

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

Rapport final

BRGM/RP-56485-FR
Juillet 2008



Préfecture de l'Eure



Direction
Départementale
de l'Équipement
Eure



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

Rapport final

BRGM/RP-56485-FR
Juillet 2008

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 06RISD30 du BRGM

M. Duriez, A. Lereculey, avec la collaboration de J. Kostecki,
J-C. Levesque et E. Plat

Vérificateur :

Nom : Marc Vincent

Date : 03/07/2008

Signature :

Approbateur :

Nom : Jean-François Pasquet

Date : 08/07/2008

Signature :



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



Préfecture de l'Eure



Direction
Départementale
de l'Équipement
Eure



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

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

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.

© 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 dernièrement au cours de l'été 2003.

L'Eure fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 403 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés dans le cadre de la présente étude. A la date du 26 juin 2008, 30 communes sur les 675 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 5,8%. Par ailleurs, d'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance actualisées en novembre 2006, l'Eure est située en 53^e position des départements français en termes de coût d'indemnisation pour ce phénomène avec un montant cumulé d'indemnisation évalué à 4,2 millions d'euros.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, 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'Eure, 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 deux départements de Haute-Normandie.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional Haute-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 de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture de l'Eure.

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 19 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.

- 1,18 % de la superficie départementale est ainsi classée en aléa fort ;
- 19,47 % est classée en aléa moyen ;
- 70,94 % est classée en aléa faible ;
- 8,41 % 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'Eure, 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'Eure	23
3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE	23
3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE	24
3.3. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DE L'EURE	25
3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE	26
4. Identification et cartographie des formations géologiques à dominante argilo-marneuse.....	29
4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS	29
4.1.1. Méthode utilisée	29
4.1.2. Établissement de la carte des formations à composante argileuse	30
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL.....	31
4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS A COMPOSANTE ARGILEUSE.....	34
4.3.1. Formations superficielles du Quaternaire.....	34
4.3.2. Formations tertiaires.....	36
4.3.3. Formations du Mésozoïque.....	39
4.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES.....	40

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues	41
5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION.....	41
5.1.1. Critères retenus	41
5.1.2. Méthode de classification	41
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE	42
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème	42
5.2.2. Caractérisation lithologique	43
5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE	44
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	44
5.3.2. Caractérisation minéralogique	44
5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE	51
5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème	51
5.4.2. Teneur en eau (Wn).....	52
5.4.3. Indice de plasticité (I_p)	52
5.4.4. Essais au bleu de méthylène (VB).....	53
5.4.5. Retrait linéaire (RI).....	53
5.4.6. Caractérisation géotechnique	54
6. Élaboration de la carte de susceptibilité	57
6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ	57
6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ	57
6.3. SYNTHÈSE	58
7. Analyse de la sinistralité.....	61
7.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE	61
7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES	62
7.2.1. Localisation des communes sinistrées	62
7.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle	63
7.3. RECENSEMENT DES SINISTRES	66
7.3.1. Collecte des données	66
7.3.2. Bilan.....	67
7.3.3. Cas particulier des communes reconnues 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.....	83
10. Bibliographie.....	85

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'Eure (BD Carto)	24
Illustration 3 : Caractéristiques climatiques du département de l'Eure (station Météo France d'Evreux)	27
Illustration 4 – Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 de l'Eure	30
Illustration 5 – Liste des cartes géologiques 1/50 000 du département de l'Eure	30
Illustration 6 – Carte géologique simplifiée (échelle du millionième) de l'Eure	32
Illustration 7 – Barème du critère lithologique	42
Illustration 8 : Tableau de caractérisation lithologique des formations géologiques de l'Eure	43
Illustration 9 – Barème du critère minéralogique	44
Illustration 10 - Notes minéralogiques affectées aux formations argileuses de l'Eure	50
Illustration 11 – Barème du critère géotechnique suivant l'indice de plasticité	52
Illustration 12 – Barème du critère géotechnique suivant la valeur de bleu	53
Illustration 13 – Barème du critère géotechnique suivant le retrait linéaire	53
Illustration 14 - Tableau synthétique des données géotechniques de l'Eure	55
Illustration 15 – Susceptibilité des formations argileuses retenues	57
Illustration 16 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux	59
Illustration 17 – Arrêtés interministériels et occurrences	63
Illustration 18 – Etat des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés par commune	65
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'Eure	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	80
Illustration 26 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement de l'Eure	81

Liste des annexes

Annexe 1 – Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles	93
Annexe 2 – Sinistres	97
Annexe 3 – Liste et coordonnées des organismes ayant fourni des données géotechniques et/ou minéralogiques.....	111
Annexe 4 – Résultats d'analyses spécifiques des 12 échantillons prélevés dans le département de la Haute-Marne ou à proximité immédiate	115

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 et, tout dernièrement, au cours de l'été 2003.

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

Sous un climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont souvent déconsolidées, humidifiées et ont épuisé leur potentiel de gonflement à l'état naturel. Mais elles sont dans un état éloigné de leur limite de retrait (teneur en eau 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 7 700 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 Haute-Normandie est concernée par ce phénomène, notamment le département de l'Eure pour lequel les coûts cumulés d'indemnisation par le régime des catastrophes naturelles pour des sinistres de ce type ont été évalués à 4,2 millions d'euros par la CCR (données de novembre 2006). Ce département, d'une superficie de 6 040 km², compte 550 000 habitants. A la date du 26 juin 2008, 30 des 675 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 5,7 %.

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'Ecologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire 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 Haute-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 de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture de l'Eure.

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.

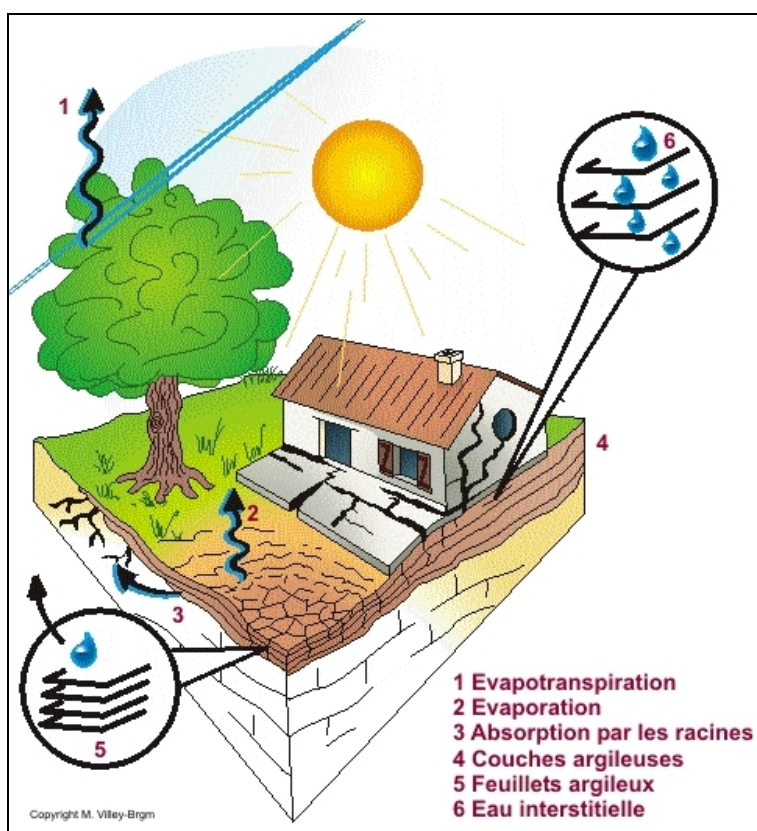


Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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

2.1.1.5. Défauts de construction

Ce facteur de prédisposition, dont l'existence peut être révélée à l'occasion d'une sécheresse exceptionnelle, se traduit par la survenance ou l'aggravation des désordres. L'importance de ce facteur avait déjà été mise en évidence par les études menées en 1990 par l'Agence Qualité Construction et en 1991 par le CEBTP, lesquelles montraient que la plupart des sinistres concernaient des maisons

individuelles dépourvues de chaînage horizontal et fondées sur semelles continues peu ou non armées et peu profondes (de 40 à 80 cm).

L'examen de dossiers d'expertises réalisées dans le département de l'Eure 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 raccordement avec le bâti, constituent une source fréquente de sinistre. Une étude statistique récente (Vincent *et al.*, 2006) conduite par le CEBTP Solen à partir d'un échantillon de 994 maisons sinistrées a ainsi montré que ce facteur pouvait être mis en cause dans près d'un tiers des cas étudiés.

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

2.2. MÉTHODOLOGIE

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

2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses

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

La première étape a consisté à cartographier toutes les formations argileuses ou marneuses du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, pour en dresser un inventaire et synthétiser les différentes cartes géologiques prises en compte. Des regroupements ont été réalisés dans une seconde étape, en considérant que des natures lithologiques voisines 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 des très nombreux rapports du Centre d'Études Techniques de l'Équipement, et de rapports d'expertise de sinistres réalisés par différents bureaux d'études.

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

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

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

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

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

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

d'établir la cartographie en partant des contours des formations lithologiques plutôt que de se baser sur un découpage en unités géomorphologiques homogènes.

2.2.4. Carte de susceptibilité

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

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

Afin d'établir la cartographie de l'aléa retrait-gonflement (qui correspond, rappelons-le, à la probabilité d'occurrence du phénomène), la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement a été 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 675 communes du département par le biais d'un questionnaire d'enquête. Rappelons que 30 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 403 sinistres qui ont été recensés, 387 ont été localisés sur les cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000. Ils sont répartis dans 77 communes et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département de l'Eure.

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'Eure

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

L'Eure est situé en région Haute-Normandie dans le Nord-Ouest de la France. Ce département a une superficie de 6 040 km². Il est bordé au Nord par le département de la Seine-Maritime, l'autre département de la région Haute-Normandie, à l'Ouest, par le Calvados, au Sud, par l'Orne et l'Eure-et-Loir et à l'Est par les Yvelines, le Val-d'Oise et l'Oise (Illustration 2).

La population de l'Eure comporte environ 550 000 habitants, soit une densité de 90 habitants au km². Le département est découpé en 3 arrondissements (Evreux, Les Andelys et Bernay) et comprend 675 communes.

L'activité économique est concentrée autour d'Evreux et le long de la vallée de la Seine. La ville d'Evreux connaît un regain de développement économique en particulier dans le domaine tertiaire depuis quelques années grâce notamment à la proximité de l'Île-de-France. Paris se trouve à 100 km seulement de la préfecture de l'Eure. La vallée de la Seine, au Nord-Est du département, est traditionnellement industrialisée entre Vernon et la ville nouvelle de Val-de-Reuil. En revanche, la bordure nord-ouest du département, qui longe également la vallée de la Seine ne bénéficie guère de l'industrialisation développée surtout en rive droite de la Seine dans ce secteur (Seine-Maritime). Alors que l'Est du département bénéficie de la proximité de la région parisienne, l'Ouest, souffre de son isolement.

Le département de l'Eure s'étend sur des plateaux qui culminent à une altitude moyenne de 150 m, profondément entaillés par plusieurs vallées : la Seine, l'Eure, l'Iton, la Risle et la Charentonne qui coulent essentiellement du Sud-Est vers le Nord-Ouest ou du Sud vers le Nord. Il est divisé en plusieurs pays : le Vexin normand (Nord de la vallée de la Seine), le plateau de Madrie (entre Seine et Eure), la plaine de Saint-André (Sud-Est), la plaine du Neubourg (au Centre), le Roumois et le Lieuvin (à l'Ouest) et le Pays d'Ouche (au Sud).

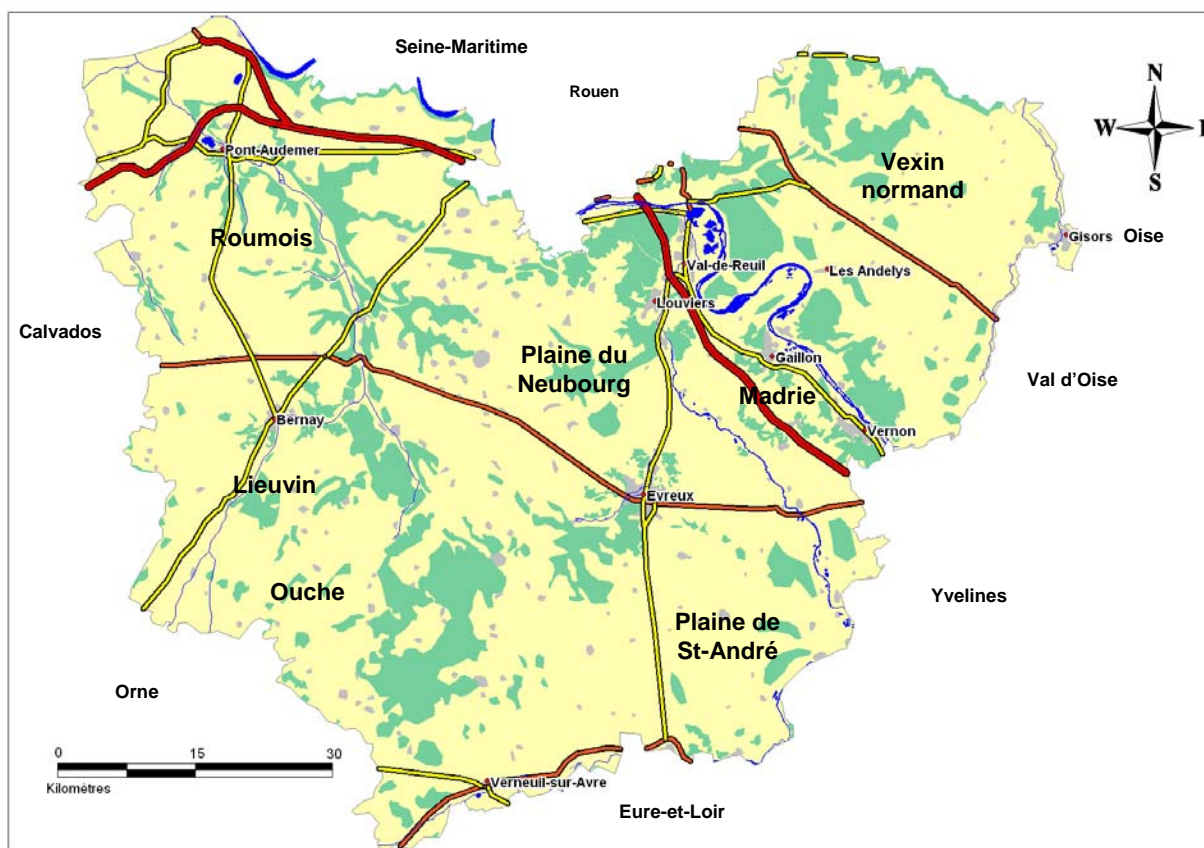


Illustration 2 – Carte de présentation du département de l'Eure (BD Carto)

La cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles a déjà été réalisée dans les départements limitrophes de l'Eure-et-Loir (Bouchut *et al.*, 2003), des Yvelines (Donsimoni et Giraud, 2005), du Val-d'Oise (Donsimoni *et al.*, 2004) et du Calvados (Duriez et Lereculey, 2008). Certaines des données récupérées durant ces études ont permis de compléter les données de base pour la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles de l'Eure. Enfin, le programme est en cours dans les autres départements voisins de l'Orne, la Seine-Maritime et l'Oise.

3.2. CONTEXTE HYDROGRAPHIQUE

Le département de l'Eure est marqué par un réseau hydrographique très peu dense. L'écoulement des eaux est fortement géré par l'activité karstique intense qui règne dans les plateaux crayeux. Les conduits karstiques sont influencés par la fracturation et les résurgences sont nombreuses le long des grandes vallées qui traversent le département. Certaines de ces rivières peuvent localement perdre une partie de leur débit voire s'assécher en période d'étiage, la nappe étant préférentiellement drainée par le réseau karstique au-dessous de la rivière (Iton-sec entre Damville et La Bonneville-sur-Iton ou la Risle entre Rugles et Beaumont-le-Roger...) (de la Querrière et Roux, 2006).

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

Les facteurs lithologiques et structuraux conditionnent le système hydrogéologique du département de l'Eure. Le réseau karstique et l'orientation des vallées sont conditionnés par l'orientation des principaux accidents régionaux. La série stratigraphique reste peu variée sur le territoire, recouverte par l'ensemble de la craie. C'est aux limites départementales est et ouest que la lithologie des formations géologiques change avec l'apparition des formations du Jurassique supérieur à l'extrémité ouest dans la vallée de la Calonne, le long de la limite avec le Calvados et les formations tertiaires (plateau de Madrie et Vexin normand le long de l'Epte) en limite avec l'Île-de-France (Yvelines et Val-d'Oise) et de la Picardie (Oise).

La nature stratigraphique des terrains détermine un aquifère principal et une hétérogénéité aux bordures départementales qui se prolonge dans les régions voisines :

- L'aquifère dominant de la craie à circulations karstiques et de fissures,
- Les aquifères constituées d'un empilement de formations différentes perméables (sables et calcaires) et imperméables (argiles et marnes) (Jurassique supérieur et surtout buttes tertiaires),

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 constituent le mur et parfois le toit des aquifères.

Le sens général des circulations souterraines dans les zones crayeuses s'effectue depuis les plateaux vers les vallées avec une composante dominante depuis les plateaux du sud-ouest du département (Pays d'Ouche) vers les vallées de la Seine et de l'Eure. Cette circulation est influencée par la tectonique. Les autres aquifères s'écoulent essentiellement suivant leur pendage.

Les nappes exploitées pour l'alimentation en eau potable dans l'Eure sont les suivantes (du bas en haut dans la stratigraphie) :

- **Les nappes de l'Oxfordien**, contenues dans des couches de sable associées aux calcaires de l'Oxfordien moyen et supérieur et du Kimméridgien ; elles représentent plusieurs réservoirs d'extension limitée (Arnaud et Couëffé, 2005). Ces formations n'affleurent toutefois dans le département de l'Eure que dans 6 communes autour de Cormeilles, en limite avec le Calvados ;
- **La nappe de la craie**, qui correspond à l'aquifère de la craie de l'ensemble du Crétacé supérieur (du Cénomaniens au Campanien), moyennement fissurée, au-dessus des couches argilo-glaucוניeuses de base (Arnaud et Couëffé, 2005). Cette nappe libre dans le substratum crayeux, est drainée par des réseaux karstiques et les rivières du département. Le réseau karstique est étroitement lié aux directions de fracturation. L'aquifère a une épaisseur de 50 m, au sud-ouest, allant jusqu'à 300 m dans le Vexin (de la Quèrrière et Roux, 2006) ;

- **Les nappes des formations tertiaires**, qui sont une succession de formations aquifères séparées par des niveaux imperméables donnant une série de petites nappes perchées, peu épaisses, captives, composées de niveaux calcaires et de sables séparés par des niveaux argileux. L'est du département de l'Eure correspond à la terminaison ouest des formations tertiaires qui sont parfois réduites et relativement mal connues.

Le mur de l'aquifère le plus profond est composé par les argiles du Sparnacien, la nappe étant alors contenue dans les formations sableuses du Cuisien, calcaires du Lutétien, Marnes et caillasses, sables de Beauchamp, calcaires de Saint-Ouen et de Champigny. La nappe devient captive lorsque l'aquifère est recouvert par les argiles vertes du Stampien inférieur. Ces mêmes argiles constituent le mur de la nappe du calcaire de Sannois ou de Brie. Les Marnes à *ostrea* qui recouvrent cette formation rendent la nappe captive. Enfin, s'est constituée au-dessus de ces marnes, la nappe perchée des sables de Fontainebleau localisée uniquement sur quelques buttes dans le département de l'Eure (communes de Villegats et de Villiers-en-Désœuvre, limitrophes des Yvelines et de l'Eure-et-Loir) (de la Querrière et Pascaud, 1970 ; Hanot, 2006 ; Pomerol, 2006).

