

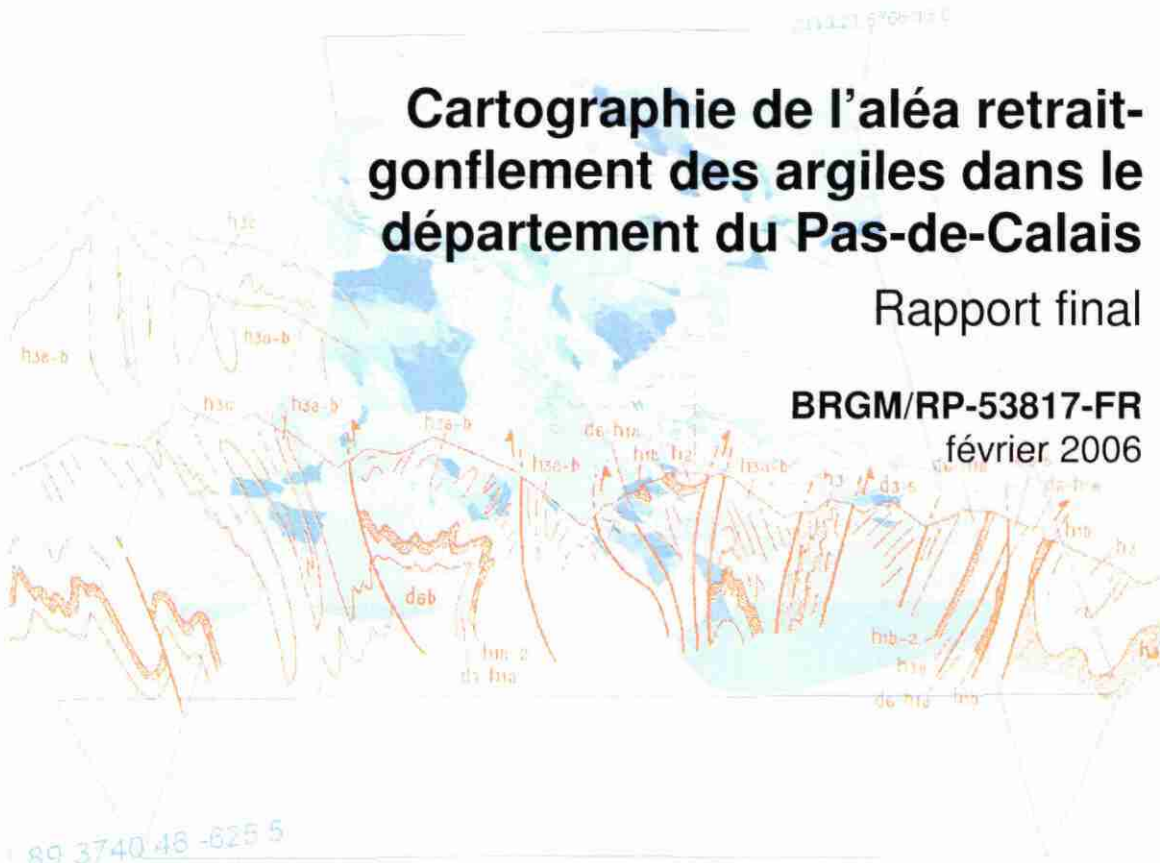
Document public



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais

Rapport final

BRGM/RP-53817-FR
février 2006



Document public

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais

Rapport final

BRGM/RP-53817-FR
février 2006

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 03RISD22 du BRGM

P. Barchi, avec la collaboration de Badinier G., Capron A. et Patin M.



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

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

Barchi P., avec la collaboration de Badinier G., Capron A. et Patin M. (2006) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais. Rapport BRGM/RP-53817-FR, 129 p., 23 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t..

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Document public

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais

Rapport final

BRGM/RP-53817-FR
février 2006

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 03RISD22 du BRGM

P. Barchi, avec la collaboration de Badinier G., Capron A. et Patin M.



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

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

Barchi P., avec la collaboration de Badinier G., Capron A. et Patin M. (2006) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais. Rapport BRGM/RP-53817-FR, 129 p., 23 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t..

© BRGM, 2006, 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.

Le Pas-de-Calais fait partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 982 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés et localisés dans le cadre de la présente étude. 106 communes sur les 894 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 juin 1998, soit un taux de sinistralité de 12 %. Par ailleurs, d'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance actualisées à fin 2004, le Pas-de-Calais est situé en 26^{ème} position des départements français en terme de coût d'indemnisation pour ce phénomène, et en 20^{ème} position en terme d'occurrences de reconnaissance de catastrophe naturelle (en distinguant par commune et par période).

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département du Pas-de-Calais, 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 devrait concerner au moins quarante-quatre départements parmi les plus touchés, et couvrir notamment les deux de la région Nord – Pas-de-Calais.

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

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations à dominante argileuse, marneuse, ou tourbeuse, affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000. Les formations ainsi identifiées sont au nombre de vingt-deux. Bien que non sujette au « phénomène de retrait-gonflement » *sensu stricto*, la tourbe constitue néanmoins un matériau extrêmement sensible aux variations de teneur en eau environnante et a donc été retenue parmi ces 22 formations potentiellement dangereuses vis-à-vis du risque de tassement différentiel, même si les mécanismes en

jeu sont légèrement différents. Les 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, marneuse ou tourbeuse sont caractérisées par trois niveaux d'aléa (fort, moyen, faible).

Sur l'ensemble du département,

- seulement 2,03 % de la superficie départementale est classée en aléa fort ;
- 13,10 % en aléa moyen ;
- 65,64 % en aléa faible ;
- 19,23 % de la surface correspond à des zones a priori ni argileuses ni tourbeuses.

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

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département du Pas-de-Calais, 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 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 sinistre.

Sommaire

1. Introduction.....	11
2. Méthodologie	13
2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES ..	13
2.1.1. Facteurs de prédisposition	14
2.1.2. Facteurs de déclenchement.....	17
2.2. MÉTHODOLOGIE	18
2.2.1. Cartographie des formations argileuses, marneuses ou tourbeuses	19
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations	19
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement ...	20
2.2.4. Carte de susceptibilité.....	20
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres	20
2.2.6. Détermination des densités de sinistres.....	21
2.2.7. Carte d'aléa	21
3. Présentation du département du Pas-de-Calais	22
3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE.....	22
3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE	24
4. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses, marneuses et tourbeuses	27
4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS	27
4.1.1. Méthode utilisée.....	27
4.1.2. Établissement de la carte des formations argileuses, marneuses et tourbeuses	29
4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL	30
4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES, MARNEUSES ET TOURBEUSES	33

4.3.1. Formations superficielles du Quaternaire	34
4.3.2. Formations sablo-argileuses du Tertiaire.....	36
4.3.3. Formations marneuses et argileuses du Crétacé	37
4.3.4. Formations marneuses et argileuses du Jurassique.....	38
4.3.5. Formation schisteuse et calcaro-gréso-argileuse du Paléozoïque.....	39
4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFERENTS AQUIFÈRES DU PAS- DE-CALAIS	41
4.4.1. Principaux aquifères du département.....	41
4.4.2. Caractéristiques des principaux aquifères exploités	42
5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues.....	44
5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION.....	44
5.1.1. Critères retenus.....	44
5.1.2. Méthode de classification	44
5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE.....	45
5.2.1. Définition du critère lithologique et barème.....	45
5.2.2. Caractérisation lithologique	46
5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE	47
5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	47
5.3.2. Caractérisation minéralogique.....	48
5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE	53
5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème	53
5.4.2. Teneur en eau (Wn)	55
5.4.3. Indice de plasticité (Ip)	55
5.4.4. Essais au bleu de méthylène (Vb).....	55
5.4.5. Retrait linéaire (RI)	56
5.4.6. Caractérisation géotechnique.....	57
6. Élaboration de la carte de susceptibilité.....	59
6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ	59
6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ.....	59
6.3. SYNTHÈSE	60

7. Analyse de sinistralité.....	63
7.1. PROCÉDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ÉTAT DE CATASTROPHE NATURELLE.....	63
7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES.....	64
7.2.1. Localisation des communes sinistrées	64
7.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.....	69
7.3. COLLECTE DES DONNÉES DE SINISTRES	70
7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE	75
7.4.1. Détermination de la densité de sinistres par formation.....	75
7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres.....	77
8. Carte d'aléa	79
8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA.....	79
8.2. CARTE D'ALÉA.....	81
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 Pas-de-Calais.....	22
Illustration 3 – Moyennes mensuelles pluviométriques 1965-2002 (source Météo France)	25
Illustration 4 – Station de Fiefs : cumuls annuels de précipitation 1965-2001 (source Météo France).....	26
Illustration 5 – Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du Pas-de-Calais	28
Illustration 6 – Extrait de la carte géologique de la France à 1/1 000 000.....	31
Illustration 7 – Carte synthétique des formations argileuses, marneuses et tourbeuses	40
Illustration 8 – Note lithologique des formations argileuses retenues	47
Illustration 9 – Note minéralogique des formations argileuses retenues.....	53
Illustration 10 - Données géotechniques (Indice de plasticité, retrait linéaire, Valeurs au bleu)	57
Illustration 11 – Note géotechnique des formations argileuses retenues	58
Illustration 12 - Susceptibilité des formations argileuses retenues.....	60
Illustration 13 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement. Département du Pas-de-Calais.....	62
Illustration 14 - Arrêtés interministériels et occurrences	65
Illustration 15 - Localisation des communes concernées par des arrêtés ou des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés	67
Illustration 16 - Durée totale (mois) de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.....	68
Illustration 17 - Nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse pour la période 1989-2004.....	70
Illustration 18 - Périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.....	73
Illustration 19 – Répartition géologique des sinistres recensés et localisés.....	74
Illustration 20 – Taux d'urbanisation et nombre de sinistres par formation	76
Illustration 21 – Sinistralité (densité de sinistres).....	78
Illustration 22 – Niveau d'aléa des formations.....	80
Illustration 23 – Carte de l'aléa retrait-gonflement – département du Pas-de-Calais ..	82

Liste des annexes

Annexe 1 – Rappel sur le Mécanisme de retrait-gonflement des argiles	
Annexe 2 – Sinistres	
Annexe 3 – Liste et coordonnées des organismes	
Annexe 4 – Résultats d'analyses des échantillons jurassiques du Boulonnais	

Liste des cartes hors-textes (1/135 000)

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

1. Introduction

Les phénomènes de retrait-gonflement de certains sols argileux provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel. En France métropolitaine, ces phénomènes ont été mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976. Ils ont pris depuis une ampleur importante lors des périodes sèches des années 1989-91 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 5 600 communes françaises, réparties dans 77 départements, ont été reconnues en état de catastrophe naturelle à ce titre. A fin 2002, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France en application de la loi de 1982, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 3,3 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation de catastrophes naturelles derrière les inondations.

La région Nord – Pas-de-Calais a été particulièrement affectée par ce phénomène puisque les deux départements se placent parmi les 26 départements qui présentent les coûts cumulés d'indemnisation les plus élevés (données CCR, février 2005), le Pas-de-Calais étant classé en 26^{ème} position (le Nord étant 10^{ème}). Ce département, d'une superficie de 6 671 km² compte 1,4 millions d'habitants. Au total, à la date du 31 octobre 2005, 106 des 894 communes y ont été reconnues au moins une fois en état

de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de mai 1989 à juin 1998, soit un taux de sinistralité de 12 %.

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

- compréhension de la corrélation entre la nature géologique des terrains et la répartition statistique des sinistres, à l'échelle départementale, puis régionale quand tous les départements limitrophes seront étudiés ;
- élaboration d'un document de prévention, en matière d'aménagement du territoire, destiné à la fois à l'État (pour l'établissement ultérieur 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 Nord – Pas-de-Calais en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 50 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Direction Départementale de l'Équipement (DDE) du Pas-de-Calais.

Cette étude s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui doit concerner au moins quarante-quatre départements français parmi les plus touchés par le phénomène.

2. Méthodologie

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

Les phénomènes de retrait-gonflement sont dus pour l'essentiel à des variations de volume de formations argileuses sous l'effet de l'évolution de leur teneur en eau, comme rappelé en annexe 1 et schématisé sur l'illustration 1. Ces variations de volume se traduisent par des mouvements différentiels de terrain, susceptibles de provoquer des désordres au niveau du bâti.



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

Par définition, l'aléa retrait-gonflement est la probabilité d'occurrence spatiale et temporelle des conditions nécessaires à la réalisation d'un tel phénomène. Parmi les facteurs de causalité, on distingue classiquement des facteurs de prédisposition et des facteurs de déclenchement.

Les facteurs de prédisposition sont ceux dont la présence induit le phénomène de retrait-gonflement, mais ne suffit pas à elle seule à le déclencher. Ces facteurs sont fixes ou évoluent très lentement avec le temps. On distingue les facteurs internes, qui

sont liés à la nature du sol, et des facteurs d'environnement qui caractérisent plutôt le site. Les facteurs de prédisposition permanents conditionnent en fait la répartition spatiale du phénomène. Ils permettent de caractériser la susceptibilité du milieu vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Les facteurs de déclenchement sont ceux dont la présence provoque le phénomène de retrait-gonflement, mais qui n'ont d'effet significatif que s'il existe des facteurs de prédisposition préalables. La connaissance des facteurs 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 argileuse ou marneuse (ainsi que tourbeuse), puis leur cartographie.

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

En particulier, dans le département du Pas-de-Calais, certaines formations principalement calcaires sont susceptibles de s'altérer localement sous l'effet de phénomènes de karstification qui peuvent se traduire par la présence en surface de poches argileuses qui, généralement, ne sont pas identifiées sur les cartes géologiques, mais dont la seule présence suffit à expliquer certains sinistres ponctuels. De même, des formations essentiellement sableuses peuvent contenir des lentilles argileuses non cartographiées.

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

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

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

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

2.1.1.2. Contexte hydrogéologique

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

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur permet généralement d'éviter la dessiccation de la tranche superficielle de sol. Inversement, un rabattement de cette nappe (sous l'effet de pompages ou d'un abaissement généralisé du niveau), ou le tarissement naturel des circulations d'eau superficielles en période de sécheresse, aggrave la dessiccation de la tranche de sol soumise à l'évaporation.

Ainsi, dans le cas d'une formation argileuse surmontant une couche sablo-graveleuse, un éventuel dénoyage de cette dernière provoque l'arrêt des remontées capillaires dans le terrain argileux et contribue à sa dessiccation.

2.1.1.3. Géomorphologie

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

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

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

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

2.1.1.4. Végétation

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

Il est à noter que les racines seront naturellement incitées à se développer en direction de la maison, puisque celle-ci s'oppose à l'évaporation et qu'elle maintient donc une zone de sol plus humide sous sa surface. Contrairement au processus d'évaporation, qui affecte surtout la tranche superficielle des deux premiers mètres, les racines

d'arbres peuvent avoir une influence jusqu'à 4 voire 5 m de profondeur. Le phénomène sera d'autant plus important que l'arbre est en pleine croissance et qu'il a, de ce fait, davantage besoin d'eau.

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

2.1.1.5. Défauts de construction

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

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

2.1.2. Facteurs de déclenchement

2.1.2.1. Phénomènes climatiques

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

Les deux paramètres importants sont les précipitations et l'évapotranspiration. En l'absence de nappe phréatique, ces deux paramètres contrôlent en effet les variations de teneur en eau dans la tranche superficielle des sols. L'évapotranspiration est la somme de l'évaporation (liée aux conditions de température, de vent et

d'ensoleillement) et de la transpiration (eau absorbée par la végétation). Ce paramètre est mesuré dans certaines stations météorologiques mais sa répartition spatiale est difficile à appréhender car sa valeur dépend étroitement des conditions locales de végétation. On raisonne en général sur les hauteurs de pluies efficaces qui correspondent aux précipitations diminuées de l'évapotranspiration.

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

2.1.2.2. Facteurs anthropiques

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

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

2.2. 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). Cette méthodologie a été validée par le Ministère

de l'Écologie et du Développement Durable (MEDD) et est désormais appliquée dans le cadre d'un programme qui concernera au moins 44 départements français, ce qui permettra d'obtenir des résultats homogènes au niveau national. L'autre département de la région a fait l'objet d'une étude similaire, réalisée avec la même méthodologie (Barchi *et al.*, 2003).

2.2.1. Cartographie des formations argileuses, marneuses ou tourbeuses

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.

La première étape a consisté à cartographier toutes les formations argileuses, marneuses ou tourbeuses 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 voire absentes, nous avons repris les caractéristiques recueillies dans le cadre de l'étude similaire menée dans le département voisin du Nord.

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.

Le facteur géomorphologique n'a pas également été 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. Cependant, il faut remarquer que le relief du département est peu marqué et que les zones de fortes pentes sont peu nombreuses. 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 des 106 communes du département 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, depuis 1989.

Ces données ont été complétées en premier lieu par l'ensemble des dossiers archivés en préfecture, au Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles (SIDPC). De plus, les dossiers conservés par la Caisse Centrale de Réassurance et certains bureaux d'études ont pu être consultés et exploités. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 982 sites de sinistres qui ont pu être recensés dont 974 ont pu être localisés avec précision (sur cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000). Ils sont répartis dans 99 communes (sur les 106 qui ont fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle) et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département du Pas-de-Calais.

