet « prim.net » du MEEDDAT, ce nombre d'occurrences reconnues placerait le département à la 70^e position des départements français les plus touchés, loin derrière certains du Sud-Ouest (1 353 occurrences reconnues en Haute-Garonne, 1 205 dans le Gers, 824 en Dordogne, par exemple). Si l'on se réfère au classement des départements français en termes de coût d'indemnisation, l'Orne occupait la 70^e place en novembre 2006, avec un cumul indemnisé, dans le seul cadre du régime des catastrophes naturelles, estimé par la CCR à 700 000 euros.

Arrêtés interministériels	Nombre de communes
25/01/1993	2
08/03/1994	3
12/03/1998	3
09/04/1998	1
12/06/1998	2
19/03/1999	2
22/06/1999	1
02/03/2006	5
30/03/2006	1
22/02/2007	2

Illustration 17 – Arrêtés interministériels et occurrences

La liste des communes concernées est présentée en Annexe 2, ainsi que les périodes de reconnaissance, les dates des arrêtés interministériels et les dates de leur publication au Journal Officiel. La carte de l'illustration 18 permet de localiser les 18 communes qui ont fait l'objet d'au moins un arrêté de reconnaissance à ce jour, ainsi que le nombre respectif de sinistres par commune, recensés et localisés dans le cadre de la présente étude.

Cette carte illustre le caractère diffus du phénomène dans le département. Toutefois, la majorité des communes reconnues au titre des catastrophes naturelles sécheresse est située dans la moitié orientale du département. La concentration la plus importante se situe dans la vallée de l'Huisne.

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

Une seule commune a bénéficié de plusieurs arrêtés sécheresse. Il s'agit de la commune du Theil-sur-Huisne (5 arrêtés) pour les périodes 1989-1991, 1992-1993, 1994-1996, 1996-1998 et 2003. Les 17 autres communes n'ont été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse qu'une seule fois. Parmi elles, une (Bazoches-sur-Hoëne) a été reconnue pour une longue période (mai 89 à avril 1997). Sept communes ont été reconnues uniquement pour la période de juillet à septembre 2003. Le département a donc été marqué par les trois principales périodes de sécheresse enregistrées ces dernières années en 1989-1991, 1995-1996 et en 2003, avec un impact manifestement plus marqué en 2003.

Rappelons au passage qu'il existe, depuis septembre 2000, un système de modulation de franchise qui prévoit une augmentation de la franchise à chaque nouvel arrêté pris pour le même phénomène naturel (compté désormais sur les 5 dernières années, suite à l'arrêté du 4 août 2003, et non plus depuis 1995 comme initialement), à défaut d'élaboration de documents de prévention de type Plans de Prévention des Risques naturels (PPR).

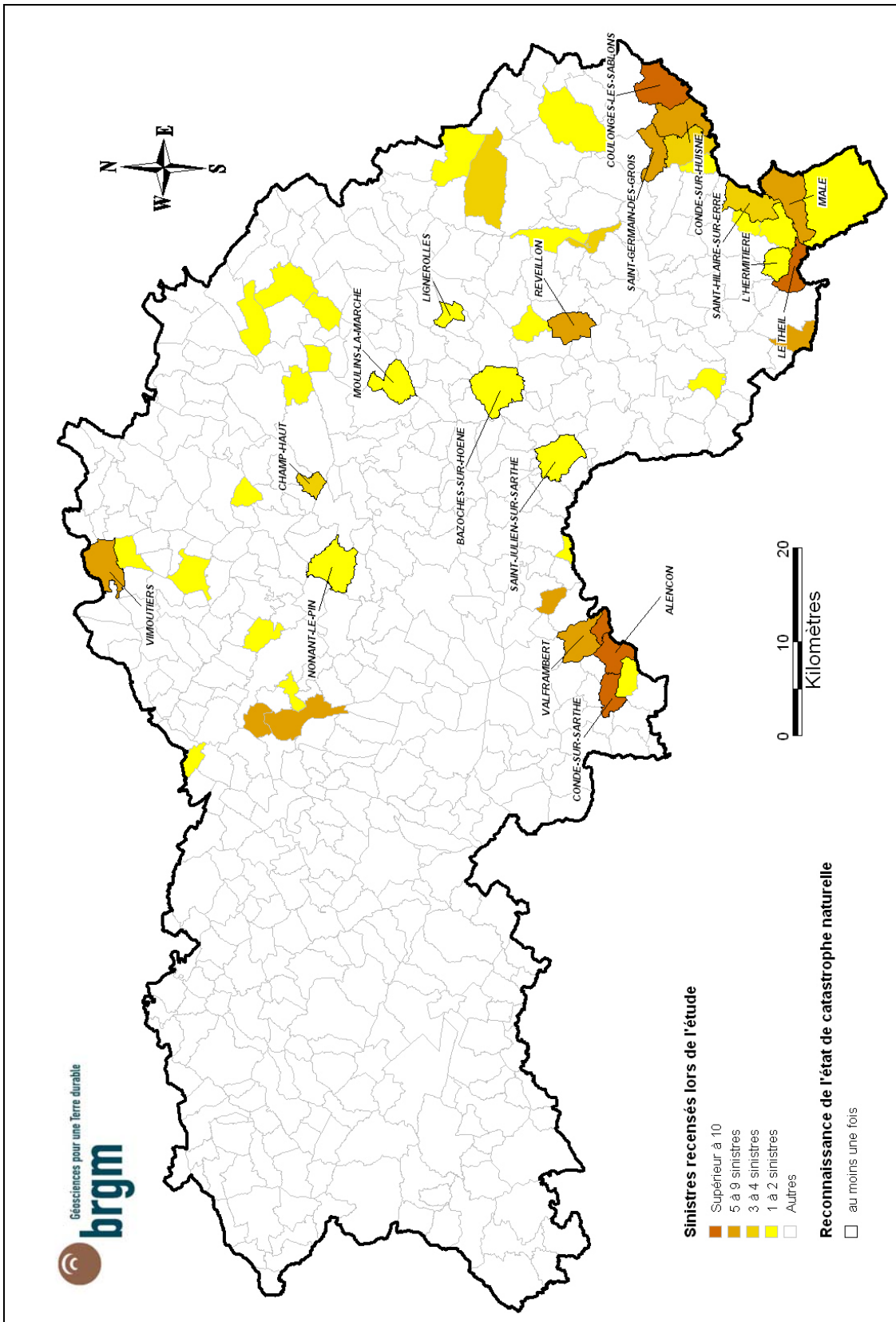


Illustration 18 – Etat des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés par commune

7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES

7.3.1. Collecte des données

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de sources d'informations complémentaires, à savoir la consultation des dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle archivés au service départemental de défense et de protection civile (Préfecture de l'Orne) et à la Caisse centrale de réassurance (CCR), ainsi que d'une enquête auprès des 507 communes du département. La totalité des 225 sinistres ainsi comptabilisés a pu être localisée avec suffisamment de précision pour être exploitée.

L'enquête effectuée auprès des communes s'est faite par envoi d'un courrier, accompagné d'une lettre circulaire de M. le Préfet de l'Orne, aux 507 maires. Les courriers ont été envoyés depuis le Service Géologique Régional Basse-Normandie du BRGM le 25 mai 2007. Une deuxième relance a été faite par fax entre les mois de janvier et février 2008 auprès des mairies qui n'avaient pas répondu à l'enquête. De nombreuses 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 sinistres par d'autres sources (préfecture, CCR..) ainsi que dans les communes situées sur des formations soumises à un aléa plus important (une large partie orientale du département). Le taux de réponse final atteint 67 %, avec 48 réponses de communes signalant des sinistres et 461 réponses de communes se déclarant non concernées. Par ailleurs, quelques sinistres déclarés n'ont finalement pas été retenus car leur origine n'était manifestement pas liée au retrait-gonflement des sols argileux. Une commune ayant bénéficié d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse n'a pas répondu à l'enquête malgré de nombreuses relances.

7.3.2. Bilan

Finalement, 225 sinistres ont été recensés et localisés avec précision. La localisation des sinistres a été effectuée sur fonds topographiques de l'IGN à 1/25 000. Ce travail a été réalisé grâce aux plans de localisation renvoyés par les communes, ou figurant dans les dossiers préfectoraux, ainsi que par la consultation des sites internet www.maporama.fr, www.viamichelin.fr, www.pagesjaunes.fr, www.cadastre.gouv.fr.

Le nombre de sinistres par commune est très variable : 37 (soit 77 %) des 48 communes concernées comptent 1 à 5 sinistres seulement. Une commune, le Theil-sur-Huisne, concentre à elle seule plus de 20 % des sinistres du département (44). Enfin 4 autres communes totalisent 10 sinistres recensés ou plus : Condé-sur-Sarthe (22), Coulonges-les-Sablons (20), Cerisé (14) et Alençon (12).

D'un point de vue géographique, les sinistres se répartissent presque exclusivement dans la moitié orientale du département de l'Orne (Illustration 20). De fortes concentrations apparaissent dans l'agglomération d'Alençon, au sud-est dans la vallée de l'Huisne, et sur les bordures du plateau (Vimoutiers, Champ-Haut, Moulins-la-Marche, Réveillon). Quelques sinistres plus diffus sont repérables à l'est du département, près de Mortagne-au-Perche et au centre près d'Argentan.

Finalement, ces données indiquent que la répartition géographique des sinistres est assez inégale, mais qu'elle n'est pas le fruit du hasard et qu'elle est étroitement liée aux zones d'affleurement de certaines formations géologiques.