Les nappes du Tertiaire sont rarement exploitées car peu productives (de la Querrière et Pascaud, 1970).

- **Les nappes des alluvions anciennes et récentes**, qui sont contenues dans les principales vallées du département. Dans la vallée de la Seine, les nappes sont contenues dans des niveaux sableux voire graveleux. Elles sont généralement libres mais parfois aussi semi-captives en-dessous des alluvions modernes argilo-tourbeuses. La productivité des nappes d'alluvions est importante, pour la vallée de la Seine, le débit de pompage pouvant atteindre 500 à 1000 m³/h (Roux, 2006).

Bien que non-affleurante, la nappe de l'Albien du niveau des sables verts ferrugineux, intercalée entre les formations du Jurassique supérieur et les argiles du Gault, est une nappe captive considérée comme une ressource ultime (Couëffé et Arnaud, 2007). Lors des premiers forages réalisés en région parisienne au XIX^{ème} siècle dans la nappe de l'Albien, l'eau de la nappe formait des fontaines artésiennes de plusieurs dizaines de mètres de haut, ce qui n'est plus le cas actuellement. Elle est présente en aplomb de la quasi-totalité du département de l'Eure qui entre en grande partie dans la zone de protection de la nappe. Son écoulement s'effectue vers le Nord-Est (Hanot, 2006).

3.4. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département de l'Eure subit un climat océanique, en dégradé du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Le département est soumis à une dominance des vents venus de l'Ouest.

La pluviométrie départementale reste modérée, comprise entre 650 mm, dans la région d'Evreux et 950 mm aux abords de l'estuaire de la Seine. Relativement sèche, la région est marquée par des pluies réparties tout le long de l'année mais peu

abondantes (Illustration 3). C'est en allant vers l'Eure-et-Loir et la Beauce que les valeurs de pluviométrie sont les plus faibles du département.

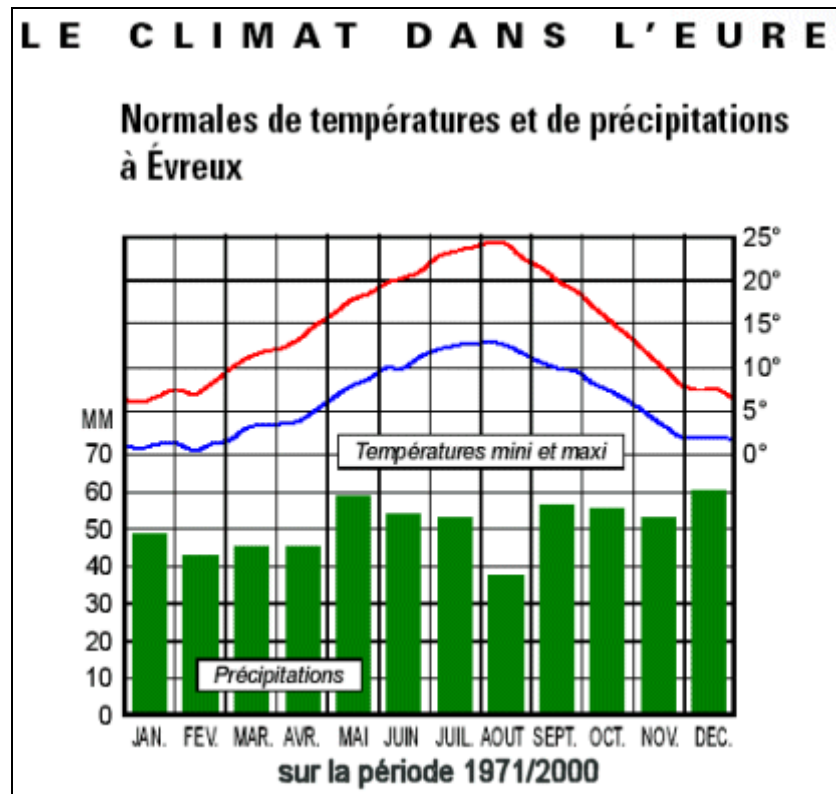


Illustration 3 : Caractéristiques climatiques du département de l'Eure (station Météo France d'Evreux)

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'Eure, 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 (Van Lint *et al.*, 2003) 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 au 1/50 000 a été réalisée, dans le département de l'Eure entre les années 1960 et 1970, même si certaines sont plus récentes en particulier, dans le Sud où elles ont été éditées dans les années 1990. Ces différentes cartes ne répondent pas aux mêmes objectifs cartographiques. Les formations superficielles, de grande importance pour cette présente étude, ont été davantage prises en compte dans les périodes récentes, les travaux anciens étant en ordre général plus axés sur la représentation du substratum.

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

L'assemblage (Illustration 4) des cartes géologiques comporte tout ou partie des 20 coupures suivantes : Le Havre (97), Pont-Audemer (98), Rouen-Ouest (99), Rouen-Est (100), Gournay (101), Lisieux (121), Brionne (122), Elbeuf (123), Les Andelys (124), Gisors (125), Bernay (148), Beaumont-le-Roger (149), Evreux (150), Mantes-la-Jolie (151), Rugles (178), Breteuil-sur-Iton (179), Saint-André-de-l'Eure (180), Houdan (181), Verneuil (215) et Dreux (216). La référence de ces cartes est présentée dans le tableau ci-après (Illustration 5).

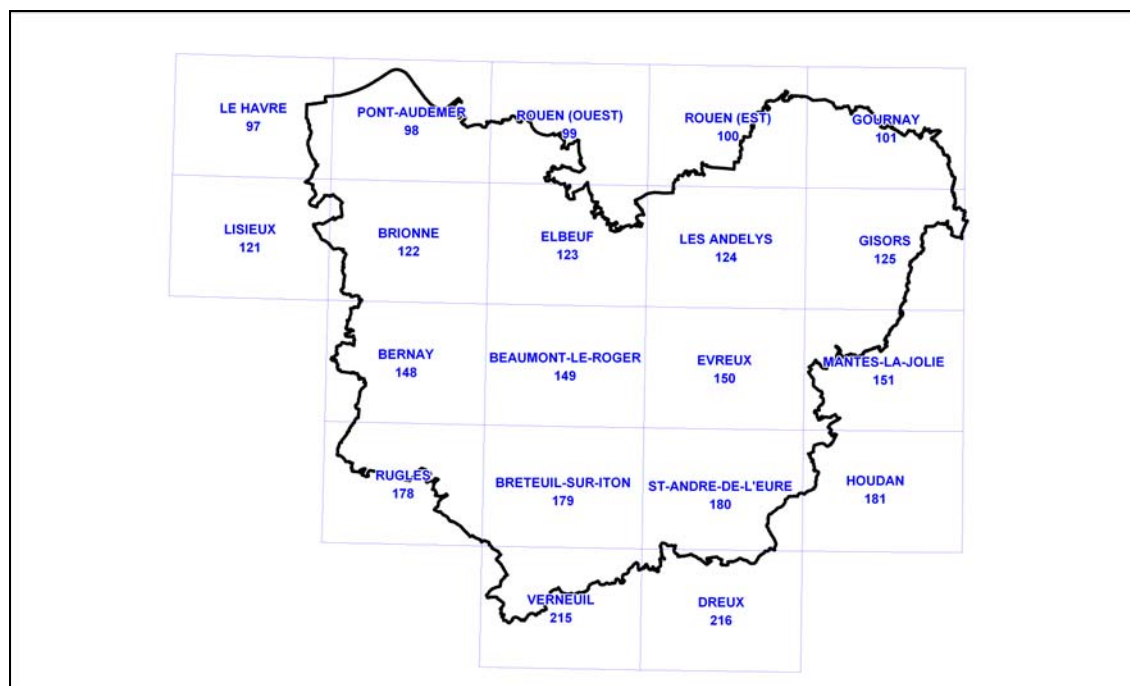


Illustration 4 – Assemblage des cartes géologiques 1/50 000 de l'Eure

N° carte	Nom de la carte	Auteur(s)	Année de parution
97	LE HAVRE	C. Pareyn, L. Viallefond	1968
98	PONT-AUDEMÉR	L. Viallefond, J. Goguel	1967
99	ROUEN (ouest)	P. Sangnier	1968
100	ROUEN (est)	P. Sangnier, J. Goguel	1967
101	GOURNAY	G. Kuntz, D. Lefebvre, R. Médioni, J.L. Poirrier, C. Monciardini	1977
121	LISIEUX	A. Ambonguilat, M. Perrimon, J. Panetier, C. Pareyn	1970
122	BRIONNE	P. Juignet	1971
123	ELBEUF	P. Bassompierre	1971
124	LES ANDELYS	P. Bassompierre, J. de Mautort, J. Goguel	1967
125	GISORS	G. Kuntz, R. Wyns, C. Monciardini, G. Verron	1976
148	BERNAY	G. Kuntz, C. Monciardini, G. Verron, J.C. Favrot, R. Bouzigues	1984
149	BEAUMONT-LE-ROGER	G. Kuntz, Y. Dewolf, C. Monciardini, G. Verron	1981
150	EVREUX	B. Pomerol, C. Pomerol, M. Renard, R. Wyns, Y. Dewolf	1977
151	MANTES-LA-JOLIE	C. Pomerol, J.P. Michel, R. Wyns	1974
178	RUGLES	G. Kuntz, C. Monciardini, J.C. Favrot, R. Bouzigues	1985
179	BRETEUIL-SUR-ITON	G. Kuntz, Y. Dewolf, C. Monciardini, G. Verron, J.C. Favrot, R. Bouzigues	1982
180	SAINT-ANDRE-DE-L'EURE	Y. Dewolf, G. Kuntz, R. Wyns, C. Monciardini, G. Verron	1977
181	HOUDAIN	C. Cavelier, M. Turland, P. Villalard, J. Labourguigne, B. Manigault, F. Menillet	1977
215	VERNEUIL	P. Lebret, F. Menillet, P. Béguin, F. Charnet, D. Fauconnier, S. Gardin, J.C. Koeniguer, C. Monciardini	1996
216	DREUX	F. Menillet, P. Havlicek, L. Frobert, E. Duguey, C. Gigot, P. Lebret, A. Pierret, C. Monciardini	1994

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

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 20 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 *Argiles du Sparnacien (e4A)* qui présentent un

faciès argilo-marneux sur la grande partie de leur épaisseur. Mais, dans la majorité des cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département de l'Eure 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 (*Craie marneuse 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'Eure 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 partie Centre-Ouest du Bassin de Paris.

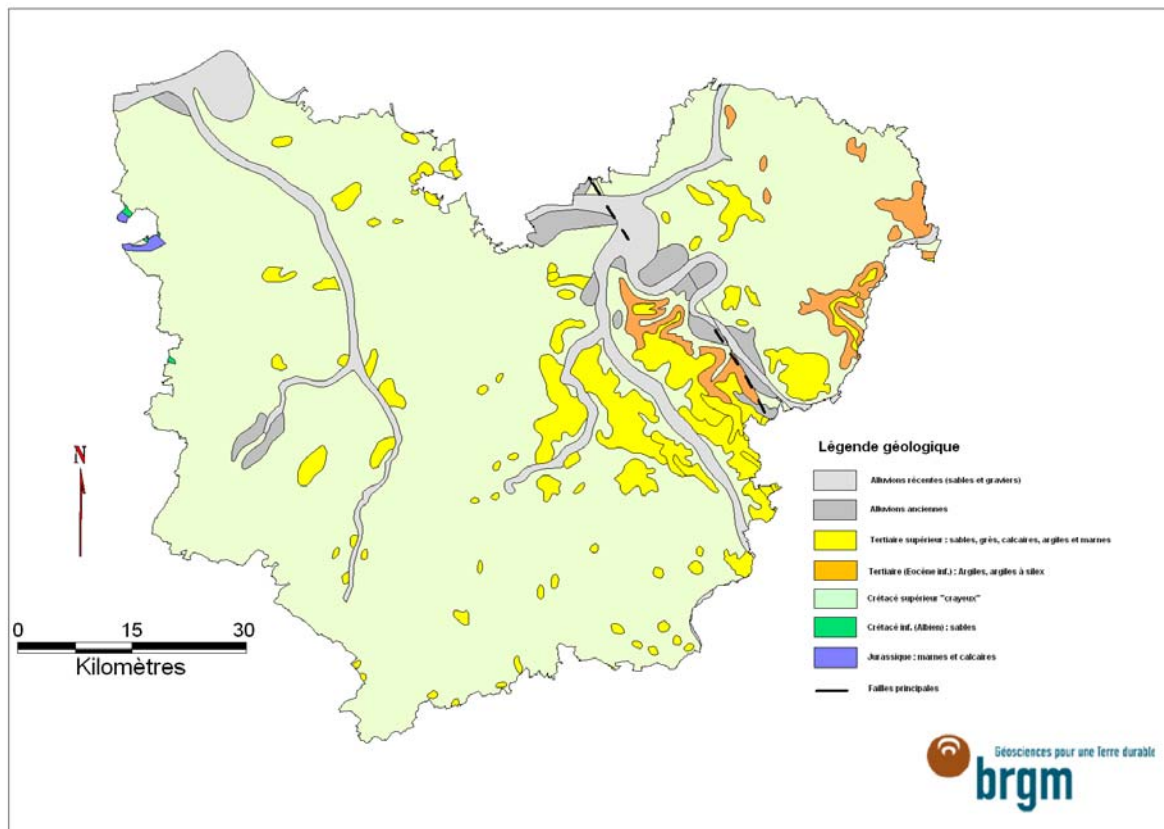


Illustration 6 – Carte géologique simplifiée (échelle du millionième) de l'Eure

Le département de l'Eure, qui présente une morphologie de plateaux creusés par quelques vallées encaissées, a une géologie homogène sur quasiment l'ensemble du département même si la stratigraphie évolue à proximité des limites départementales ouest et est. La craie est le membre principal de la stratigraphie départementale.

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

- le Jurassique supérieur

Les terrains du Jurassique supérieur affleurent, dans le département de l'Eure, uniquement dans la vallée de la Calonne. Ce sont les terrains qui se retrouvent abondamment dans le Pays d'Auge voisin, rattaché au département du Calvados. C'est la partie supérieure de la série du Malm qui est présente ici, à savoir les *Sables de Glos* datés de l'Oxfordien et les argiles et calcaires du Kimméridgien.

- Le Crétacé inférieur

La limite départementale de l'Eure est sub-parallèle à la cuesta des terrains du Crétacé qui se trouve dans le département du Calvados (hors vallée de la Calonne), le long de la vallée de la Touques. Les premiers niveaux appartiennent au Crétacé inférieur (Aptien et Albien). A la base, ce sont des sables ferrugineux et qui affleurent sur quelques mètres et qui sont recouverts ensuite par un poudingue, puis, par plusieurs

mètres d'argile, les argiles du Gault. L'Albien se termine par un niveau repère, la gaize, composée de marnes silteuses, parfois glauconieuses, en passage latéral de faciès avec la glauconie de base dans le Calvados (Couëffé et Arnaud, 2007).

- Le Crétacé supérieur

Les terrains du Crétacé supérieur sont constitués par des niveaux successifs de craie qui représentent le substratum de la majeure partie du département de l'Eure. La craie s'est déposée du Cénomaniens (à l'ouest) au Campanien voire jusqu'au Maastrichtien (à l'est) même si toute la craie pour ce dernier étage a disparu et s'est transformée en altérite (Quesnel, 1997).

Le Cénomaniens est représenté par une craie très glauconieuse à la base dont la proportion en glauconie se réduit vers le haut de la série avec des cordons de silex. Cette craie est surmontée par une autre craie de texture plus fine, la craie de Rouen, pouvant contenir des cordons de silex et quelques niveaux glauconieux. La craie du Turonien est une craie marneuse, noduleuse, généralement dépourvue de cordons de silex (Juignet, 1974). Au Coniacien, la craie est blanche, sableuse et dolomitisée, à silex disséminés ou en lits. Au Santonien et Campagnien, la craie reste blanche, à lits de silex. Les séparations entre les étages se font souvent grâce à l'étude de la microfaune.

L'ensemble de la zone crayeuse, en plateau de 150 m d'altitude en moyenne, est recouvert d'un manteau d'altérites à silex dont l'épaisseur varie de quelques mètres à plus de 15-20 m. Ces altérites résultent de phénomènes pédologiques qui ont induit des processus de concentration en fer (résidus de cuirasses ferrugineuses, concentrations pédologiques par lessivage en bas de profil – Laignel, 1997 ; Quesnel, 1997).

- Le Tertiaire

Le Tertiaire affleure dans la partie orientale du département de l'Eure, en limite avec les départements de l'Oise, du Val-d'Oise, des Yvelines et de l'Eure-et-Loir, il forme des buttes témoins dans la région de Gisors et le plateau de Madrie (synclinal de l'Eure).

Le Thanétien correspond à la base du Tertiaire. Son extension géographique est limitée, dans l'Eure, à la région de Gisors et à la limite avec les Yvelines. Ce sont des calcaires récifaux qui passent ensuite à des calcaires argileux.

L'Yprésien inférieur (Sparnacien) fait suite au Thanétien. Ce sont des argiles plastiques qui se trouvent vers la base des buttes témoins tertiaires et du plateau de Madrie. L'Yprésien supérieur est représenté par les sables du Cuisien, des sables argileux à fréquents galets de silex.

L'Yprésien est surmonté par le Lutétien, composé par une succession de niveaux calcaires parfois glauconieux et gréseux. Le Lutétien s'achève au niveau des Marnes et caillasses. Le Lutétien correspond au sommet des buttes témoins de la région de Gisors (Vexin normand). Sur le plateau de Madrie, la série se prolonge avec les dépôts du Bartonien.

Au Bartonien, ce sont les sables de Beauchamp qui entament la série. Ensuite, ce sont d'autres niveaux calcaires avec des intercalations marneuses qui recouvrent les

sables, avec les calcaires et marnes de Saint-Ouen et calcaire de Septeuil ou Champigny.

Au Stampien, les argiles vertes de Romainville recouvrent l'ensemble et sont suivies par la série des calcaires de Brie ou de Sannois. Les argiles affleurent localement sur la surface du plateau de Madrie. Les marnes à *ostrea* recouvrent ensuite les argiles localement.

Les sables de Fontainebleau terminent la série tertiaire de l'Eure, au sommet d'une butte témoin qui traverse les communes de Villegats et de Villiers-en-Désœuvre et se prolonge dans les Yvelines.

Après l'émersion des terrains, au Pliocène, les plateaux dans les environs de la vallée de la Seine et de l'Eure (plateau de Madrie, Sud du Vexin et Nord d'Evreux jusqu'à la plaine du Neubourg) ont été recouverts par un placage de dépôts fluviatiles issus d'un grand fleuve qui provenait du Massif Central et se dirigeait vers le Nord-Ouest entre Dieppe et Fécamp. Ce sont les sables de Lozère, qui correspondent à des sables grossiers contenant de l'argile.

- 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 fluviatiles successives. Lors des périodes de réchauffement, la glace fondant, les limons ont été remaniés pour être colluvionés dans les vallées. 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 *s.l.* du département de l'Eure 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 (Mégny, 1980).

Les 19 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 du Quaternaire

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 plaquages 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. *Alluvions récentes, Holocène [Fz]*

Les *Alluvions récentes* sont essentiellement de nature limoneuse, limono-argileuse ou limono-tourbeuse. Le département n'est traversé que par quelques vallées d'ampleur très variable, la nature et l'épaisseur des dépôts varient en fonction de l'importance du cours d'eau. Les épaisseurs sont de l'ordre du mètre dans les vallées secondaires pour dépasser 20 m en basse vallée de Seine.