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, marneuses ou tourbeuses : 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 du Pas-de-Calais

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

D'une superficie de 6 671 km² (illustration 2), le département du Pas-de-Calais emprunte son nom au détroit qui le borde. De forme allongée du Nord-Ouest au Sud-Est, sa longueur totale suivant cet axe est de 140 km et sa largeur moyenne de 70 km. Les 105 km de façade littorale sont bordés par la Manche et la Mer du Nord. Il constitue le second département de la région Nord – Pas-de-Calais, limitrophe du département de la Somme (région Picardie) au Sud.

La population du Pas-de-Calais (1,4 million d'habitants, 5^{ème} département de France pour le poids démographique), caractérisée par sa jeunesse (30 % de moins de 20 ans) et une forte densité (215 habitants au km²), est répartie sur sept arrondissements (Arras, Lens, Béthune, Saint-Omer, Montreuil, Boulogne, Calais) regroupant les 894 communes.

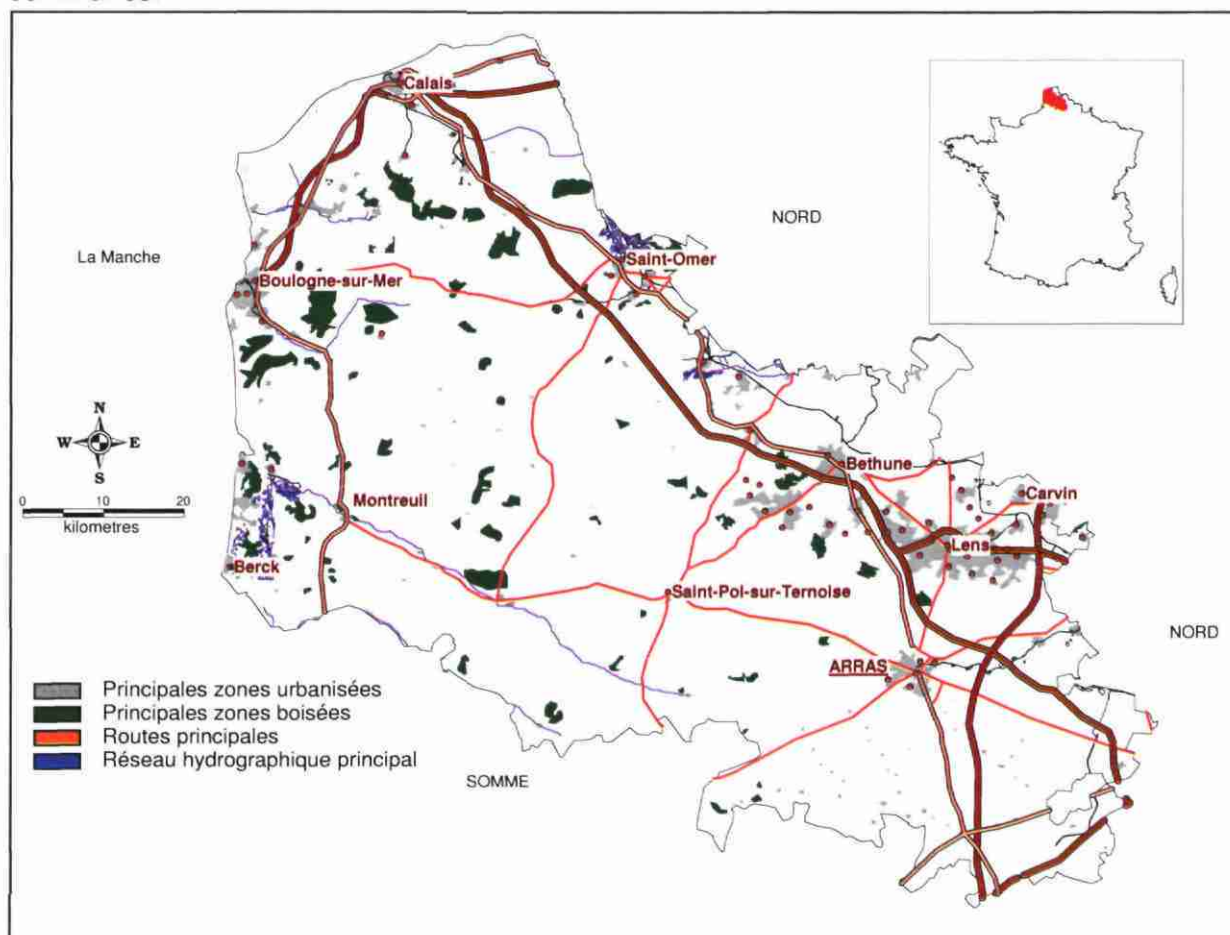


Illustration 2 – Carte de présentation du Pas-de-Calais

Les départements du Nord de la France ont des reliefs peu marqués. Dans le Pas-de-Calais, l'élément essentiel du relief est constitué par les collines de l'Artois qui séparent le bassin sédimentaire franco-belge du bassin parisien et prennent le département en écharpe du Sud-Est au Nord-Ouest. Il constitue une limite naturelle entre le plateau crayeux picard au Sud et les vastes plaines flamandes au Nord. Il domine la Picardie par un relèvement en pente douce et les plaines du Nord par une faille donnant un regard nord, relativement abrupt. Correspondant à un bombement anticlinal, le « dôme » de l'Artois constitue une ligne de partage des eaux.

De multiples "pays" sont nés de la connivence des efforts séculaires des hommes et des caractères physiques du territoire :

- le Haut-Pays s'étend au Nord jusqu'au cap Blanc Nez. Son relief est assez marqué, et le sol est argileux. C'est une terre d'élevage battue par les vents et les pluies ;
- le Ternois, d'altitude moindre, s'abaisse en pente douce vers le Sud jusqu'au seuil de Bapaume. Davantage épargné par l'érosion, il présente une plus grande variété d'aspect ;
- le Boulonnais, à l'Ouest, est constitué de terrains très divers entre les falaises crayeuses des deux extrémités septentrionales des collines d'Artois ;
- le Pays de Montreuil (ou retombée picarde), au Sud-Ouest, est formé de plateaux fertiles au relief peu accusé, découpés par l'Authie et par la Canche et ses affluents ;
- le Bas-Artois, au Sud-Est, de l'autre côté du Ternois, se présente sous forme de plaines un peu moins humides et verdoyantes. Le plateau crayeux n'offre pas de caractère géomorphologique bien différencié ; la « plaine » d'Arras est relayée par celle du Cambrésis dans le département voisin du Nord ;
- l'ancien bassin minier (Carvin, Lens, Béthune) est un espace à peine vallonné, presque entièrement bâti, où les cultures s'achèvent aux pieds des terrils et des corons ;
- la plaine de la Lys, parfaitement plate est quadrillée de canaux de drainage, célèbre pour ses rendements de blé et de légumes ;
- au Nord-Ouest, la plaine maritime a été gagnée tardivement sur la mer, et correspond au pays des wateringues ;
- enfin, au Sud-Ouest, les Bas-Champs, ou plaine maritime de la Manche, sont séparés de la mer par un cordon de dunes.

Le département comporte par ailleurs des zones marécageuses situées à sa périphérie, en particulier dans la plaine maritime de la Manche, dans les vallées inférieures de l'Authie et de la Canche, dans la région de Saint-Omer, et au voisinage d'Arras dans les vallées de la Scarpe et de la Sensée.

Des versants sud et ouest des collines de l'Artois, l'Authie (limite naturelle avec le département de la Somme), ainsi que la Canche, grossie de son affluent, la Ternoise, et la Liane vont se jeter dans la Manche. Des versants est et nord, la Sensée, la Scarpe, la Deûle, la Lys, et l'Aa coulent en direction de la mer du Nord. Elles participent dans leurs cours moyen à la constitution d'un réseau de voies navigables profitables aux départements du Nord et du Pas-de-Calais.

3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département du Pas-de-Calais est un département maritime et l'influence de la mer le protège des excès climatiques : les températures hivernales n'y descendent jamais très bas. En revanche, les grandes chaleurs estivales y sont plutôt rares et la température moyenne ne dépasse 25°C que pendant une vingtaine de jours. Il est rare que le département souffre d'excès de pluie ou de sécheresse.

La frange littorale bénéficie d'une plus grande douceur de l'air, d'une moindre nébulosité et d'une atténuation du froid hivernal. Le Boulonnais se caractérise toutefois par la prédominance de vents humides. L'influence maritime décroît à l'intérieur des terres.

Le graphique de l'illustration 3 présente les moyennes mensuelles de la pluviométrie totale enregistrée à la station de Fiefs (située en Artois entre Lillers et Fruges), entre 1965 et 2002. Deux périodes sont clairement individualisées, de septembre à janvier (88 à 105 mm) et de février à août (62 à 72 mm), ces deux mois étant par ailleurs les plus secs.

Les précipitations annuelles moyennes s'élèvent à 934 mm à Fiefs.

Entre 1989 et 2000, le département a connu deux principales périodes de sécheresse : 1989–1990 d'une part et 1995–1997 d'autre part (illustration 4).

Lors de l'été 2003, le Pas-de-Calais a connu la canicule à l'instar des autres départements (bulletins Météo-France). Dès juin, les températures ont été supérieures de 3 °C aux normales. En juillet, si les précipitations ont été tout à fait conformes aux normales grâce à quelques pluies orageuses, les températures ont affiché jusqu'à 2 °C de plus que les valeurs habituelles, l'insolation étant quant à elle largement supérieure à la normale. Août a été un mois exceptionnellement chaud (les températures dépassant les 30 °C sur l'ensemble du département) et ensoleillé (record d'insolation depuis 1978 avec 275 heures au lieu de 211 habituellement), associé à un déficit des précipitations (70-80 % des valeurs habituelles en général, mais seulement 36 % à Loison-sous-Lens ou 44 % près d'Avesnes-le-Comte). En septembre, la sécheresse s'est accentuée avec un quart seulement des précipitations habituelles sur l'ensemble du département (record pour ce mois depuis 1945 à Boulogne-sur-Mer) et une

insolation également exceptionnelle (record pour ce mois depuis 1978 avec 239 heures au lieu de 147 en moyenne). Le déficit des précipitations (50 à 80 % des valeurs habituelles) et la forte insolation (146 heures au lieu des 114 habituelles) ont perduré en octobre alors que la rupture a été nettement marquée pour le mois de novembre avec un retour à des conditions de précipitations, de température et d'insolation très proches de celles habituellement observées.

A ce jour aucune reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle n'a été établie pour l'année 2003 pour le département.

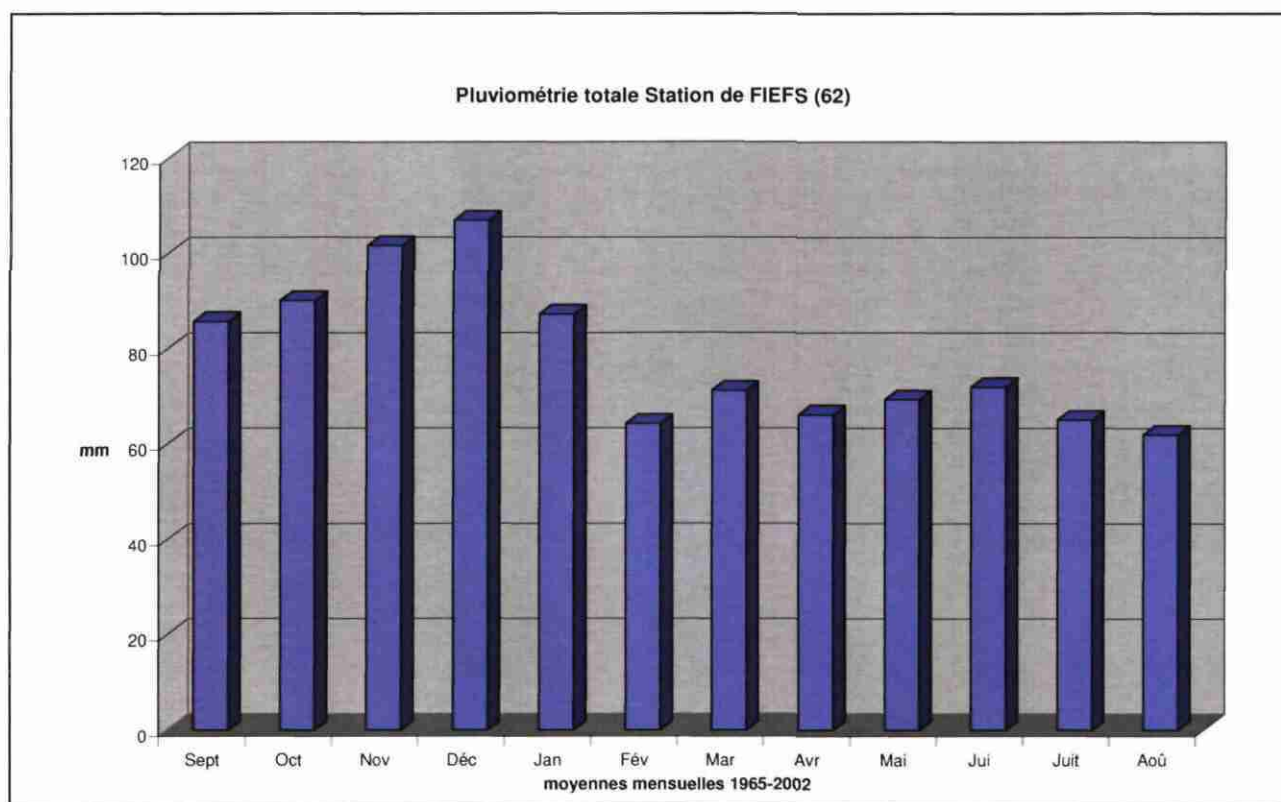


Illustration 3 – Moyennes mensuelles pluviométriques 1965-2002 (source Météo France)

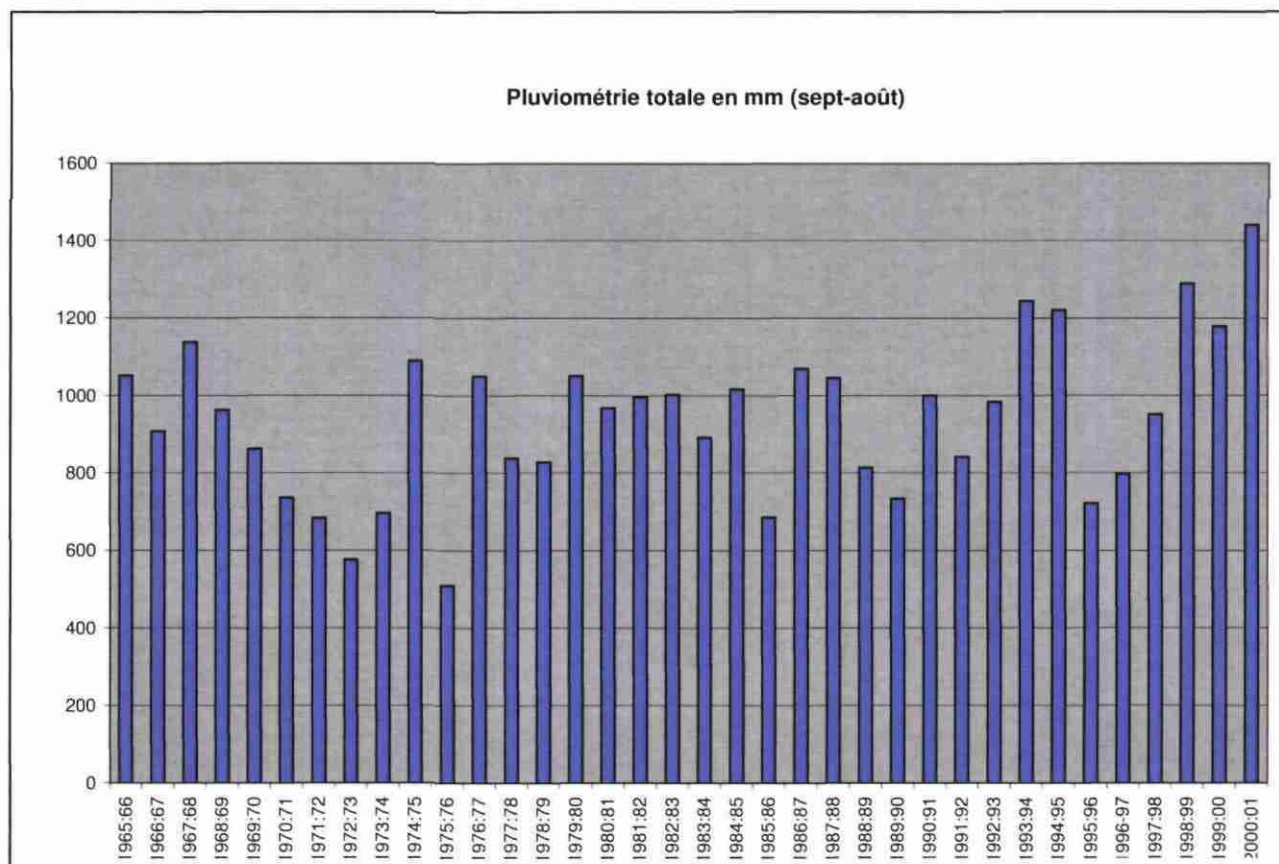


Illustration 4 – Station de Fiefs : cumuls annuels de précipitation 1965-2001 (source Météo France)

4. Identification et cartographie des formations géologiques à dominante argileuse, marneuse ou tourbeuse

4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS

4.1.1. Méthode utilisée

L'objectif est de disposer d'une carte des formations géologiques à dominante argileuse, marneuse ou tourbeuse du département du Pas-de-Calais, afin d'identifier les zones sensibles au retrait-gonflement.