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

L'examen des études réalisées après sinistres indique que 100 % des sinistres localisés sont répartis sur les formations retenues comme argilo-marneuses, ces dernières occupant il est vrai près de 75 % de la surface du département (Illustration 20).

Rappelons toutefois que certaines formations considérées comme *a priori* non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non cartographiés. Ceci concerne notamment des colluvions superficielles ou des altérites d'horizons calcaires.

Parmi les formations retenues comme argileuses au sens large, 8 présentent chacune plus de 10 sinistres. Il faut cependant noter que plusieurs de ces formations affleurent largement sur le département, ce qui traduit en réalité une (très) faible densité de sinistres de ces formations. Il s'agit des formations suivantes :

- Cjs – Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique : 29 sinistres ;
- Cc – Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé : 39 ;
- LP – Limons des plateaux : 17 ;
- RSc – Argiles à silex sur formations du Crétacé : 12 ;
- Rc – Altérites de craie cénomanienne et turonienne : 26 ;
- c1R – Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard : 11 ;
- j4-5M – Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires : 32 ;
- j2-3 – Calcaires du Bajocien et du Bathonien : 14.

Parmi les formations argilo-marneuses, 11 ne comptent aucun sinistre recensé à ce jour. Il s'agit des formations Tz, Fu-y, RSj, FL, Aa, Ab, e-g, eC, c1T, l3-4, et t6. Il faut cependant noter que certaines de ces formations n'affleurent que très peu dans le département (sur quelques km² seulement).

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

L'illustration 18 montre que les 18 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse à ce jour sont inégalement concernées par le phénomène. La commune du Theil-sur-Huisne est la plus touchée dans l'Orne : 44 sinistres y ont été recensés soit un peu moins de 20 % du nombre de total de sinistres recensés sur le département. D'autres communes présentent un nombre conséquent de sinistres : 12 à Alençon, 14 à Cerisé, 22 à Condé-sur-Sarthe, 20 à Coulonges-les-Sablons, etc. Parmi les communes reconnues en état de catastrophe naturelle, une n'a pas répondu à l'enquête malgré les relances successives.

Les dossiers retrouvés à la CCR et à la Préfecture comportent parfois des différences notables (Illustration 19) avec les réponses des communes reconnues en état de

catastrophe naturelle. Ils reflètent en effet les déclarations préliminaires des sinistrés, mais certains de ces derniers abandonnent leurs démarches en cours ou n'en tiennent pas informée la mairie. Inversement, une fois la commune reconnue en état de catastrophe naturelle, il arrive que de nouveaux propriétaires déclarent un sinistre à leur assurance, sans nécessairement en avertir la mairie qui n'est alors plus concernée par la procédure. De plus, des différences importantes existent également avec les archives détenues par le Service Géologique Régional du BRGM. Ces archives datent généralement des périodes durant lesquelles ont eu lieu les sinistres et ont précisément été établies dans le cadre de la procédure de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

On peut remarquer que les informations se complètent entre les sources, ce qui montre la nécessité de faire une recherche des maisons sinistrées par divers moyens. Par exemple, les 44 sinistres du Theil-sur-Huisne se retrouvent grâce à plusieurs sources différentes. Cependant, il semble que certains sinistrés ne se soient pas signalés auprès de la mairie lors de la phase de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle mais ont ensuite déclaré leur sinistre à leur assurance, une fois obtenue cette reconnaissance au niveau communal, ce qui a pu conduire quand même à leur indemnisation après expertise.

7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE

Étant donné que les surfaces d'affleurement des différentes formations géologiques sont extrêmement variables, il est important de raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique (ramenées à 100 km² de surface d'affleurement). Cependant, il faut garder à l'esprit que l'urbanisation n'est pas uniforme sur l'ensemble du département 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 29 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.

Commune	Archives CCR	Archives préfecture	Réponse mairie	Brgm (sources Archives = A ; Terrain = T)
Alençon	1 maison localisée	Aucune	11 maisons localisées	Aucune
Argentan	Aucune	Aucune	6 maisons localisées	Aucune
Bazoches-sur-Hoëne	1 maison localisée	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Bellou-le-Trichard	Aucune	Aucune	5 maisons localisées	Aucune
Bourg-Saint-Léonard	Aucune	Aucune	Aucune	2 (T)
Brioux	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Cerisé	Aucune	Aucune	14 maisons localisées	Aucune
Céton	Aucune	Aucune	Aucune	1 (A)
Champ-Haut	1 maison localisée	Aucune	3 maisons localisées	Aucune
Condeau	Aucune	Aucune	3 maisons localisées	Aucune
Condé-sur-Huisne	6 maisons localisées	Aucune	Aucune	Aucune
Condé-sur-Sarthe	Aucune	Aucune	22 maisons localisées	Aucune
Coulonges-les-Sablons	Aucune	13 maisons localisées	7 maisons localisées	Aucune
Ecorcei	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Gacé	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Guerquesalles	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
L'Aigle	Aucune	1 maison localisée	Aucune	Aucune
L'Hermitière	Aucune	2 maisons localisées	2 maisons localisées	Aucune
La Rouge	Aucune	1 maison localisée	1 maison localisée	Aucune
Larré	Aucune	6 maisons localisées	2 maisons localisées	Aucune
Le Menil-Brout	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Le Theil-sur-Huisne	6 maisons localisées	22 maisons localisées	15 maisons localisées	Aucune
Lignerolles	1 maison localisée	Aucune	Aucune	Aucune
Maison-Maugis	Aucune	Aucune	4 maisons localisées	Aucune
Mâle	1 maison localisée	Aucune	6 maisons localisées	Aucune
Marchainville	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Mortagne-au-Perche	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Moulicent	Aucune	Aucune	3 maisons localisées	Aucune
Moulins-la-marche	Aucune	1 maison localisée	Aucune	Aucune
Moutiers-au-Perche	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Nonant-le-Pin	1 maison localisée	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Réveillon	1 maison localisée	Aucune	4 maisons localisées	Aucune
Sai	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Saint-Agnan-sur-Sarthe	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Saint-Germain-des-Grois	3 maisons localisées	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Saint-Germain-du-Corbeis	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Saint-Hilaire-sur-Erre	3 maisons localisées	Aucune	Aucune	Aucune
Saint-Hilaire-sur-Risle	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Saint-Julien-sur-Sarthe	Aucune	1 maison localisée		Aucune
Saint-Pierre-des-Loges	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Saint-Symphorien-des-Bruyères	Aucune	Aucune	2 maisons localisées	Aucune
Saint-Victor-de-Réno	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Saint-Pierre-la-Bruyère	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Sévigny	Aucune	Aucune	5 maisons localisées	Aucune
Survie	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Valframbert	Aucune	Aucune	5 maisons localisées	Aucune
Vaunoise	Aucune	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Vimoutiers	1 maison localisée	3 maisons localisées	6 maisons localisées	4 maisons localisées (A)