4.3.1.2. *Alluvions anciennes, Pléistocène [Fy]*

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. Elles sont essentiellement composées de matériaux grossiers de type sables, graviers et galets. L'épaisseur et le type de dépôts dépendent de l'importance de la vallée. La vallée de Seine est le siège de matériaux potentiellement beaucoup plus grossiers que les vallées de plus faible envergure, contenant des galets dont l'origine peut remonter jusqu'au Massif Central. Les épaisseurs relevées peuvent dépasser la dizaine de mètres pour certaines terrasses. Les vallées plus petites (Risle, Eure, Iton...) contiennent des dépôts allant des sables aux graviers, devenant de plus en plus grossier vers l'aval, en particulier à l'approche de la vallée de Seine. Dans ces conditions, les terrasses successives d'alluvions atteignent quelques mètres d'épaisseur au maximum.

4.3.1.3. *Limons des plateaux, Quaternaire [LP]*

Les *Limons des plateaux* et limons de pente sont souvent argileux ou sablo-argileux, parfois calcaires. Ils présentent généralement quelques passages caillouteux, graveleux, à débris de silex. Les dépôts, de période glaciaire et d'origine éolienne, proviennent du littoral et se sont ensuite partiellement mélangés aux formations géologiques recouvertes, la fraction argileuse ou caillouteuse des limons étant issue principalement de la formation sous-jacente. L'ensemble des plateaux crayeux est recouvert par une pellicule de limons par-dessus les argiles à silex. Les limons sont très largement présents à la surface du département. L'épaisseur de la formation sur les plateaux de l'Eure varie généralement de quelques dizaines de centimètres à 3-4 m ; elle est localement plus importante pour atteindre jusqu'à 19 m.

4.3.1.4. *Colluvions issues des produits d'altération de la craie, Quaternaire [C]*

Ces colluvions regroupent l'ensemble des colluvions de la partie crayeuse du département, en incluant les colluvions issus des formations résiduelles à silex jugés plus argileuses que les autres. Elles sont constituées de matériaux divers transportés par l'érosion : des limons, sables, fragments de silex et de craie emballés dans une matrice limoneuse à sablo-argileuse. Les colluvions sont réparties sur les flancs de vallée et le long des vallées sèches. L'épaisseur du dépôt varie de quelques décimètres à quelques mètres.

4.3.1.5. Colluvions issues des formations tertiaires, Quaternaire [Ceg]

Les colluvions issues des formations tertiaires sont uniquement localisées dans l'Est du département, sur les buttes et plateaux du Tertiaire. Comme pour les colluvions issues des produits d'altération de la craie, les matériaux sont hétérogènes, constitués de débris de calcaire, de meulière avec parfois une fraction sableuse emballés dans une matrice constituée majoritairement de limons remaniés. Ils sont localisés sur les pentes et au niveau des dépressions topographiques (flancs de vallées et vallées sèches). Les dépôts ont une épaisseur décimètre à pluri-métrique.

4.3.1.6. Argiles à silex remaniées et limons à silex, Quaternaire [qCRS]

La formation est composée de silex et fragments de silex emballés dans une matrice à dominance argileuse plus ou moins abondante, parfois limoneuse ou sableuse. Cette formation est issue des limons des plateaux et argiles à silex remaniés lors des périodes glaciaires. L'épaisseur est en général de quelques dizaines de centimètres et dépasse rarement 3 m.

4.3.1.7. Argiles à silex, Tertiaire [RS]

Les Argiles à silex sont constituées d'une argile rougeâtre, souvent sableuse, à silex et fragments de silex. Elles contiennent fréquemment des lentilles sableuses. Cette formation est issue de la décalcification de la craie sous-jacente et est fréquemment recouverte par les limons des plateaux. Elle peut contenir des résidus de formations tertiaires dans la partie orientale du territoire. Les argiles à silex sont très largement présentes sur l'ensemble du département de l'Eure. Les épaisseurs sont de 1 à 30 m dans le nord du territoire et de 10 à 40 m dans le sud.

4.3.1.8. Sables de Lozère, Miocène [pSL]

Les Sables de Lozère sont des sables grossiers d'origine fluviatile qui recouvrent certaines zones de la partie est du département de l'Eure, jusqu'à remplir certaines poches de dissolution de la craie. Les sables sont argileux et souvent perturbés par la présence de liserés ou lentilles argileuses.

L'épaisseur des sables de Lozère varie selon les secteurs du département : de 1-2 m, elle peut atteindre 35 m dans les poches de dissolution de la craie, 20 m en forêt de la Londe.

4.3.2. Formations tertiaires

4.3.2.1. Sables du Stampien, Oligocène [g1SF]

Les Sables du Stampien sont de deux types : les sables de Fontainebleau et les sables résiduels du Stampien.

Les sables de Fontainebleau ne sont pas considérés comme argileux, il ne sont donc pas pris en compte dans la carte des formations argileuses. Dans le département,

cette formation n'affleure que très localement, dans la zone limitrophe avec le département des Yvelines.

Le sable résiduel stampien est un dépôt sableux qui a été piégé dans les poches karstiques de la craie. Il affleure ponctuellement sur les plateaux crayeux dans une large partie du département de l'Eure. C'est un sable fin contenant des intercalations et lentilles d'argiles, localement des nodules argileux. Le faciès se présente parfois sous la forme de fines alternances d'argile et de sable fin. L'épaisseur de cette formation ponctuelle peut atteindre 3 m jusqu'à 12 m dans la région de Saint-André-de-l'Eure.

4.3.2.2. Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciés, Eocène-Oligocène [g1AR]

La formation regroupe les argiles de Romainville, les marnes supragypseuses et le calcaire de Sannois. Elle n'est visible qu'à l'extrémité orientale du département entre les vallées de l'Eure et de la Seine.

Les argiles de Romainville correspondent à un niveau d'argiles vertes de 5 m d'épaisseur environ. Dans la région, elles sont souvent associées aux marnes supragypseuses qui forment des marnes avec parfois des couches calcaires intercalées. Enfin, le calcaire de Sannois se présente sous la forme d'un calcaire blanchâtre avec de nombreuses passées marneuses. Quelques petits niveaux d'argile perturbent la série. L'épaisseur des calcaires de Sannois varie entre 3 et 5 m.

4.3.2.3. Calcaire de Septeuil et marnes à *Pholadomya*, Éocène [e7-g1]

Ce faciès affleure uniquement sur la commune de Villiers-en-Désœuvre pour le département de l'Eure. La formation se présente sous forme de marnes plastiques à niveaux d'argiles, puis, d'alternances de marnes et calcaires. La totalité de la formation peut atteindre 20 m d'épaisseur.

4.3.2.4. Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions, Éocène [Ce6]

La formation du Lutétien et du Bartonien surmontés de colluvions représente l'ensemble des formations des deux étages géologiques à l'exception des sables bartoniens du Marinésien et de l'Auversien. La surface couverte par ces faciès est située dans l'Est du département, dans la région de Gisors et entre les vallées de l'Eure et de la Seine suivant une direction NW-SE. Les formations tertiaires sont recouvertes par une faible épaisseur (quelques décimètres) de produits d'altération issus de l'ensemble des formations tertiaires sus-jacentes remaniées.

Le Lutétien est composé à la base par un poudingue glauconieux composé de galets de silex emballés dans un calcaire argilo-sableux sur une épaisseur d'environ 2 m. Au-dessus de cette formation, s'est déposé un sable grossier quartzueux très riche en glauconie. La succession se prolonge ensuite par un calcaire sableux avec encore de la glauconie à la base.

Au Lutétien moyen, se succèdent plusieurs niveaux de calcaires successifs avec parfois quelques passages sableux.

Au Lutétien supérieur, la série est entamée par un niveau calcaire, suivi des Marnes et caillasses et d'une succession de nouveaux niveaux calcaires.

Au Bartonien, la base de la succession est constituée par des alternances de marnes, de dolomie, de calcaire et de sables et grès parfois argileux. La succession se poursuit par des calcaires passant en latéral à des alternances marno-calcaires pour les zones à plus forte épaisseur.

La formation du Bartonien se poursuit avec les sables de Beauchamp et de Mortefontaine qui ont lithologiquement été rattachés à une autre formation dans le cadre de cette présente étude.

Enfin, la fin du Bartonien (fin du Marinésien, Ludien) est marquée par des calcaires (Saint-Ouen et Septeuil), rattachés à la formation des *Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya* (e7-g1).

4.3.2.5. Sables du Cuisien et du Bartonien, Éocène [e4-6]

La formation des *Sables du Cuisien et du Bartonien* regroupe les sables de Cuise (Yprésien supérieur), les sables de Beauchamp (Auversien, Bartonien inférieur) et les sables de Mortefontaine (Marinésien, Bartonien moyen). L'ensemble de cette formation est de faible extension dans le département de l'Eure. Elle se répartit, d'une part, entre les vallées de l'Eure et de la Seine (Cuisien) et d'autre part en bordure des départements des Yvelines et de l'Eure-et-Loir (Bartonien) dans les environs de Villiers-en-Désœuvre.

Les sables du Cuisien sont des sables fins à moyens, plus ou moins argileux. Ils possèdent fréquemment quelques fins liserés argileux et sont légèrement glauconieux. Parfois les sables possèdent de fines intercalations de petits galets de silex noirs. Leur épaisseur varie de 3 à 10 m.

Les sables de Beauchamp et de Mortefontaine se présentent sous la forme de « minces » niveaux de sables ou de grès à ciment calcaire. Les sables sont assez fins, plus ou moins argileux avec parfois quelques lentilles argileuses.

4.3.2.6. Argiles du Sparnacien, Yprésien - Éocène [e4A]

La formation des *Argiles du Sparnacien* peut ponctuellement regrouper les argiles du Sparnacien avec les sables de Cuise ou les sables du Thanétien. La formation des argiles du Sparnacien affleure à la base des buttes tertiaires, situées essentiellement dans le nord-est du département.

La base des *Argiles du Sparnacien* est composée de marnes à rognons calcaires. Successivement, la lithologie passe à une argile bariolée puis aux « fausses glaises » qui sont marquées par des argiles sombre. Le sommet de la formation présente des alternances de niveaux sableux et de cailloutis. L'épaisseur des argiles varie entre 5 et 15 m.

4.3.2.7. Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien, Paléocène [e1-3]

Les calcaires argileux du Dano-Montien et les sables du Thanétien affleurent sous la forme de petits pointements dans la région de Gisors.

D'après la carte géologique harmonisée, le faciès dano-montien n'affleure que sur la commune de Bus-Saint-Rémy, à quelques kilomètres au sud de Gisors. Il est représenté par un calcaire récifal surmonté par un calcaire argileux. Dans les Yvelines, des niveaux marneux épais de quelques mètres apparaissent dans la formation. L'épaisseur des calcaires du Dano-Montien varie de 0 à 15 m.

Les sables du Thanétien sont représentés par un sable fin à moyen avec des passées de sables à matrice d'argile calcaire, dont l'épaisseur ne dépasse que très rarement 5 m.

4.3.3. Formations du Mésozoïque

4.3.3.1. Craie marneuse du Turonien [c2]

La craie marneuse du Turonien est présente sur une large part du département, mais elle est généralement recouverte par des formations superficielles issues de la décalcification de la craie (argiles à silex) et par les limons des plateaux. Elle affleure uniquement sur les flancs de vallées : Seine, Risle, Calonne...

Il s'agit d'une craie argileuse à silex noirs, souvent en lits. Localement dolomitisée, la craie renferme parfois un peu de glauconie. L'épaisseur de la craie turonienne varie de la quinzaine de mètres à l'Ouest du département pour avoisiner 100 m à l'Est.

4.3.3.2. Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens [n-c1]

La formation albo-cénomaniens affleure, comme pour la craie turonienne, uniquement sur les flancs de vallées dans le département de l'Eure (Risle, Seine...), le long de la façade ouest du département et au centre-nord à la faveur de la présence d'anticlinal.

La formation est constituée à la base de sables verdâtres quartzeux, glauconieux (Albien inférieur), avec des lits d'argile bariolée ou micacée, parfois sous la forme de lentilles. Les sables présentent localement des liserés ferrugineux et ligniteux. Ils contiennent plusieurs bancs gréseux à ciment ferrugineux ou horizons de nodules gréseux. Leur épaisseur varie de 15 m (Cormeilles) à 70 m dans la vallée de la Risle.

En recouvrement des sables se trouvent les argiles du Gault (Albien supérieur) dont l'épaisseur est de l'ordre de 10 m. Ce sont des argiles glauconieuses micacées, très compactes, avec des passées sableuses.

L'argile du Gault est recouverte par un niveau de marnes silteuses plus ou moins glauconieuses avec des nodules de cherts (gaize) sur une épaisseur de 6 à 8 m. Le faciès contient aussi des niveaux de calcaire gréseux et d'argile micacée.

La succession stratigraphique se prolonge par la craie glauconieuse du Cénomanién. Elle débute à sa base par une succession de marnes très glauconieuses (ou glauconie de base), suivies par de la craie argileuse à glauconie, puis de la craie à cordons de silex contenant moins de glauconie. Ensuite, la craie devient indurée, à silex, avec une proportion de glauconie de plus en plus faible vers le sommet de la série. L'épaisseur de la craie cénomaniénne varie de 15 à 40 m dans l'Eure.

4.3.3.3. Les Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien [j5-6]

Les argiles du Jurassique supérieur regroupent les argiles de Villerville et de Criqueboeuf (Oxfordien supérieur) ainsi que les argiles et calcaires du Kimméridgien. Les argiles du Jurassique supérieur n'affleurent qu'à la limite avec le département du Calvados, dans la région de Cormeilles.

Les argiles de Villerville et de Criqueboeuf sont peu épaisses dans cette zone et sont davantage remplacées par les sables de Glos. Ce sont des argiles qui renferment des bancs de calcaire marneux avec des oolithes ferrugineuses. L'épaisseur des argiles est inférieure à 10 m.

Le Kimméridgien est matérialisé par une alternance d'argile silteuse et de calcaire marneux. Des bancs de calcaire lithographique sont visibles à la base. L'épaisseur du faciès kimméridgien est de l'ordre de 15 à 20 m.

4.3.3.4. Les Sables de Glos, Oxfordien [j5GI]

Les Sables de Glos sont en passage latéral de faciès avec les argiles de Villerville et de Criqueboeuf. Ils affleurent uniquement dans le bassin versant de la Calonne autour de Cormeilles, en limite avec le département du Calvados.

Les sables apparaissent sous la forme d'un sable fin, bien classé, avec quelques fines passées argileuses ou bandes ferrugineuses. Le sable renferme peu de glauconie et est localement induré en lentilles de grès calcaire. Leur épaisseur peut atteindre 25 m dans le département du Calvados.

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 19 formations sélectionnées :

- la nature lithologique des terrains constituant en majorité la formation ;
- la composition minéralogique de sa phase argileuse, évaluée à partir de la proportion de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) ;
- le comportement géotechnique du matériau, évalué à partir de la réactivité du sol vis-à-vis de l'eau, caractérisée par la valeur de bleu 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 19 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, Hydrogéotechnique 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, Hydrogéotechnique, 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 argiles des départements voisins (Eure-et-Loir, Yvelines, Val-d'Oise et Calvados). Une partie des formations géologiques présente une faible extension dans l'Eure alors qu'elle est nettement plus importante dans certains départements limitrophes, ce qui justifie d'intégrer, pour leur caractérisation, des données recueillies dans les départements voisins.

5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE

5.2.1. Définition du critère lithologique et barème

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

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

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

Illustration 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 19 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	Fz	Alluvions récentes	2
2	Fy	Alluvions anciennes	1
3	LP	Limons des plateaux	2
4	C	Colluvions issues des produits d'altération de la craie	2
5	Ceg	Colluvions issues des formations tertiaires	3
6	qCRS	Argiles à silex remaniées et limons à silex	3
7	RS	Argiles à silex	3
8	pSL	Sables de Lozère	2
9	g1SF	Sables du Stampien	1
10	g1AR	Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	4
11	e7-g1	Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya	2
12	Ce6	Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	1
13	e4-6	Sables du Cuisien et du Bartonien	2
14	e4A	Argiles du Sparnacien	4
15	e1-3	Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	2
16	c2	Craie marneuse du Turonien	2
17	n-c1	Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomanién	3
18	j5-6	Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien	4
19	j5Gl	Sables de Glos	1

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

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'Eure, 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'Eure ont été récupérées grâce à la lecture des notices des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, de la synthèse géologique du Bassin de Paris (Mégny *et al.*, 1982), de rapports BRGM de recherche de bentonite dans le Bassin de Paris (Le Berre (1978), Le Berre et Rozes (1980)) et à une étude de la bibliographie régionale (Dugué (1989, 1991), Dugué *et al.* (1998), Gaboriau (1991), Juignet (1965, 1974), Laignel (1993, 1997), Laignel *et al.* (1998), Lautridou (1985), Pellenard et Deconinck (1998), Quesnel (1993, 1997). En particulier, l'université de Rouen a étudié les cortèges argileux des argiles à silex qui recouvrent les plateaux crayeux de l'Eure et de la Seine-Maritime.

Les formations superficielles et notamment les argiles à silex sont issues de formations d'origine lithologique différente. Les données recueillies laissent apparaître une très forte hétérogénéité. Il est très difficile de pouvoir caractériser les formations superficielles, les budgets alloués ne peuvent permettre d'apporter une amélioration significative des connaissances sur ce sujet.

Les données départementales ont été enrichies en particulier pour les formations du Jurassique et du Tertiaire par les données des programmes de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des départements voisins de l'Eure-et-Loir (Bouchut *et al.*, 2003), des Yvelines (Donsimoni et Giraud, 2005), du Val-d'Oise (Donsimoni *et al.*, 2004) et du Calvados (Duriez *et al.*, 2008).

Nous utiliserons les abréviations suivantes : K (kaolinite), Sm (smectite), I (illite), C (chlorite), V (vermiculite), Qz (quartz), Fd (feldspaths), M (montmorillonite). Ces abréviations sont aussi utilisées dans le cas des interstratifiés (ex : Sm/I pour interstratifiés smectite/illite, V/I pour interstratifiés vermiculite/illite).

- **Alluvions récentes [Fz]**

Origine des données : Cazaux et Gaucher (2006)

Les données disponibles ne concernent qu'un seul site de prélèvement et se sont probablement pas représentatives de l'ensemble de la formation. Aucune note minéralogique n'a donc été attribuée aux alluvions récentes. Dans les échantillons prélevés, la proportion de minéraux argileux gonflants avoisine 30 %.

- **Alluvions anciennes [Fy]**

Origine des données : Laignel (1997), notice de la carte géologique n°179.

Nombre de résultats : 1.

K = 85 % ; I = 5 % ; I/Sm = 10 %.

L'échantillon prélevé révèle une forte dominance de la kaolinite avec un peu d'illite et d'interstratifiés I/Sm. La notice de la carte géologique de Breteuil-sur-Iton indique des proportions égales entre les minéraux argileux de kaolinite et de smectite, associés avec un peu d'illite. Aucune note minéralogique n'a été affectée aux alluvions anciennes compte tenu du petit nombre de données disponibles et de l'hétérogénéité de cette formation.

- **Limons des plateaux [LP]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°101, 123 et 216 ; 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). Localement, la kaolinite atteint des proportions voisines de la smectite, comme dans le département voisin du Calvados à Glos. Les dépôts contiennent en quantités moindres, de l'illite et parfois de la chlorite.

Les minéraux argileux dans les limons des plateaux à Iville (Lautridou, 1985) :

K = 25-30 % ; I = 18-25 % ; Sm/V = 42-56 % - argiles : 40 % de la formation.

Les minéraux argileux dans les limons de la région de Dreux (carte géologique n°216) :

K = 10 % ; I = 5 % ; I/Sm = 85 % (dont > 60 % d'illite) – CaCO₃ : 0-20 %

- **Argiles à silex [RS]**

Origine des données : Laignel (1993, 1997), Le Berre (1978), Le Berre et Rozes (1980) et Quesnel (1997), notices des cartes géologiques n°125, 149, 150, 151, 179, 180, 215 et 216.

Nombre de résultats : 92.

$K = 0-100 \%$; $I = 0-20 \%$; $Sm + I/Sm + K/Sm = 0-100 \%$.