Les notices et cartes géologiques éditées par le BRGM à l'échelle 1/50 000 constituent la partie prépondérante des données de base prises en compte pour la réalisation de cette synthèse cartographique. Réalisées pour la plupart à la fin des années soixante, avec une représentation répondant aux objectifs de l'époque, elles peuvent présenter localement des lacunes en ce qui concerne notamment les formations superficielles (Boulonnais), et leur fiabilité ponctuelle est souvent très limitée.

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 5) des cartes géologiques comporte tout ou partie des 24 coupures suivantes : Calais (2), Marquise (5), Guines (6), Cassel (7), Boulogne (10), Desvres (11), Saint-Omer (12), Hazebrouck (13), Montreuil (16), Fruges (17), Lillers (18), Béthune (19), Carvin (20), Rue (23), Hesdin (24), Saint-Pol sur Ternoise (25), Arras (26), Douai (27), Abbeville (33), Doullens (34), Bapaume (35), Cambrai (36), Albert (47), Peronne (48). La référence de ces cartes est présentée en fin de partie bibliographie.

Remarque : la nouvelle carte de Marquise (feuille 5) est intégrée à cette étude bien que non encore publiée. Les notations cartographiques des formations géologiques y figurant ne sont pas en harmonie avec celles des autres cartes du département. Aussi, les notations adoptées pour caractériser les formations argileuses du Pas-de-Calais peuvent-elles paraître difficiles à comprendre pour le lecteur habitué aux anciennes appellations.

Le programme d'harmonisation des cartes géologiques à 1/50 000 pour la région Nord – Pas-de-Calais étant en cours de réalisation, la présente étude ne peut se baser que sur les données actuellement disponibles.

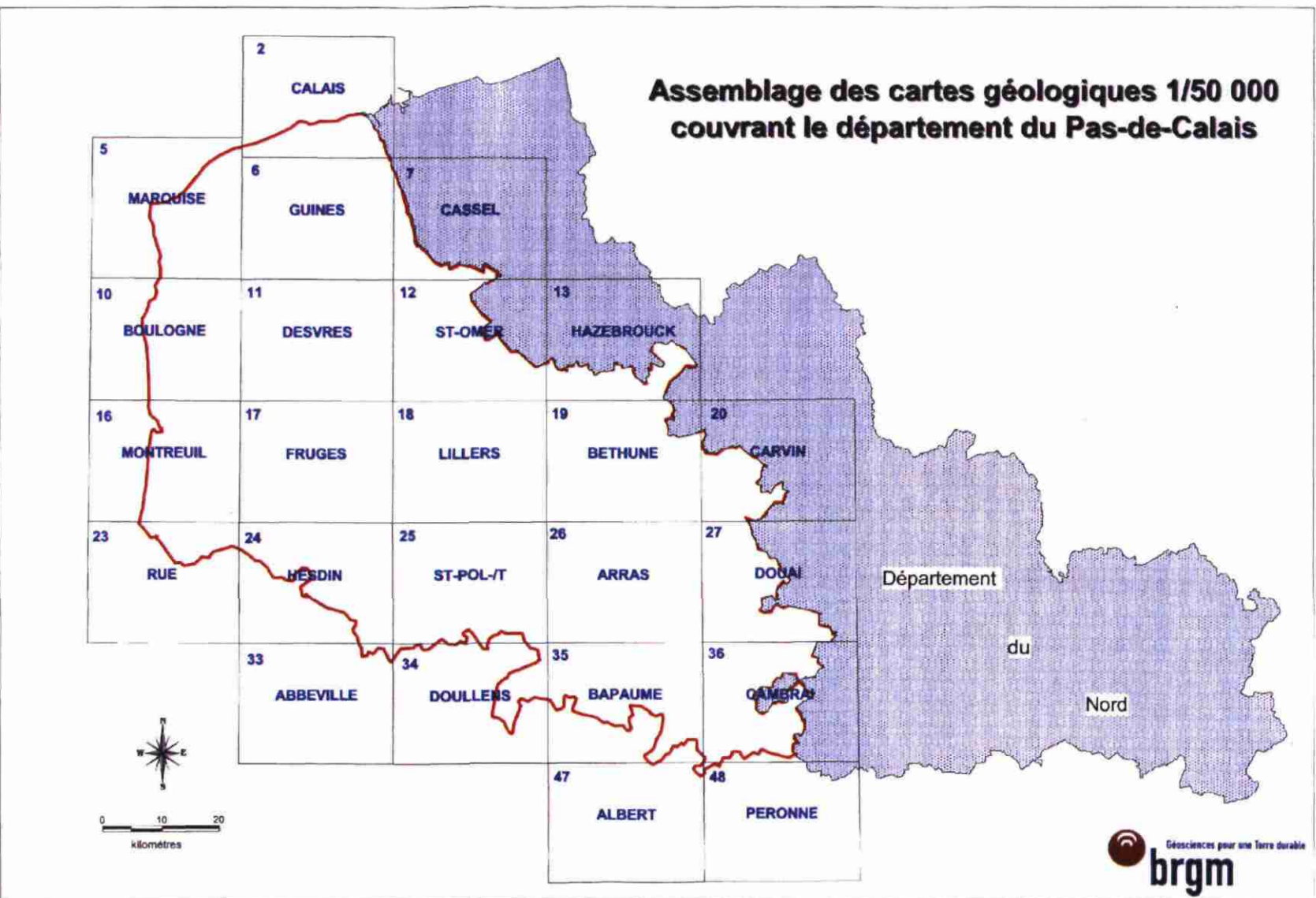


Illustration 5 – Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du Pas-de-Calais

A partir des cartes géologiques à 1/50 000, nous avons identifié les formations argileuses et marneuses ainsi que toute formation pouvant renfermer des intercalations ou des lentilles argileuses et marneuses. La présence de tourbe, dépôt organique également sensible au phénomène en question a conduit à élargir le cadre sédimentologique et à faire figurer la formation « *Tourbe supérieure* » sur les cartes.

Une carte de ces différentes formations a été établie en homogénéisant et raccordant entre elles les 24 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 argileuses au sens large

Dans certains cas, les argiles ou marnes constituent la majeure partie de la formation retenue. Mais, dans la majorité des cas, les formations géologiques argileuses ou marneuses du département sont (très) 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, mais qui, du fait de leur altération, présentent en de nombreux secteurs des faciès argileux, notamment dans les premiers mètres de sol. Or, ces horizons d'altération ne sont que trop rarement et trop ponctuellement interprétés comme tels dans les données de la BSS (cas notamment des calcaires jurassiques du Boulonnais). Aussi, il a été décidé de ne pas considérer l'ensemble de ces formations comme argileuses, malgré le recensement de quelques sinistres qu'elles ont occasionnés ;
- soit de formations calcaires non argileuses, peu épaisses, cartographiées distinctement sur une carte mais incluses dans un ensemble marno-argileux sur la carte voisine. L'impossibilité de suivre latéralement leurs contours nous a conduit à ne considérer que la « grande » formation marno-argileuse (cas de la carte Marquise et de ses voisines).

La carte des formations argileuses du Pas-de-Calais ici présentée constitue finalement une représentation interprétée des zones susceptibles au phénomène de retrait-gonflement, en fonction des données actuellement disponibles vis à vis de la représentation cartographique des formations superficielles du département.

La cartographie de l'aléa « retrait-gonflement des sols argileux » dans le département voisin du Nord ayant été réalisée précédemment (2003), nous avons repris ici quelques uns de ses résultats.

Vingt-deux formations, dont une non argileuse (*Tourbe supérieure*, Tz), sont finalement représentées sur cette carte, présentée également en illustration hors-texte (1/135 000).

4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Une carte géologique très simplifiée, tirée de la carte de France à l'échelle 1/1 000 000, résume cette présentation (illustration 6).

La diversité géologique en surface est limitée du fait que le plateau crayeux à couverture limoneuse couvre la plus grande partie du territoire départemental.

Toutefois, peuvent y être rencontrés à l'affleurement des terrains d'âge :

- paléozoïque,

surtout bien connus en profondeur par les nombreux sondages miniers et pétroliers, les terrains paléozoïques sont bien représentés dans le Boulonnais (nombreuses carrières en activité) et affleurent ponctuellement à la faveur de failles au Nord de l'Artois ; les couches les plus anciennes sont attribuées au Dévonien inférieur (Lochkovien) ; il s'agit principalement de dépôts sédimentaires épais composés d'argilites (schistes), de grès et de calcaires ;

- mésozoïque,

hormis des argiles noires ligniteuses et silteuses du Trias (Rhétien), conservées dans des poches de dissolution affectant très ponctuellement le substratum paléozoïque (sans qu'aucun point d'observation permanent ne soit indiqué dans la notice de la carte de Marquise), les premiers dépôts connus à l'affleurement sont les Sables d'Hydrequent de la base du Jurassique moyen (Aalénien / Bajocien). Le Boulonnais est le seul secteur de la région où les séries du Jurassique moyen à terminal sont observables. Les faciès crayeux du Crétacé supérieur sont largement représentés, localement sous couverture cénozoïque tertiaire ;

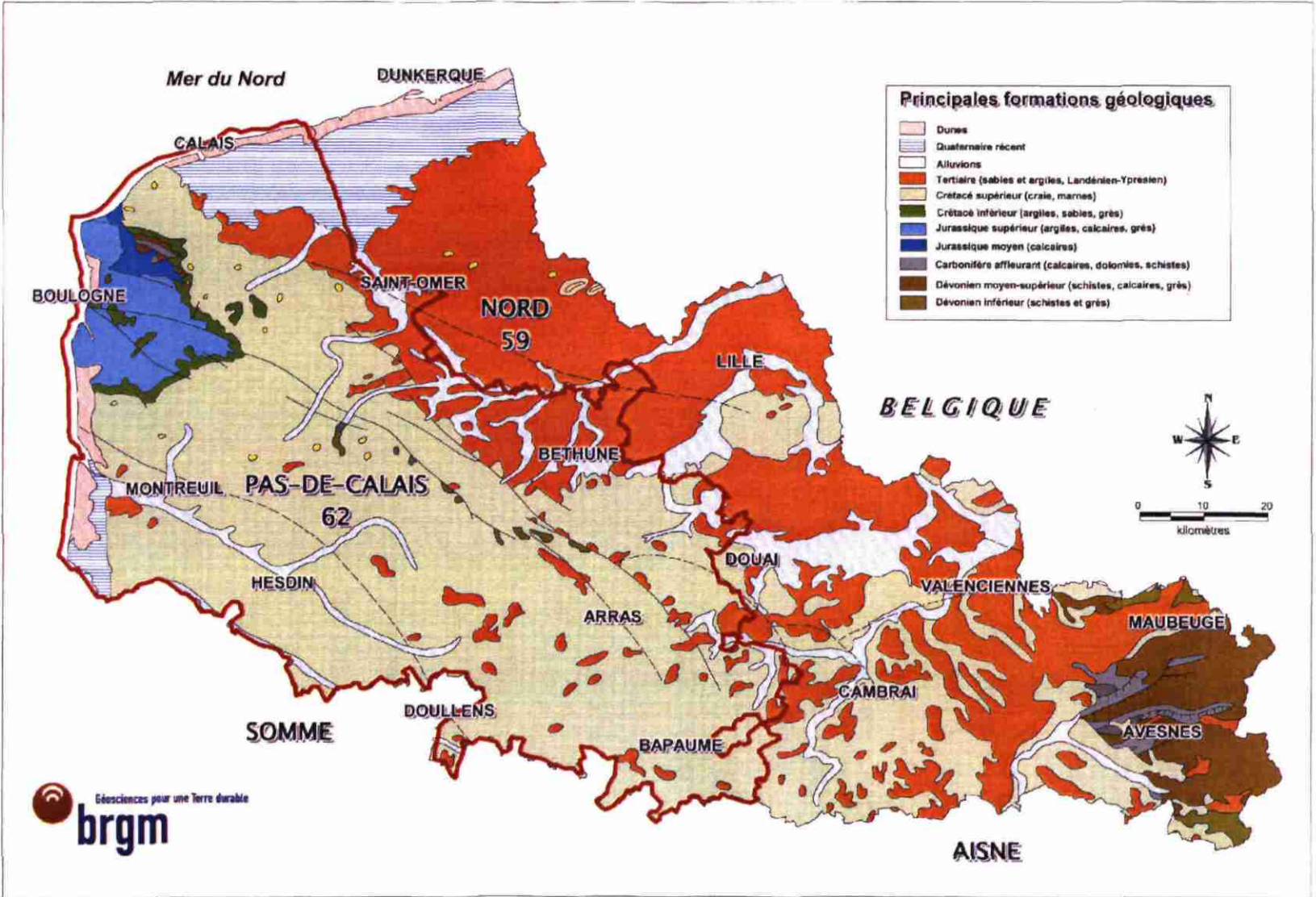
- cénozoïque tertiaire,

le plateau crayeux est parsemé d'une multitude de placages ponctuels de formations cénozoïques tertiaires principalement sablo-argileuses. La frange nord du département borde le Bassin des Flandres à très épais remplissage argileux ;

- cénozoïque quaternaire,

les formations superficielles sont largement représentées par les Limons des Plateaux généralement d'âge pléistocène, formant la couverture du plateau crayeux, et les couches alluvionnaires (Alluvions Récentes, Colluvions et Limons de lavage) d'âge holocène. En bordure de la Plaine Maritime, les niveaux sablo-argileux sont d'âge flandrien (Holocène).

Illustration 6 – Extrait de la carte géologique de la France à 1/1 000 000



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais

Au **Dévonien** inférieur, la mer est transgressive du Sud vers le Nord sur le Continent des Vieux Grès Rouges ; la sédimentation est alors grés-schisteuse, résultant du démantèlement de la cordillère calédonienne. En Artois, les affleurements de grès et de schistes sont alignés Sud-Est à Nord-Ouest depuis Marqueffles jusqu'à Matringhem. Le terme « schiste » est impropre mais il est employé en Belgique et utilisé par les géologues de terrain, et désigne une roche indurée de granulométrie fine, affectée d'une schistosité (c'est à dire, ici, d'un clivage dû à la simple réorientation des minéraux sous l'effet des pressions tectoniques) ; il conviendrait plutôt d'employer les termes de « shales argileux » ou d'« argilites », « schistes » étant plutôt réservé aux terrains métamorphisés.

Au Dévonien moyen, la mer s'approfondit et les faciès détritiques cèdent la place à des faciès argilo-calcaires et aux premiers calcaires construits (biohermes de la Formation de Blacourt), bien visibles dans le « Massif de Ferques » (Boulonnais).

La transgression repousse la ligne de rivage très loin vers le Nord, provoquant l'immersion de la totalité du Massif du Brabant. La sédimentation est alors essentiellement argileuse au cours du **Frasnien**.

Le retour progressif des faciès à calcaires récifaux (Frasnien supérieur), puis littoraux terrigènes, composés de schistes, grès et psammites (**Famennien**), illustre un important mouvement régressif probablement induit par les premières manifestations de l'orogénèse hercynienne.

Le Carbonifère inférieur (**Tournaisien, Viséen**) marque un retour à des conditions franchement marines ; une plate-forme carbonatée s'installe sur la bordure méridionale du Massif du Brabant.

Faisant suite à ce long épisode calcaire, la phase sudète de l'**orogénèse hercynienne** fait apparaître la vaste cordillère de l'Europe moyenne ; les mers reculent en abandonnant des lagunes fortement subsidentes où d'énormes quantités de sédiments détritiques vont s'accumuler, parmi lesquels vont s'intercaler des dépôts organiques témoins de la végétation luxuriante du **Carbonifère supérieur (Westphalien)**.

Le paroxysme orogénique intervient à la fin du Westphalien avec la phase asturienne, provoquant des redoublements de série (déplacements en écaillés du Sud vers le Nord) très importants par l'intermédiaire notamment de la grande **Faïlle du Midi**. La longue période d'érosion qui s'ensuit voit l'accumulation de dépôts continentaux dans les dépressions du socle. Il s'agit de **conglomérats à galets de schistes, grès, quartz blanc**, et surtout calcaires emballés dans une matrice argilo-calcaire, ainsi que des sables grossiers associés à des schistes bigarrés. L'âge de ces formations, affleurant en vallée de la Lys (Audincthun) et le long de la faille de Pernes (Febvin-Palfart), peut être attribué au Carbonifère terminal ou au Permo-Trias.

Des témoins isolés d'une formation continentale (sables roux et argiles noires ligniteuses), datant probablement du Trias terminal (**Rhétien**), ont pu être conservés dans des poches de dissolution du calcaire carbonifère.

La série du Jurassique moyen débute par des faciès transgressifs sablo-argilo-gréseux (**Bajocien**), et se poursuit par des calcaires témoins de conditions favorables au développement d'une grande plate-forme carbonatée (**Bathonien – Callovien inférieur**). A partir du Callovien supérieur, l'ennoyage progressif de la plate-forme carbonatée est illustré par le développement des faciès argilo-marneux ; des séquences terrigènes, carbonatées oolithiques puis récifales se succèdent ainsi. Le Jurassique supérieur (**Oxfordien, Kimméridgien, Tithonien**), dominé par les faciès argilo-gréseux, est coiffé par les calcaires lacustres du **Purbeckien** marquant l'émersion qui va se poursuivre lors du Crétacé inférieur.