Illustration 19 – Comparaison des données de sinistres

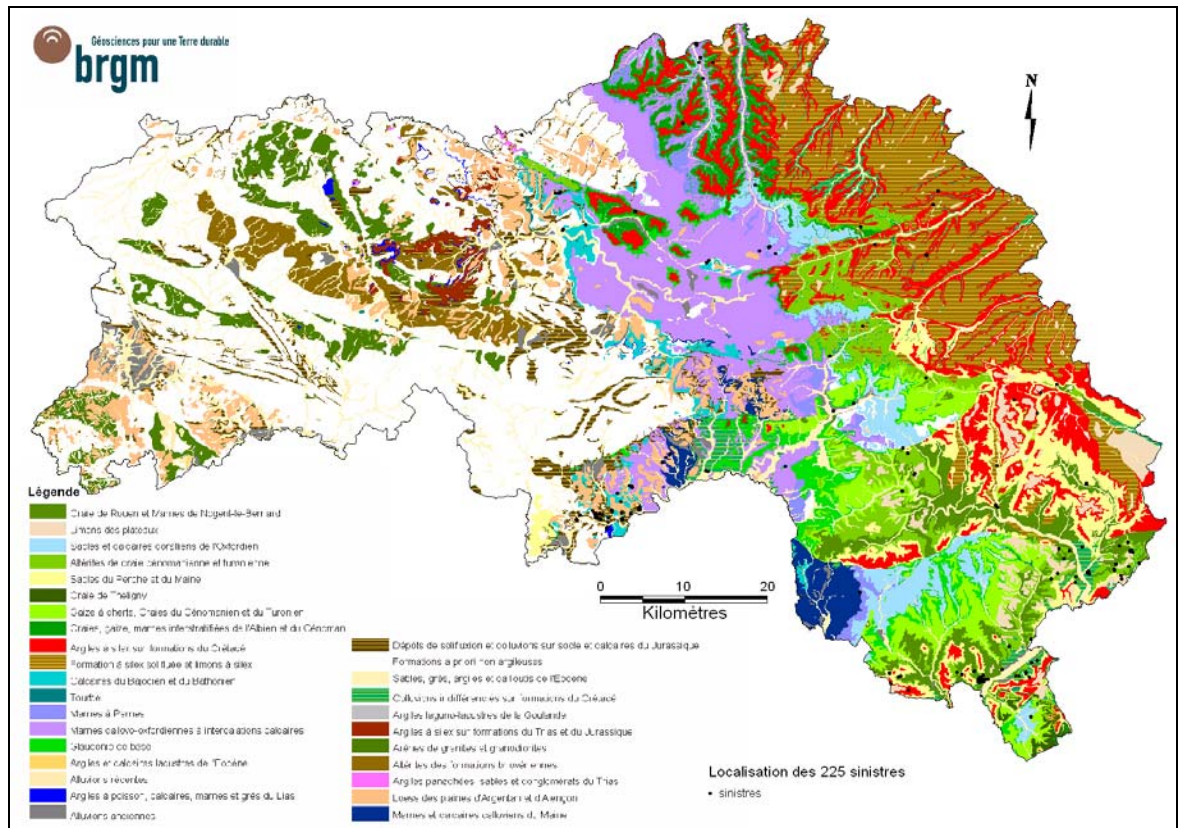


Illustration 20 – Répartition géologique des sinistres recensés et localisés

La surface totale des zones urbanisées du département a été ainsi estimée à 238 km², soit environ 4 % 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 160,7 km², soit environ 3,5 % 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 pas 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 atteint plusieurs milliers). C'est en particulier le cas de cinq formations : Tz, FL, eC, t6 et c1T (respectivement *Tourbe*, *Argiles laguno-lacustres de la Goulande*, *Argiles et calcaires lacustres de l'Éocène*, *Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias* et *la Craie de Théligny*) dont la surface d'affleurement urbanisée est si réduite (respectivement 0,104 ; 0 ; 0,015 ; 0,069 et 0,109 km²) que la présence d'un seul sinistre conduirait à une densité de sinistre très élevée qui ne peut être considérée comme réellement significative. Ceci est d'autant plus vrai pour la formation FL (*Argiles laguno-lacustres de la Goulande*) où l'urbanisation est inexistante, ce qui suffit à expliquer l'absence de sinistre recensé, sans que cette constatation ne fournisse la moindre indication sur l'exposition de cette formation au phénomène de retrait-gonflement.

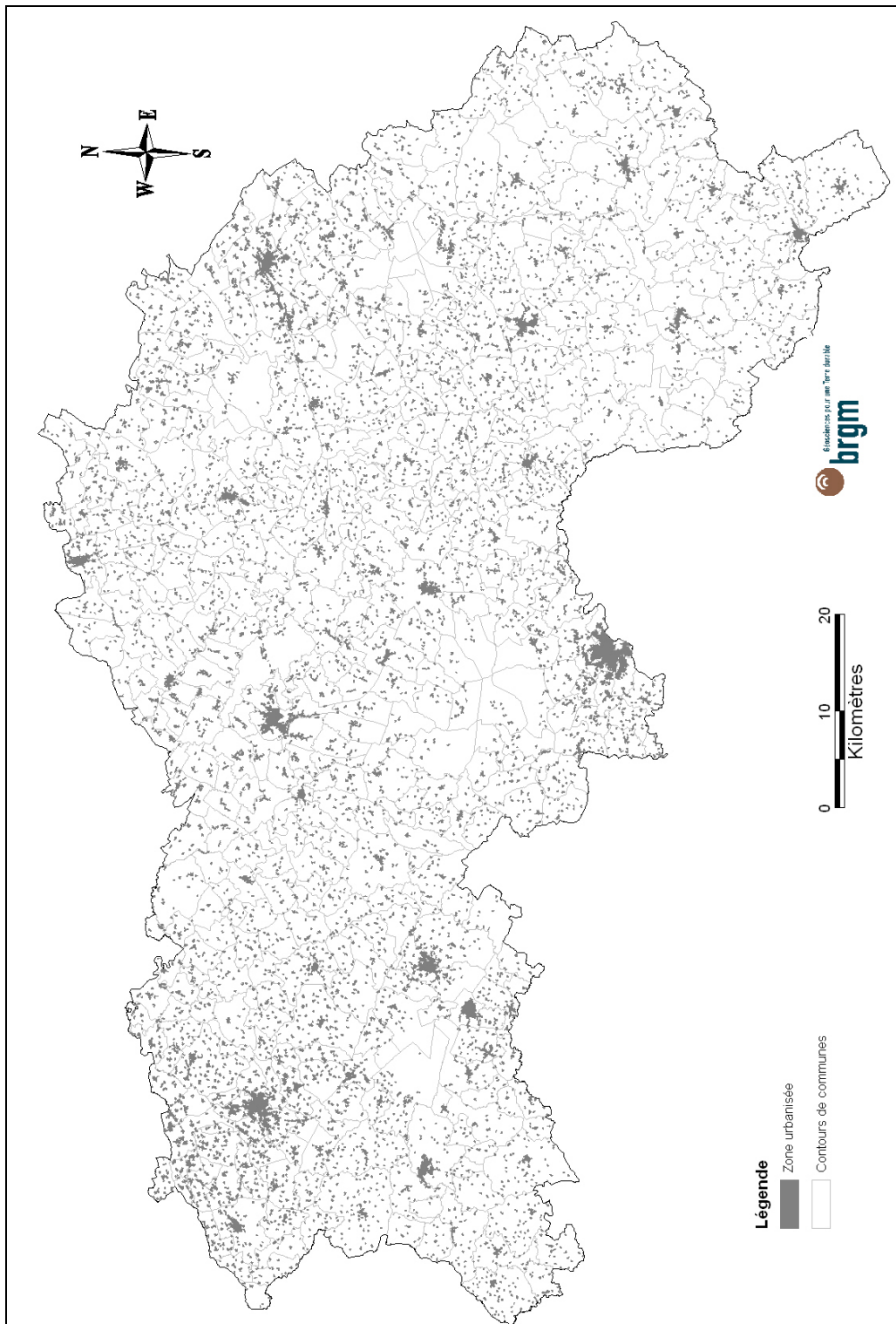


Illustration 21 – Carte des zones urbanisées sur le département de l'Orne

Notation et intitulé des formations argileuses	SINISTRES		AFFLEUREMENT		URBANISATION	
	Nombre de sinistres	% de sinistres	Surface (km ²)	% affleurement	Surfaces urbanisées (km ²)	% urbanisé
Tz - Tourbe	0	0,0	3,97	0,06	0,1041	0,044
Fz - Alluvions récentes	5	2,2	408,24	6,64	9,6382	4,048
Fu-y - Alluvions anciennes	0	0,0	66,26	1,08	2,6888	1,129
Cjs - Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	29	12,9	205,83	3,35	10,5992	4,452
Cc - Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	39	17,3	130,58	2,12	4,3373	1,822
Oey - Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	8	3,6	255,45	4,15	9,6061	4,035
LP - Limons des plateaux	17	7,6	111,26	1,81	2,5148	1,056
B-LPS - Formation à silex solifluée et limons à silex	4	1,8	537,35	8,74	18,4415	7,746
RSc - Argiles à silex sur formations de Crétacé	12	5,3	451,96	7,35	13,8429	5,814
RSj - Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	0	0,0	35,07	0,57	0,4247	0,178
Rc - Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	26	11,6	212,88	3,46	6,6875	2,809
FL - Argiles laguno-lacustres de la Goulande	0	0,0	0,14	0,00	0,5900	0,248
Ab - Altérites des formations briovériennes	0	0,0	142,59	2,32	9,5311	4,003
Aa - Arènes de granites et granodiorites	0	0,0	204,2	3,32	11,3936	4,786
e-g - Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	0	0,0	9,33	0,15	0,4060	0,171
eC - Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	0	0,0	0,51	0,01	0,0150	0,006
c1SPM - Sables du Perche et du Maine	7	3,1	227,9	3,70	6,5041	2,732
c1T - Craie de Théligny	0	0,0	10,72	0,17	0,1092	0,046
c1R - Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	11	4,9	175,12	2,85	5,2449	2,203
c1Cr - Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien	4	1,8	198,29	3,22	5,1375	2,158
n6-c1 - Glauconie de base	4	1,8	148,23	2,41	3,2409	1,361
n5-c1 - Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne	3	1,3	121,07	1,97	3,3114	1,391
j5 - Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	8	3,6	157,93	2,57	9,1377	3,838
j4-5P - Marnes à Pernes	1	0,4	72,1	1,17	1,5556	0,653
j4-5M - Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	32	14,2	492,51	8,01	16,2770	6,837
j4 - Marnes et calcaires calloviens du Maine	1	0,4	73,49	1,19	1,1526	0,484
j2-3 - Calcaires du Bajociennne et du Bathonien	14	6,2	68,14	1,11	7,3473	3,086
l3-4 - Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	0	0,0	11,88	0,19	0,8090	0,340
t6 - Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	0	0,0	3,05	0,05	0,0692	0,029
Total des formations argileuses	225	100,0	4 536,05	73,74	160,7170	67,504
Formations a priori non argileuses	0	0,0	1 615,25	26,26	77,3668	32,496
TOTAL	225	100,0	6 151,30	100,00	238,0838	100,000

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 94 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement urbanisé.

Les formations présentant une sinistralité élevée (plus de 94 sinistres pour 100 km² d'affleurement urbanisé) sont :

- j2-3 – Calcaires du Bajociennne et du Bathonien (190) ;
- LP – Limons des plateaux (675) ;

- *Cjs – Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique (273) ;*
- *j4-5M – Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires (196) ;*
- *Cc – Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé (899) ;*
- *Rc – Altérites de craie cénomanienne et turonienne (388) ;*
- *RSc – Argiles à silex sur formations du Crétacé (87) ;*
- *n6-c1 – Glauconie de base (123) ;*
- *c1Cr – Gaize à cherts, Craies du Cénomanienn et du Turonien (78) ;*
- *c1R – Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard (209) ;*
- *n5-c1 – Craies, gaizes, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomanienn (91).*

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est le seuil de 94 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 94 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité inférieure à la moyenne des zones argileuses) ;
- *note 2* : entre 94 et 200 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à la moyenne des zones argileuses et inférieure à six fois cette moyenne) ;
- *note 3* : plus de 200 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à six fois la moyenne).