Moyenne des valeurs (dont 12 valeurs du département de l'Eure-et-Loir) :

$K = 62 \%$; $I = 8 \%$; $Sm+Sm/I+Sm/K = 28 \%$ (minéraux gonflants) ; autres : 2 %

Les thèses menées par B. Laignel (1997) et F. Quesnel (1997) ont délimité en plusieurs ensembles les argiles à silex qui recouvrent les plateaux crayeux hauts-normands, sur des critères d'épaisseur, de lithologie et de minéralogie. Le département de l'Eure est subdivisé en 4 parties :

- le centre et l'ouest (au sud et à l'ouest d'une ligne Verneuil-Elbeuf-estuaire de la Seine) dit « faciès Thimerais » :

Les argiles sont marquées par une dominance de la kaolinite, accompagnée d'interstratifiés Sm/K et d'illite. Le faciès s'enrichit en smectites à proximité des buttes de terrains tertiaires. Toutefois, le département de l'Eure est peu concerné par cette situation qui se retrouve fréquemment en Eure-et-Loir.

- le centre-est (région de Dreux et plaine de Saint-André et à l'ouest d'Evreux et Louviers dit « faciès Drouais ») :

Ce faciès est marqué par une fraction argileuse d'interstratifiés irréguliers à smectite dominante. Il contient également de la kaolinite et de l'illite.

- l'est et le nord (à l'est et au nord d'une ligne Ivry-la-Bataille – Evreux – Elbeuf – Brionne, et au sud d'une ligne Saint-Clair-sur-Epte – Fleury-sur-Andelle) dit « faciès Lozère » :

Le faciès Lozère correspond à l'argile à silex qui a une extension à peu près équivalente à celle du sable de Lozère. La particularité lithologique de ce faciès s'explique par le fait que le secteur a été recouvert par ce sable au Pliocène. La minéralogie est marquée par une légère prédominance de la kaolinite sur les interstratifiés K/Sm et la smectite. La formation contient un peu d'illite. La base des argiles à silex, au contact de la craie est marquée par un enrichissement en smectite et en interstratifiés.

- l'extrémité nord-est (au nord d'une ligne Saint-Clair-sur-Epte – Fleury-sur-Andelle), dit « faciès Gouttière normande-Talou » :

La minéralogie de ce dernier ensemble, qui se prolonge vers l'Oise et la Seine-Maritime, est marquée par une dominance des interstratifiés K/Sm accompagnés par de la kaolinite et de l'illite.

Concernant les argiles à silex remaniées et limons à silex [qCRS] (formation n°5), leur minéralogie a été assimilée à celle des argiles à silex. La même note minéralogique a été affectée à ces deux formations (cf. Illustration 10).

- **Sables de Lozère [pSL]**

Origine des données : Laignel (1997), Mégnien *et al.* (1980), notices des cartes géologiques n°125, 150, 151 et 180.

Nombre de résultats : 8.

K = 50-100 % ; I = 0-50 % ; I/Sm = 0-30 %.

Les sables de Lozère sont des sables argileux à lentilles d'argile. Dans la fraction argileuse, la bibliographie signale de manière générale une prédominance voire une présence exclusive de la kaolinite, accompagnée d'interstratifiés I/Sm et localement d'illite.

- **Sables du Stampien [g1SF]**

Origine des données : Laignel (1997), notices des cartes géologiques n°149, 179 et 180.

Nombre de résultats : 11.

K = 40-100 % ; I = 0-15 % ; Sm+I/Sm = 0-45 % ; pyrophyllite = 0-5 %

Les sables du Stampien sont légèrement argileux dans le département de l'Eure contrairement à l'Île-de-France. La minéralogie est composée majoritairement de kaolinite. L'illite et les interstratifiés I/Sm composent le reste des minéraux argileux.

- **Argiles vertes de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées [g1AR]**

Origine des données : notice de la carte géologique n°151, Mégnien *et al.* (1980), Le Berre (1978).

Nombre de résultats : 3 (argiles de Romainville)

I = 12-20 % ; Sm = 80-84 %.

Les marnes supragypseuses sont représentées par les marnes d'Argenteuil et de Pantin. Les marnes d'Argenteuil, légèrement sableuses, sont marquées par une prédominance de la smectite, associée à l'illite dans des proportions variables. La base du faciès est marquée par l'association attapulgite-illite.

Les glaises à cyrènes et argiles de Romainville sont marquées par une prédominance de la smectite avec l'illite accessoire. La kaolinite s'observe parfois en trace.

Enfin, le calcaire de Sannois est marqué par une prédominance du cortège smectite-illite (Donsimoni et Giraud, 2005).

- **Calcaire de Septeuil et marnes à *Pholadomya* [e7-g1CSept]**

Origine des données : Mégnien *et al.* (1980), notice de la carte géologique n°181.

D'après la bibliographie consultée, la fraction argileuse des marnes à *Pholadomya* (5 à 43 % de la roche) est essentiellement constituée d'attapulгите et de sépiolite. Ces minéraux sont parfois associés à de la smectite ou des interstratifiés illite-smectite.

Le calcaire de Septeuil est composé par une fraction argileuse de 5 à 15 %. Les minéraux sont des attapulгites et localement de la sépiolite.

- **Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions [Ce6]**

Origine des données : Le Berre (1978), Mégnien *et al.* (1980), notices des cartes géologiques n°125, 150, 151, 180 et 181.

- Lutétien

Les formations lutétiennes sont composées par un niveau de glauconie à la base suivie d'une succession de niveaux calcaires (calcaires grossiers inférieur, moyen, supérieur, calcaire à cérithes) et le niveau des « Marnes et caillasses » est marqué par une prédominance de la smectite suivie de l'illite (glauconie). Localement, de la kaolinite peut apparaître. La proportion d'argile est faible dans les niveaux calcaires (5-20 %). Les marnes et caillasses se distinguent par l'abondance d'attapulгite et de sépiolite.

- Bartonien

Les sables du Bartonien (sables de Beauchamp, sables d'Auvers) ont été regroupés avec les sables du Cuisien. Par contre, le calcaire de Saint-Ouen et les sables de Cresnes font partie de la présente formation. Pour les formations bartoniennes, l'illite domine principalement, associée à la sépiolite et parfois à l'attapulгite. Certains niveaux sont enrichis en kaolinite et/ou en smectite, qui peuvent être ponctuellement.

Enfin les colluvions qui reposent sur les formations lutétiennes et bartoniennes sont composées de matériaux issus des formations sus-jacentes comme les argiles de Romainville, très riches en smectite.

- **Sables du Cuisien et du Bartonien [e4-6]**

Origine des données : notice de la carte géologique n°101, 125, 150, 151 et 181, Mégnien *et al.* (1980)

Les sables du Cuisien et du Bartonien sont marqués par la dominance de la smectite sur l'illite, qui peut atteindre localement une proportion analogue. L'ensemble est parfois accompagné par la kaolinite et interstratifiés illite-smectite.

- **Argiles du Sparnacien [e4A]**

Origine des données : Mégnien *et al.* (1980), Le Berre et Rozes (1980), notices des cartes géologiques n°101, 125, 150, 151 et 181, Laignel (1997).

Nombre de résultats : 17.

$K = 0-30 \%$; $I = 0-25 \%$; $Sm+Sm/I = 45-100 \%$.

La fraction argileuse des argiles du Sparnacien est fortement marquée par la smectite. Le faciès contient aussi en quantité beaucoup moins importante, de la kaolinite, de l'illite et localement des interstratifiés illite-smectite.

- **Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien [e1-3]**

Origine des données : Laignel (1997), notices des cartes géologiques n°101, 125 et 151.

Nombre de résultats : 2 (Thanétien)

$K = 45-50 \%$; $I = 25-40 \%$; $I/Sm = 15-25 \%$.

Contrairement aux résultats de prélèvement affichés, l'ensemble de la bibliographie présente une prédominance de la smectite ou des interstratifiés illite-smectite dans les formations dano-montiennes et thanétiennes. La kaolinite apparaît fréquemment, en quantité moindre.

- **Craie marneuse du Turonien [c2]**

Origine des données : Mégnien *et al.* (1980), Laignel (1993)

Nombre de résultats : 1.

$I = 12 \%$; $Sm = 59 \%$; $I/Sm = 29 \%$.

La fraction argileuse (10 à 20 % de la roche) de la craie turonienne présente par une forte dominance de la montmorillonite avec des interstratifiés illite-smectite et de l'illite. Localement de la clinoptilolite apparaît en minéraux accessoires.

- **Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomanién [n-c1]**

Origine des données : notice des cartes géologiques n°97, 121 et 148, Mégnien *et al.* (1980), Le Berre (1978)

Nombre de résultats : 51.

$K = 7 \%$ (0-50 %) ; $I = 23 \%$ (0-40 %) ; $Sm+I/Sm = 70 \%$ (50-100 %).

La fraction argileuse de la formation est nettement dominée par la smectite et les interstratifiés illite-smectite. La formation contient de la kaolinite et de l'illite en minéraux accessoires. La proportion d'argile dans la roche varie de 5 (dans la craie) à 97 % dans les argiles du Gault.

- **Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien [j5-6]**

Origine des données : notices des cartes géologiques n°97 et 121, Mégnien *et al.* (1980), Dugué (1989).

Nombre de résultats : 16 (département du Calvados)

$K = 0-40 \%$; $I = 5-55 \%$; $Sm = 0-90 \%$; $C = 0-22 \%$

Moyenne des valeurs :

K = 21 % ; I = 34 % ; Sm = 42 % ; C = 3 %.

Les données d'échantillons sont très variables selon le secteur et les niveaux étudiés. La bibliographie mentionne de manière générale une prédominance de l'illite et de la kaolinite accompagnés de smectite ou interstratifiés, localement de la chlorite.

- **Sables de Glos [j5GI]**

Origine des données : Dugué (1989).

Nombre de résultats : 2 (département du Calvados)

K = 0-25 % ; I = 15-35 % ; Sm = 40-85 %.

La synthèse des données disponibles (illustration 10) aboutit à l'attribution des notes minéralogiques. Pour 4 formations superficielles (alluvions et colluvions), par nature hétérogène et dont la composition minéralogique dépend beaucoup de celles des matériaux d'origine, il a été jugé préférable de ne pas attribuer de note minéralogique car il aurait fallu pour cela une étude statistique sur un très grand nombre d'échantillons.

n°	Code	Formation	Note Minéralogique
1	Fz	Alluvions récentes	
2	Fy	Alluvions anciennes	
3	LP	Limons des plateaux	3
4	C	Colluvions issues des produits d'altération de la craie	
5	Ceg	Colluvions issues des formations tertiaires	
6	qCRS	Argiles à silex remaniées et limons à silex	2
7	RS	Argiles à silex	2
8	pSL	Sables de Lozère	1
9	g1SF	sables du Stampien	1
10	g1AR	Argiles vertes de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	4
11	e7-g	Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya	1
12	Ce6	Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	2
13	e4-6	Sables du Cuisien et du Bartonien	2
14	e4A	Argiles du Sparnacien	4
15	e1-3	Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	2
16	C2	Craie marneuse du Turonien	3
17	n-c1	Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens	3
18	J5-6	Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien	2
19	j5GI	Sables de Glos	3

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

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) :

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 à 6	moyenne	2
6 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, Hydrogéotechnique 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 aux principales communautés de communes du département pour récupérer des dossiers d'étude géotechnique réalisées avant la construction de bâtiments. D'autres résultats sont issus de rapports de bureaux d'études (CEBTP-Solen, Fondasol, Hydrogéotechnique, Fondouest, Simecsol) fournis essentiellement 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'Eure et les mutuelles d'assurances (MAAF et Matmut notamment) contactées dans le cadre de l'étude (Annexe 3).

Par ailleurs, un certain nombre de données sont directement issues des études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles effectuées dans les départements voisins, notamment en ce qui concerne les formations du Jurassique et du Tertiaire qui occupent une petite surface dans les limites administratives de l'Eure.

Enfin, 11 échantillons ont été prélevés sur le terrain dans le département de l'Eure, uniquement sur les formations tertiaires. Ils ont fait l'objet d'une caractérisation géotechnique (valeur au bleu de méthylène). Les résultats détaillés sont précisés en Annexe 4.

Ces données sont synthétisées dans le tableau de l'illustration 14.

Au total, 477 données de caractérisation géotechnique (dont 475 concernent effectivement des formations retenues comme argileuses) ont été exploitées. Elles proviennent du traitement des dossiers des bureaux d'études Fondouest (135, dont 6 recoupés avec une autre source), Hydrogéotechnique (49 dont 13 en Eure-et-Loir) et Antea (6) mais aussi du concessionnaire autoroutier ALIS (autoroute A28) (17), des communautés de communes et d'agglomération (5), des mairies (15), de la MATMUT (6), de la MAAF (2), de la CCR (2) et des prélèvements effectués sur le terrain dans le cadre de l'étude (11). Par ailleurs, une petite moitié de ces derniers est issue des départements limitrophes : 103 dans les Yvelines et le Val-d'Oise confondues et 134 dans le Calvados.

- Pour l'indice de plasticité, 207 données ont permis la caractérisation des formations argileuses ;
- Pour la valeur de bleu, 264 données ont été utilisées ;
- Pour le coefficient de gonflement, 2 données seulement ont pu être recueillies ;
- Pour le retrait linéaire, 2 données ont également été exploitées ;

En définitive, les données dont nous avons pu disposer permettent de caractériser les 19 formations argileuses du département de l'Eure, à l'exception des *Sables du Stampien*.

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 effectuée à partir des deux autres notes. La moyenne ainsi obtenue est potentiellement comprise entre 1 et 4. Les classes de susceptibilité déterminées à partir de la valeur moyenne ainsi calculée sont les suivantes :

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

Moyennant ce traitement, les notes de susceptibilité attribuées aux 19 formations retenues comme argileuses sont les suivantes (Illustration 15) :

Formations argileuses	Lithologique	Minéralogique	Géotechnique	Susceptibilité
Fz - Alluvions récentes	2		1	1,50
Fy - Alluvions anciennes	1		1	1,00
LP - Limons des plateaux	2	3	1	2,00
C - Colluvions issues des produits d'altération de la craie	2		1	1,50
Ceg - Colluvions issues des formations tertiaires	3		3	3,00
qCRS - Argiles à silex remaniées et limons à silex	3	2	1	2,00
RS - Argiles à silex	3	2	2	2,33
pSL - Sables de Lozère	2	1	2	1,67
g1SF - Sables du Stampien	1	1		1,00
g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	4	4	4	4,00
e7-g1 - Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya	2	1	3	2,00
Ce6 - Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	1	2	2	1,67
e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien	2	2	1	1,67
e4A - Argiles du Sparnacien	4	4	2	3,33
e1-3 - Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	2	2	2	2,00
c2 - Craie marneuse du Turonien	2	3	1	2,00
n-c1 - Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens	3	3	2	2,67
j5-6 - Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien	4	2	2	2,67
j5GI - Sables de Glos	1	3	1	1,67

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 près de 71 % de la superficie du département. Onze formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit des :

- Fz - Alluvions récentes (361 km² soit 5,98 % de la superficie du département)
- Fy - Alluvions anciennes (51 km² soit 0,84 %)
- LP - Limons des plateaux (1892 km² soit 31,33 %)
- C - Colluvions issues des produits d'altération de la craie (309 km² soit 5,12 %)
- qCRS - Argiles à silex remaniées et limons à silex (1470 km² soit 24,33 %)
- pSL - Sables de Lozère (92 km² soit 1,52 %)
- g1SF - Sables du Stampien (2 km² soit 0,04 %)
- e7-g1 - Calcaire de Septeuil et marnes à *Pholadomya* (2 km² soit 0,03 %)
- Ce6 – Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions (39 km² soit 0,65 %)
- e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien (30 km² soit 0,49 %)
- e1-3 - Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien (0,3 km² soit 0,01 %)
- c2 - Craie marneuse du Turonien (36 km² soit 0,60 %)
- j5GI - Sables de Glos (1 km² soit 0,02 %)

Les formations moyennement susceptibles couvrent 19,5 % de la superficie du département. Six formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit des :

- Ceg – Colluvions issues des formations tertiaires (48 km² soit 0,79 %)
- RS - Argiles à silex (1080 km² soit 17,88 %)
- n-c1 - Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens (46 km² soit 0,76 %)
- j5-6 - Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien (2 km² soit 0,04 %)

Les formations fortement susceptibles couvrent 1,18 % de la superficie du département. Deux formations ont été rattachées à cette catégorie des formations fortement susceptibles :

- g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées (15 km² soit 0,24 %)
- e4A - Argiles du Sparnacien (56 km² soit 0,93 %)

Il est à noter que les formations *a priori* non argileuses n'occupent que 8,4 % de la surface du département.

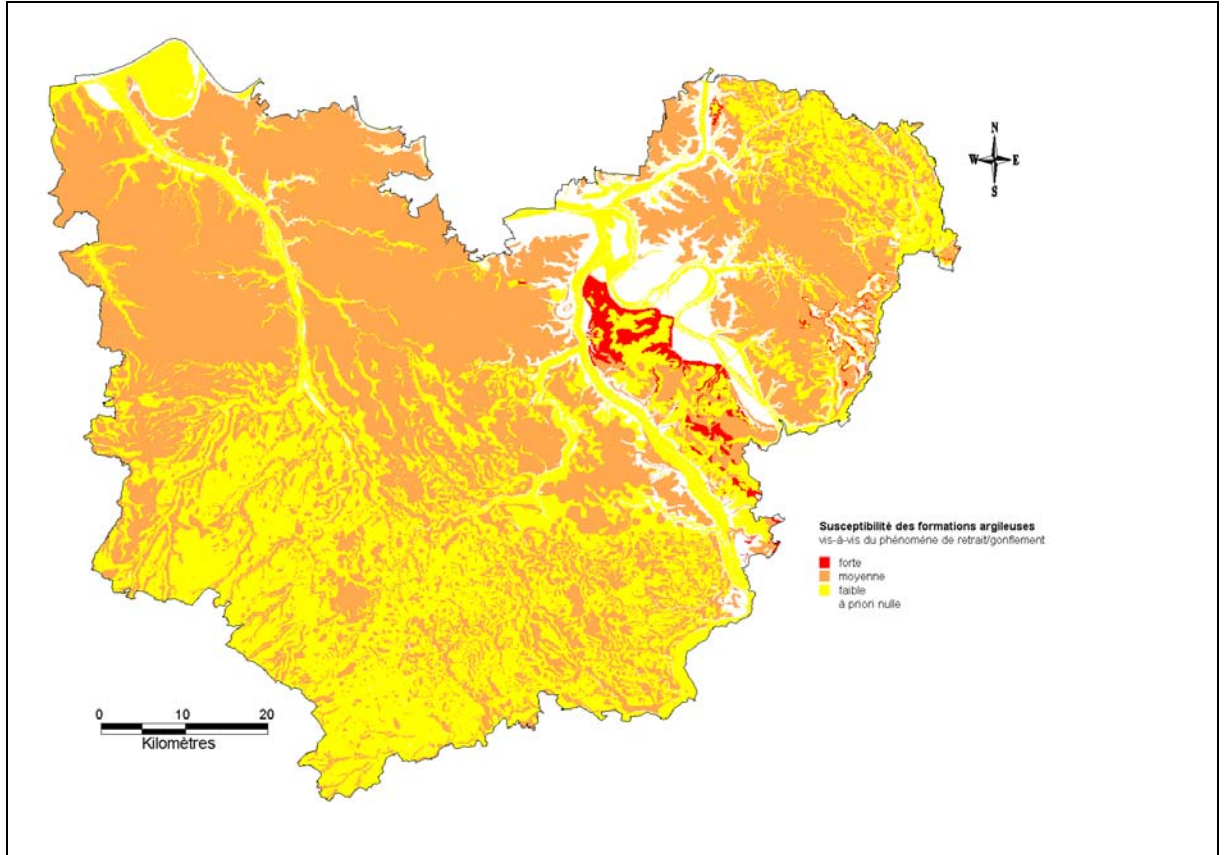


Illustration 16 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux

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'Eure à la date du 26 juin 2008 (Annexe 2), 30 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 30 communes reconnues représentent un peu plus de 4 % des 675 communes du département et couvrent 346 km², soit 5,7 % de sa superficie totale.