Continentaux (**Wealdien**) puis marins (**Aptien, Albien**), les dépôts du Crétacé inférieur sont modérément transgressifs. Après le conglomérat glauconieux de base (« **Tourtia** »), et correspondant au grand épisode transgressif du Crétacé supérieur (**Cénomarien, Turonien, Santonien**), la sédimentation est d'abord très argileuse (« **dièves** ») puis s'enrichit progressivement en carbonate de calcium pour devenir purement carbonatée (**craie**).

A partir du **Cénozoïque**, la sédimentation est terrigène et obéit dorénavant aux fluctuations marines venues du Nord-Est. Au Paléocène (Thanétien = **Landénien**) puis à l'Éocène (**Yprésien** notamment, caractérisé par l'« **Argile des Flandres** »), les dépôts sont donc argileux et sablo-siliceux.

Le **Lutétien** voit la séparation définitive du Bassin de Londres-Brabant et du Bassin de Paris par l'édification de l'anticlinal de l'Artois.

Le début du **Quaternaire** est marqué par un refroidissement et un abaissement du niveau marin. On assiste à une succession de périodes glaciaires (et interglaciaires). L'évolution du relief et la sédimentation continentale (cailloutis, loess/limons, tourbes) et marine (sables et argiles) témoignent de ces pulsations rapides ; l'**Assise de Calais** et l'**Assise de Dunkerque** en sont l'illustration, avec des comblements estuariens diachrones, sablo-argileux puis de plus en plus tourbeux dans les cas de régression marine.

La Plaine Maritime est, quant à elle, principalement influencée par l'activité humaine (**poldérisation**).

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES AU SENS LARGE

Ce chapitre dresse l'inventaire des formations géologiques argileuses *s. l.* du département du Pas-de-Calais retenues dans le cadre de cette étude (illustration 7) ; une brève description en est présentée.

Bien que non sujette au « phénomène de retrait-gonflement » *sensu stricto*, la tourbe constitue néanmoins un matériau extrêmement sensible aux variations de teneur en eau environnante ; il s'agit en effet d'un matériau organique dont la structure poreuse

lui permet d'absorber jusqu'à vingt fois son poids en eau. Elle est par conséquent intégrée à cette étude des sols argileux.

Les formations sont décrites dans un ordre stratigraphique, depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes.

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 ainsi 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. Colluvions et Limons de lavage, Holocène [C-Lv]

D'épaisseur variable, ces limons trouvent leur origine dans le remaniement des limons pléistocènes (*Limons des plateaux*). De composition argilo-sableuse, ils contiennent également des granules de craie ainsi que des morceaux de silex. Ils se concentrent au pied des pentes et recouvrent les vallées et vallons secs par alimentation latérale due principalement aux phénomènes de solifluxion et de ruissellement.

4.3.1.2. Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies, Holocène [Fz1]

Les alluvions limono-tourbeuses et sablo-argileuses correspondent au lit majeur des cours d'eau ; elles présentent une grande variabilité de faciès en fonction de l'origine des dépôts. Il est difficile de distinguer les sinistres dont la responsabilité incombe soit aux poches de tourbe soit directement aux horizons argileux.

Toutefois, une distinction géographique a été opérée de façon à bien distinguer l'origine des matériaux constitutifs. Les *Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies* se localisent en bordure nord-est du département, en limite des bassins cénozoïques tertiaires très argileux de Flandre et d'Orchies.

4.3.1.3. Alluvions modernes Boulonnais, Holocène [Fz2]

Localisées dans la partie nord-ouest du département, ces alluvions sont issues de matériaux provenant des zones calcaires et argileuses jurassiques de la boutonnière du Boulonnais.

4.3.1.4. Alluvions modernes Artois, Holocène [Fz3]

Ces alluvions se répartissent sur le reste du territoire départemental essentiellement constitué du plateau crayeux de l'Artois. Les matériaux à l'origine de cette formation alluviale sont donc a priori peu argileux.

4.3.1.5. Assise de Dunkerque, Holocène [MzD]

Cette formation, d'âge post-gallo-romain à nos jours, désigne les dépôts limono-sableux ou argileux marins recouvrant un niveau de tourbe repère, dénommé *Tourbe de surface* ou *Tourbe supérieure* (notée Tz sur les cartes). En général la composition est à dominante sableuse, mais la proportion d'argiles sableuses des polders et d'argiles plastiques est loin d'être négligeable.

4.3.1.6. Tourbe supérieure, Holocène [Tz]

Sous une faible épaisseur de l'*Assise de Dunkerque*, se trouve largement conservée cette formation à part entière, aussi appelée *Tourbe de surface*. Dans la partie méridionale de la plaine, la *Tourbe supérieure* n'est que l'unité supérieure d'un complexe constitué par plusieurs couches de tourbe, séparées par des niveaux limono-argileux. Formée entre 4 800 et 2 800 BP, elle sépare l'*Assise de Calais* de l'*Assise de Dunkerque*.

4.3.1.7. Assise de Calais, Holocène [MzC]

Les faciès de l'*Assise de Calais* se différencient régionalement. Dans la zone littorale et la partie orientale de la carte géologique de Calais, la séquence est plutôt sableuse ou sablo-limoneuse, avec quelques intercalations argilo-organiques correspondant à un environnement marin quasi permanent, et débute le plus souvent, directement sur le substrat, par un faciès sableux grossier, voire graveleux. Vers le Sud, où les épaisseurs de l'Holocène diminuent, la séquence holocène débute par une tourbe ou un sol humique. Dans la partie occidentale de la carte, les dépôts marins sont surtout représentés par une série de cordons fossiles, formés de sables et galets de silex. Dans l'intervalle de ces cordons, l'accumulation marine prévaut et incorpore des niveaux de tourbe.

Les variations de volume des niveaux de tourbe, en fonction de la teneur en eau, peuvent provoquer d'importants tassements différentiels. Leur âge est néolithique à pré-gallo-romain.

4.3.1.8. Alluvions anciennes, Pléistocène [Fy]

Ces dépôts fluviatiles anciens correspondent à un complexe de cailloutis emballés dans des sables et argiles sableuses. Abandonnés par les rivières dans les anciens lits correspondant aux phases successives du creusement des vallées, ils sont disposés en terrasse.

4.3.1.9. Limons des Flandres-Lys, Pléistocène [OE/e4-2]

Il s'agit de limons argilo-silteux de la Flandre et de la Vallée de la Lys, issus de l'altération des argiles cénozoïques sous-jacentes. Ils sont faiblement perméables, de couleur grise, brune ou jaune, parfois bigarrés de rouge et de blanc et contenant localement des concrétions ferrugineuses (altération de la glauconie des argiles yprésiennes). Ces limons sont donc plus argileux que les Limons des Plateaux qui, eux, se sont déposés sur la craie.

4.3.1.10. Limons argileux à silex des Flandres-Lys, Pléistocène [OE-S/e4-2]

Formation résiduelle à silex, ils se distinguent des précédents du fait qu'ils reposent directement sur les formations argilo-sableuses cénozoïques tertiaires.

4.3.1.11. Limons des Plateaux, Pléistocène [OE/Cr]

La principale formation superficielle affleurant en Pas-de-Calais est caractérisée par des dépôts éoliens limoneux, à dominante sableuse, mis en place lors des périodes périglaciaires du Quaternaire. Leur composition est directement liée à la nature des substrats sur lesquels ils reposent. Les *Limons des Plateaux* recouvrent la majeure partie de l'Artois, plateau crayeux.

4.3.1.12. Limons argileux à silex des Plateaux, Pléistocène [OE-S/Cr]

Ces dépôts forment un complexe de formations argileuses à silex constitué d'argile à silex à la base puis de limons argileux rougeâtres, en partie résiduels, associés à des sables, des grès et des silex. Ils sont principalement issus de la décalcification des craies à silex suite à leur émergence depuis la fin du Crétacé.

4.3.2. Formations sablo-argileuses du Tertiaire

4.3.2.1. Argile des Flandres, Yprésien [e4-2c]

Les formations du Spamacien (transition Thanétien-Yprésien) ne sont pas très bien représentées sur les cartes géologiques actuellement disponibles.

L'*Argile de Saint-Aubin* (argiles grises, plastiques, e2c-3), l'*Argile de Blairville* (argile grise feuilletée, plus ou moins sableuse, analogue à l'*Argile à lignite du Soissonnais*, e3) affleurent très ponctuellement et ne sont parfois que soupçonnées à travers la lecture de certains documents de forages (BSS). Aussi, dans l'impossibilité de les cartographier de manière individualisée, elles ont finalement été intégrées au groupe des argiles yprésiennes, avec l'*Argile d'Orchies* (argile grise très plastique, compacte, homogène, à faune rare, e3), l'*Argile de Roubaix* (argile gris-bleu, localement sablo-silteuse et glauconieuse, à faune pauvre, avec *Nummulites planulatus elegans*, e4a) et

l'Argile de Roncq (séparée de la précédente par des bancs fossilifères à *N. planulatus* et *Turritella edita*).

Dans le département du Nord, ces sédiments yprésiens remplissent le grand bassin tertiaire de Flandre et la petite cuvette d'Orchies. Dans le Pas-de-Calais, les affleurements sont surtout concentrés en bordure nord du département, en limite de Flandre ; la puissance de l'*Argiles des Flandres* est pluri-décamétrique.

4.3.2.2. Argile de Louvil, Thanétien [e2a (b-a)]

Le terme de **Landénien** (Thanétien) a été créé par Dumont en 1839 pour désigner les formations argileuses et sableuses reposant sur la Craie.

Dans le Nord de la France, les dépôts argileux et d'origine marine du Thanétien inférieur se caractérisent par un tuffeau composé d'un sable très fin, argileux et glauconieux, plus ou moins induré par un ciment d'opale (*Tuffeau de Saint-Omer*), recouvert par une argile plastique, sableuse, verdâtre à noirâtre (*Argile de Louvil*).

Selon l'endroit, l'argile plastique porte le nom d'*Argile de Clary* ou d'*Argile de Louvil*. En s'éloignant du cœur de l'ancien bassin sédimentaire, le faciès argileux tend à disparaître au profit des faciès sableux et tuffacés. Dans l'Audomarois, le faciès argileux est parfois limité à quelques minces lits d'argile au sein de la masse tuffacée (*tuffeau de Saint-Omer*).

Sur la carte géologique au 1/50 000, c'est le Thanétien inférieur (argileux et tuffacé ; notation e2a) qui a été représenté et distingué du Landénien supérieur essentiellement sableux, et non l'*Argile de Clary-Louvil* qui n'en constitue qu'une partie relativement limitée. En conséquence, les affleurements indiqués par la carte surestiment largement les affleurements réellement occupés par les faciès purement argileux.

Au contraire de l'étude réalisée sur le département voisin du Nord, nous n'avons pas pu, sur les cartes ici concernées, distinguer le faciès argileux du faciès tuffacé, en raison de l'absence de bassin cénozoïque individualisé (Flandre, Bassin d'Orchies).

4.3.3. Formations marneuses et argileuses du Crétacé

4.3.3.1. Dièves, Cénomaniens à Turonien moyen [c3ab-1]

Les mineurs du Bassin Houiller du Nord – Pas-de-Calais ont donné le nom de *dièves* aux marnes argilo-crayeuses et glauconieuses caractérisant le Cénomaniens et le Turonien inférieur à moyen (notations c1-c2, c3a-b). Imperméables, ces marnes atteignent couramment une épaisseur pluridécamétrique et constituent le mur de la nappe de la craie.

4.3.3.2. Argiles du Gault, Albien moyen à supérieur [n6G]

La *Formation de Saint Pô* (argiles noires ou grises à nodules phosphatés) et la *Formation de Lottinghen* (marne grise glauconieuse à nodules phosphatés),

constituant le « faciès Gault », affleurent de façon permanente sur le littoral du Boulonnais, et soulignent son pourtour.

4.3.3.3. Wealdien, Barrémien ? [n4W-3]

Les dépôts d'origine continentale du *Wealdien* ont une extension très ponctuelle, en poches de dissolution dans les calcaires paléozoïques, et sont généralement recouverts par des dépôts plus récents. Toutefois, ils peuvent affleurer, comme c'est le cas sur le pourtour de la boutonnière du Boulonnais.

Extrêmement hétérogènes, ils contiennent des sables blancs et des argiles grises, noires ou rubéfiées, et notamment des argiles à lignite. Certaines argiles ont été autrefois exploitées pour la fabrication de poteries et de produits réfractaires, ainsi que pour le minerai de fer (limonite).

4.3.4. Formations marneuses et argileuses du Jurassique

Les dépôts d'âge jurassique n'affleurent qu'en Boulonnais. Ils sont largement exposés en falaise et beaucoup plus discrètement à l'intérieur des terres. Ils constituent un point d'observation isolé et remarquable. Seules les formations du Kimmeridgien supérieur et du Tithonien affleurent naturellement bien sur les falaises du littoral. Celles du Dogger, de l'Oxfordien et de la base du Kimmeridgien ne sont accessibles que localement dans de petites exploitations, ou temporairement lors de grands travaux. Ce n'est que très récemment, grâce aux terrassements liés à la modernisation des réseaux de communication dans la région Nord – Pas-de-Calais en rapport avec le tunnel sous la Manche que de nouveaux affleurements ont été mis à découvert. Des coupes très complètes ont été ouvertes dans le Dogger et le Malm inférieur (Vidier, 1996).

4.3.4.1. Argiles de La Crèche-Wimereux, Tithonien inférieur [j9b-7a]

Les *Argiles de Wimereux* (argiles grises à lits sableux, glauconieux, avec un niveau phosphaté P3 au sommet), et les *Argiles de La Crèche* (argiles noires feuilletées sableuses à la base et gréseuse dans la partie supérieure, avec deux niveaux phosphatés P1 et P2 au sommet) sont facilement accessibles au pied des falaises, autour de Wimereux.

4.3.4.2. Argiles de Châtillon, Kimmeridgien supérieur [j8c-(6-7a)]

La coupe de référence peut être prise immédiatement au Nord d'Audresselles, où l'on y distingue deux membres. Le membre inférieur est constitué d'une alternance d'argiles plus ou moins massives et de passées décimétriques biodétritiques légèrement indurées. Le membre supérieur est constitué quant à lui d'argiles feuilletées noires et de bancs calcaires argileux et/ou lumachelliques.

4.3.4.3. Argiles du Moulin-Wibert, Kimmeridgien supérieur [j8a-6W]

La coupe de référence est située au Cap de la Crèche. Deux membres peuvent être distingués. Le membre inférieur est composé d'argiles noires à bancs décimétriques de calcaire lumachellique. Le membre supérieur est constitué d'argiles sableuses et de quelques bancs plus épais de calcaire argileux et/ou plus ou moins sableux.

Sur certaines cartes, c'est le « Groupe Moulin-Wibert » qui est représenté, c'est à dire les *argiles du Moulin-Wibert* (20 m), les *sables ou grès de Connincthun* (10 m), et les *calcaires du Moulin-Wibert* (10 m), et il n'a pas été alors possible de différencier le terme argileux.

4.3.4.4. Argiles du Callovien - Oxfordien [j6-3]

Il s'agit là d'un ensemble composite mais dont la dominante est argileuse. Sont ainsi regroupés :

- les *Argiles du Mont des Boucards* (argiles noires à *Ostrea subdeltoïdea*, 15 m),
- les *Calcaires du Mont des Boucards* (calcaires plus ou moins argileux à madréporaires et marnes, 10-15 m),
- les *Calcaires d'Houllefort* (calcaires à madréporaires, blancs, 1-2 m),
- les *Argiles de Selles* (argiles noires, 40 m),
- le *Groupe Le Waast* (ensemble épais de 30 m à dominante argileuse et divisé en quatre formations distinctes mais très difficiles à cartographier, *Marnes à Millecrinus horridus*, *Argiles du Coquillot*, *Argiles de Montaubert*, *Marne ferrugineuse de Belle*).

4.3.5. Formation schisteuse et calcaro-grés-argileuse du Paléozoïque

4.3.5.1. Schistes, Lochkovien (Dévonien inférieur) à Westphalien (Carbonifère supérieur) [h-d1]

Les formations paléozoïques affleurent dans le Boulonnais, au Nord-Ouest du département, et très ponctuellement dans l'Artois, à la faveur des grandes failles de direction N120 (Ruitz, Marqueffles, Pernes) qui bordent le Sud-Ouest du Bassin Minier (feuilles Lillers et Béthune).

Il s'agit, pour la plupart des dépôts, de schistes (shales argileux), de grauwackes et de psammites (grès argileux), ainsi que de calcaires argileux, c'est à dire de sédiments extrêmement lithifiés, et généralement peu sensibles au phénomène de retrait-gonflement. Pour Millot (1964), les argilites et les shales sont les meilleurs témoins des dépôts originels et s'il y a eu modification, ce sont eux qui ont été les moins atteints.

Nous ne conservons, dans la liste des formations retenues, que les faciès vraiment schisteux, c'est à dire constitués d'une phase (ex-) argileuse dominante. Ces formations sont dénommées *Schistes* dans la suite du rapport bien que cette appellation soit impropre en toute rigueur.