Quatre formations obtiennent une note de densité de sinistres de 3, les *Limons des plateaux, Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique*, les *Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé* et les *Altérites de craie cénomanienn et turonienne*.

Concernant les formations des *Argiles à silex sur formations du Crétacé (RSc)*, *Gaize à cherts, Craies du Cénomanienn et du Turonien (c1Cr)*, *Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomanienn (n5-c1)*, *Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard (c1R)*, *Craie de Théligny (c1T)*, pour lesquelles la densité de sinistres s'est avérée non significative (changement de classe de sinistralité par l'ajout ou retrait d'un sinistre), le niveau d'aléa découle directement de la susceptibilité déterminée précédemment.

Notation et intitulé des formations	Nombre de sinistres	Densité de sinistres (pour 100 km ² urbanisés)	Note de densité de sinistres
Tz - Tourbe	0	0,00	1
Fz - Alluvions récentes	5	51,88	1
Fu-y - Alluvions anciennes	0	0,00	1
Cjs - Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	29	273,61	3
Cc - Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	39	899,19	3
Oey - Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	8	83,28	1
LP - Limons des plateaux	17	675,99	3
B-LPS - Formation à silex solifluée et limons à silex	4	21,69	1
RSc - Argiles à silex sur formations de Crétacé	12	86,69	NS
RSj - Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	0	0,00	1
Rc - Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	26	388,78	3
FL - Argiles laguno-lacustres de la Goulande	0	0,00	1
Ab - Altérites des formations briovériennes	0	0,00	1
Aa - Arènes de granites et granodiorites	0	0,00	1
e-g - Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	0	0,00	1
eC - Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	0	0,00	1
c1SPM - Sables du Perche et du Maine	7	107,63	1
c1T - Craie de Théligny	0	0,00	NS
c1R - Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	11	209,73	NS
c1Cr - Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien	4	77,86	NS
n6-c1 - Glauconie de base	4	123,42	2
n5-c1 - Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne	3	90,60	NS
j5 - Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	8	87,55	1
j4-5P - Marnes à Pernes	1	64,28	1
j4-5M - Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	32	196,60	2
j4 - Marnes et calcaires calloviens du Maine	1	86,76	1
j2-3 - Calcaires du Bajociennne et du Bathonien	14	190,55	2
l3-4 - Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	0	0,00	1
t6 - Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	0	0,00	1

Seuil = 94 et 200

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 note de sinistralité est établie en comparant ce résultat aux valeurs seuils et vaut selon les cas 1, 2 ou 3, sauf pour quelques formations de faible extension géographique où elle a été jugée non-significative.

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

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

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

Le classement ainsi obtenu est présenté sur le tableau de l'illustration 24. Une seule formation est considérée en aléa fort vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement : la *Glaucanie de base*. Cette formation couvre 2,41 % de la superficie départementale (Illustration 25).

Cinq formations sont considérées en aléa moyen, résultant d'une susceptibilité moyenne associée à une densité de sinistres également moyenne : les *Argiles à silex sur formations du Crétacé*, *Craie de Théligny*, les *Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniens*, les *Gaize à cherts et Craies du Cénomaniens et du Turonien*, les *marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires*. Une autre formation (*les Altérites de craie cénomaniens et turonien*) a été rattachée à cette catégorie, avec une forte sinistralité et une susceptibilité moyenne. Ces six formations couvrent au total 24,18 % de la superficie départementale.

Les autres formations, au nombre de 22 et couvrant au total 47,15 % de la superficie départementale, sont considérées comme présentant un aléa faible. Elles résultent d'une susceptibilité faible assortie d'une sinistralité faible à forte.

Notation et intitulé des formations	Niveau de susceptibilité	Note de densité de sinistres	Indice d'aléa	Aléa
Tz - Tourbe	2	1	5	faible
Fz - Alluvions récentes	1	1	3	faible
Fu-y - Alluvions anciennes	1	1	3	faible
Cjs - Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	1	3	5	faible
Cc - Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	1	3	5	faible
Oey - Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	1	1	3	faible
LP - Limons des plateaux	1	3	5	faible
B-LPS - Formation à silex soliflué et limons à silex	1	1	3	faible
RSc - Argiles à silex sur formations de Crétacé	2	NS	6	moyen
RSj - Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	1	1	3	faible
Rc - Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	2	3	7	moyen
FL - Argiles laguno-lacustres de la Goulande	1	1	3	faible
Ab - Altérites des formations briovériennes	1	1	3	faible
Aa - Arènes de granites et granodiorites	1	1	3	faible
e-g - Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	1	1	3	faible
eC - Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	2	1	5	faible
c1SPM - Sables du Perche et du Maine	2	1	5	faible
c1T - Craie de Théligny	2	NS	6	moyen
c1R - Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	1	NS	4	faible
c1Cr - Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien	2	NS	6	moyen
n6-c1 - Glauconie de base	3	2	8	fort
n5-c1 - Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne	2	NS	6	moyen
j5 - Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	2	1	5	faible
j4-5P - Marnes à Pernes	2	1	5	faible
j4-5M - Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	2	2	6	moyen
j4 - Marnes et calcaires calloviens du Maine	1	1	3	faible
j2-3 - Calcaires du Bajociennne et du Bathonien	1	2	4	faible
i3-4 - Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	1	1	3	faible
t6 - Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	1	1	3	faible

Illustration 24 – Niveau d'aléa des formations (NS pour « non-significatif »)

8.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à composante argileuse ou marneuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Elle est présentée sur l'illustration 26 et en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000 (où les sinistres, les zones urbanisées et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont 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). Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non

argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent 26 % de la superficie départementale. Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés d'aléa *a priori* nul, se trouvent localement des zones argileuses d'extension limitée, notamment dues à l'hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses ou à l'altération localisée de formations carbonatées. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

La prise en compte des sinistres et des données de sondage recueillies dans le département de l'Orne a permis de corriger localement certains contours de la carte géologique harmonisée du département. Les cartes géologiques ont été levées pour certaines d'entre elles à des dates relativement anciennes, ce qui explique que certaines formations superficielles soient parfois mal représentées.

Notation et intitulé des formations	Surface d'affleurement (km ²)	% affleurement	Aléa
Tz - Tourbe	3,97	0,06	faible
Fz - Alluvions récentes	408,24	6,64	faible
Fu-y - Alluvions anciennes	66,26	1,08	faible
Cjs - Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	205,83	3,35	faible
Cc - Colluvions indifférenciées sur formations du Crétacé	130,58	2,12	faible
Oey - Loess des plaines d'Argentan et d'Alençon	255,45	4,15	faible
LP - Limons des plateaux	111,26	1,81	faible
B-LPS - Formation à silex solifluée et limons à silex	537,35	8,74	faible
RSj - Argiles à silex sur calcaires du Trias et du Jurassique	35,07	0,57	faible
FL - Argiles laguno-lacustres de la Goulande	0,14	0,00	faible
Ab - Altérites des formations briovériennes	142,59	2,32	faible
Aa - Arènes granites et granodiorites	204,2	3,32	faible
e-g - Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Eocène	9,33	0,15	faible
eC - Argiles et calcaires lacustres de l'Eocène	0,51	0,01	faible
c1SPM - Sables du Perche et du Maine	227,9	3,70	faible
c1R - Craie de Rouen et Marnes de Nogent-le-Bernard	175,12	2,85	faible
j5 - Sables et calcaires coralliens de l'Oxfordien	157,93	2,57	faible
j4-5P - Marnes à Pernes	72,1	1,17	faible
j4 - Marnes et calcaires calloviens du Maine	73,49	1,19	faible
j2-3 - Calcaires du Bajocien et du Bathonien	68,14	1,11	faible
l3-4 - Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	11,88	0,19	faible
t6 - Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	3,05	0,05	faible
TOTAL des formations en aléa faible	2 900,39	47,15	
RSc - Argiles à silex sur formations de Crétacé	451,96	7,35	moyen
Rc - Altérites de craie cénomaniennne et turonienne	212,88	3,46	moyen
c1T - Craie de Théligny	10,72	0,17	moyen
c1Cr - Gaize à cherts, Craies du Cénomaniennne et du Turonien	198,28	3,22	moyen
n5-c1 - Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomaniennne	121,07	1,97	moyen
j4-5M - Marnes callovo-oxfordiennes à intercalations calcaires	492,53	8,01	moyen
TOTAL des formations en aléa moyen	1 487,44	24,18	
n6-c1 - Glauconie de base	148,23	2,41	fort
TOTAL des formations en aléa fort	148,23	2,41	
TOTAL des formations argileuses	4 536,06	73,74	
Formations a priori non argileuses	1 615,25	26,26	
TOTAL département	6 151,31	100,00	