Au total, 20 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris à ce jour dans le département de l'Eure, dont les dates s'échelonnent entre le 4 décembre 1991 et le 11 juin 2008. Le nombre total d'occurrences reconnues, en distinguant par commune et par période, s'élève à 37. 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 57^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'Eure occupait la 53^e place en novembre 2006, avec un cumul indemnisé, dans le seul cadre du régime des catastrophes naturelles, estimé par la CCR à 4,2 millions d'euros.

Arrêtés interministériels	Nombre de communes
04/12/1991	3
25/01/1993	2
09/12/1996	1
11/02/1997	1
24/03/1997	1
28/05/1997	4
17/12/1997	1
02/02/1998	2
12/03/1998	4
06/07/2001	1
15/11/2001	1
11/01/2005	3
22/11/2005	2
06/02/2006	2
16/06/2006	4
10/11/2006	1
01/12/2006	1
22/02/2007	2
18/10/2007	1
11/06/2008	1

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 30 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 entre les vallées de l'Eure et de la Seine.

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

Six communes ont bénéficié de plusieurs arrêtés sécheresse. Il s'agit de la commune d'Evreux (3 arrêtés) et des communes de Fontaine-sous-Jouy, Houlbec-Cocherel, Saint-Aubin-sur-Gaillon, Saint-Marcel et Le Thuit-Signol (2 arrêtés chacune). La commune d'Evreux a été reconnue de façon continue sur la période allant du 1^{er} mai 1989 au 30 septembre 1996 par les deux premiers arrêtés. Le troisième arrêté porte sur la période du 1^{er} juillet au 30 septembre 2003. Parmi les communes reconnues à deux reprises, celle de Fontaine-sous-Jouy a été reconnue pour les sécheresses de 1989-1990 et de 2003. Trois autres (Houlbec-Cocherel, Saint-Aubin-sur-Gaillon et

Saint-Marcel) ont été reconnues pour les sécheresses de 1996 et de 2003. Enfin, la commune du Thuit-Signol a été reconnue pour des périodes beaucoup plus longues par les deux arrêtés : du 1^{er} janvier 1990 au 30 septembre 1996, puis, du 1^{er} janvier 1998 au 30 septembre 2000. Les 24 autres communes n'ont été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse qu'une seule fois. Parmi elles, 3 (Serquigny, Saint-Vigor et Tourny) ont été reconnues pour la sécheresse de 1989-1990, 10 (Bouquelon, Gouttières, Incarville, Les Authieux, Vernon, Caugé, Saint-Pierre-la-Garenne, Guichainville, Irreville et Les Hogues) pour la sécheresse de 1996 et 11 autres (Faverolles-la-Campagne, Plasnes, Chéronvilliers, Amfreville-la-Campagne, Ecos, Montaure, Roman, Le Vieil-Evreux, Nonancourt, Saint-Pierre-des-Fleurs et Fauville) pour la sécheresse de 2003.

Le département a donc été marqué par les trois périodes de sécheresse enregistrées ces dernières années avec un impact manifestement plus marqué en 1996 et 2003 qu'en 1989-1990.

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 (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).

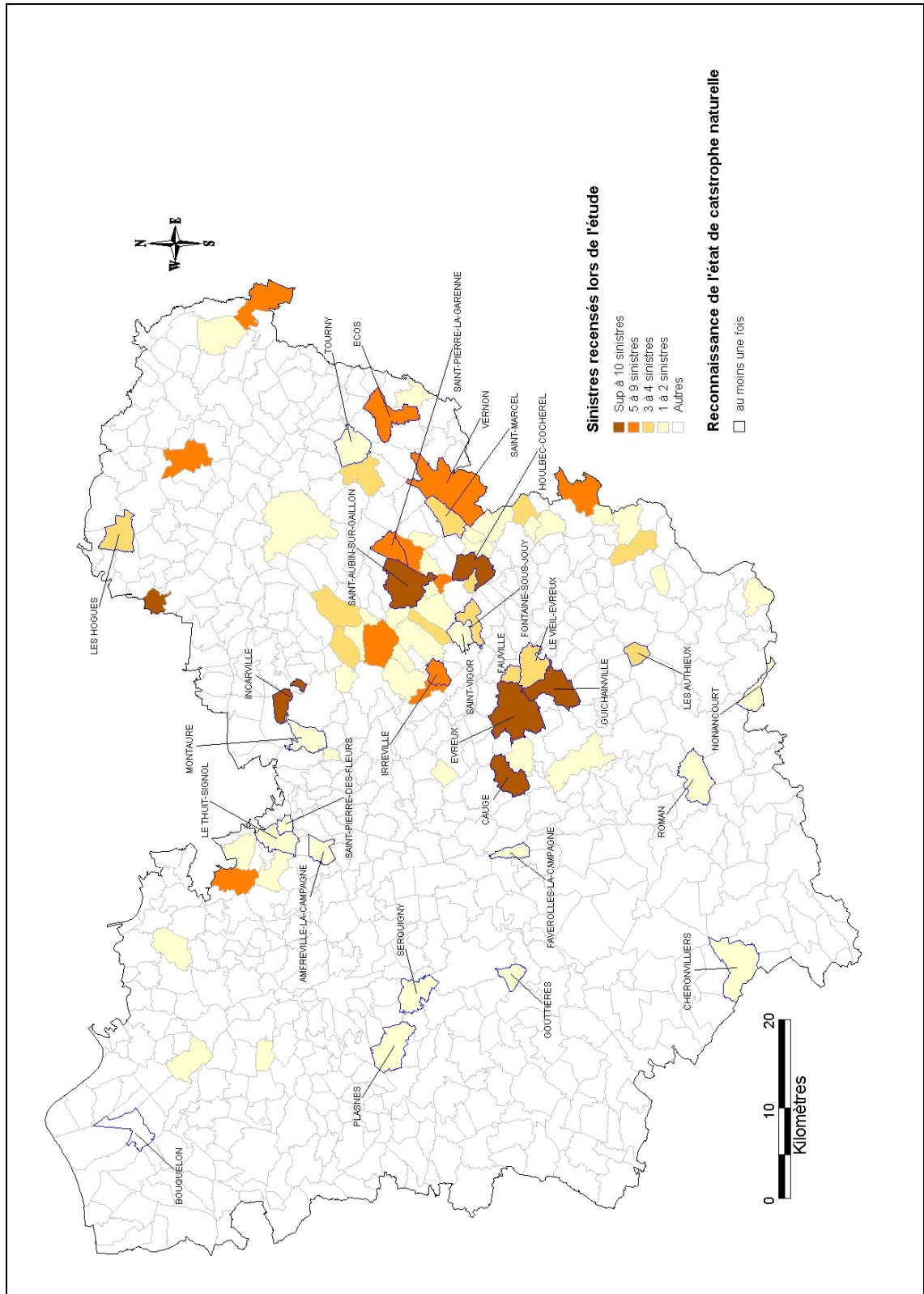


Illustration 18 – Etat des reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés par commune

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'Eure), à la Caisse centrale de réassurance (CCR) et au BRGM où plusieurs rapports ont été produits sur le sujet (BRGM, 1996a ; 1996b ; 1997a ; 1997b ; 1997c ; 1997d ; 1997e ; Equilbey, 2003 ; Franck, 1992 ; Lebret, 2002 ; 2003 ; Mathon et Menigoz, 1991 ; Pasquet, 2006), ainsi que d'une enquête auprès des 675 communes du département. Les 16 autres sinistres recensés n'ont pu être localisés avec suffisamment de précision. Sur les 403 sinistres initialement comptabilisés, 387 ont pu faire l'objet d'une localisation précise. Au final, 16 sinistres sont non confirmés et/ou non localisés.

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'Eure, aux 675 maires. Les courriers ont été envoyés depuis le Service Géologique Régional Haute-Normandie du BRGM le 6 et le 7 février 2007. Une deuxième relance par fax a été faite entre le 12 et le 18 juin 2007 auprès des 383 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 sinistre(s) par d'autres sources (préfecture, CCR..) ainsi que les communes situées sur les buttes des formations du Tertiaire jugées soumises à un aléa plus important (une partie du Vexin, plateau de Madrie). Le taux de réponse final atteint 75 %, avec 43 réponses de communes signalant des sinistres et 465 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 argiles. Deux communes ayant bénéficié d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse n'ont pas répondu à l'enquête malgré de nombreuses relances.

Enfin, lors d'une visite de terrain effectuée pour des prélèvements d'échantillons, des fissures ont été repérées sur de très nombreuses maisons de communes sinistrées. Le nombre de bâtiments sinistrés sur le terrain s'est révélé beaucoup plus important que le nombre de sinistres déclarés pour des demandes de reconnaissance au titre des catastrophes naturelles ou dans les retours des questionnaires aux mairies dans certains secteurs. Plusieurs missions de terrain ont donc été menées afin de connaître la perte d'information entre les bâtiments ayant des fissures visibles depuis la route et les sinistres déclarés. L'intégralité de la partie euroise du plateau de Madrie, entre les communes de Villiers-en-Désoeuvre au Sud et de Val-de-Reuil au Nord, a été parcouru de cette manière, soit 49 communes. Parmi elles, 5 communes ont déjà été reconnues au titre des catastrophes naturelles. Le plateau de Madrie fait partie des rares secteurs peu ou pas concernés par l'abondance des cavités souterraines anthropiques ou naturelles dans le département de l'Eure, le substrat étant composé de terrains tertiaires. Le phénomène de retrait-gonflement des argiles a par conséquent été considéré comme le principal facteur de fissuration de bâtiments. L'apparence des fissures a également été prise en compte pour la validation ou non du

sinistre. Ainsi, 76 nouveaux sinistres ont été ajoutés aux 56 sinistres recensés dans le secteur par exploitation de diverses archives et les réponses des questionnaires aux mairies.

Cette méthode n'a pas été appliquée dans le Vexin, l'urbanisation étant jugée trop faible sur les buttes témoins du Tertiaire et difficile à réaliser dans le budget et les délais impartis pour l'étude.

7.3.2. Bilan

Finalement, 403 sinistres ont été recensés, même si tous n'ont pas pu être localisés avec précision sur les communes. 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.

Le nombre de sinistres par commune est très variable : 62 (soit 81 %) des 77 communes concernées comptent 1 à 5 sinistres. Une commune, Evreux, concentre à elle seule plus du tiers des sinistres du département (113). Enfin 6 autres communes totalisent 10 sinistres recensés ou plus : Saint-Aubin-sur-Gaillon (37), Houlbec-Cocherel (19), Incarville (15), Caugé (12), Bourg-Beaudouin et Guichainville (10).

D'un point de vue géographique, les sinistres se répartissent presque exclusivement dans la moitié est du département de l'Eure (Illustration 20). De fortes concentrations ressortent dans l'agglomération d'Evreux, au Centre-Est, et sur les bordures du plateau de Madrie à une vingtaine de kilomètres au Nord-Est de la ville, entre les vallées de l'Eure et de la Seine. La forte densité de sinistres sur le plateau de Madrie a été accentuée par les campagnes de terrain réalisées dans le secteur. Quelques sinistres plus diffus sont répertoriés au nord du département, près d'Elbeuf et dans le Vexin.

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 99,5 % des sinistres localisés (385 sur 387) sont répartis sur les formations retenues comme argilo-marneuses, ces dernières occupant il est vrai 91,8 % de la surface du département (Illustration 20).

2 sinistres ne concernent *a priori* pas des formations argilo-marneuses. Il n'est pas exclu que ces derniers soient liés à des niveaux d'altération non cartographiés du substratum (altérites), ou bien encore à d'autres causes que le phénomène de retrait-gonflement.

Rappelons en effet que certaines formations considérées comme *a priori* non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non

cartographiés. Ceci concerne notamment des colluvions superficielles ou des altérites d'horizons calcaires. Par ailleurs, il peut arriver que des sinistres attribués au retrait-gonflement des argiles soient dus en réalité à d'autres phénomènes (tassement de remblais ou de sols compressibles, fluages sur des colluvions instables, défauts de construction, choc thermique sur les enduits de façade, etc.). Enfin, il n'est pas exclu que certains contours de formations géologiques puissent être localement inexacts ou que des sinistres soient mal localisés.

Parmi les formations retenues comme argileuses au sens large, 9 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 :

- Fz – Alluvions récentes : 23 sinistres
- LP – Limons des plateaux : 15
- C – Colluvions issues des produits d'altération de la craie : 18
- Ceg – Colluvions issues des formations tertiaires : 11
- qCRS – Argiles à silex remaniées et limons à silex : 26
- RS – Argiles à silex : 157
- g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées : 72
- e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien : 17
- e4A - Argiles du Sparnacien : 33

Parmi les formations argilo-marneuses, 7 ne comptent aucun sinistre recensé à ce jour. Il s'agit des formations g1SF, e7-g1, e1-3, c2, n-c1, j5-6, j5Gl. Il faut cependant noter que certaines de ces formations n'affleurent que très peu dans le département (quelques kilomètres carré).

7.3.3. Cas particulier des communes reconnues catastrophe naturelle

L'illustration 18 démontre que les 30 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse sont inégalement concernées par le phénomène. La commune d'Evreux est de loin la commune la plus touchée dans l'Eure : 113 sinistres y ont été recensés soit un peu moins du quart du nombre de total de sinistres recensés sur le département. D'autres communes présentent un nombre conséquent de sinistres : 37 à Saint-Aubin-sur-Gaillon, 19 à Houlbec-Cocherel, 15 à Incarville, 12 à Caugé, etc. Parmi les communes reconnues en état de catastrophe naturelle, deux n'ont 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. Pour exemple, les 113 sinistres d'Evreux se retrouvent grâce à plusieurs sources différentes. Concernant les sinistres localisés grâce aux missions de terrain, les fissures observées étaient probablement, d'après leur apparence, liées au phénomène de retrait-gonflement. Ces sinistres n'ont à notre connaissance, pas fait l'objet de procédures particulières auprès de la mairie ou des services de l'état pour une éventuelle reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle. Toutefois, il reste possible que les propriétaires concernés aient contacté leur assurance suite à la reconnaissance au titre des catastrophes naturelles « sécheresse » de la commune.

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 bâtie 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 19 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.

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

Commune	Archives CCR	Archives préfecture	Réponse mairie	Brgm (sources Archives = A ; Terrain = T)
Amfreville-la-Campagne	1 maison localisée	1 maison localisée	1 maison localisée	Aucune
Bouquelon	1 maison non-localisée	Aucune	Sans réponse	Aucune
Caugé	1 maison localisée	1 maison localisée	12 maisons localisées	1 maison localisée (A)
Chéronvilliers	1 maison localisée	2 maisons localisées	2 maisons localisées	Aucune
Ecos	6 maisons non-localisées	6 maisons non-localisées	6 maisons localisées	Aucune
Evreux	2 maisons non-localisées	59 maisons non-localisées	110 maisons localisées	73 maisons non-localisées (A)
Fauville	1 maison localisée	1 maison localisée	3 maisons localisées	Aucune
Faverolles-la-Campagne	1 maison localisée	1 maison localisée	1 maison localisée	Aucune
Fontaine-sous-Jouy	1 maison localisée	1 maison localisée	3 maisons localisées	Aucune
Gouttières	1 maison non-localisée	1 maison non-localisée	1 maison localisée	Aucune
Guichainville	2 maisons localisées	2 maisons localisées	10 maisons localisées	2 maisons localisées (A)
Houlbec-Cocherel	2 maisons localisées	17 maisons non-localisées	Sans réponse	3 maisons localisées (A=1 et T=2)
Incarville	14 maisons non-localisées	15 maisons non-localisées	Renvoi rapport Brgm	15 maisons localisées (A)
Irreville	5 maisons non-localisées	5 maisons non-localisées	« Etat néant »	5 maisons localisées (A)
Le Thuit-Signol	1 maison non-localisée	Aucune	1 maison localisée	1 maison localisée (A)
Le Vieil-Evreux	Aucune	3 maisons localisées	3 maisons localisées	Aucune
Les Authieux	3 maisons localisées	1 maison localisée	3 maisons localisées	3 maisons localisées (A)
Les Hogues	1 maison localisée	1 maison localisée	3 maisons localisées	1 maison localisée (A)
Montaure	1 maison non-localisée	1 maison non-localisée	1 maison localisée	Aucune
Nonancourt	Aucune	1 maison non-localisée	1 maison localisée	Aucune
Plasnes	1 maison localisée	1 maison localisée	1 maison localisée	Aucune
Roman	1 maison localisée	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Saint-Aubin-sur-Gaillon	9 maisons localisées	23 maisons localisées	26 maisons localisées	13 maisons localisées (A=5 et T=8)
Saint-Marcel	Aucune	3 maisons localisées	3 maisons localisées	Aucune
Saint-Pierre-des-Fleurs	1 maison localisée	1 maison localisée	1 maison localisée	Aucune
Saint-Pierre-la-Garenne	5 maisons localisées	5 maisons localisées	5 maisons localisées	9 maisons localisées (A=5, T=4)
Saint-Vigor	1 maison non-localisée	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Serquigny	1 maison localisée	Aucune	1 maison localisée	Aucune
Tourny	1 maison non-localisée	Aucune	1 maison localisée	1 maison non-localisée
Vernon	8 maisons localisées	8 maisons localisées	8 maisons localisées	8 maisons localisées

Illustration 19 – Comparaison des données de sinistres

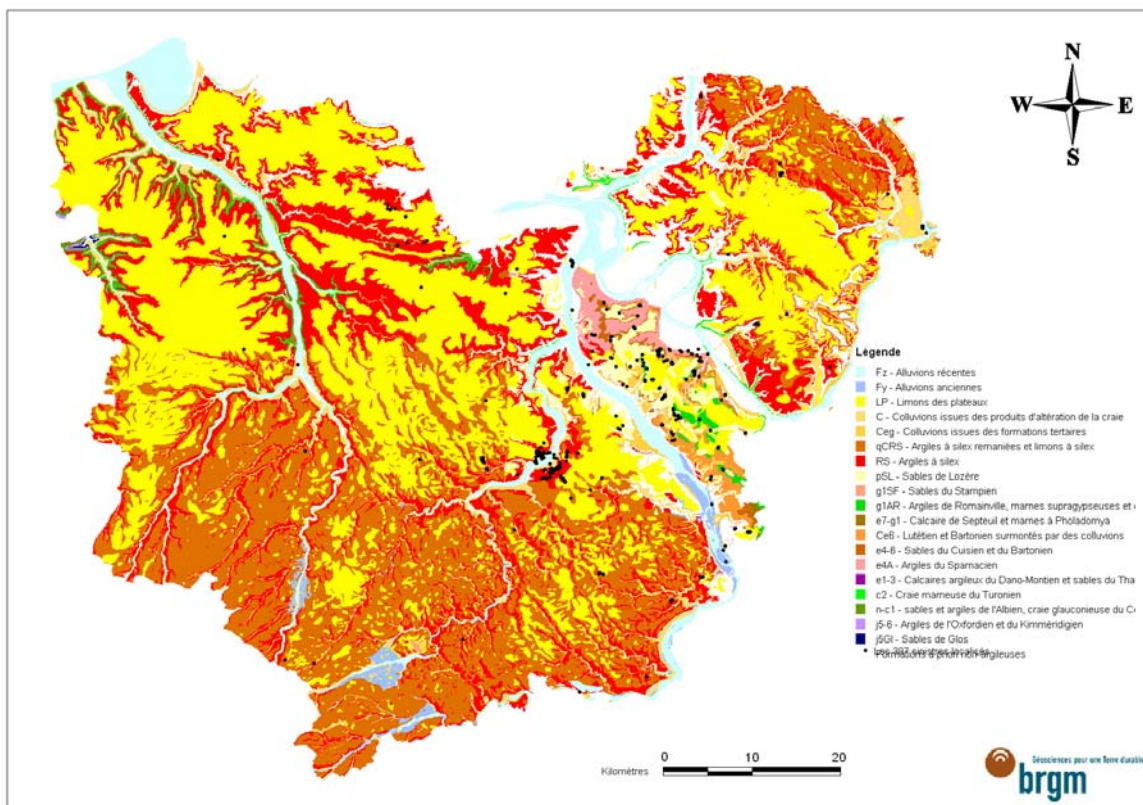


Illustration 20 – Répartition géologique des sinistres recensés et localisés

La surface totale des zones urbanisées du département a été ainsi estimée à 487,36 km², soit environ 8 % 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 473,56 km², soit environ 7,8 % 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 quatre formations : g1SF, e1-3, j5-6 et j5GI (respectivement *Sables du Stampien*, *calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien*, *Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien* et *Sables de Glos*) dont la surface d'affleurement urbanisée est si réduite (0,146 ; 0,015 ; 0,028 et 0,065 km²) que la présence d'un seul sinistre aboutit à une densité de sinistre très élevée qui ne peut être considérée comme réellement significative. Ceci est d'autant plus vrai pour la formation e7-g1 (*Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya*) où l'urbanisation est inexistante, ce qui suffit à expliquer l'absence de sinistre recensé.