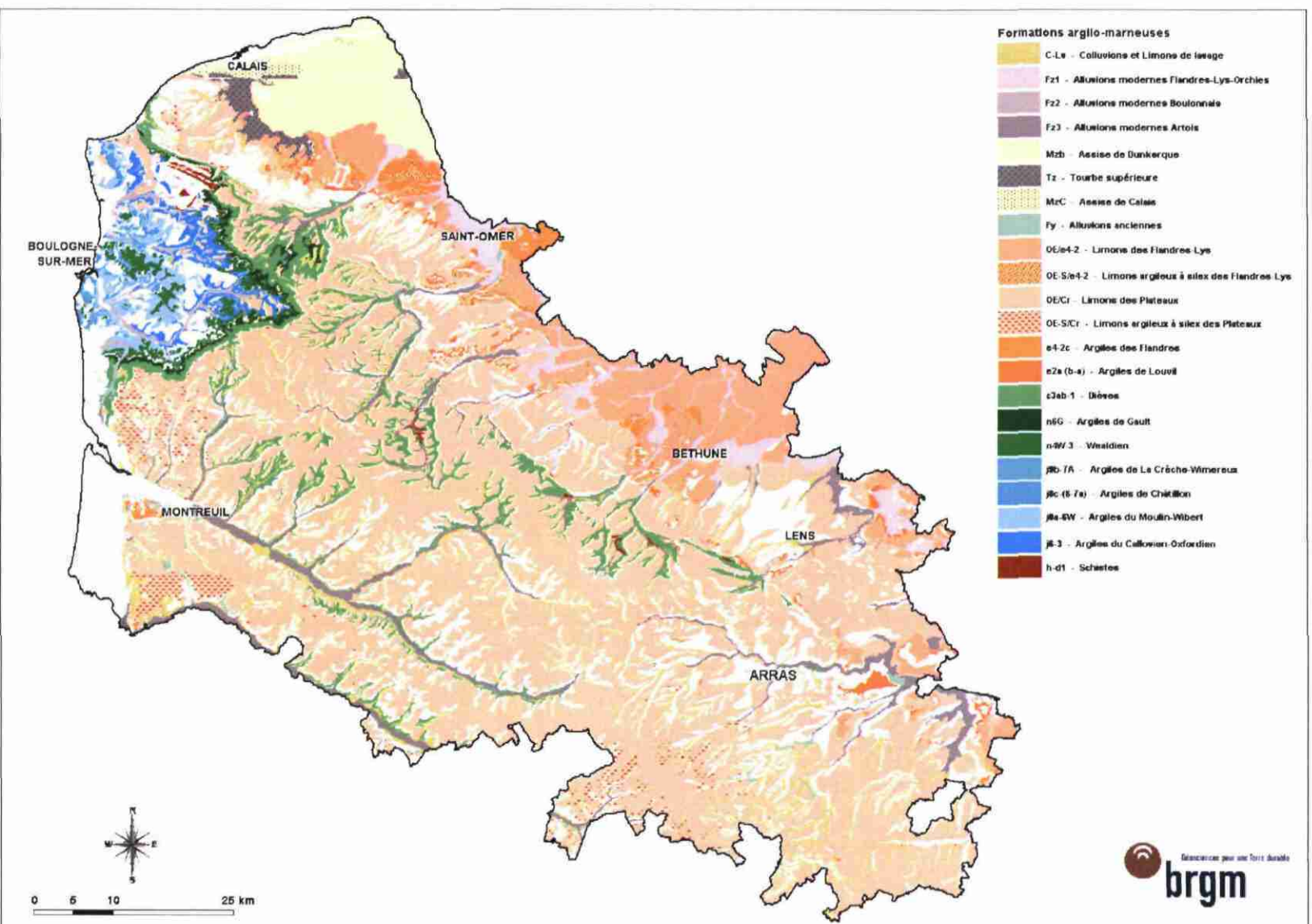


Illustration 7 – Carte synthétique des formations argilleuses, marneuses et tourbeuses

4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DU PAS-DE-CALAIS

L'abaissement du niveau des nappes en période de sécheresse ou, au contraire, leur élévation après une période de précipitations peut éventuellement se traduire par des modifications de teneurs en eau (dessiccation ou imbibition) dans certaines formations géologiques argileuses, marneuses ou tourbeuses, et contribuer ainsi au déclenchement de mouvements de terrains différentiels.

Toutefois, les variations piézométriques des principales nappes du département du Pas-de-Calais jouent un rôle limité dans la variation de teneur en eau des argiles superficielles, phénomène qui est plus imputable à l'action prépondérante de l'évapotranspiration. Il n'est cependant pas exclu que des petites nappes superficielles (localisées dans des alluvions ou des lentilles sableuses), puissent jouer localement un rôle plus important. Une liste de ces nappes est donnée ci-après.

4.4.1. Principaux aquifères du département

En descendant dans la série stratigraphique, on observe les différents aquifères suivants :

Quaternaire (nappes saisonnières)

- Dunes littorales des Flandres, Bas-Champs du Sud-Boulonnais,
- Sables pissards de la bordure Ouest des Flandres, pays des wateringues,
- Alluvions anciennes et modernes des cours d'eau permanents,
- Limons et colluvions sur terrains imperméables de la Plaine des Flandres.

Thanétien (nappes locales, continues en présence sus-jacente des *Argiles des Flandres*)

- Sables d'Ostricourt.

Sénonien et Turonien supérieur

- Craies blanches du Sénonien,
- Craies blanches à grises à silex du Turonien supérieur.

Cénomaniens

- Craies marneuses blanchâtres,
- Conglomérat de base (« Tourtia »).

Albien

- Sables Verts (périphérie du Boulonnais).

Wealdien

- Sables en poches dans le substrat paléozoïque.

Jurassique supérieur (Oxfordien – Tithonien)

- Grès de Châtillon et de La Crèche,
- Oolithe d'Hesdin-L'Abbé.

Jurassique moyen (Bajocien – Callovien)

- Calcaire oolithique de Marquise.

Carbonifère

- Calcaires dinantiens.

Dévonien

- Calcaires givétiens.

4.4.2. Caractéristiques des principaux aquifères exploités

Les trois principaux aquifères exploités sont, par ordre d'importance décroissant :

- **la craie**

Hormis le Boulonnais, les craies du Sénonien et du Turonien supérieur sont présentes sur la totalité du département. Le substratum théorique est constitué des marnes du Turonien moyen et inférieur (« dièves »). Le régime est captif sous le bassin cénozoïque des Flandres (mise en pression sous l'Argile de Louvil) ; ailleurs, il est libre sous une faible épaisseur de limons.

L'épaisseur totale théorique varie de quelques mètres à proximité du Boulonnais à plus de 100 m à l'Ouest de la région Nord - Pas-de-Calais, mais l'épaisseur réelle dépasse rarement 50 m en raison de la forte diminution du degré de fissuration de la roche en profondeur. La porosité totale est comprise entre 15 et 40%, mais la porosité efficace (de fissure) n'est que de 2 à 3%. La transmissivité est faible ($T < 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) sous les plateaux et moyenne à forte (T jusqu'à $10^{-1} \text{ m}^2/\text{s}$) sous les vallées sèches et surtout humides.

Les sécheresses des années 1972-1973, 1976, 1989-1991 et 1997 ont affecté la nappe de la craie, essentiellement dans sa partie libre, avec une diminution sensible de sa charge hydraulique.

- **le calcaire carbonifère**

Le corps de l'aquifère est constitué des calcaires et dolomies du Tournaisien et Viséen (Dinantien, Carbonifère inférieur). Le substratum théorique est composé des formations schisto-gréseuses du Dévonien supérieur. Libre en Boulonnais, le régime est captif sous les craies marneuses du Turonien par ailleurs.

- **Les sables d'Ostricourt**

Les sables landéniens forment un aquifère dont le substratum est constitué des formations argileuses (Argile de Louvil) et argilo-sableuses (tuffeaux) de la base de l'étage. Le régime est captif en présence de la couverture yprésienne de l'Argile des Flandres. L'épaisseur de la zone aquifère correspond à la totalité de la couche. A la différence des aquifères précédents, celui-ci présente une porosité et une perméabilité d'interstices ($K = 2 \times 10^{-5} \text{ m/s}$).

L'existence de nappes superficielles ne peut être sujette à une description générale tant la variété des contextes géologiques qui leur sont rattachés, est importante. Ce sont en général de petits aquifères très proches de la surface qui correspondent à des niveaux à perméabilité localement plus importante.

Cette proximité des petites nappes avec la surface topographique accroît leur sensibilité aux variations saisonnières de la pluviométrie. Ce sont pour l'essentiel les variations du niveau piézométrique qui sont le plus en mesure de participer, lorsque les conditions sont réunies, à des variations importantes des teneurs en eau des argiles de surface (complexes limono-argilo-sableux).

En Plaine maritime, la nappe des sables quaternaires (Flandrien), dont le support imperméable est constitué par l'argile yprésienne, est exploitée en quelques points pour les besoins de l'industrie, mais la proximité du biseau salé et la vulnérabilité à la pollution altèrent sa qualité. Le réseau hydrographique superficiel y présente un chevelu assez dense ; il s'agit en fait de gros ruisseaux, les « becques ». Le sous-sol imperméable leur confère un coefficient de ruissellement assez important et, en cas de fortes précipitations, ils ne peuvent évacuer toute l'eau, provoquant des inondations.

Les limons surmontant localement l'Argile des Flandres, renferment un peu d'eau grâce à la présence de lentilles sableuses ou graveleuses et contiennent des nappes très locales extrêmement dépendantes des conditions climatiques.

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

En effet, d'autres critères de susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement, tels que le contexte hydrogéologique, la topographie, la végétation ou le type de fondation 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 22 formations sélectionnées :

- la nature lithologique des terrains constituant en majorité la formation ;
- la composition minéralogique de sa phase argileuse, évaluée à partir de la proportion de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) ;
- le comportement géotechnique du matériau, évalué à partir de la réactivité du sol vis à vis de l'eau, caractérisée par la valeur de bleu, et dans une moindre mesure par l'importance du retrait possible (en terme de volume) en cas de dessèchement, caractérisée par les mesures de retrait linéaire, ainsi que par l'étendue de son domaine plastique, caractérisée 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 22 formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

Les sources des données ici présentées proviennent principalement de dossiers CETE, BRGM et de la bibliographie scientifique. Des rapports de bureaux d'études (Antéa, Solen, Sols Études Fondations, Fondasol) ont également livré de nombreux résultats.

L'examen des études réalisées après sinistres indique que 95,2 % des sinistres répertoriés et localisés (927 sur 974) sont répartis sur les formations argilo-marneuses retenues comme étant sujettes au phénomène de retrait-gonflement ; 2,9 % (28) sont répartis sur les niveaux de tourbe bien identifiés, la *Tourbe supérieure* (Tz). Seuls 1,9 % (19) ne concernent a priori pas des formations argilo-marneuses ou tourbeuses. 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 ; ceci illustre surtout le fait que la représentation cartographique des formations argileuses, en l'état actuel des connaissances, n'est pas parfaite dans le détail, même si elle reflète assez fidèlement la réalité à l'échelle départementale.

Par ailleurs, dans le but de rechercher des centres potentiels de stockage de déchets industriels spéciaux, le BRGM avait réalisé un inventaire des formations argileuses de la région Nord – Pas-de-Calais (Leplat, 1996), et quelques uns des résultats obtenus à cette occasion ont été repris ici.

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.

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

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

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 vingt-deux formations potentiellement favorables au retrait-gonflement, à partir des descriptions établies dans les notices des cartes géologiques au 1/50 000.

n°	Code	Formation	Note Lithologique
1	C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	2
2	Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	3
3	Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	2
4	Fz3	Alluvions modernes Artois	1
5	MzD	Assise de Dunkerque	2
6	Tz	Tourbe supérieure	4
7	MzC	Assise de Calais	2
8	Fy	Alluvions anciennes	1
9	OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	3
10	OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	3
11	OE/Cr	Limons des Plateaux	1
12	OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	3
13	e4-2c	Argiles des Flandres	4
14	e2a (b-a)	Argile de Louvil	4
15	c3ab-1	Dièves	3
16	n6G	Argiles du Gault	4
17	n4W-3	Wealdien	3
18	j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	4
19	j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	3
20	j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	3
21	j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	3
22	h-d1	Schistes	1

Illustration 8 – Note lithologique des formations argileuses retenues

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 et interstratifiés) contenus dans la phase argileuse du matériau, sont respectivement 25 %, 50 % et 80 %. Une note minéralogique a été

attribuée à chacune de ces formations et est présentée dans le tableau de l'illustration 9. Le barème suivant a été appliqué :

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

5.3.2. Caractérisation minéralogique

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

Les éléments tirés de la bibliographie sur ce thème sont inégalement répartis selon les formations considérées. Toutefois, le département du Pas-de-Calais s'inscrivant géologiquement dans un cadre qui dépasse ses frontières (région Nord – Pas-de-Calais, pays voisins), les formations paléozoïques (Ardenes françaises et belges), mésozoïques (ensemble du bassin Anglo-Parisien, craies marneuses de l'ensemble de l'Europe du Nord-Ouest) et cénozoïques (argiles tertiaires du Nord et de Belgique) ont été largement étudiées et les publications scientifiques sont nombreuses. En suivant une réflexion géologique, paléo-géographique et sédimentologique, c'est à dire basée sur une logique de bassin sédimentaire, il est possible de caractériser localement une formation par corrélation.

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

Neuf échantillons, prélevés dans des formations d'âge jurassique (Boulonnais), ont fait l'objet d'une analyse diffractométrique (rayons X) spécifique dans le cadre de la présente étude. La méthode utilisée est présentée en annexe avec les diffractogrammes et résultats détaillés. Ces neuf échantillons ont également fait l'objet d'analyses granulométriques et de caractérisation géotechnique (indice de plasticité, valeur au bleu de méthylène).

Les formations concernées sont les *Argiles du Coquillot* (4 échantillons), les *Argiles de Wimereux* (2), les *Argiles de la Crèche* (1), les *Argiles de Montaubert* (1) et les *Argiles du Moulin-Wibert* (1).

Rappelons que cet échantillonnage, bien que trop limité pour pallier l'hétérogénéité des formations en question, donne tout de même des indices fiables et réels sur la composition minéralogique de ces formations. Les résultats de ces analyses (Annexe 4), ainsi que les données existantes sur les autres formations sont résumés ci-après, sachant que le nombre d'échantillons analysés n'est pas toujours clairement exprimé dans la bibliographie scientifique consultée.

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

- **Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies [Fz1]**

Origine des données : ANTEA.

Nombre de résultats : 2.

Échantillon 1 : fraction argileuse : 41 % (Sm = 88 % ; I = 7 % ; K = 5 %) ;

échantillon 2 : fraction argileuse : et 50 % (Sm = 95 % ; I = 1 % ; K = 4 % ; C = traces).

- **Assise de Dunkerque [MzD]**

Origine des données : ANTEA (pour le département du Nord).

Nombre de résultats : 2.

Le substratum immédiat est l'argile yprésienne à faible profondeur. L'analyse des deux échantillons prélevés l'un dans un niveau argileux gris et l'autre dans un niveau argilo-sableux jaunâtre a livré :

Échantillon 1 : Sm = 77 % ; I = 9 % ; K = 14 % ;

échantillon 2 : Sm = 87 % ; I = 4 % ; K = 9 %.

- **Assise de Calais [MzC]**

Ne disposant pas de précisions autres que « Sm et interstratifiés sont abondants », nous rappelons la donnée utilisée pour le département du Nord.

Origine des données : BRGM (Nord).

Nombre de résultats : 1.

Les minéraux argileux représentent plus 5 % de la roche totale. Ils sont composés essentiellement de smectites, d'illites et d'interstratifiés Sm/I). Il avait été également tenu compte, dans la note attribuée, de la présence potentielle d'horizons argilo-tourbeux intercalés.

- **Limons des Flandres-Lys [OE/e4-2]**

Origine des données : ANTEA

Nombre de résultats : 1.

Fraction argileuse : environ 40 %.

Sm/I = 69 % (dont 55 % de Sm) ; I = 21 % ; K = 10 % ; C = traces.

- **Limons des Plateaux [OE/Cr]**

Origine des données : ANTEA

Nombre de résultats : 1.

Fraction argileuse : 35 % (Sm + Sm/I = 89 % ; I = 1 % ; K = 5 % ; C = traces).

- **Limons argileux à silex des Plateaux [OE-S/Cr]**

Origine des données : ANTEA

Nombre de résultats : 1.

Fraction argileuse : 60 à 62 %.

Sm = 39 % ; I/Micas = 22 % ; K = 39 % ; C = traces.

- **Argile des Flandres [e4-2c]**

Origine des données : BRGM (métro de Lille, stockage de déchets industriels spéciaux) ; ANTEA ; Debrabant et al. (1992).

Nombre de résultats : plus de 50.

Il est à noter qu'aucune donnée minéralogique n'est disponible pour l'Argile de Saint-Aubin et les Argiles à Lignite.

Argile des Flandres :

fraction inférieure à 2 µm : 40 à 70 % pour l'Argile d'Orchies et 20 à 25 % pour l'Argile de Roubaix.

Sm = 65 à 85 % ; I = 12 à 36 % ; K = 15 % max ; C = 10 % max ; I/V ; Sm/C ; Sm/V.

En comparaison, les données obtenues pour le département du Nord (échantillonnage à Armbouts Capelle et Arneke) sont les suivantes :

Sm = 77 à 92 % ; I = 4 à 9 % ; K = 3 à 14 % ; C = traces.

- **Argile de Louvil [e2a (b-a)]**

Origine des données : BRGM (métro de Lille).

Nombre de résultats : 11 à 50.

Fraction inférieure à 2 µm : 30 à 40 %.

Sm = 80 à 85 %.