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

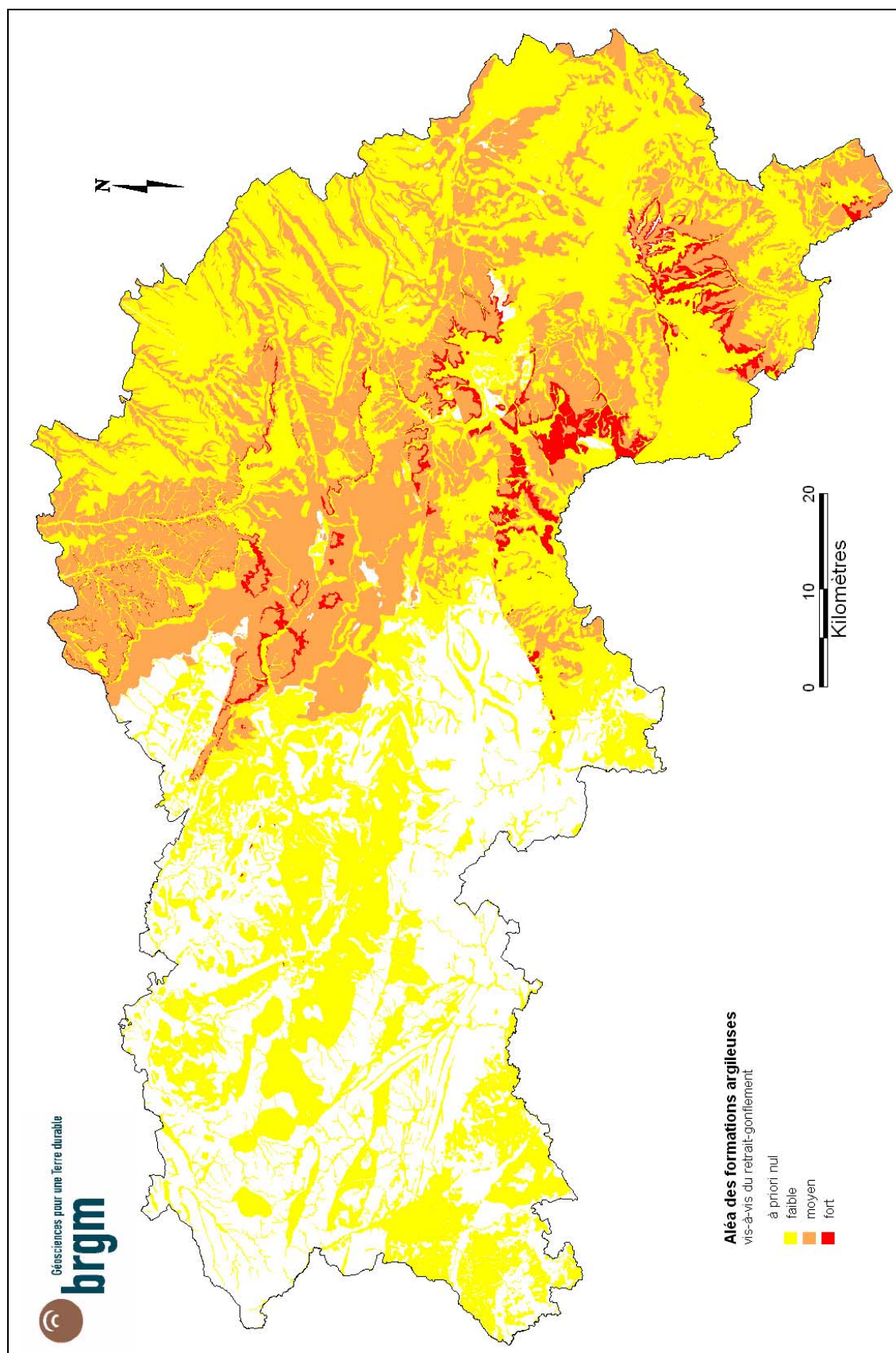


Illustration 26 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement de l'Orne

9. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'établir une carte de l'aléa lié au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux dans le département de l'Orne. 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 l'Aménagement du Territoire 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 quarantaine 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 29 formations, dont l'une des caractéristiques est la forte hétérogénéité, liée à leurs conditions de dépôts ou leur altération superficielle.

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

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

En définitive, la carte départementale d'aléa a été établie à partir de la carte synthétique des formations à composante 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, 225 sinistres répartis dans 48 communes du département ont ainsi été recensés et localisés avec précision. 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.

En appliquant au département de l'Orne la méthodologie mise au point au niveau national, 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. Une formation argileuse a été ainsi classée en aléa fort. Sur une superficie départementale totale de 6 151 km²,

- 2,41 % est classé en aléa fort ;
- 24,18 % est classé en aléa moyen ;
- 47,15 % est classé en aléa faible ;
- 26,26 % correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

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

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux du département de l'Orne, 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 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.

10. Bibliographie

Références principales citées dans le texte

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

Bouchut J., Giot D., Vincent M. (2003) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département d'Eure-et-Loir. Rapport BRGM/RP-52519-FR. 129 p., 16 fig., 13 tabl., 5 ann., 3 cartes h.-t.

CEBTP sous l'égide de l'AQC, l'APCAD, 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.

Cazaux D., Gaucher E. (2006) – Bernières-sur-Seine (27), Etude de valorisation d'argiles en matériau d'étanchéité, Rapport confidentiel. Rapport BRGM-RP-54720-FR, Orléans, 17 p.

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

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

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

Couëffé R. et Arnaud L. (2007) – Pour une identification de l'aquifère apto-albien dans le cadre de recherche d'eau en Haute-Normandie. Propositions du BRGM. Rapport BRGM/RP-55338-FR, 55 p., 10 fig., 1 tabl.

Dugué O. (1989) – Géodynamique d'une bordure de massifs anciens : La bordure occidentale du Bassin anglo-parisien au Callovo-Oxfordien. Thèse doctorat, univ. Caen, 593 p.

Dugué O. (1991) – Comportement d'une bordure de massifs anciens et cortèges de minéraux argileux : l'exemple de la bordure occidentale du Bassin Anglo-Parisien au Callovo-Oxfordien. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 81. Elsevier Science Publisher B.V. éd. Amsterdam, pp. 323-346.

Dugué O., Fily G., Rioult M. (1998) - Le Jurassique des Côtes du Calvados. Biostratigraphie, sédimentologie, paléocologie, paléogéographie et stratigraphie séquentielle. Bulletin trimestriel de la société géologique de Normandie et des amis du muséum du Havre. Ed. du Muséum du Havre. T. 85, Fasc. 2, 2° trim.

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, 120 p., 26 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

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 de l'Eure. Rapport BRGM/RP-56485-FR, 120 p., 26 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

Equilbey E. (2003) – Désordres superficiels de terrain apparus en fin d'été 2003 sur les parcelles XB81, XB91 et XB92, Quartier Saint-Michel, Commune d'Evreux (Eure). Avis du BRGM. Rapport BRGM/RP-52652-FR, 50 p., 3 fig., 4 ph., 2 ann.

Gaboriau H. (1991) – Interstratifiés Smectite-Kaolinite de l'Eure. Relations entre la structure, la texture et les propriétés en fonderie. Thèse. CNRS, BRGM, univ. Orléans. 274 p.

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

Hanot F. (2006) – Hurepoix. *Aquifères et eaux souterraines en France*, coord. J.-C. Roux, BRGM, Orléans, t.1, pp.174-177

Juignet P. (1965) – Analyse minéralogique des sédiments arénacés de l'Oxfordien supérieur, de l'Albien et d'une formation intermédiaire dans la région de Lisieux (Calvados). *Extrait bull. Soc. geol. Fr., 7^{ème} série, t. VII*, pp. 327-333

Juignet P. (1974) – La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif armoricain. Aptien, Albien, Cénomaniens de Normandie et du Maine. Thèse doctorat., univ. Caen, 2 t., 806 p.

Laignel B. (1993) – Les matériaux résiduels à silex de la marge occidentale du Bassin de Paris. Caractérisation, bilan des transformations minérales au cours de leur genèse et utilisation potentielle comme granulats. Rapport de stage DEA. BRGM. Univ. Orléans. 43 p.

Laignel B. (1997) - Les altérites à silex de l'Ouest du bassin de Paris. Caractérisation lithologique, genèse et utilisation potentielle comme granulats. Document du BRGM, Orléans, n° 264, 219 p

Laignel B., Quesnel F., Lecoustumer M.-N., Meyer R. (1998) – Variabilité du cortège argileux des formations résiduelles à silex de l'Ouest du Bassin de Paris, *C. R. Acad. Sci. Paris*. 326, pp. 467-472

Lautridou J.-P. (1968) – Les formations superficielles de Saint-Romain (Pays de Caux). Leur contribution à l'étude géomorphologique de la région. Fac. des sc., univ. Caen – Centre géomorphologie CNRS Caen édit., 194 p.

Lautridou J.-P. (1985) – Le cycle périglaciaire pléistocène en Europe du Nord-Ouest et plus particulièrement en Normandie. Thèse d'État, Géographie, Université Caen, Groupe Seine – Centre géomorphologie CNRS Caen édit., 908 p, 2 t., 191 fig., 60 tabl., 19 pl. photos

Le Berre P. (1978) – Recherche d'indices de gisements de bentonite dans le Bassin de Paris – Etude bibliographique préliminaire. Rapport BRGM 78 SGN 723 MTX, Orléans, 133 p.

Le Berre P. et Rozes B. (1980) – Inventaire des indices de bentonite du nord-ouest du Bassin de Paris. Rapport BRGM 80 SGN 178 MTX, Orléans, 2 t.

LeGuern C., Javanaud T. avec la collaboration de Bechenec F., Rouxel E., Guillet J., Guignat S. (2007) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Sarthe, Rapport BRGM/RP-55777-FR, 149p., 22 ill., 5 ann., 3 cartes ht.