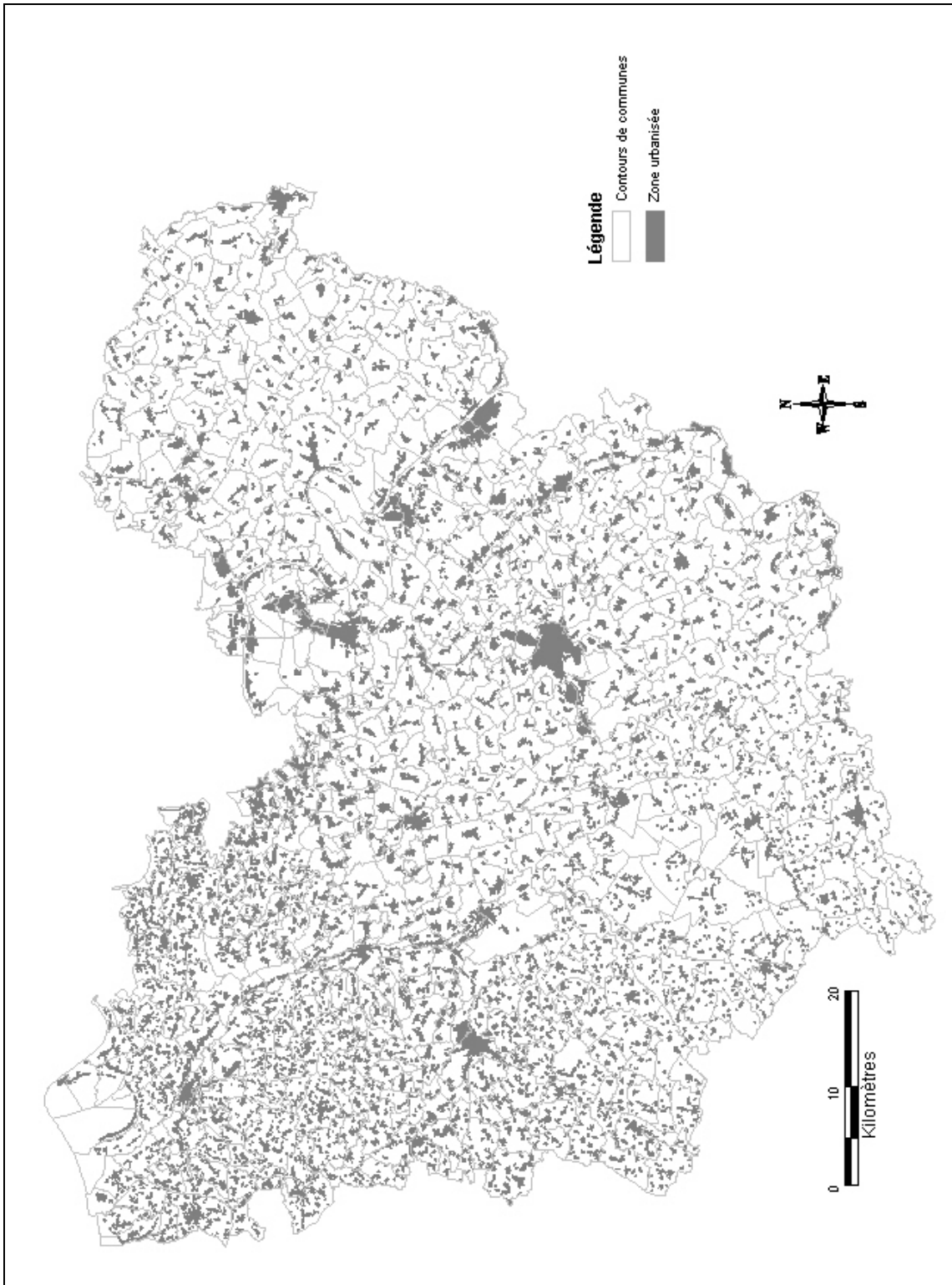


Illustration 21 – Carte des zones urbanisées sur le département de l'Eure

Notation et intitulé des formations argileuses	SINISTRES		AFFLEUREMENT		URBANISATION	
	Nb de sinistres	% sinistres	Surface d'affleurement (km ²)	% affleurement	Surfaces urbanisées	% urbanisation
Fz - Alluvions récentes	23	5,9	361,31	5,98	55,75	11,44
Fy - Alluvions anciennes	3	0,8	50,75	0,84	7,49	1,54
LP - Limons des plateaux	15	3,9	1 892,48	31,33	125,71	25,80
C - Colluvions issues des produits d'altération de la craie	18	4,7	309,40	5,12	30,65	6,29
Ceg - Colluvions issues des formations tertiaires	11	2,8	47,86	0,79	5,78	1,19
qCRS - Argiles à silex remaniées et limons à silex	26	6,7	1 469,72	24,33	84,98	17,44
RS - Argiles à silex	157	40,6	1 079,85	17,88	99,51	20,43
pSL - Sables de Lozère	4	1,0	91,82	1,52	7,53	1,55
g1SF - Sables du Stampien	0	0,0	2,50	0,04	0,15	0,03
g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	72	18,6	14,77	0,24	1,78	0,37
e7-g1 - Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya	0	0,0	1,70	0,03	0,00	0,00
Ce6 - Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	6	1,6	39,08	0,65	2,45	0,50
e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien	17	4,4	29,34	0,49	4,19	0,86
e4A - Argiles du Sparnacien	33	8,5	56,27	0,93	5,03	1,03
e1-3 - Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	0	0,0	0,33	0,01	0,01	0,00
c2 - Craie marneuse du Turonien	0	0,0	36,11	0,60	3,28	0,67
n-c1 - Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens	0	0,0	46,16	0,76	3,09	0,63
j5-6 - Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien	0	0,0	2,18	0,04	0,03	0,01
j5GI - Sables de Glos	0	0,0	1,09	0,02	0,07	0,01
Total des formations argileuses	385	99,5	5 532,72	91,59	437,48	89,80
Formations a priori non argileuses	2	0,5	508,02	8,41	49,71	10,20
TOTAL	387	100,0	6 040,74	100,00	487,19	100,00

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 87 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement urbanisé.

Les formations présentant une sinistralité élevée (plus de 87 sinistres pour 100 km² d'affleurement urbanisé) sont :

- *Ceg – Colluvions issues des formations tertiaires (190)*
- *RS - Argiles à silex (153)*
- *g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées (4045)*
- *Ce6 – Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions (245)*
- *e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien (406)*
- *e4A - Argiles du Sparnacien (656)*

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est le seuil de 100 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 100 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 100 et 500 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 500 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à six fois la moyenne).

Deux formations obtiennent une note de densité de sinistres de 3, les *Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées* et les *Argiles du Sparnacien*.

Concernant les formations des *Sables du Stampien* (notés g1SF), des *calcaires de Septeuil et marnes à Pholadomya* (notés e7-g1), des *calcaires argileux du Danomontien et du Thanétien* (notés e1-3), des *argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien* (notés j5-6) et des *Sables de Glos* (notés j5GI), pour lesquelles la densité de sinistres s'est avérée non significative, le niveau d'aléa est déterminé par la susceptibilité.

La note de susceptibilité a aussi été directement utilisée pour évaluer le niveau d'aléa sans tenir compte de la sinistralité pour les *Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens* (notés n-c1). Il s'agit en effet, comme d'ailleurs dans le Calvados limitrophe, d'une formation géologique faiblement urbanisée et d'assez faible extension géographique. Dans l'Eure, l'absence actuelle de sinistres recensés sur cette formation dont la susceptibilité a été considérée comme moyenne pourrait conduire à en sous-estimer l'aléa alors que l'étude menée dans plusieurs autres départements montre que cette formation est à l'origine de très nombreux sinistres.

Notation et intitulé des formations	Nb de sinistres	Densité de sinistres (pour 100km ² urbanisés)	Note densité de sinistres
Fz - Alluvions récentes	23	41,26	1
Fy - Alluvions anciennes	3	40,05	1
LP - Limons des plateaux	15	11,93	1
C - Colluvions issues des produits d'altération de la craie	18	58,73	1
Ceg - Colluvions issues des formations tertiaires	11	190,31	2
qCRS - Argiles à silex remaniées et limons à silex	26	30,60	1
RS - Argiles à silex	157	153,01	2
pSL - Sables de Lozère	4	53,12	1
g1SF - Sables du Stampien	0	0,00	NS
g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	72	4044,94	3
e7-g1 - Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya	0	0,00	NS
Ce6 - Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	6	244,90	2
e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien	17	405,73	2
e4A - Argiles du Sparnacien	33	656,06	3
e1-3 - Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	0	0	NS
c2 - Craie marneuse du Turonien	0	0	1
n-c1 - Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomanién	0	0	NS
j5-6 - Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridigien	0	0	NS
j5GI - Sables de Glos	0	0	NS
		79,44	Seuil = 100

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. Deux formations sont considérées en aléa fort vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement : les *Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées* et les *Argiles du Sparnacien*. Ces formations couvrent 1,18 % de la superficie départementale (Illustration 25).

Deux formations sont considérées en aléa moyen, résultant d'une susceptibilité moyenne associée à une densité de sinistres également moyenne : les *Colluvions issues des formations tertiaires* et les *Argiles à silice*. Deux autres formations (*Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens et Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien*) ont été rattachées à cette catégorie, malgré l'absence de sinistre car les caractéristiques intrinsèques (note de susceptibilité) y sont moyennes et la sinistralité y

a été jugée non-significative. Ces quatre formations couvrent 19,47 % de la superficie départementale.

Les autres formations, au nombre de 13 et couvrant au total 70,94 % de la superficie départementale, sont considérées comme présentant un aléa faible. Elles résultent d'une susceptibilité faible assortie d'une sinistralité faible à moyenne ou non-significative.

Notation et intitulé des formations	Niveau de susceptibilité	Note densité de sinistres	Indice d'aléa	Aléa
Fz - Alluvions récentes	1	1	3	faible
Fy - Alluvions anciennes	1	1	3	faible
LP - Limons des plateaux	1	1	3	faible
C - Colluvions issues des produits d'altération de la craie	1	1	3	faible
Ceg - Colluvions issues des formations tertiaires	2	2	6	moyen
qCRS - Argiles à silex remaniées et limons à silex	1	1	3	faible
RS - Argiles à silex	2	2	6	moyen
pSL - Sables de Lozère	1	1	3	faible
g1SF - Sables du Stampien	1	NS	-	faible
g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	3	3	9	fort
e7-g1 - Calcaire de Septeuil et marnes à <i>Pholadomya</i>	1	NS	-	faible
Ce6 - Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	1	2	4	faible
e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien	1	2	4	faible
e4A - Argiles du Sparnacien	3	3	9	fort
e1-3 - Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	1	NS	-	faible
c2 - Craie marneuse du Turonien	1	1	3	faible
n-c1 - Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomaniens	2	NS	-	moyen
j5-6 - Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridgien	2	NS	-	moyen
j5GI - Sables de Glos	1	NS	-	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 dominante 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 8 % 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'Eure 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.

La zone du département la mieux renseignée pour l'inventaire des sinistres est le plateau de Madrie, situé entre les vallées de la Seine et de l'Eure. Plusieurs missions ont été effectuées sur le terrain, en complément des archives et des enquêtes auprès des mairies, pour recenser des sinistres. Ceci a permis de recenser quelques sinistres supplémentaires se manifestant par des fissures visibles en façade, dans un secteur *a priori* dépourvu de tout risque lié aux cavités souterraines (ce qui n'est pas le cas dans le reste du département).

Ce plateau est formé de terrains tertiaires (alternance de niveaux calcaires et argileux) où sont renfermés 2 niveaux argileux caractérisés comme très sensibles au phénomène : les *Argiles du sparnacien* et les *Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées*. Or, de très nombreux sinistres sont localisés sur le plateau, recouvert essentiellement, d'après les cartes géologiques, de *Sables de Lozère*, reconnus comme faiblement sensibles. Les *Sables de Lozère* ayant une épaisseur de quelques dizaines de centimètres, l'origine des sinistres devrait se trouver dans la formation recouverte : les *marnes et calcaires du Lutétien et du Bartonien* formant le sommet du plateau. Cette formation est cependant recouverte dans la stratigraphie par les *Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées* qui affleurent en limite avec le département des Yvelines, vers le Sud du plateau (Villegats, Houlbec-Cocherel...). Il est donc possible qu'il subsiste des lentilles d'argiles de Romainville entre les formations lutétiennes et bartoniennes et les *Sables de Lozère*. C'est l'interprétation qui a été retenue pour les secteurs habités à très forte densité de sinistres. Ainsi, des contours d'*argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées* ont été tracés sur la carte d'aléa dans les zones de plateau où les sinistres sont très nombreux. C'est par conséquent, la répartition des sinistres qui a guidé en partie la délimitation de ces contours de la carte d'aléa en l'absence de la possibilité de moyens supplémentaires d'investigation (par sondage) pour vérifier cette hypothèse et cartographier plus précisément les zones argileuses.

La commune d'Evreux renferme à elle seule plus du quart des sinistres départementaux (113 sur 403). La géologie de la ville est marquée par la vallée de l'Iton creusée dans le plateau crayeux, lui-même recouvert par des argiles à silex et des limons parfois mêlés aux sables de Lozère. Les sinistres se répartissent sur les deux plateaux est et ouest séparés par l'Iton, quelques-uns étant situés dans le fond de la vallée sur les *dépôts fluviaux récents*. Plusieurs communes de la région d'Evreux sont aussi sinistrées.

Les formations géologiques présentes étant peu différentes du reste du département, faiblement touché à l'échelle française, le contexte local d'Evreux doit pouvoir expliquer cette densité. La forte présence de sinistres pourrait être liée dans le secteur à la présence d'argiles du Tertiaire dans la partie la plus superficielle des argiles à silex. Les argiles du Tertiaire sont responsables de nombreux sinistres sur les buttes témoins qui se trouvent à environ une quinzaine de kilomètres à l'Est de la ville. La

proximité de dépôts tertiaires encore en place peut expliquer la présence d'argiles tertiaires dans le sous-sol sans qu'il soit possible de cartographier précisément leur extension. Par conséquent, la sinistralité de la région d'Evreux et de la ville en particulier a un impact, limité toutefois, sur la note d'aléa des argiles à silex qui affleurent très largement dans le département. La densité de sinistres à Evreux produit un effet très diffus sur la carte d'aléa.

Notation et intitulé des formations	Surface d'affleurement (km ²)	% affleurement	Aléa
Fz - Alluvions récentes	361,31	5,98	faible
Fy - Alluvions anciennes	50,75	0,84	faible
LP - Limons des plateaux	1 892,48	31,33	faible
C - Colluvions issues des produits d'altération de la craie	309,40	5,12	faible
qCRS - Argiles à silex remaniées et limons à silex	1 469,72	24,33	faible
pSL - Sables de Lozère	91,82	1,52	faible
g1SF - Sables du Stampien	2,50	0,04	faible
e7-g1 - Calcaire de Septeuil et marnes à Pholadomya	1,70	0,03	faible
Ce6 - Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	39,08	0,65	faible
e4-6 - Sables du Cuisien et du Bartonien	29,34	0,49	faible
e1-3 - Calcaires argileux du Dano-Montien et sables du Thanétien	0,33	0,01	faible
c2 - Craie marneuse du Turonien	36,11	0,60	faible
j5GI - Sables de Glos	1,09	0,02	faible
TOTAL des formations en aléa faible	4 285,63	70,94	
Ceg - Colluvions issues des formations tertiaires	47,86	0,79	moyen
RS - Argiles à silex	1 079,85	17,88	moyen
n-c1 - Sables et argiles de l'Albien, craie glauconieuse du Cénomanién	46,16	0,76	moyen
j5-6 - Argiles de l'Oxfordien et du Kimméridigien	2,18	0,04	moyen
TOTAL des formations en aléa moyen	1 176,05	19,47	
g1AR - Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	14,77	0,24	fort
e4A - Argiles du Sparnacien	56,27	0,93	fort
TOTAL des formations en aléa fort	71,04	1,18	
TOTAL des formations argileuses	5 532,72	91,59	
Formations a priori non argileuses	508,02	8,41	
TOTAL département	6 040,74	100,00	

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

Il n'existe aucune discontinuité notable des tracés au niveau de la jonction entre la carte d'aléa de l'Eure et celle des départements limitrophes de l'Eure-et-Loir, des Yvelines, du Val-d'Oise et du Calvados.

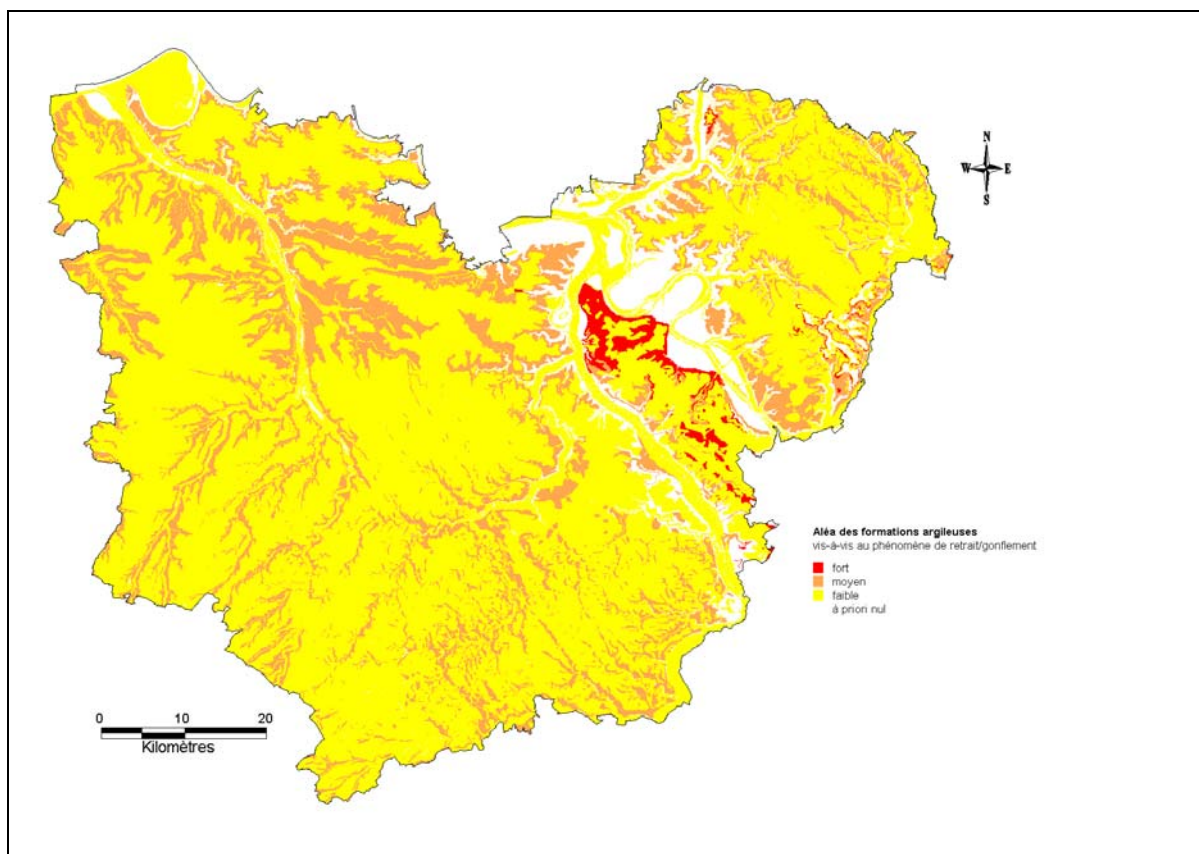


Illustration 26 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement de l'Eure

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'Eure. 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 19 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 dominante argilo-marneuse, en se basant sur leur hiérarchisation qui combine leur susceptibilité et la sinistralité associée. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres, en calculant pour chaque formation une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre elles. Au total, 403 sinistres répartis dans 77 communes du département ont ainsi été recensés et 387 ont pu être localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très

largement représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

En appliquant au département de l'Eure 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. Deux formations argileuses ont été ainsi classées en aléa fort. Sur une superficie départementale totale de 6 040 km² ;

- 1,18 % est classé en aléa fort ;
- 19,47 % est classé en aléa moyen ;
- 70,94 % est classé en aléa faible ;
- 8,41 % 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 terrains argileux du département de l'Eure, 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.