- **Dièves [c3ab-1]**

Origine des données : Deconinck *et al.* (1989) ; Deconinck *et al.* (2000) ; Deconinck *et al.* (1991).

Nombre de résultats : plus de 50.

Dans l'ensemble du Bassin de Paris, les dépôts d'âge Crétacé supérieur, depuis les marnes argileuses (dièves) du Cénomanién inférieur (phase carbonatée inférieure à 70 %) jusqu'aux craies blanches dites pures du Campanien (phase carbonatée supérieure à 97 %), sont caractérisés par une fraction argileuse essentiellement smectitique (70 à 90 %). Toutefois, dans le Boulonnais (département du Pas-de-Calais), les résultats sont quelque peu différents :

Cénomanién inférieur : fraction non carbonatée (fnc) = 20 à 50 % ; Sm = 60 à 90 % ;

Cénomanién moyen à Turonien inférieur : fnc = 10 à 20 % ; Sm = 20 à 40 % ;

Turonien moyen : fnc = 5 à 10 % ; Sm = 60 à 95 %.

- **Argile du Gault [n6G]**

Origine des données : Debrabant *et al.* (1992) ; Holtzappel (1985).

Nombre de résultats : non précisé.

Sm = 65 à 85 %.

Origine des données : BRGM.

Fraction inférieure à 2 µm : 50 % ; CaCO₃ : moins de 50 à 60 %.

Sm = dominante (> 50 %).

- **Wealdien [n4W-3]**

Origine des données : Ndiaye (1975) ; Yans *et al.* (2002)

Nombre de résultats : non précisé.

Sm et Sm/C = 0 à localement 75 % (Sm = 50 à 80 % en Belgique) ; I = 20 % max, mais « dominante avec la Kaolinite » dans le Boulonnais ; K = 20 à 50 % (Belgique).

- **Argiles de La Crèche et de Wimereux [j9b-7a]**

Origine des données : Deconinck *et al.* (1982) ; Deconinck *et al.* (1996)

Nombre de résultats : 11 à 50.

Argiles Wimereux : Sm = 5 % ; I = 50 % ; K = 25 % ; Interstratifiés = 10 % ; C = 10 %

Argiles La Crèche : Sm = 55 % ; I = 25 % ; K = 10 % ; Interstratifiés = 5 % ; C = 5 %

Origine des données : BRGM

Nombre de résultats : 3.

Fraction inférieure à 2 µm : 11,4 % (Argiles La Crèche) ; 19,9 % (Argiles Wimereux).

Argiles Wimereux : Sm = 5-25 % ; I = 35-45 % ; K = 30-35 % ; Interstratifiés = 5-10 % ; C = 5 %

Argiles La Crèche : Sm = 45 % ; I = 35 % ; K = 15% ; C = 5 %

- **Argiles de Châtillon [j8c-(6-7a)]**

Origine des données : Deconinck *et al.* (1982) ; Debrabant, *et al.* (1994) ; El Albani *et al.* (1993).

Nombre de résultats : 11 à 50.

Fraction inférieure à 2 µm : 7 à 24 % pour les argiles grises et 8 à 10 % pour les argiles noires.

Sm = 5 à 85 % au sommet ; Sm/I = 0-30 % ; I = 30-60 % ; K = 10-40 % ; C = 5-15 %.

- **Argiles du Moulin-Wibert [j8a-6W]**

Origine des données : Deconinck *et al.* (1982) ; Deconinck *et al.* (1996).

Nombre de résultats : 11 à 50.

Sm = 20 à 80 % au sommet ; Sm/I = 0-5 % ; I = 10-40 % ; K = 5-15 % ; C = 5%.

Origine des données : BRGM

Nombre de résultats : 1.

Fraction inférieure à 2 µm : 14,6 %.

Sm = 5 % ; Sm/I = 0 % ; I = 35 % ; K = 55 % ; C = 5 %.

- **Argiles du Callovien-Oxfordien [j6-3]**

Origine des données : Schnyder *et al.* (2000) ; ANTEA ; Travaux du tunnel sous la manche (1984 à 1996) ; forage SCP8 (Sud d'Echinghem) ; Forage APO 1 bis (Boulogne-sur-Mer) ; échantillonnage spécifique BRGM.

Nombre de résultats : plus de 50.

Argiles du Mont-des-Boucards

Fraction inférieure à 4 µm : 13 à 60 %

Sm/I = 15-90 % ; I = 10-50 % ; K = 30-40 % ; C = 0-5 %.

Argile de Selles

Fraction inférieure à 4 µm : 20-55 % ; Sm/I = 20-90 % ; I = 2-25 % ; K = 0-40 % ;

C = 2-5 %.

Marnes à Millecrinus horridus

Sm dominante.

Argiles du Coquillot

4 échantillons spécifiques BRGM (photo de la coupe et position des échantillons en annexe)

Fraction inférieure à 2 µm : 9,8 à 16,3 %

Échantillon base : Sm = 5 % ; Interstratifiés = 15 % ; I = 40 % ; K = 30 % ; C = 10 % ;

Échantillons 1-2-3 : Sm = 80-90 % ; I = 10-15 % ; K = 0-10 % ; C = 0-5 %.

Argiles de Montaubert

Fraction inférieure à 2 µm : 12,7 %

Interstratifiés : 15 % ; I : 35 % ; K : 40 % ; C : 10 %.

Marne ferrugineuse de Belle : aucune donnée.

- **Schistes [h-d1]**

Origine des données : Lefrançois *et al.* (1993) ; Chamley (1988).

Nombre de résultats : plus de 50.

La Formation de Beaulieu (Frasnien inférieur - Dévonien supérieur) et la Formation d'Hydrequent (Frasnien supérieur et Famennien - Dévonien supérieur) contiennent des cortèges argileux dominés par l'illite (60 %) et la chlorite (20 à 25 %). Les proportions de vermiculite et de smectite sont faibles à très faibles.

La Formation de Blacourt (calcaires massifs et passées argileuses, Givétien, Dévonien moyen) présente des caractéristiques similaires, l'illite est le plus souvent associée à la chlorite constituant ainsi 75 à 95 % des minéraux argileux.

Dans le département du Nord, aux sondages de Jeumont-1 et d'Épinoy-1 (Bouquillon *et al.*, 1987), les différents terrains traversés, du Lochkovien (= Gédinien, Dévonien inférieur) au Westphalien (Carbonifère supérieur), ont livré les résultats respectifs suivants :

Sm = 0 à 25 % ; I = 60 à 80 % ; K = 0 à 10 % ; C = 0 à 40 % ; interstratifiés en traces ;

I = 70 à 90 % ; C = 10 à 30 %.

Les dépôts carbonatés (calcaires et dolomies) du Viséen (Carbonifère inférieur) de l'Avesnois (Nord) ont fait l'objet d'une analyse minéralogique portant notamment sur leur phase argileuse. Celle-ci, bien que très réduite, renferme essentiellement de la kaolinite, de la chlorite et de l'illite. La corrensite (interstratifié chlorite-smectite)

présente une teneur en feuillets chloritiques de 65 à 90 % (Huyghe et Trentesaux, 1992).

La synthèse de ces données aboutit à l'attribution des notes minéralogiques suivantes (illustration 9) :

n°	Code	Formation	Note Minéralogique
1	C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	
2	Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	4
3	Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	
4	Fz3	Alluvions modernes Artois	
5	MzD	Assise de Dunkerque	4
6	Tz	Tourbe supérieure	
7	MzC	Assise de Calais	2
8	Fy	Alluvions anciennes	
9	OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	3
10	OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	
11	OE/Cr	Limons des Plateaux	2
12	OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	2
13	e4-2c	Argiles des Flandres	4
14	e2a (b-a)	Argile de Louvil	4
15	c3ab-1	Dièves	3
16	n6G	Argiles du Gault	3
17	n4W-3	Wealdien	2
18	j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	2
19	j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	2
20	j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	2
21	j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	2
22	h-d1	Schistes	1

Illustration 9 – Note minéralogique des formations argileuses retenues

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 (Wn)

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 (Ip)

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

On considère généralement que la susceptibilité d'une argile au retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité Ip de la manière suivante :

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

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.*, 1996) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (Vb) :

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

Les valeurs au bleu disponibles pour certaines formations concernées dans la présente étude se sont révélées assez nombreuses. Ce paramètre permet, avec le concours avantageux des limites d'Atterberg, une analyse statistique du comportement au retrait-gonflement.

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.

Les seules données de retrait linéaire recueillies dans le cadre de la présente étude ont été obtenues auprès de Solen Géotechnique.

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

5.4.6. Caractérisation géotechnique

Les principales données géotechniques recueillies lors de l'étude sont issues de la consultation des très nombreux rapports d'expertise auxquels nous avons eu accès. Elles ont été synthétisées dans le tableau de l'illustration 10

- Indice de plasticité : 702 données ont été recueillies, provenant du traitement de dossiers du CETE (682), des bureaux d'études Sols-Études-Fondations, Fondasol et Antéa (11) et du BRGM (9) ;
- Retrait linéaire : 8 données ont été recueillies d'après les dossiers du bureau d'étude Solen Géotechnique ;
- Valeur de bleu : 98 données ont été recueillies d'après les dossiers du CETE (13), des bureaux d'études Sols-Études-Fondations et Antéa (76), et du BRGM (9)

FORMATIONS GÉOLOGIQUES		INDICE DE PLASTICITÉ			RETRAIT LINÉAIRE			VALEUR AU BLEU		
Code	Noms	nbre	fourchette	IP moyen	nbre	fourchette	RI moyen	nbre	fourchette	Vb moyen
C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	50	7 à 39	13,5						
Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	27	8 à 25	17,3						
Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	2	12 à 17	14,5						
Fz3	Alluvions modernes Artois	92	7 à 50	16,2				4	0,1 à 0,9	0,6
MzD	Assise de Dunkerque	23	7 à 47	18						
Tz	Tourbe supérieure	4	9 à 43	26,3						
MzC	Assise de Calais									
Fy	Alluvions anciennes	1	12	12						
OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	97	7 à 36	13,6	2	0,3 et 0,4	0,4	3	2,2 à 3	2,5
OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	39	11 à 47	21,8	2	0,6 à 0,8	0,7	2	7,2 et 6,5	6,9
OE/Cr	Limons des Plateaux	181	4 à 46	14,2				7	0,8 à 4	2,4
OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	111	8,5 à 63	27,3						
e4-2c	Argiles des Flandres	19	32 à 84,1	47,8	4	0,6 à 1,3	0,9	66	4 à 18,4	10,8
e2a (b-a)	Argile de Louvil	33	24 à 68	46,2				5	8 à 13	10,2
c3ab-1	Dièves	5	11,5 à 16	13						
n6G	Argiles du Gault	2	26 et 35	30,5				2	10 et 10	10
n4W-3	Wealdien									
j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	6	23 à 28	25,8				3	3,6 à 5,1	4,5
j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	4	25 à 34	29,8						
j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	1	17	17				1	3,3	3,3
j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	5	14 à 31	25,4				5	2,6 à 9	6,9
h-d1	Schistes									

Illustration 10 - Données géotechniques (Indice de plasticité, Retrait linéaire, Valeurs au bleu)

La synthèse des données géotechniques recueillies par formation est présentée dans le tableau de l'illustration 11

En définitive, les données dont nous avons pu disposer permettent de caractériser la presque totalité des formations à l'exception de l'Assise de Calais (MzC), du Wealdien (n4W-3) et des Schistes (h-d1).

n°	Code	Formation	Note Géotechnique
1	C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	2
2	Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	2
3	Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	2
4	Fz3	Alluvions modernes Artois	2
5	MzD	Assise de Dunkerque	2
6	Tz	Tourbe supérieure	3
7	MzC	Assise de Calais	
8	Fy	Alluvions anciennes	1
9	OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	2
10	OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	3
11	OE/Cr	Limons des Plateaux	2
12	OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	3
13	e4-2c	Argiles des Flandres	4
14	e2a (b-a)	Argile de Louvil	4
15	c3ab-1	Dièves	2
16	n6G	Argiles du Gault	4
17	n4W-3	Wealdien	
18	j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	2
19	j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	3
20	j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	2
21	j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	3
22	h-d1	Schistes	

Illustration 11– Note géotechnique des formations argileuses retenues

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
$2 < \text{valeur} \leq 3$	moyen
valeur > 3	fort

6.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

L'illustration 13 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 12.

La carte départementale de susceptibilité a été établie à partir de la carte interprétée des formations potentiellement favorables au phénomène de retrait-gonflement en attribuant à chacune des formations géologiques la classe de susceptibilité définie ci-dessus. Cette carte est également présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/135 000. Les formations sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur degré de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

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

n°	Code	Formation	Litho	Miné	Géotech	Moyenne	Susceptibilité
1	C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	2		2	2	faible
2	Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	3	4	2	3	moyenne
3	Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	2		2	2	faible
4	Fz3	Alluvions modernes Artois	1		2	1,5	faible
5	MzD	Assise de Dunkerque	2	4	2	2,67	moyenne
6	Tz	Tourbe supérieure	4		3	3,5	forte
7	MzC	Assise de Calais	2	2		2	faible
8	Fy	Alluvions anciennes	1		1	1	faible
9	OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	3	3	2	2,67	moyenne
10	OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	3		3	3	moyenne
11	OE/Cr	Limons des Plateaux	1	2	2	1,67	faible
12	OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	3	2	3	2,67	moyenne
13	e4-2c	Argiles des Flandres	4	4	4	4	forte
14	e2a (b-a)	Argile de Louvil	4	4	4	4	forte
15	c3ab-1	Dièves	3	3	2	2,67	moyenne
16	n6G	Argiles du Gault	4	3	4	3,67	forte
17	n4W-3	Wealdien	3	2		2,5	moyenne
18	j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	4	2	2	2,67	moyenne
19	j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	3	2	3	2,67	moyenne
20	j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	3	2	2	2,33	moyenne
21	j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	3	2	3	2,67	moyenne
22	h-d1	Schistes	1	1		1	faible

Illustration 12- Susceptibilité des formations argileuses retenues

6.3. SYNTHÈSE

Les formations fortement susceptibles couvrent 2,8 % de la superficie du département. Quatre formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit :

- de la *Tourbe supérieure* (Tz) ;
- de l'*Argile des Flandres* (e4-2c) ;
- de l'*Argile de Louvil* (e2a (b-a)) ;
- des *Argiles du Gault* (n6G).

Les formations moyennement susceptibles couvrent 22,2 % de la superficie du département. Onze formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit :

- des *Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies* (Fz1) ;
- de l'*Assise de Dunkerque* (MzD) ;

- des *Limons des Flandres-Lys* (OE/e4-2) ;
- des *Limons argileux à silex des Flandres-Lys* (OE-S/e4-2) ;
- des *Limons argileux à silex des Plateaux* (OE-S/Cr) ;
- des *Dièves* (c3ab-1) ;
- du *Wealdien* (n4W-3) ;
- des *Argiles de la Crêche-Wimereux* (j9b-7a) ;
- des *Argiles de Châtillon* (j8c-(6-7a)) ;
- des *Argiles du Moulin-Wibert* (j8a-6W) ;
- des *Argiles du Callovien-Oxfordien* (j6-3).

Les formations faiblement susceptibles couvrent 55,8 % de la superficie du département. Sept formations ont été rattachées à cette catégorie, il s'agit :

- des *Colluvions et Limons de lavage* (C-Lv) ;
- des *Alluvions modernes Boulonnais* (Fz2) ;
- des *Alluvions modernes Artois* (Fz3) ;
- de l'*Assise de Calais* (MzC) ;
- des *Alluvions anciennes* (Fy) ;
- des *Limons des Plateaux* (OE/Cr) ;
- des *Schistes* (h-d1).

Il est à noter que les formations *a priori* non argileuses occupent 19,2 % de la surface du département. Cette valeur est assez importante, la superficie de la zone côtière du Pas-de-Calais n'étant pas négligeable avec de nombreux cordons sableux et dunes. Les surfaces figurant en blanc sur la carte de susceptibilité ne peuvent être cependant considérées comme présentant en tous points une susceptibilité nulle, car des placages argileux ponctuels non figurés sur les cartes géologiques actuelles peuvent être rencontrés localement.

Rappelons que la *Tourbe supérieure* (Tz), occupant 0,6 % du territoire, a été incluse dans les formations susceptibles au retrait-gonflement, bien que les phénomènes en cause y soient de nature sensiblement différente.