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

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

Pellenard P. et Deconinck J-F. (2006) – Mineralogical variability of Callovo-Oxfordian clays from the Paris Basin and the Subalpine Basin. C.R. Geoscience 338 (2006), pp. 854-866

Pomerol B. (2006) – Vexin – Parisis – Valois. *Aquifères et eaux souterraines en France, coord. J.-C. Roux*, BRGM, Orléans, t.1, pp.183-186

de la Querrière P. et Pascaud P. (1970) – Données géologiques et hydrogéologiques acquises à la date du 30 juin 1969 sur le territoire de la feuille topographique au 1/50000 Evreux 150 et Mantes 151 (Eure). Rapport BRGM 70 SGN 041 PNO, Mont-Saint-Aignan, 4 cartes, 7 ann., 84 p.

de la Querrière P. et Roux J-C (2006) – Normandie crayeuse. *Aquifères et eaux souterraines en France, coord. J.-C. Roux*, BRGM, Orléans, t.1, pp.249-258

Quesnel F. (1993) – Les formations résiduelles à silex de l'Ouest du Bassin de Paris. Nouvelles méthodes d'investigation et de synthèse. URA CNRS N°157, BRGM. univ. Dijon. 33 p.

Quesnel F. (1997) – Cartographie numérique en géologie de surface. Application aux altérites à silex de l'ouest du Bassin de Paris. *Document du BRGM*, Orléans, n°263, 430 p.

Roux J.-C. (2006) – Vallée de la Basse Seine. *Aquifères et eaux souterraines en France, coord. J.-C. Roux*, BRGM, Orléans, t.1, pp.259-262

Rouxel-David E., Joublin F. (2004) – Etude de présence d'argile. Demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (Sécheresse 2003). Rapport BRGM/RP-53141-FR, 47 p., 26 fig.

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

Van Lint J., Giot D., Callec Y. (2003) – Carte géologique harmonisée du département de l'Eure. Rapport BRGM/RP-52766-FR, 97 p., 3 fig., 18 tabl., 1 ann., 1 pl. h-t.

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

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

Vincent M., Plat E., Le Roy S. (2007) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement et plans de prévention des risques. Revue Française de Géotechnique n°120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 189-200

Autres références thématiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Coquet Y. (1995) – Étude *in situ* des phénomènes de retrait-gonflement des sols. Application à deux sols tropicaux peu gonflants. Thèse Univ. d'Orléans.
- Cui M. (1996) – Les apports de la mécanique des sols non saturés. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.
- Driscoll R. (1983) – The influence of vegetation on the swelling and shrinking of clay soils in Britain. *Geotechnique*. Vol. XXXIII, pp. 93-105.
- Filliat G. (1981) – La pratique des sols et fondations – Éditions du Moniteur. N°/ISBN : 2-86282-162-4.
- Flavigny E. (1992) – Discussion de l'article « Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». *Rev. Fr. Géotech.*, n° 57, 59, p. 75-78.
- Gillot J.S. (1987) – Clay in engineering geology. *In* Elsevier (Éd.): *Developments in Geological Engineering*, 41, 469 p.
- Havard M. (1996) – Travaux de terrassements et ouvrages en terre. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'Étude de l'École des Ponts, Paris, 11/12/1996.
- Holtzapffel T. (1985) – Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Mém. Soc. Géol. Nord*, 12, 136p.
- Kert C. (1999) – Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France. Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. N° 1540 Assemblée Nationale, n° 312 Sénat, avril 1999.
- Lautrin D. (1989) – Utilisation pratiques des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 160, p. 29-41.
- Madsen M.T., Müller-Vonmoos M. (1989). The swelling behaviour of clays. *In* Elsevier (Éd.) : *Applied Clay Science*, 4, p. 143-156.
- Madiou H., Lechani M., Hannachi N. (1997) – Patholex : un système expert pour la pathologie dans la construction. Le cas de la sécheresse. *Sécheresse*, 3, 8, p. 201-206.
- Magnan D. (1993) – Caractérisation *in situ* des sols gonflants : l'essai expansol. Thèse de doctorat Univ. Joseph Fourier, Grenoble 1.
- Magnan J.P. et Youssefian G. (1989) – Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 159, 93-104.
- Meisina C., Chassagneux D., Leroi E., Mouroux P. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Article et présentation au 8^e Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement.
- Millot G. (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Sites internet

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

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

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

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

Annexe 1

—

Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

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

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

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

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

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

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

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

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

Les sols argileux se caractérisent donc par une grande influence de la teneur en eau sur leur comportement mécanique. En géotechnique, on identifie d'ailleurs les

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

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

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

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

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

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

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

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

Annexe 2

—

Sinistres

- Nombre d'arrêtés de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols par commune (données actualisées au 26 juin 2008)
- Nombre de sinistres recensés par commune
- Dates des périodes de reconnaissance, de l'arrêté, et de parution de l'arrêté au Journal Officiel
- Liste des sinistres localisés et formations géologiques identifiées

Nombre d'arrêtés par commune

Alençon	1
Bazoches-sur-Hoëne	1
Champ-Haut	1
Condé-sur-Huisne	1
Condé-sur-Sarthe	1
Coulonges-les-Sablons	1
Le Theil	5
L'Hermitière	1
Lignerolles	1
Mâle	1
Moulins-la-Marche	1
Nonant-le-Pin	1
Réveillon	1
Saint-Germain-des-Grois	1
Saint-Hilaire-sur-Erre	1
Saint-Julien-sur-Sarthe	1
Valframbert	1
Vimoutiers	1

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

Communes	Début	Fin	Date arrêté	Date parution au JO
Le Theil-sur-Huisne	01/01/1992	31/12/1993	25/01/1993	07/02/1993
Réveillon	01/06/1989	31/12/1991	25/01/1993	07/02/1993
Champ-Haut	01/06/1989	31/12/1993	08/03/1994	24/03/1994
Le Theil-sur-Huisne	01/07/2003	30/09/2003	08/03/1994	24/03/1994
Vimoutiers	01/06/1989	31/12/1993	08/03/1994	24/03/1994
Mâle	01/01/1996	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Nonant-le-Pin	01/01/1996	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Saint-Hilaire-sur-Erre	01/01/1996	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Bazoches-sur-Hoëne	01/05/1989	30/04/1997	09/04/1998	23/04/1998
Le Theil-sur-Huisne	01/01/1994	30/09/1996	12/06/1998	01/07/1998
Lignerolles	01/01/1995	31/12/1997	12/06/1998	01/07/1998
Condé-sur-Huisne	01/10/1995	30/09/1996	19/03/1999	03/04/1999
Saint-Germain-des-Grois	01/10/1995	30/09/1996	19/03/1999	03/04/1999
Le Theil-sur-Huisne	01/10/1996	31/12/1998	22/06/1999	14/07/1999
Coulonges-les-Sablons	01/07/2003	30/09/2003	02/03/2006	11/03/2006
Le Theil-sur-Huisne	01/06/1989	31/12/1991	02/03/2006	11/03/2006
L'Hermitière	01/07/2003	30/09/2003	02/03/2006	11/03/2006
Moulins-la-Marche	01/07/2003	30/09/2003	02/03/2006	11/03/2006
Valframbert	01/07/2003	30/09/2003	02/03/2006	11/03/2006
Alençon	01/07/2003	30/09/2003	30/03/2006	02/04/2006
Condé-sur-Sarthe	01/07/2003	30/09/2003	22/02/2007	10/03/2007
Saint-Julien-sur-Sarthe	01/07/2003	30/09/2003	22/02/2007	10/03/2007

Nombre de sinistres recensés par commune

Alençon	12	Mortagne-au-Perche	2
Argentan	6	Moulicent	3
Bazoches-sur-Hoëne	2	Moulins-la-Marche	1
Bellou-le-Trichard	5	Moutiers-au-Perche	2
Bourg-Saint-Léonard	2	Nonant-le-Pin	2
Brioux	1	Réveillon	5
Cerisé	14	La Rouge	2
Céton	1	Sai	1
Champ-Haut	4	Saint-Agnan-sur-Erre	1
Condeau	3	Saint-Germain-des-Grois	5
Conde-sur-Huisne	6	Saint-Germain-du-Corbeis	2
Conde-sur-Sarthe	22	Saint-Hilaire-sur-Erre	3
Coulonges-les-Sablons	20	Saint-Hilaire-sur-Risle	1
Ecorcei	2	Saint-Julien-sur-Sarthe	1
Gacé	1	Saint-Pierre-des-Loges	1
Guerquesalles	2	Saint-Pierre-la-Bruyère	1
L'Hermitière	2	Saint-Symphorien-des-Bruyères	2
L'Aigle	1	Saint-Victor-de-Réno	1
Larré	6	Sévigny	5
Lignerolles	1	Survie	1
Maison-Maugis	4	Le Theil-sur-Huisne	44
Mâle	7	Valframbert	5
Marchainville	1	Vaunoise	1
Le Ménil-Brout	2	Vimoutiers	6

Liste des 225 sinistres localisés

Commune	Coordonnée X (lambert II étendu)	Coordonnée Y (lambert II étendu)	Date 1ère apparition désordre	Formation géologique
Alençon	432678,93	2383674,56		Cjs
Alençon	433163,89	2384420,74	2003	j2-3
Alençon	433034,2	2384556,96	2003	Cjs
Alençon	434246,67	2384222,65	2003	Cjs
Alençon	435349,27	2384164,34	2003	j2-3
Alençon	434326,75	2383573,51	2003	j2-3
Alençon	434253,43	2383510,84	2003	j2-3
Alençon	434316,21	2383430,76	2003	Cjs
Alençon	432681,11	2383160,15	2003	Cjs
Alençon	431730,08	2383446,69	2003	Cjs
Alençon	434203,36	2385537,43	2003	j2-3
Alençon	431990,49	2384040,14	2003	Cjs
Argentan	427176,94	2418054,08	été 2003	j2-3