BRGM (1996a) – Commune de Houlbec-Cocherel (Eure), sinistre de l'immeuble Vissault. Avis du BRGM. Rapport BRGM R 39127, 21p, 1 fig, 1 ann.

BRGM (1996b) – Commune d'Incarville (Eure), sinistre de divers immeubles. Avis du BRGM. Rapport BRGM R 39143, 24p, 1 fig, 1 ann.

BRGM (1997a) – Commune d'Evreux, sinistre de divers immeubles. Avis du BRGM. Rapport BRGM/R 39263, 19p, 1 fig, 1 ann.

BRGM (1997b) – Commune de Vernon (Eure), sinistre de divers immeubles. Avis du BRGM. Rapport BRGM/R 39305, 14p, 3 fig.

BRGM (1997c) – Commune des Authieux, sinistre de divers immeubles. Avis du BRGM. Rapport BRGM/R 39393, 11p., 1 fig.

BRGM (1997d) - Commune de Saint-Pierre-la-Garenne (Eure), sinistre de divers immeubles. Avis du BRGM. Rapport BRGM R 39495, 9p, 1 fig.

BRGM (1997e) - Commune de Saint-Aubin-sur-Gaillon (Eure), sinistre de divers immeubles. Avis du BRGM. Rapport BRGM R 39496, 11p., 1 fig.

CEBTP sous l'égide de l'AQC, l'APSAD, l'AFAC, la CCR et la FNB (1991) – Détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. *Guide pratique CEBTP*, 3 fascicules.

Cazaux D., Gaucher E. (2006) – Bernières-sur-Seine (27), Etude de valorisation d'agiles 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 tab., 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.

Donsimoni M. et Giraud F. (2005) - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département des Yvelines. BRGM/RP-53074-FR, 287 p., 7 fig., 24 tabl., 6 ann., 3 pl. h.-t.

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

Donsimoni M., Hatton C., Giraud F. (2004) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Val-d'Oise. BRGM/RP-52598-FR, 163 p., 8 fig., 22 tabl., 4 ann., 4 pl. h.-t.

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, paléoécologie, 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.

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.

Franck C. (1992) – Propriété Deluca à Tourny (27) – Examen du contexte hydrogéologique de la maison d'habitation et des désordres qui l'affectent. Rapport BRGM 92 HNO 064, 15 p.

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.

Lebret P. (2002) – Léger mouvement de terrain – Parcelle AB81a, Commune de Conches-en-Ouche (Eure). Avis du BRGM. Rapport BRGM/RP-51512-FR, 40 p, 5 fig., 6 photos, 2 ann.

Lebret P. (2003) – Mouvement de terrain, parcelle C941, Commune de Bosc-Roger-en-Roumois (Eure). Avis du BRGM. Rapport BRGM/RP-52605-FR, 28 p., 4 fig., 4 ph.

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

Mathon C. et Menigoz A. (1991) – Mairie d'Evreux (Eure) – Analyses géotechniques de maisons fissurées, explication des dommages ayant affectés certaines

constructions situées sur la commune au cours de l'été 1990. Rapport BRGM R 32862 HNO 4S 91, 63p., 9 ann.

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

Pasquet J-F. (2006) – Présence d'argile sur le territoire de six communes du département de l'Eure. Avis du BRGM. Rapport BRGM/RP-54645-FR, 30 p., 13 fig.

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

Prian J.-P., Donsimoni M., Vincent M. avec la collab. de Denis L., Gallas J.-C., Marty F., Motteau M. (2000) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. BRGM/RP-50376-FR, septembre 2000, 273 p., 32 fig., 11 tabl., 6 ann., 3 cartes h.-t.

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.

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*. Édité. 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.

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

Philiponnat 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 cristallographie 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

Amfreville-la-Campagne	2
Les Authieux	1
Bouquelon	1
Caugé	1
Chéronvilliers	1
Ecos	1
Evreux	3
Fauville	1
Faverolles-la-Campagne	1
Fontaine-sous-Jouy	2
Gouttières	1
Guichainville	1
Les Hogues	1
Houlbec-Cocherel	2
Incarville	1
Irreville	1
Montaure	1
Nonancourt	1
Plasnes	1
Roman	1
Saint-Aubin-sur-Gaillon	2
Saint-Marcel	2
Saint-Pierre-des-Fleurs	1
Saint-Pierre-la-Garenne	1
Saint-Vigor	1
Serquigny	1
Le Thuit-Signol	2
Tourny	1
Vernon	1
Le Vieil-Evreux	1

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

Communes	Début	Fin	Date arrêté	Date parution au JO
Evreux	01/05/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991
Fontaine-sous-jouy	01/05/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991
Serquigny	01/05/1989	31/12/1990	04/12/1991	27/12/1991
Saint-Vigor	01/05/1989	31/12/1990	25/01//1993	07/02/1993
Tourny	01/05/1989	31/12/1991	25/01//1993	07/02/1993
Bouquelon	19/02/1996	19/02/1996	09/12/1996	20/12/1996
Houlbec-Cocherel	01/01/1996	31/10/1996	11/02/1997	23/02/1997
Evreux	01/01/1991	30/09/1996	24/03/1997	12/04/1997
Gouttières	01/01/1996	30/09/1996	28/05/1997	01/06/1997
Incarville	01/01/1996	30/09/1996	28/05/1997	01/06/1997
Les Authieux	01/01/1996	30/09/1996	28/05/1997	01/06/1997
Vernon	01/01/1996	30/09/1996	28/05/1997	01/06/1997
Caugé	01/07/1996	30/09/1996	17/12/1997	30/12/1997
Saint-Aubin-sur-Gaillon	01/01/1996	31/12/1996	02/02/1998	18/02/1998
Saint-Pierre-la-Garenne	01/01/1996	31/12/1996	02/02/1998	18/02/1998
Guichainville	01/01/1994	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Irreville	01/01/1996	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Le Thuit-Signol	01/01/1990	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Les Hogues	01/01/1996	30/09/1996	12/03/1998	28/03/1998
Saint-Marcel	01/01/1996	30/09/1996	06/07/2001	18/07/2001
Le Thuit-Signol	01/01/1998	30/09/2000	15/11/2001	01/12/2001
Evreux	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
Houlbec-Cocherl	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
Saint-Marcel	01/07/2003	30/09/2003	11/01/2005	01/02/2005
Faverolles-la-Campagne	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
Plasnes	01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005
Chéronvilliers	01/07/2003	30/09/2003	06/02/2006	14/02/2006
Amfreville-la-Campagne	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
Ecos	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
Montaure	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
Roman	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
Le Vieil-Evreux	01/07/2003	30/09/2003	10/11/2006	23/11/2006
Fontaine-sous-Jouy	01/07/2003	30/09/2003	01/12/2006	07/12/2006
Nonancourt	01/07/2003	30/09/2003	22/02/2007	10/03/2007
Saint-Pierre-des-Fleurs	01/07/2003	30/09/2003	22/02/2007	10/03/2007
Saint-Aubin-sur-Gaillon	01/07/2003	30/09/2003	18/10/2007	25/10/2007
Fauville	01/07/2003	30/09/2003	11/06/2008	14/06/2008

Nombre de sinistres recensés par commune

Aigleville	2	La Croix-Saint-Leufroy	2
Ailly	9	Le Thuit-Signol	2
Amfreville-la-Campagne	1	Le Vieil-Evreux	3
Autheuil-Authouillet	2	Les Andelys	2
Bacquepuis	1	Les Authieux	3
Bosc-Roger-en-Roumois	1	Les Hogues	3
Bouquetot	1	Les Ventes	1
Bourg-Beaudouin	10	L'Habit	2
Bourgtheroulde-Infreville	5	Mézières-en-Vexin	3
Bueil	2	Montaure	1
Caugé	12	Muzy	1
Chaignes	4	Nonancourt	1
Champenard	2	Pinterville	1
Chéronvilliers	2	Plasnes	1
Corneville-sur-Risle	1	Puchay	5
Crasville	1	Roman	1
Douains	2	Rouvray	3
Ecardenville-sur-Eure	3	Saint-Aubin-sur-Gaillon	37
Ecos	6	Saint-Denis-le-Ferment	1
Evreux	113	Sainte-Colombe-près-Vernon	7
Fauville	3	Saint-Etienne-sous-Bailleul	2
Faverolles-la-Campagne	1	Saint-Julien-de-la-Liègue	1
Fontaine-Bellenger	1	Saint-Marcel	3
Fontaine-Heudebourg	1	Saint-Pierre-de-Bailleul	9
Fontaine-sous-Jouy	3	Saint-Pierre-des-Fleurs	1
Fourges	2	Saint-Pierre-des-Ifs	1
Garennes-sur-Eure	1	Saint-Pierre-du-Bosguerard	2
Gisors	9	Saint-Pierre-la-Garenne	9
Gouttières	1	Saint-Sébastien-de-Morsent	2
Guichainville	10	Saint-Vigor	1
Hécourt	1	Saint-Vincent-des-Bois	2
Heudebouville	3	Serquigny	1
Houlbec-Cocherel	19	Tourny	1
Heudreville-sur-Eure	1	Venables	4
Incarville	15	Vernon	8
Irreville	5	Vieux-Villez	2
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	6	Villez-sous-Bailleul	2
La Couture-Boussey	3	Villiers-en-Désoeuvre	5
La Heunière	2		

Liste des 387 sinistres localisés

Commune	coordonée X (lambert II étendu)	coordonée Y (lambert II étendu)	Date de 1ère apparition des désordres	Formation géologique
Aigleville	532 800,57	2 445 630,81		g1AR
Aigleville	532 863,13	2 445 964,43		g1AR
Ailly	520 741,66	2 460 548,86		g1AR
Ailly	520 569,70	2 462 682,11		e4-6
Ailly	520 604,52	2 462 732,18		e4-6
Ailly	520 531,77	2 463 132,70		g1AR
Ailly	520 628,81	2 463 213,13		g1AR
Ailly	520 695,61	2 463 181,28		g1AR
Ailly	518 253,71	2 463 404,34		e4A
Ailly	518 399,79	2 463 337,21		e4A
Ailly	518 681,51	2 463 376,05		e4A
Amfreville-la-Campagne	497 341,95	2 469 256,79	été 2003	LP
Autheuil - Anthouillet	524 794,94	2 457 799,02	été 1996	g1AR
Autheuil - Anthouillet	524 769,62	2 457 754,45		g1AR
Bacquepuis	505 225,45	2 455 341,89	2004	qCRS
Bosc-Roger-en-Roumois	495 390,98	2 477 960,71	été 2001	LP
Bourg-Beaudouin	525 080,79	2 487 325,11	été 1999	RS
Bourgtheroulde Infreville	494 066,00	2 478 948,40	été 2003	RS
Bourgtheroulde Infreville	493 135,03	2 479 435,65	1999	RS
Bourgtheroulde Infreville	493 544,04	2 478 857,32	1995 ?	RS
Bourgtheroulde Infreville	493 495,57	2 478 742,41	2001 ?	RS
Bourgtheroulde Infreville	493 133,08	2 478 944,39	2005	RS
Bueil	534 413,11	2 436 983,14	été 2003	Fy
Bueil	534 601,12	2 437 453,21	été 2003	C
Caugé	505 021,06	2 447 720,17	fin juillet 1996	RS
Caugé	505 386,07	2 446 960,93	1989	RS
Caugé	504 747,01	2 448 071,09	2003	RS
Caugé	504 879,11	2 448 063,88		RS
Caugé	504 922,42	2 448 260,93		RS
Caugé	504 720,55	2 448 311,34		RS
Caugé	504 965,61	2 447 830,73	1980	RS
Caugé	505 359,72	2 446 941,69	1997	RS
Caugé	504 891,14	2 447 950,91	2003	RS
Caugé	505 383,67	2 446 761,47	2003	qCRS
Caugé	504 843,14	2 447 794,76	1996	RS
Caugé	504 734,98	2 448 251,31		RS
Chaignes	534 333,94	2 446 944,67		g1AR
Chaignes	534 347,35	2 446 843,73		g1AR
Chaignes	534 366,60	2 446 805,24		g1AR
Chaignes	534 372,55	2 446 865,96		g1AR
Champenard	526 548,17	2 456 858,07		g1AR
Champenard	526 588,73	2 456 882,71		g1AR
Chéronvilliers	480 563,08	2 423 479,76	été 2003	qCRS

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

Chéronvilliers	484 134,61	2 423 069,38		qCRS
Corneville-sur-Risle	472 393,51	2 484 909,91	2004	C
Crasville	507 666,54	2 468 519,67	1976	LP
Douains	533 741,40	2 449 432,61		g1AR
Douains	533 772,68	2 449 641,01		g1AR
Ecardenville-sur-Eure	522 951,55	2 459 435,15		pSL
Ecardenville-sur-Eure	522 584,71	2 457 031,30		Ceg
Ecardenville-sur-Eure	522 090,24	2 457 275,56		Ceg
Evreux	511 598,26	2 448 922,90	1988 ou avant	RS
Evreux	511 623,01	2 448 977,67	1996	RS
Evreux	511 651,19	2 448 967,01	hiver 1996-1997	RS
Evreux	511 594,71	2 448 960,02	1995	RS
Evreux	511 598,26	2 448 935,28	1996	RS
Evreux	511 595,63	2 448 949,37		RS
Evreux	511 654,74	2 448 552,62		RS
Evreux	513 174,02	2 446 364,50	été 1996	RS
Evreux	513 687,17	2 446 844,19	début années 1990	RS
Evreux	513 593,80	2 448 734,67	été 1996	Fz
Evreux	511 694,38	2 448 825,98	1996	RS
Evreux	511 659,10	2 448 516,07	1996	RS
Evreux	511 725,32	2 448 835,72	1996	RS
Evreux	511 739,41	2 448 952,92	1996	RS
Evreux	511 694,38	2 448 725,39	1996	RS
Evreux	511 737,58	2 448 920,27	1996	RS
Evreux	511 803,80	2 448 639,92	1989	RS
Evreux	511 702,29	2 448 637,29	1996	RS
Evreux	511 659,10	2 448 500,15	1996	RS
Evreux	511 739,41	2 448 530,62	1996	RS
Evreux	511 702,29	2 448 650,46	1996	RS
Evreux	511 659,10	2 449 020,86	1996	RS
Evreux	511 333,73	2 448 365,30	1996	C
Evreux	511 649,47	2 448 906,18	1996	RS
Evreux	511 693,47	2 448 842,71	1996	RS
Evreux	511 623,01	2 448 586,07	1996	RS
Evreux	511 570,08	2 448 704,31	1996	RS
Evreux	511 684,65	2 448 607,27	1996	RS
Evreux	511 817,89	2 448 615,17	1996	RS
Evreux	511 729,67	2 448 507,25	1996	RS
Evreux	511 495,15	2 448 899,19	1996	RS
Evreux	511 660,93	2 448 825,06	1996	RS
Evreux	511 509,24	2 448 925,65	1996	RS
Evreux	511 513,60	2 449 019,94	1996	RS
Evreux	512 970,32	2 448 965,29	1996	RS
Evreux	513 189,95	2 446 341,58	1996	RS
Evreux	511 603,53	2 449 094,87	1996	RS
Evreux	514 315,00	2 447 242,77	1996	RS
Evreux	511 499,51	2 448 957,39	1996	RS
Evreux	513 609,61	2 446 815,89	1996	RS

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

Evreux	511 491,60	2 447 643,07	1996	Fz
Evreux	514 323,82	2 447 144,01	1996	RS
Evreux	515 228,56	2 449 011,58	1996	RS
Evreux	515 209,20	2 448 341,47	1996	RS
Evreux	511 371,65	2 447 979,90	1996	Fz
Evreux	512 366,32	2 446 718,97	1996	RS
Evreux	511 882,27	2 448 642,56	1996	RS
Evreux	514 202,15	2 447 237,39	1996	RS
Evreux	515 214,47	2 449 036,32	1996	RS
Evreux	513 084,09	2 447 505,47	1996	C
Evreux	512 271,12	2 445 786,05	1996	RS
Evreux	511 835,53	2 448 983,85	1996	RS
Evreux	511 816,05	2 448 698,81	1996	RS
Evreux	513 001,26	2 446 438,51	1996	RS
Evreux	511 809,07	2 448 947,65	1996	RS
Evreux	513 738,38	2 446 831,82	été 1990	RS
Evreux	512 729,62	2 445 731,40	été 1989	RS
Evreux	514 320,38	2 447 597,24	été 1990	RS
Evreux	512 408,60	2 448 914,20	été 1989	RS
Evreux	514 322,10	2 447 128,09	automne 1990	RS
Evreux	513 286,87	2 446 912,93	été 1990	RS
Evreux	513 246,32	2 446 911,21	été 1990	RS
Evreux	512 122,98	2 448 135,14	été 1990	Fz
Evreux	513 958,81	2 447 114,00	été 1990	RS
Evreux	511 599,18	2 448 558,81	été 1990	RS
Evreux	514 219,79	2 446 893,57	été 1989	RS
Evreux	513 278,05	2 447 061,07	été 1990	RS
Evreux	513 380,36	2 446 918,20	été 1990	RS
Evreux	511 868,99	2 448 761,59	été 1989	RS
Evreux	513 609,61	2 446 858,28	été 1990	RS
Evreux	515 068,05	2 448 374,93	été 1990	qCRS
Evreux	513 118,80	2 448 965,98	anté-1990	RS
Evreux	513 111,81	2 448 943,07	2003	RS
Evreux	513 089,36	2 448 951,66	2003	RS
Evreux	512 397,60	2 448 294,84	1990	Fz
Evreux	512 597,29	2 445 830,15	1990	RS
Evreux	513 322,16	2 446 912,93	1990	RS
Evreux	512 493,26	2 446 865,27	1996	g1SF
Evreux	513 613,16	2 448 292,09	1996	Fz
Evreux	512 338,94	2 448 826,89	1996	RS
Evreux	511 537,43	2 449 071,15	1996	RS
Evreux	511 731,39	2 448 761,59	1996	RS
Evreux	512 340,77	2 448 770,41	1996	RS
Evreux	513 080,54	2 445 918,26	1996	RS
Evreux	511 478,31	2 448 948,57	1996	RS
Evreux	511 188,23	2 447 787,65	1996	Fz
Evreux	515 066,33	2 447 886,41	1996	RS
Evreux	511 973,01	2 449 492,99	1996	RS