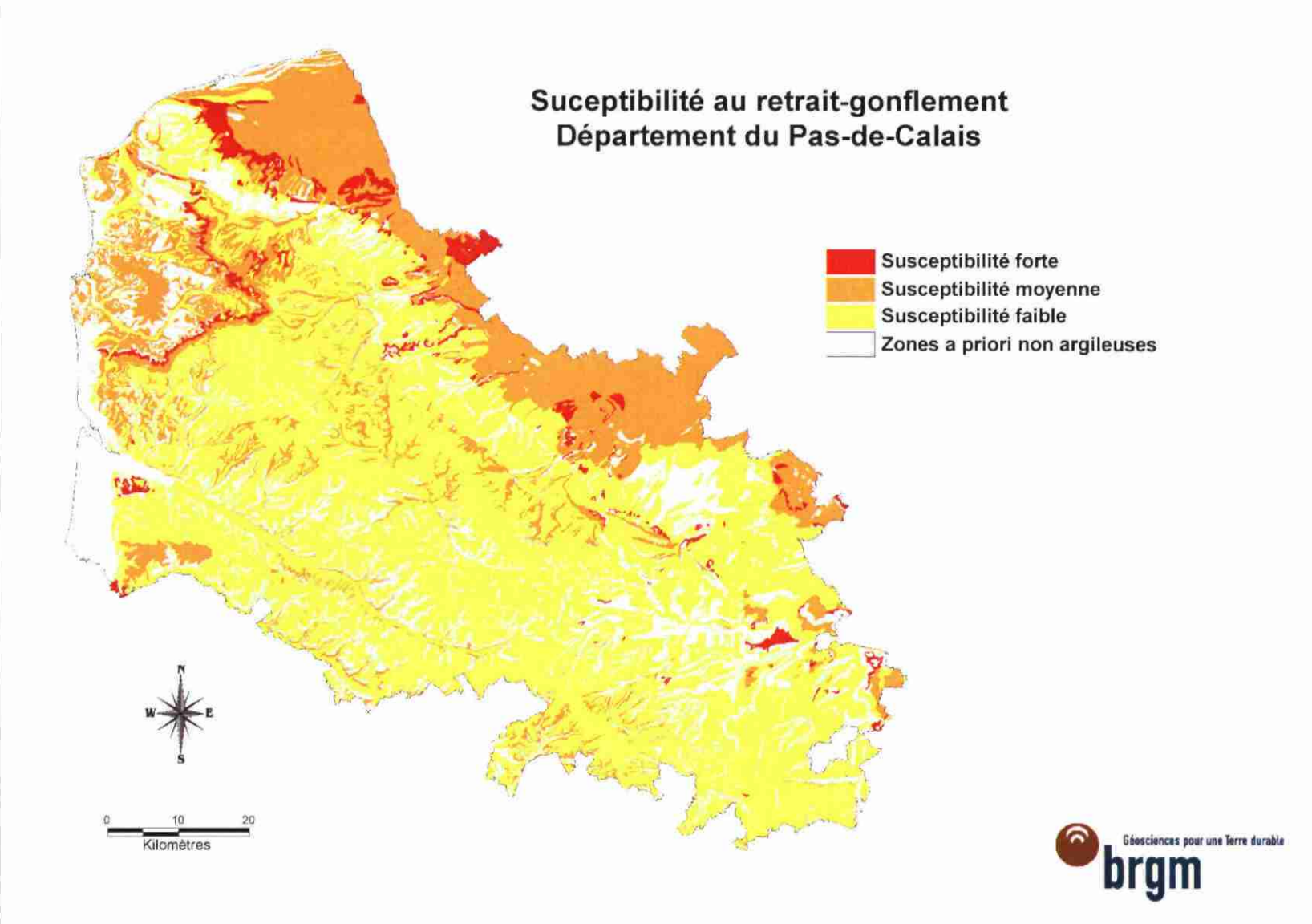


Illustration 13- Carte de susceptibilité au retrait-gonflement. Département du Pas-de-Calais.

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.

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

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

7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES

7.2.1. Localisation des communes sinistrées

Dans le Pas-de-Calais, à fin octobre 2005, 106 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 juin 1998.

A ce jour, aucun arrêté n'a été pris pour des périodes postérieures, notamment pour la sécheresse de 2003. Pour ce dernier événement, 70 communes ont fait une demande.

Les 106 communes déjà reconnues représentent 12 % des 894 communes du département et couvrent près de 17 % de sa superficie totale. Ce taux de sinistralité est bien inférieur à celui de l'autre département de la région (Nord, 59) qui atteint 34 %.

Au total, 36 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris à ce jour dans le département du Pas-de-Calais. Le nombre total d'occurrences reconnues, en distinguant par commune et par période, s'élève à 162 (644 pour le département du Nord). L'illustration 14 permet d'observer l'évolution du nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse dans le département entre le 31/08/1990 et le 30/04/2003 (premier et dernier arrêtés pris en compte dans la présente étude). Hormis l'arrêté du 14/01/1992, par lequel 52 communes ont été reconnues simultanément, le nombre de communes concernées par chaque arrêté reste limité (1 à 13).

Arrêtés interministériels	nombre de communes	Arrêtés interministériels	nombre de communes
31/08/1990	13	03/11/1997	2
14/01/1992	52	17/12/1997	3
25/01/1993	13	12/03/1998	7
16/08/1993	1	12/06/1998	7
06/12/1993	3	15/07/1998	2
27/05/1994	1	18/09/1998	1
08/09/1994	1	22/10/1998	1
03/05/1995	2	29/12/1998	6
18/08/1995	2	21/01/1999	1
28/09/1995	2	23/02/1999	1
02/02/1996	1	19/03/1999	2
18/03/1996	1	19/05/1999	1
17/06/1996	1	21/07/1999	2
17/07/1996	1	27/12/2000	13
01/10/1996	1	06/07/2001	1
09/12/1996	5	15/11/2001	4
28/05/1997	1	12/03/2002	1
19/09/1997	4	30/04/2003	2

Illustration 14 - Arrêtés interministériels et occurrences

D'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance (février 2005), ce nombre d'occurrences reconnues place le département à la 20^{ème} position des départements français les plus touchés, loin derrière certains du Sud-Ouest (889 occurrences reconnues dans le Gers, 829 en Haute-Garonne, 740 en Dordogne, par exemple) et du Nord. Si l'on se réfère au classement des départements français en terme de coût d'indemnisation, le Pas-de-Calais occupe la 26^{ème} place (le Nord est 10^{ème}), derrière les départements très urbanisés de la région parisienne. Ce décalage s'explique en partie seulement par le taux d'urbanisation relativement plus faible du Pas-de-Calais, mais également par la nature des terrains affleurants.

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 parution au Journal Officiel. La carte de l'illustration 15 permet de localiser les 106 communes qui ont fait l'objet d'au moins un arrêté de reconnaissance à ce jour, ainsi que le nombre respectif de sinistres localisés dans le cadre de la présente étude.

Cette carte illustre la position des communes reconnues en état de catastrophe naturelle pour le retrait-gonflement des argiles, situées dans des secteurs bien particuliers du département :

- la frange nord-est correspond à la transition entre l'Artois et la Flandre. La proportion de communes sinistrées y est très élevée ;
- l'ouest, constituant le deuxième pôle de sinistre, correspond à la boutonnière du Boulonnais. La densité de communes sinistrées y est également élevée ;

le reste du département est très peu touché dans son ensemble, et les communes sinistrées sont très isolées.

La carte de l'illustration 16 présente le nombre total de mois de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour les communes concernées.

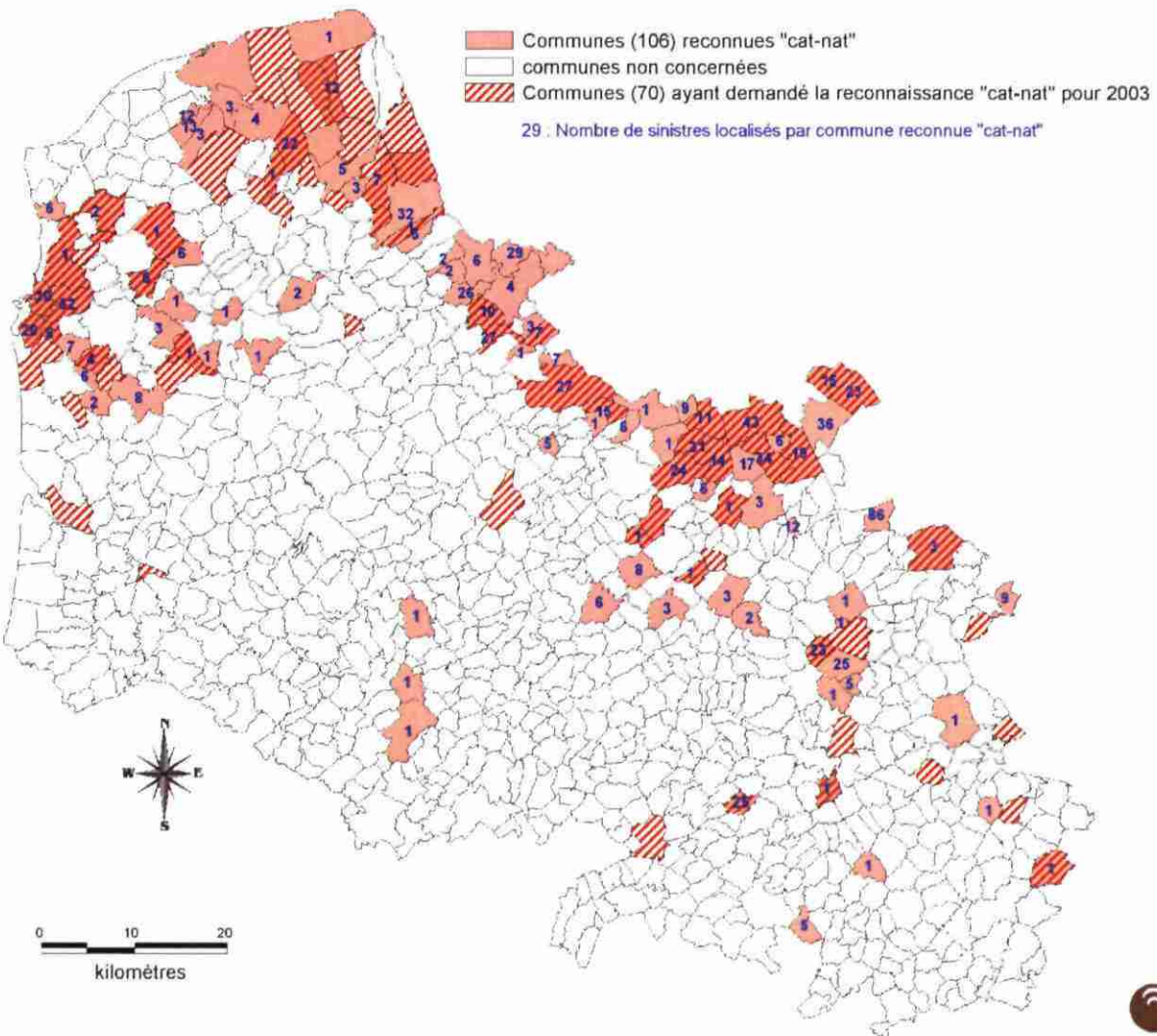


Illustration 15 - Localisation des communes concernées par des arrêtés ou des demandes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et nombre de sinistres recensés et localisés

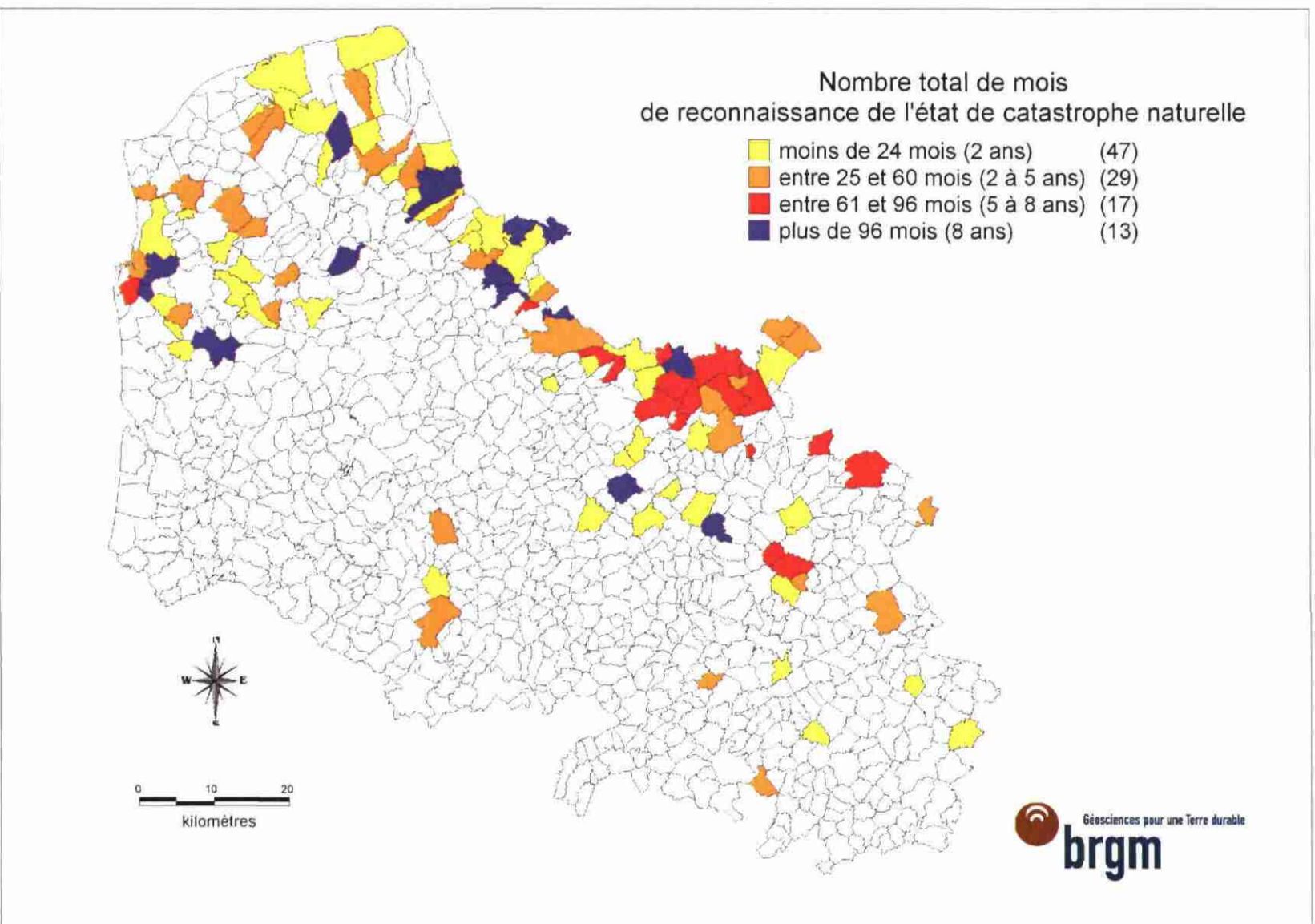


Illustration 16 - Durée totale (mois) de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

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

Sur les 106 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle, 66 d'entre elles (62 %) ont fait l'objet d'un seul arrêté, 25 (24 %) de deux arrêtés, 14 (13 %) de trois arrêtés et 1 seule (1 %) de quatre arrêtés (Mont Bernanchon).

Ceci est important au regard de la mise en application du système de modulation de franchise mis en place en septembre 2000 et qui prévoit une augmentation de la franchise à chaque nouvel arrêté (compté désormais sur les 5 dernières années, suite à l'arrêté du 4 août 2003, et non plus depuis 1995 comme initialement), à défaut d'élaboration de documents de prévention de type Plans de Prévention des Risques naturels (PPR).

Les données fournies en annexe 2 et synthétisées sur l'illustration 18 indiquent par ailleurs que la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle varie fortement d'une commune à l'autre et d'un arrêté à l'autre. Certains arrêtés couvrent des périodes de plusieurs années consécutives, d'autres concernent quelques mois seulement. C'est pourquoi il est apparu préférable de raisonner non pas seulement en nombre d'arrêtés par commune mais plutôt en nombre de mois reconnus par commune.

L'analyse de ces données indique que pour de nombreuses communes, les périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ont été continues : la fin d'une période correspondant à un arrêté était immédiatement suivie par le début de la période concernée par l'arrêté suivant. 13 communes (12,3 %) ont ainsi été reconnues pendant au moins 8 ans, c'est-à-dire de façon quasi-continue entre mai 1989 et juin 1998, et 10 d'entre elles de façon continue sur cette même période. 17 communes (16 %) ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pendant une durée totale de 5 à 8 ans. 47 communes concernées (44,3 %) ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour une durée totale inférieure à 2 ans.

Deux périodes « sèches » majeures sont ainsi mises en évidence. Les années 1989-1990, d'une part, pour lesquelles respectivement 69 et 65 communes ont été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse et, à un degré moindre, les années 1995-1996, d'autre part, avec 41 et 57 communes reconnues (illustration 17).

Il faut noter que certaines déclarations de sinistres sont tardives, ce qui peut en partie expliquer que les périodes de déficit hydrique et les dates de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne soient pas vraiment corrélées. En effet, après une période de dessiccation intense et profonde des sols, le retour à un état hydrique normal est lent et il subsiste souvent en profondeur des zones de sol argileux anormalement desséchées qui restent sensibles à des variations saisonnières, même de faible amplitude. En d'autres termes, un déficit hydrique intense est nécessaire pour amorcer les premiers mouvements différentiels du sol mais ensuite, la structure du sol et du bâti ayant été fragilisée, de faibles amplitudes hydriques suffisent à provoquer la réouverture ou l'aggravation des premières fissures. C'est pourquoi certains

propriétaires réagissent avec retard et déclarent des sinistres à une période où les précipitations sont revenues à un niveau normal.