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

Argentan	427226,78	2418050,07	été 2003	j2-3
Argentan	427236,75	2418060,03	été 2003	j2-3
Argentan	427282,11	2418177,92	été 2003	j2-3
Argentan	427310,76	2418105,63	été 2003	j2-3
Argentan	427318,78	2418116,86	été 2003	j2-3
Bazoches sur Hoene	459573,07	2396411,48	été 1996	j5
Bazoches sur Hoene	461968,9	2397340,28	oct-05	n6-c1
Bellou le Trichard	467375,91	2364640,78		c1R
Bellou le Trichard	467596,34	2364697,03	vers 2003	c1R
Bellou le Trichard	468537,74	2363058,83	2003	RSc
Bellou le Trichard	466292,1	2365083,58	2003	c1SPM
Bellou le Trichard	466447,23	2363784,62	2003	RSc
Bourg-Saint-Léonard	435817,5	2420253,08		n5-c1
Bourg-Saint-Léonard	435974	2420258,47		n5-c1
Brioux	422301,87	2429422,03	2003	Cjs
Cerisé	436467,67	2384797,78	1990	j4-5M
Cerisé	436450,15	2384782,66	1992	j4-5M
Cerisé	436434,91	2384810,61	1992	j4-5M
Cerisé	436436,05	2384893,56	1992	j4-5M
Cerisé	436422,08	2384936,86	1992	j4-5M
Cerisé	436423,22	2384967,22	1992	j4-5M
Cerisé	436394,01	2384939,16	1992	j4-5M
Cerisé	436443,16	2384692,72	1992	j4-5M
Cerisé	436416,23	2384689,17	1992	j4-5M
Cerisé	436389,43	2384676,34	1992	j4-5M
Cerisé	436361,36	2384594,54	1996	j4-5M
Cerisé	436378,88	2384718,38	1996	j4-5M
Cerisé	436343,83	2384758,14	1992	j4-5M
Cerisé	436305,33	2384756,88	1992	j4-5M
Céton	483161,7	2359874,09	date dossier 2001	j5
Champ Haut	451944,02	2416066,79	1992	j5
Champ Haut	450684,12	2415619,52	2003	j4-5M
Champ Haut	452550,54	2415214,29	2003	j5
Champ Haut	451811,81	2415985,56	1990	j5
Condeau	488468,35	2376479,38	2003	Cc
Condeau	488463,66	2375946,64	2003	Cc
Condeau	486365,7	2377028,39	2003	c1SPM
Condé-sur-Huisne	490063,59	2377243,2	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Condé-sur-Huisne	490058,89	2377232,66	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Condé-sur-Huisne	489916,72	2377077,08	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Condé-sur-Huisne	490044,8	2377212,73	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Condé-sur-Huisne	490031,97	2377197,49	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Condé-sur-Huisne	490122,25	2376954,72	(soit 1989 soit) 1996	Cc

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

Condé-sur-Sarthe	431142,24	2383640,3	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431673,26	2384121,6	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	429255,77	2383989,96	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	430772,07	2384484,32	été 2003	Oey
Condé-sur-Sarthe	431136,74	2383696,1	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431101,79	2383770,34	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431420,52	2383595,74	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	428913,78	2383385,39	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431187,03	2383774,69	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431052,3	2384156,55	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431187,83	2384114,27	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431176,72	2384084,02	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431124,82	2384116,68	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431112,91	2384048,05	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431077,73	2384024,11	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431134,45	2384099,15	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431148,77	2383959,49	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431120,81	2384155,74	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431111,3	2383975,53	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431159,08	2383978,62	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431140,75	2384060,88	été 2003	Cjs
Condé-sur-Sarthe	431141,55	2384087,92	été 2003	Cjs
Coulonges-les-sablons	495135,61	2379731,38	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495185,44	2379721,98	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495171,92	2379704,45	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	493968,05	2376357,71	1996-1997	LP
Coulonges-les-sablons	495134,23	2379725,19	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495014,97	2379706,52	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	496220,22	2378126,86	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Coulonges-les-sablons	495183,38	2379723,7	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495185,9	2379810,77	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495101,24	2379704,68	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495343,78	2379551,62	(soit 1989 soit) 1996	Cc
Coulonges-les-sablons	493366,11	2378061,1	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	495097,91	2379647,97	(soit 1989 soit) 1996	LP
Coulonges-les-sablons	493152,21	2377316,75	2003	c1SPM
Coulonges-les-sablons	493038,11	2377494,22	2003	Rc
Coulonges-les-sablons	493779,47	2380288,52	2003	Rc
Coulonges-les-sablons	495024,48	2379640,53	1996	LP

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

Coulonges-les-sablons	494789,96	2380725,02	1996	LP
Coulonges-les-sablons	494833,95	2377808,13	1997	LP
Coulonges-les-sablons	493919,36	2376746,32	?	LP
Ecorcei	470693,33	2415040,38	1995	Cc
Ecorcei	470648,07	2415063,06	1980	Cc
Gacé	450204,2	2423438,63	1990	J5
Guerquesalles	443976,65	2436203,74		J5
Guerquesalles	443971,38	2436148,17		n5-c1
L' Aigle	471471,01	2421086,56	juil-03	RSc
L' Hermitière	476416,66	2365279,49	2003	Rc
L' Hermitière	476440,83	2365267,35	2003	c1R
La Rouge	477483,85	2364840,7	juin-05	c1SPM
La Rouge	479684,35	2365486,75	2003	Fz
Larré	440046,65	2391250,68	été 2003	Oey
Larré	439561,57	2390855,08	été 2003	j4-5M
Larré	439179,83	2390254,17	été 2003	Oey
Larré	439169,98	2390259,9	été 2003	Oey
Larré	439171,47	2390246,84	été 2003	Oey
Larré	439162,19	2390251,99	été 2003	Oey
Le Menil Brout	444570	2389159,71	1976	j4-5M
Le Menil Brout	444342,81	2389237,04	2003	j4-5M
Le-Theil-sur-Huisne	476848,01	2364090,06	1996	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477143,7	2364140,58	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477134,19	2364601,14	89-90-91	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	477115,29	2364561,04	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477097,99	2364557,26	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477075,99	2364555,77	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477056,4	2364548,9	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477013,21	2364558,06	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477030,63	2364518,65	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477032,92	2364529,31	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477059,38	2364483,14	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477035,21	2364499,86	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477163,75	2364514,18	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477173,61	2364476,38	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477264,69	2364283,1	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477294,59	2364229,83	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	476855,22	2364332,71	89-90-91	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	476948,94	2364167,85	89-90-91	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	476906,66	2364071,04	89-90-91	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477431,38	2364343,25	89-90-91	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	477166,04	2364033,46	89-90-91	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	476917,2	2364064,97	89-90-91	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477479,84	2364302,46	89-90-91	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	476981,71	2364176,21	1992-1993	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477039,91	2364490,58	1992-1993	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	476988,58	2364282,53	1992-1993-1996-1997	Rc

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

Le-Theil-sur-Huisne	477462,89	2364313,46	1992-1993	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	476955,47	2364139,43	1992-1993	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477177,62	2364131,99	1992-1993	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477682,97	2364283,45	1996	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	474326,95	2365185,09	1996	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477034,41	2364000,58	1996	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477959,08	2364279,89	1996	Fz
Le-Theil-sur-Huisne	476993,16	2364530,57	1996-1998	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	476940,92	2364186,06	1999-2000	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	476910,9	2364050,07	1999-2000	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477115,98	2364108,62	2003	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	474962,34	2364919,75	2003	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477007,83	2364265,23	1999-2000 et 2003	Rc
Le-Theil-sur-Huisne	477500,24	2364071,38	2003	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	477364,25	2364223,76	1999-2000 et 2003	Cc
Le-Theil-sur-Huisne	477323,12	2364355,51	1989-1990 et 2003	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	477003,7	2364396,98	2003	c1R
Le-Theil-sur-Huisne	478003,07	2364326,64	2003	Fz
Lignerolles	470660,45	2400332,9	1996	c1Cr
Maison-Maugis	479185,87	2384917,04	1999	Fz
Maison-Maugis	478930,61	2385179,86	1990	B-LPS
Maison-Maugis	478971,05	2385154,66	1996	B-LPS
Maison-Maugis	479051,14	2385109,75	1990	B-LPS
Male	483904,33	2366614,78		Cc
Mâle	482561,6	2365051,39	2005	Cc
Mâle	482548,42	2365144,42	2005	Cc
Mâle	482984,24	2364594,61	2006	RSc
Mâle	483220,36	2366367,08	2004	Cc
Mâle	481407,9	2364773,68	2006	Rc
Mâle	481732,36	2364769,78	2006	Rc
Marchainville	486270,61	2399573,89	2005	c1SPM
Mortagne au Perche	467863,63	2392003,84		j5
Mortagne au Perche	468450,1	2391412,79		Rc
Moulicent	484306,46	2398564,09	sept-03	RSc
Moulicent	481128,13	2397773,46	sept-05	RSc
Moulicent	483957,03	2396125,52	sept-05	RSc
Moulins-la-marche	463111,25	2406574,19	début aout 2003	B-LPS
Moutiers-au-Perche	489837,09	2387689,92	2006	c1SPM
Moutiers-au-Perche	489771,1	2387762,1	?	c1SPM
Nonant le Pin	444433,66	2414171,16	juil-96	j4-5M
Nonant le Pin	444683,65	2414379,67	1996	j4-5M
Reveillon	469274,52	2388979,84	1986/1989/1991	Rc
Reveillon	469295,03	2388919,8	1986	Rc
Reveillon	467856,18	2386831,24		c1Cr
Reveillon	467805,88	2386810,61		c1Cr