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

Evreux	513 516,12	2 446 435,07	1996	RS
Evreux	514 295,64	2 447 364,44	1996	RS
Evreux	511 576,27	2 448 605,55	2003	RS
Evreux	511 732,31	2 448 724,59	2003	RS
Evreux	511 697,94	2 448 762,51	2003	RS
Evreux	511 729,67	2 448 804,78	2003	RS
Evreux	514 149,34	2 447 267,40	2003	RS
Evreux	512 184,62	2 448 567,63	2003	RS
Evreux	512 092,96	2 445 741,94	2003	RS
Evreux	511 655,55	2 448 864,82	2003	RS
Evreux	511 460,78	2 448 999,66	2003	RS
Evreux	511 742,85	2 448 641,64	2003	RS
Evreux	512 324,05	2 448 903,54	2003	RS
Evreux	513 188,11	2 446 713,70	2003	RS
Evreux	511 655,55	2 448 877,08	2003	RS
Evreux	513 937,62	2 448 237,33	2003	C
Evreux	512 101,79	2 445 759,58	2003	RS
Evreux	511 944,83	2 448 436,22	2003	RS
Evreux	512 371,59	2 450 103,18	2003	LP
Evreux	515 186,29	2 448 627,09	2003	qCRS
Evreux	511 682,93	2 448 725,39	2003	RS
Evreux	512 352,23	2 446 831,82		RS
Evreux	511 609,49	2 448 785,19		RS
Evreux	512 121,95	2 445 738,39	été 2003	RS
Evreux	512 823,10	2 448 887,84		RS
Fauville	516 556,63	2 448 845,57	été 2003	RS
Fauville	516 483,99	2 448 837,44	été 2003	RS
Fauville	516 543,80	2 448 899,53	été 2003	RS
Faverolles-la-Campagne	497 151,99	2 448 022,40		qCRS
Fontaine-Bellenger	521 660,15	2 466 127,61		pSL
Fontaine-Heudebourg	517 802,32	2 459 753,08		Fz
Fontaine-sous-Jouy	522 080,15	2 452 302,07		LP
Fontaine-sous-Jouy	521 723,62	2 451 785,14		LP
Fontaine-sous-Jouy	521 466,19	2 451 927,78		LP
Fourges	547 481,02	2 459 456,35		RS
Fourges	547 459,25	2 459 458,41		RS
Garenes-sur-Eure	534 685,90	2 435 533,52	été 2003	Fy
Gisors	558 800,63	2 476 656,70	2003	C
Gisors	558 872,92	2 476 453,69	2003	C
Gisors	558 851,15	2 476 521,97	2003	C
Gisors	558 806,58	2 476 724,07	2003	C
Gisors	558 888,73	2 476 793,38	2003	C
Gisors	558 785,73	2 476 737,93	2003	C
Gisors	558 773,82	2 476 701,27	2003	C
Gisors	559 294,76	2 475 954,52	2003	C
Gisors	558 847,37	2 476 540,19	2003	C
Gouttières	483 051,49	2 449 084,90	printemps 1996	qCRS
Guichainville	514 959,21	2 445 366,96	fin 1994	RS

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

Guichainville	514 967,58	2 445 341,07	été 1996	RS
Guichainville	514 496,02	2 445 861,66		RS
Guichainville	514 976,28	2 445 307,73		RS
Guichainville	514 770,29	2 445 599,87		RS
Guichainville	514 937,33	2 445 476,03		RS
Guichainville	514 342,04	2 446 089,65		RS
Guichainville	514 959,10	2 445 494,70		RS
Guichainville	515 714,10	2 443 315,63		qCRS
Guichainville	514 791,94	2 445 748,93		RS
Hécourt	533 021,23	2 442 572,54		Fy
Heudebouville	519 694,40	2 467 432,88		e4-6
Heudebouville	519 719,38	2 467 362,65		e4-6
Heudebouville	520 042,91	2 466 529,86		g1AR
Heudreville-sur-Eure	518 340,33	2 461 337,43		RS
Houlbec-Cocherel	528 323,51	2 453 611,23	août 1995	g1AR
Houlbec-Cocherel	528 236,32	2 451 128,44	été 2003	pSLo
Houlbec-Cocherel	528 817,87	2 453 477,07	été 2003	g1AR
Houlbec-Cocherel	528 388,70	2 450 558,70	été 2003	Ce6
Houlbec-Cocherel	528 815,92	2 453 357,12	été 2003	g1AR
Houlbec-Cocherel	527 980,95	2 451 454,61	été 2003	Ce6
Houlbec-Cocherel	529 206,94	2 453 156,28	été 2003	g1AR
Houlbec-Cocherel	528 456,06	2 450 513,79	été 2003	Ce6
Houlbec-Cocherel	528 265,99	2 454 134,58	été 2003	pSLo
Houlbec-Cocherel	528 222,34	2 454 300,24	été 2003	pSLo
Houlbec-Cocherel	528 248,92	2 450 429,24	été 2003	Ce6
Houlbec-Cocherel	528 059,09	2 450 427,52	été 2003	Ceg
Houlbec-Cocherel	528 357,65	2 453 766,24	été 2003	pSLo
Houlbec-Cocherel	528 861,86	2 453 299,49	été 2003	g1AR
Houlbec-Cocherel	528 923,84	2 453 224,80	été 2003	g1AR
Houlbec-Cocherel	528 209,17	2 451 096,02	été 2003	pSLo
Houlbec-Cocherel	528 393,85	2 453 523,47	été 2003	g1AR
Houlbec-Cocherel	528 625,62	2 452 887,17		Ceg
Houlbec-Cocherel	528 958,44	2 453 188,25		g1AR
Incarville	515 923,07	2 472 277,02		Fz
Incarville	515 911,92	2 472 181,47		Fz
Incarville	515 911,15	2 472 330,75		Fz
Incarville	515 875,41	2 472 431,80		Fz
Incarville	515 788,91	2 472 500,54		Fz
Incarville	515 720,97	2 472 541,10		Fz
Incarville	515 671,02	2 472 562,18		Fz
Incarville	515 812,86	2 472 491,83		Fz
Incarville	515 878,85	2 471 947,41		Fz
Incarville	515 834,74	2 471 824,82		Fz
Incarville	515 862,69	2 472 508,45		Fz
Incarville	515 666,32	2 472 590,02		Fz
Incarville	515 677,67	2 472 584,29		Fz
Incarville	515 826,72	2 472 536,29		Fz
Incarville	515 690,27	2 472 578,68		Fz

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

Irreville	517 251,36	2 456 102,27	début été 1996	qCRS
Irreville	517 195,34	2 456 039,60	début été 1996	qCRS
Irreville	517 184,23	2 456 132,40	début été 1996	qCRS
Irreville	517 183,08	2 456 020,36	début été 1996	qCRS
Irreville	517 266,14	2 455 833,15	début été 1996	qCRS
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	515 253,54	2 456 768,83	1996	RS
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	515 221,23	2 456 691,26	1996	RS
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	515 339,58	2 456 936,32	1996	RS
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	515 306,93	2 456 896,11	1996	RS
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	515 248,15	2 456 717,16	1996	RS
La Chapelle-du-Bois-des-Faulx	515 250,33	2 456 689,06		RS
La Couture-Boussey	531 910,84	2 433 642,93	1995	RS
La Couture-Boussey	531 730,63	2 433 629,06	1990	RS
La Couture-Boussey	531 542,51	2 433 666,76	2002	RS
La Heunière	532 777,77	2 451 631,62		g1AR
La Heunière	532 793,59	2 451 661,52		g1AR
La-Croix-Saint-Leufroy	521 235,79	2 459 478,46		pSL
La-Croix-Saint-Leufroy	520 558,47	2 460 586,10		g1AR
Le Thuit-Signol	497 604,53	2 474 732,77	1976	RS
Le Thuit-Signol	498 025,91	2 474 967,64	1995	RS
le Vieil-Evreux	519 492,99	2 445 833,93	2003	qCRS
le Vieil-Evreux	519 463,20	2 445 829,92	2003	qCRS
le Vieil-Evreux	518 096,87	2 444 301,14	2003	qCRS
Les Andelys	534 934,62	2 473 308,70	38961	RS
Les Andelys	535 043,46	2 473 327,72	37987	RS
Les Authieux	519 117,90	2 434 048,84	été 1996	RS
Les Authieux	519 279,55	2 434 140,26	35339	qCRS
Les Authieux	519 612,26	2 433 980,90	été 1996	qCRS
Les Hogues	531 634,62	2 492 728,34	1992	e4A
Les Hogues	531 640,46	2 492 671,97	1992	e4A
Les Hogues	531 628,78	2 492 860,67	2005	e4A
Les Ventes	508 712,54	2 439 399,48	2003	qCRS
L'Habit	527 958,72	2 430 629,23	2004	RS
L'Habit	528 095,29	2 430 810,82	2006	RS
Mézières-en-Vexin	538 692,55	2 464 563,88	août 2003	RS
Mézières-en-Vexin	538 513,59	2 464 824,52	37907	RS
Mézières-en-Vexin	538 285,95	2 464 678,68	37917	RS
Montaure	509 097,71	2 471 481,69	été 2003	LP
Muzy	524 947,89	2 421 350,53	été 2003	RS
Nonancourt	516 769,38	2 419 504,84	été 2005	RS
Pinterville	515 819,16	2 466 381,15		NA
Plasnes	475 563,70	2 461 654,67	37803	qCRS
Puchay	541 430,94	2 483 292,68	été 2003	qCRS
Puchay	541 711,40	2 483 290,96	été 2003	qCRS
Puchay	541 333,90	2 483 073,97	été 2003	qCRS
Puchay	541 370,91	2 484 497,47	été 2003	RS
Puchay	541 453,85	2 482 958,37	été 2003	qCRS
Roman	502 413,85	2 425 948,81	été 2003	C

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

Rouvray	526 903,44	2 452 387,08		g1AR
Rouvray	526 832,98	2 452 453,99		g1AR
Rouvray	526 880,53	2 452 332,43		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 409,54	2 460 772,84	1976 ?	LP
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 085,44	2 460 048,09		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	525 763,73	2 457 916,79		LP
Saint-Aubin-sur-Gaillon	525 651,11	2 457 920,34		LP
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 715,09	2 461 701,53		e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 500,85	2 460 983,19	été 2003	LP
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 084,40	2 459 831,00		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 203,33	2 459 782,98		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 096,43	2 459 887,58		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 170,44	2 459 802,92		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 045,34	2 459 972,25	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	527 128,57	2 460 165,87	été 2003	Ceg
Saint-Aubin-sur-Gaillon	527 463,33	2 460 277,45	été 2003	Ceg
Saint-Aubin-sur-Gaillon	527 543,99	2 460 319,04	été 2003	Ceg
Saint-Aubin-sur-Gaillon	524 425,12	2 460 970,70	été 2003	pSL
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 386,63	2 460 949,51	été 2003	LP
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 439,56	2 460 868,05	été 2003	LP
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 676,83	2 461 609,53	été 2003	e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 295,20	2 461 360,92	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	524 515,63	2 459 515,47	été 2003	Ceg
Saint-Aubin-sur-Gaillon	524 614,50	2 459 946,35	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	524 488,93	2 460 416,31	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	529 102,68	2 461 490,95	été 2003	Fy
Saint-Aubin-sur-Gaillon	529 218,39	2 461 317,27	été 2003	e4A
Saint-Aubin-sur-Gaillon	524 940,67	2 459 223,20	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	525 045,62	2 459 186,77	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	527 802,45	2 461 577,79	été 2003	Ceg
Saint-Aubin-sur-Gaillon	527 852,52	2 461 472,51	été 2003	Ceg
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 540,72	2 461 288,05	été 2003	g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	528 173,42	2 459 805,89		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 914,44	2 460 818,44		e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 456,63	2 461 357,25		g1AR
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 722,43	2 461 702,33		e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 505,89	2 461 589,71		e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 493,52	2 461 561,53		e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 468,89	2 461 538,61		e4-6
Saint-Aubin-sur-Gaillon	526 331,52	2 461 410,07		g1AR
Saint-Denis-le-Ferment	554 615,36	2 480 700,82		C
Sainte-Colombe-près-Vernon	526 949,04	2 455 646,98	1976	g1AR
Sainte-Colombe-près-Vernon	526 980,66	2 455 662,79	1976	g1AR
Sainte-Colombe-près-Vernon	526 997,16	2 455 743,45		g1AR
Sainte-Colombe-près-Vernon	526 870,45	2 455 525,08		g1AR
Sainte-Colombe-près-Vernon	527 245,54	2 455 861,45		g1AR
Sainte-Colombe-près-Vernon	527 268,46	2 455 949,55		g1AR
Sainte-Colombe-près-Vernon	527 183,90	2 455 975,90		g1AR

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

Saint-Etienne-sous-Bailleul	531 434,59	2 458 275,16	37622	e4A
Saint-Etienne-sous-Bailleul	531 429,66	2 458 235,86	37622	e4A
Saint-Julien-de-la-Lieue	523 814,48	2 460 333,02	2003	g1AR
Saint-Marcel	534 641,21	2 456 036,40	été 1997	e4A
Saint-Marcel	534 163,47	2 455 425,87	été 2001	Ceg
Saint-Marcel	534 600,66	2 455 992,29	été 2003	e4A
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 851,32	2 458 357,88	2001	e4A
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 902,99	2 458 646,24		e4A
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 821,99	2 458 709,71		e4-6
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 818,44	2 458 755,43		e4-6
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 825,43	2 459 021,45		g1AR
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 879,96	2 458 950,99		g1AR
Saint-Pierre-de-Bailleul	530 672,25	2 458 949,27		g1AR
Saint-Pierre-de-Bailleul	531 439,97	2 460 222,35		e4-6
Saint-Pierre-de-Bailleul	531 723,53	2 460 162,54		e4-6
Saint-Pierre-des-fleurs	499 995,21	2 473 821,39	été 2003	RS
Saint-Pierre-des-lfs	473 148,97	2 475 491,21	2003	LP
Saint-Pierre-du-Bosguerard	494 380,26	2 474 335,45	1996	RS
Saint-Pierre-du-Bosguerard	495 568,79	2 474 685,57	2002	RS
Saint-Pierre-la-Garenne	530 606,72	2 461 069,57		e4A
Saint-Pierre-la-Garenne	531 533,11	2 460 617,95		e4-6
Saint-Pierre-la-Garenne	531 350,38	2 461 644,01		NA
Saint-Pierre-la-Garenne	532 488,26	2 461 016,41		e4A
Saint-Pierre-la-Garenne	530 528,24	2 461 038,18		e4A
Saint-Pierre-la-Garenne	531 181,16	2 460 894,97		e4A
Saint-Pierre-la-Garenne	530 085,78	2 461 449,71		e4A
Saint-Pierre-la-Garenne	530 084,06	2 461 405,71		e4A
Saint-Pierre-la-Garenne	530 048,89	2 461 370,54		e4A
Saint-Sébastien-de-Morsent	509 117,19	2 446 197,69	38504	RS
Saint-Sébastien-de-Morsent	509 146,29	2 446 213,27	2005	RS
Saint-Vigor	521 214,94	2 453 439,95	été 1990	LP
Saint-Vincent-des-Bois	531 524,06	2 452 957,51		g1AR
Saint-Vincent-des-Bois	531 413,05	2 453 038,51		g1AR
Serquigny	482 186,05	2 459 686,97	été 1990	C
Tourmy	542 174,94	2 465 895,04	1990	e4A
Venables	523 859,27	2 465 766,38	été 2003	Ce6
Venables	524 059,76	2 467 012,30		Ce6
Venables	524 180,86	2 467 034,18		e4A
Venables	524 124,15	2 467 054,81		e4-6
Vernon	537 130,00	2 451 324,00		e4A
Vernon	537 111,52	2 451 369,83		e4A
Vernon	537 152,53	2 451 275,66		e4A
Vernon	537 130,00	2 451 324,00		e4A
Vernon	537 130,00	2 451 324,00	35156	e4A
Vernon	537 130,00	2 451 324,00		e4A
Vernon	537 130,00	2 451 324,00		e4A
Vernon	537 130,00	2 451 324,00		e4A
Vieux-Villez	523 388,06	2 464 327,07		g1AR

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

Vieux-Villez	523 527,94	2 464 156,94		g1AR
Villez-sous-Bailleul	529 863,98	2 457 915,53		g1AR
Villez-sous-Bailleul	529 830,53	2 457 852,06		g1AR
Villiers-en-désœuvre	535 784,83	2 439 492,63		e4A
Villiers-en-désœuvre	535 851,16	2 439 562,74		e4A
Villiers-en-désœuvre	537 673,13	2 439 151,33		LP
Villiers-en-désœuvre	537 377,31	2 439 225,34		LP
Villiers-en-désœuvre	537 623,75	2 439 179,86		LP

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

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

Communauté d'Agglomération d'Evreux :

9, rue Voltaire
27000 EVREUX

Tél : 02 32 31 92 92
Fax : 02 32 31 92 50

Communauté d'Agglomération des Portes de l'Eure

rue Mare à Jouy
27120 DOUAINS

Tél : 02 32 53 50 03
Fax : 02 32 51 31 04

Annexe 4

—

Résultats d'analyses spécifiques des 12 échantillons prélevés dans le département de l'Eure

- Localisation

- Analyses minéralogiques par diffraction des Rayons X
Service Métrologie, Monitoring, Analyses (BRGM Orléans)

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

Nom de l'échantillon	Commune	Formation	Coordonnées Lambert II Etendu
27-1	Les Hogues	e4-6 – Sables du Cuisien et du Bartonien	X : 531643.56 Y : 2492684.92
27-2	Les Hogues	e4A – Argiles du Sparnacien	X : 532644.19 Y : 2491845.6
27-3	Cahaignes	e4a – Argiles du Sparnacien	X : 546504.56 Y : 2468353.54
27-4	Cahaignes	e4-6 – Sables du Cuisien et du Bartonien	X : 546442.81 Y : 2468208.5
27-5	Cahaignes	Ce6 – Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	X : 546244.26 Y : 2467763.86
27-6	Saint-Aubin-sur-Gaillon	e4A – Argiles du Sparnacien	X : 526374.03 Y : 2461645.05
27-8	Saint-Pierre-la-Garenne	e4-6 – Sables du Cuisien et du Bartonien	X : 529870.17 Y : 2460862.09
27-9	Saint-Aubin-sur-Gaillon	e4A – Argiles du Sparnacien	X : 529645.5 Y : 2461147.48
27-10	Saint-Pierre-la-Garenne	Ce6 – Lutétien et Bartonien surmontés de colluvions	X : 529800.85 Y : 2460665.61
27-11	Sainte-Colombe-près-Vernon	pSL – Sables de Lozère	X : 527308.55 Y : 2455943.83
27-12	Houlbec-Cocherel	g1AR – Argiles de Romainville et marnes supragypseuses indifférenciées	X : 528576.82 Y : 2454359.13

Intitulés et localisation des échantillons

Nom	Minéraux gonflants (Sm/C) en %	Illite en %	Kaolinite en %
27-1	39	23	38
27-2	23	18	59
27-3	93	5	2
27-4		100	
27-5		100	
27-6	67	8	25
27-8		2	98
27-9	79	8	13
27-10	72	6	22
27-11	12	2	86
27-12	77	3	20

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

Nom	VBS (g/100g de sol sec)
27-1	1,88
27-2	6,37
27-3	5,14
27-4	0,36
27-5	1,18
27-6	2,89
27-8	0,45
27-9	3,04
27-10	2,24
27-11	4,10
27-12	6,49

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 Haute-Normandie
Parc de la Vatine
10, rue A, Sakharov
76130 – Mont-Saint-Aignan - France
Tél, : 02 35 60 12 00