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

Reveillon	469235,69	2388773,38	1998	Rc
Sai	429975,6	2418664,61	1990	j2-3
Saint Agnan sur Sarthe	459117,66	2402947,44	1976	n6-c1
Saint Germain des Grois	486514,75	2379908,96	1995	LP
Saint Germain des Grois	486524,14	2379927,75	1995	LP
Saint Germain des Grois	487141,43	2378799,37	1995	Rc
Saint Germain du Corbéis	432482,33	2382417,64	été 2003	Oey
Saint Germain du Corbéis	432496,65	2382346,26	été 2003	Oey
Saint Hilaire sur Erre	483119,54	2369171,81	1996	Rc
Saint Hilaire sur Erre	483157,81	2369116,36	1996	Rc
Saint Hilaire sur Erre	480491,71	2368264,44	août-96	Cc
Saint Hilaire sur Risle	464488,01	2416360,2	2003	RSc
Saint Julien sur Sarthe	453826,25	2389823,62	2003	n6-c1
Saint Pierre des Loges	462860,58	2418455,64	2004	n6-c1
Saint Symphorien des Bruyères	472079,02	2422710,79		RSc
Saint Symphorien des Bruyères	472061,61	2422701,16		RSc
Saint Victor de Réno	479148,63	2389834,62	2004	Fz
Saint-Germain-des-Grois	487802,72	2379699,76	1995	Rc
Saint-Germain-des-Grois	489311	2380080,24	1995	Cc
Saint-Pierre-la-Bruyère	485618,26	2376241,65	été 2007	c1Cr
Sevigny	426918,94	2422582,24		j4-5M
Sevigny	426857,53	2422515,45		j4-5M
Sevigny	426832,09	2422491,96		j4-5M
Sevigny	426365,35	2422480,05		j4-5M
Sevigny	426803,57	2422466,76		j2-3
Survie	441536,83	2430882,88	2003	RSc
Valframbert	435196,21	2387474,3	2003	j2-3
Valframbert	435451	2387384,48	2003	j4-5M
Valframbert	435479,87	2387419,88	2003	j4-5M
Valframbert	435538,99	2387297,07	2003	j4-5M
Valframbert	433775,34	2386574,38	2003	j4-5M
Vaunoise	462738,68	2374746,32	1996	j4
Vimoutiers	443656,78	2438717,12	2003	j4-5M
Vimoutiers	443159,45	2440273,52	2003	j4-5P
Vimoutiers	443186,48	2440224,25	2003	j4-5M
Vimoutiers	443493,87	2438107,96	été 2003	j4-5M
Vimoutiers	443701,35	2438661,21	1993	j4-5M
Vimoutiers	445139,17	2438060,53	2003	RSc

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

ANTEA Agence Normandie :

Avenue des Hauts Grigneux
76420 BIHOREL

Tél : 02 32 76 69 60
Fax : 02 32 76 69 63

FONDASOL Avignon :

Rue Galoubets
84140 MONTFAVET

Tél : 04 90 31 23 96
Fax : 04 90 32 59 83

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

USG

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

CONCESSIONNAIRES AUTOROUTIERS :

Autoroute de Liaison Seine-Sarthe (ALIS) :

Lieu-dit Le Haut Croth
27310 BOURG-ACHARD

Tél : 02 32 20 21 88

ADMINISTRATIONS

Conseil Général de l'Orne :

27, bd de Strasbourg
61000 ALENCON

Tél : 02 33 81 60 00
Fax : 02 33 81 60 70

Annexe 4

—

Résultats d'analyses spécifiques des 23 échantillons prélevés dans le département de l'Orne

- Localisation

- Analyses minéralogiques par diffraction des Rayons X
Laboratoire Géosystèmes (UMR 8157 CNRS, Université Lille)

- Analyses géotechniques (VB)
Service Métrologie, Monitoring, Analyses (BRGM Orléans)

Nom de l'échantillon	Commune	Formation	Coordonnées Lambert II Etendu
RG6101C	Céaucé	e-g – Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Éocène	X : 381668.69 Y : 2389939.8
RG6101D	Céaucé	e-g – Sables, grès, argiles et cailloutis de l'Éocène	X : 381668.69 Y : 2389939.8
RG6104PD	Soligny-la-Trappe	c1SPM – Sables du Perche et du Maine	X : 470804.92 Y : 2405722.04
RG6104PE	Soligny-la-Trappe	c1SPM – Sables du Perche et du Maine	X : 470804.92 Y : 2405722.04
RG6104PF	Bellou-le-Trichard	c1SPM – Sables du Perche et du Maine	X : 466696.18 Y : 2364562.42
RG6104MB	La Ferrière-Bochard	c1SPM – Sables du Perche et du Maine	X : 424025.99 Y : 2382877.06
RG6105B	Condé-sur-Sarthe	Cjs – Dépôts de pente et colluvions sur socle et calcaires du Jurassique	X : 430968.32 Y : 2384124.47
RG6106C	La Haute-Chapelle	FL – Argiles laguno-lacustres de la Goulande	X : 377037.18 Y : 2403588.1
RG6106D	La Haute-Chapelle	FL – Argiles laguno-lacustres de la Goulande	X : 377049.56 Y : 2403700.49
RG6107C	Crouttes	n5-c1 – Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomanién	X : 437622.86 Y : 2436502.64
RG6107D	Crouttes	n5-c1 – Craies, gaize, marnes interstratifiées de l'Albien et du Cénomanién	X : 437622.86 Y : 2436502.64
RG6108C	Nécy	t6 – Argiles panachées, sables et conglomérats du Trias	X : 420958.56 Y : 2428475.13
RG6109A	Coulonces	Oey – Loess des plaines d'Alençon et d'Argentan	X : 429649.65 Y : 2427803.08
RG6109B	Mieuxcé	Oey – Loess des plaines d'Alençon et d'Argentan	X : 426397.31 Y : 2383397.42
RG6111D	Céaucé	eC – Argiles et calcaires lacustres de l'Éocène	X : 382755.36 Y : 2390934.24
RG6111E	Céaucé	eC – Argiles et calcaires lacustres de l'Éocène	X : 382343.03 Y : 2389770.35
RG6112A	Céton	Tz – Tourbe	X : 481717.81 Y : 2363311.8
RG6112B	Céton	Tz – Tourbe	X : 481717.81 Y : 2363311.8
RG6113C	Les Yveteaux	l3-4 – Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	X : 407596.56 Y : 2415162.28
RG6113D	Les Yveteaux	l3-4 – Argiles à poisson, calcaires, marnes et grès du Lias	X : 407596.56 Y : 2415162.28
RG6114D	Chemilli	j4 – Marnes et calcaires calloviens du Maine	X : 460704.31 Y : 2374214.15
RG6114E	Chemilli	j4 – Marnes et calcaires calloviens du Maine	X : 460704.31 Y : 2374214.15
RG6114F	Chemilli	j4 – Marnes et calcaires calloviens du Maine	X : 460690.21 Y : 2374231.91

Intitulés et localisation des échantillons

Nom	Minéraux gonflants (Sm/C) en %	Illite en %	Kaolinite en %
RG6101A	-	-	100
RG6101B	30	13	14
RG6102A	97	3	-
RG6102B	85	8	-
RG6103A	93	7	-
RG6103B	55	45	-
RG6103C	58	42	-
RG6104MA	14	23	63
RG6104PA	-	4	96
RG6104PB	-	4	96
RG6105	51	21	15
RG6106A	9	12	79
RG6106B	6	16	72
RG6107A	97	3	-
RG6107B	83	13	1
RG6108A	1	95	4
RG6110A	90	7	3
RG6110B	91	4	5
RG6110C	95	5	-
RG6111A	47	24	20
RG6111B	43	22	24
RG6113A	14	29	57
RG6113B	13	42	45
RG6114A	29	32	39
RG6114B	31	30	33

*Composition minéralogique de l'assemblage argileux
(fraction < 2 µm) - précision ± 5 %.*

Nom	VBS (g/100g de sol sec)
RG6101C	< 0,16
RG6101D	0,20
RG6104PD	< 0,19
RG6104PE	< 0,19
RG6104PF	< 0,20
RG6104MB	0,55
RG6105B	3,40
RG6106C	3,03
RG6106D	2,45
RG6107C	2,24
RG6107D	2,04
RG6108C	0,26
RG6109A	2,12
RG6109B	1,61
RG6111D	4,30
RG6111E	3,14
RG6112A	2,29
RG6112B	2,25
RG6113C	3,88
RG6113D	3,68
RG6114D	0,33
RG6114E	0,51
RG6114F	0,52

Valeur au bleu de méthylène par essai à la tache



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 "Odyssée", Bât. 1
4, avenue de Cambridge
14200 – Hérouville-Saint-Clair - France
Tél. : 02 31 06 66 40