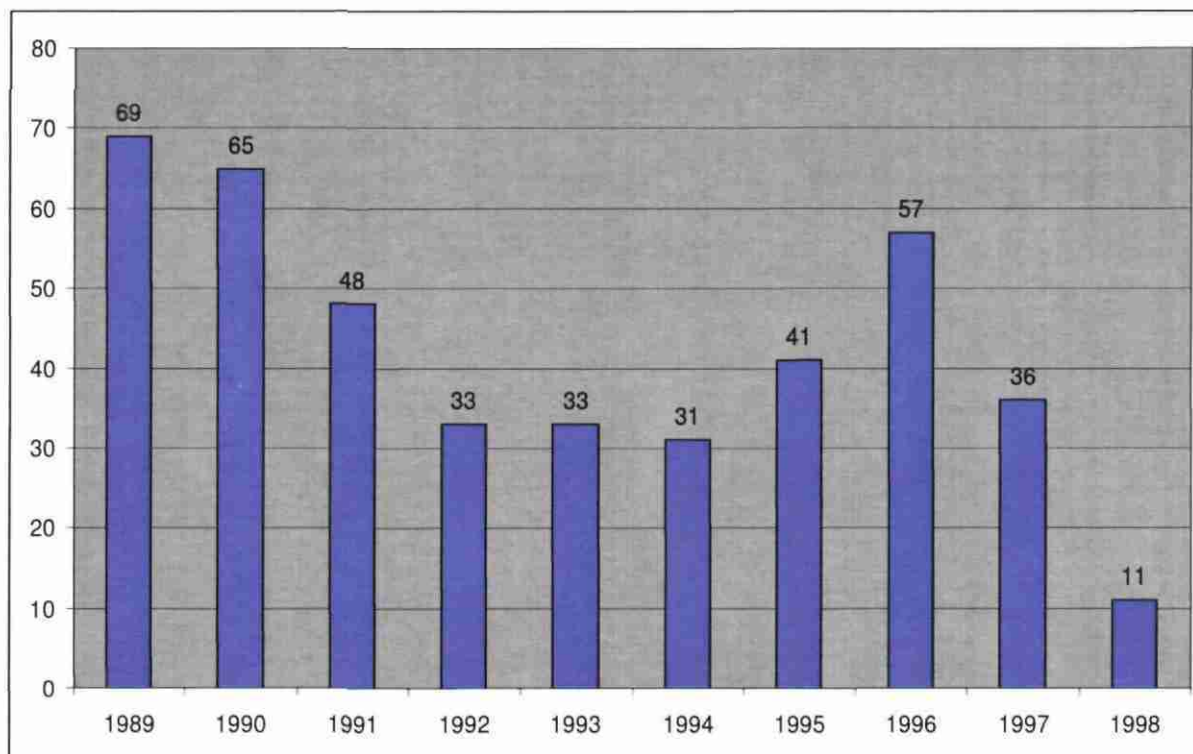


Illustration 17 – Nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse pour la période 1989-2004

7.3. COLLECTE DES DONNÉES DE SINISTRES

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de sources d'informations complémentaires, à savoir la consultation des dossiers de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle archivés au Service départemental de Défense et de Protection Civile (Arras), l'enquête auprès des communes touchées par le phénomène, et le recueil des données auprès de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), de mutuelles d'assurances (MAAF, MAIF), du CETE, de différents bureaux d'études géotechniques (Solen, Antea), ainsi que du BRGM. Quelques sinistres recensés n'ont pas pu être intégrés, faute de précision sur le nom et l'adresse du sinistré.

L'enquête effectuée auprès de toutes les communes qui ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour le phénomène s'est faite par envoi d'un courrier adressé aux maires par l'intermédiaire de la Préfecture du Pas-de-Calais. Les réponses sont parvenues entre le printemps et la fin de l'été 2004.

Le taux de réponse a été excellent puisqu'au final il n'y a que 7 communes sur 106 pour lesquelles la donnée de sinistre n'est pas disponible, soit un taux d'échec de 6,6%.

Les doublons (sinistres successifs sur le même site ou donnée redondante issue de sources parallèles) ont été éliminés.

Finalement, 982 sites de sinistres ont été recensés et 974 (soit 99,2 %) ont pu être localisés avec précision. La localisation des sinistres a été effectuée sur fonds topographiques de l'IGN à 1/25 000. Ce travail a été réalisé grâce aux plans de localisation renvoyés par les communes, ou figurant dans les dossiers préfectoraux et ceux des différents bureaux d'étude, ainsi que par la consultation du site internet www.mappy.fr. Ils se répartissent dans 99 communes du département, soit plus de 93 % des 106 communes déjà reconnues.

Ce résultat est largement représentatif de la sinistralité du département, même si ce nombre total de sinistres est peu élevé au regard de la taille du département et en comparaison avec l'autre département de la région (2 277 sinistres recensés dans le Nord).

Le nombre de sinistres par commune est très variable (illustration 16) : 47 % des communes où des sinistres ont été recensés présentent moins de 5 sinistres ; 23 % en comptent entre 5 et 9 ; 23 % entre 10 et 29 ; 5 % entre 31 et 43 ; 2 communes (2 %) se détachent avec un nombre de sinistres plus élevé : Saint-Martin de Boulogne (52 sinistres) et Billy-Berclau (86 sinistres). Ces deux communes comptent ainsi à elles seules 14,2 % de l'ensemble des 974 sinistres localisés.

Nous n'avons pu obtenir aucune donnée pour 7 des 106 communes concernées par un arrêté de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.

Cette répartition des sinistres par commune indique qu'il n'y a pas de concentration excessive de sinistres sur un petit nombre de communes et que les données ainsi récoltées sont représentatives de la répartition spatiale du phénomène.

D'un point de vue géographique, les communes les plus sinistrées sont majoritairement présentes dans la frange nord-est, bordant le département du Nord (Plaine Maritime, Flandre Intérieure). Saint-Martin de Boulogne et Outreau (respectivement 52 et 20 sinistres) sont situées dans le deuxième pôle concerné par les sinistres de retrait-gonflement en Pas-de-Calais (Boulonnais).

Finalement, ces données indiquent que la répartition géographique des sinistres est très 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 n'apparaissent pas dans ce tableau.

Il apparaît ainsi que 98 % des sinistres sont localisés sur des formations identifiées comme argileuses, marneuses ou tourbeuses, mais il est vrai que ces dernières occupent 80,8 % de la surface du département (illustration 19).

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais

NOM	nb arrêtés par commune	nb total mois reconnus cat.nat	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
ACHIEZ-LE-PETIT	1	25										
AIRE-SUR-LA-LYS	1	36										
ALINCHUN	1	20										
ALQUINES	2	110										
AMBLÈTEUSE	1	36										
ARDRES	3	99										
ARQUES	2	16										
BAYENGHEM-LÈS-EPERLECCQUE	1	20										
BEAUMETZ-LÈS-LOGES	1	30										
BEURAINS	1	12										
BELLE-ET-HOULLEFORT	1	20										
BÉTHUNE	1	20										
BELVRY	1	25										
BILLY-BERCLAU	1	80										
BLANGY-SUR-TERNOISE	1	32										
BLÉNDECCQUES	3	103										
BOULOGNE-SUR MER	2	32										
BOURLON	1	12										
BOURBIN	1	53										
BOUVIGNY-BOYEFFLES	3	110										
BRÈMES-LÈS-ARDRES	1	12										
BRUNEMBERT	1	36										
CALAIS	1	20										
CALONNE-SUR-LA-LYS	3	104										
CAMBRIN	2	90										
CARVIN	2	93										
CLAIRMARAIS	3	103										
COULOGNE	1	12										
CRÈMAREST	1	20										
DESVRES	1	4										
DIÉVAL	1	12										
DIVION	2	110										
ELEU-DIT-LEAUWETTE	1	20										
EPERLECCQUES	3	110										
FARBUS	1	25										
FILLIÈVRES	1	25										
FLEURBAIX	2	32										
GIVENCHY-EN-GOHELLE	3	92										
GONNEHEM	2	93										
GUARBECCQUE	2	84										
HAMES-BOUCRES	1	32										
HERSIN-COUPIGNY	1	20										
HESDIGNEUL-LÈS-BOULOGNE	1	20										
HESDIN-L'ABBÉ	3	58										
HEURINGHEM	3	103										
HINGES	3	92										
HOULLE	1	4										
ISBERGUES	2	93										
ISQUES	1	12										
LA COUTURE	3	93										
LAPUGNOY	1	20										
LAVENTIE	1	12										
LEFOREST	1	36										
LENS	1	12										
LES ATTAQUES	1	9										
LESTREM	2	93										
LINGHEM	1	12										
LOCON	2	44										
LONGUENESSE	2	32										
LOTTINGHEM	1	12										
MARLES-LÈS-MINES	1	12										
MARQUISE	1	25										
MENNEVILLE	2	32										
MOLINGHEM	1	12										
MONT-BERNANCHON	4	79										
MOULLE	1	32										
MUNCO-NIEURLET	3	31										
NIELLES-LÈS-CALAIS	1	20										
NORTKERQUE	1	20										
NOUVELLE-ÉGLISE	1	12										
OFFEKERQUE	2	56										
OFFRETHUN	1	20										
OUTREAU	2	93										
OYE-PLAGE	1	12										
QUIESTÈDE	1	63										
RACQUINGHEM	2	32										
REBREUVE-RANCHICOURT	1	12										

NOM	nb arrêtés par commune	nb total mois reconnus cat nat	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
RECOQUES-SUR-HEM	1	20										
RETY	1	33										
RICHEBOURG	3	93										
ROBECQ	1	12										
RUITZ	1	2										
RUMINGHEM	2	19										
SAILLY-SUR-LA-LYS	2	32										
SAINT-FLORIS	1	66										
SAINT-LÉGER	1	20										
SAINT-LÉONARD	3	109										
SAINT-MARTIN-AU-LAERT	2	16										
SAINT-MARTIN-BOULOGNE	2	110										
SAINT-OMER	1	20										
SAINT-TRICAT	1	32										
SAINT-VENANT	1	20										
SALPERWICK	1	4										
SAMER	1	110										
SAUDEMONT	1	12										
THELUS	1	20										
VENDIN-LÈS-BÉTHUNE	2	68										
VERLINC'HUIN	1	20										
VIILLE-CHAPELLE	1	25										
VIMY	1	80										
VITRY-EN-ARTOIS	2	32										
WARDRECQUES	1	20										
WILLEMAN	1	12										
WIMILLE	1	12										
WITTES	2	104										
ZUTKERQUE	2	32										

Illustration 18 – Périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle

Ces résultats témoignent de l'excellente corrélation entre la carte de répartition des sinistres et celle des faciès argileux, ce qui avait déjà été observé lors de l'étude menée pour le département du Nord où la même méthodologie a été appliquée.

Rappelons toutefois que certaines formations considérées comme a priori non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non cartographiés. Ceci concerne notamment des colluvions superficiels 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, trois présentent chacune plus de 100 sinistres :

- *Limons des Flandres-Lys* (312 sinistres),
- *Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies* (186),
- *Limons des Plateaux* (133 sinistres)

Il faut cependant noter que les *Limons des Plateaux* affleurent très largement sur le département dont ils couvrent 45 % de la surface totale, ce qui traduit en réalité une très faible densité de sinistres sur cette formation.

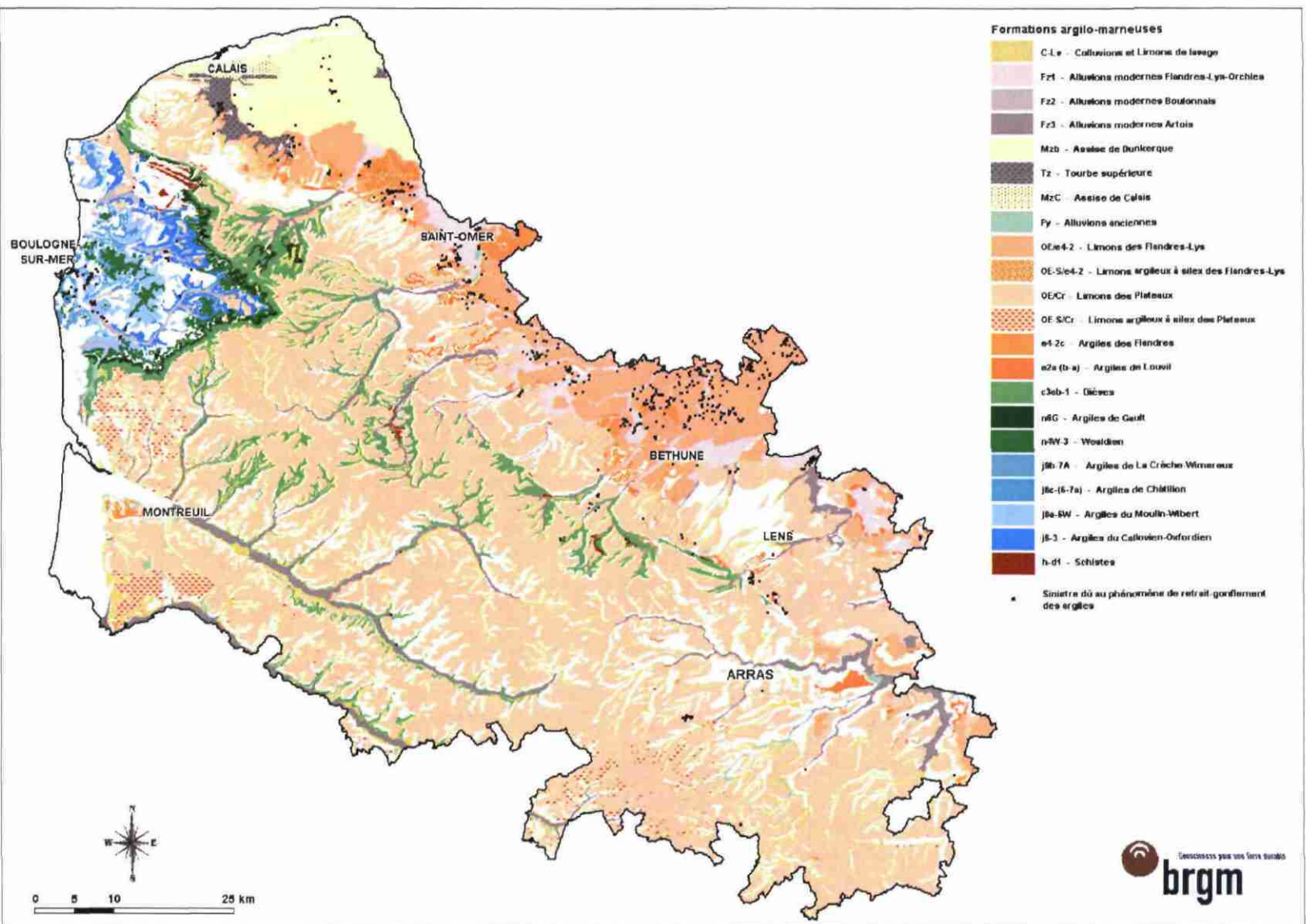


Illustration 19 – Répartition géographique des sinistres recensés et localisés.

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

- les *Argiles de Châtillon* (167),
- les *Limons argileux à silex des Flandres-Lys* (135),
- les *Argiles de La Crèche-Wimereux* (112),
- les *Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies* (102).

L'*Argile des Flandres* est en cinquième position, avec 92 sinistres pour 100 km².

Parmi les formations argileuses et marneuses, les *Alluvions anciennes*, l'*Assise de Calais* et les *Limons argileux à silex des Plateaux* ne comptent aucun sinistre recensé.

7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE

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

Ainsi, les densités de sinistres par formation géologique ont été ramenées 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 22 formations retenues, la surface d'affleurement qui se trouve être réellement urbanisée. Ces contours sont donnés à titre indicatif et peuvent présenter quelques décalages avec la réalité, notamment dans les secteurs urbanisés très récemment.

La surface totale des zones urbanisées du département a été ainsi estimée à 519,6 km², soit environ 7,8 % de la superficie totale, proportion inférieure à celle du département voisin du Nord, où l'urbanisation, évaluée de la même manière, s'étend sur 12,5 % du territoire.

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses, marneuses et tourbeuses, avec celle des zones urbanisées permet d'estimer la surface totale

occupée par les zones urbanisées dans les formations retenues à 369,4 km², soit environ 6,9 % 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 20.

FORMATIONS GÉOLOGIQUES		SINISTRES		AFFLEUREMENT		URBANISATION	
Code	Noms	nbre de sinistres	% sinistres	surface d'affleurement (km ²)	% d'affleurement	surface urbanisée (km ²) par formation	taux urbanisation %
C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	8	0,84%	396,63	5,95%	32,47	8,19%
Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	186	19,48%	182,05	2,73%	30,65	16,84%
Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	11	1,15%	41,85	0,63%	4,73	11,30%
Fz3	Alluvions modernes Artois	8	0,84%	222,25	3,33%	33,70	15,16%
MzD	Assise de Dunkerque	19	1,99%	223,00	3,34%	8,12	3,64%
Tz	Tourbe supérieure	28	2,93%	38,50	0,58%	4,30	11,17%
MzC	Assise de Calais	0	0,00%	14,51	0,22%	9,70	66,85%
Fy	Alluvions anciennes	0	0,00%	29,30	0,44%	3,49	11,91%
OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	312	32,67%	439,10	6,58%	41,09	9,36%
OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	36	3,77%	26,69	0,40%	2,68	10,04%
OE/Cr	Limons des Plateaux	133	13,93%	3 006,17	45,06%	157,83	5,25%
OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	0	0,00%	133,81	2,01%	2,87	2,14%
e4-2c	Argiles des Flandres	59	6,18%	64,17	0,96%	1,05	1,64%
e2a (b-a)	Argile de Louvil	32	3,35%	47,60	0,71%	7,93	16,66%
c3ab-1	Dièves	3	0,31%	287,36	4,31%	10,86	3,78%
n6G	Argiles du Gault	13	1,36%	32,60	0,49%	1,19	3,65%
n4W-3	Wealdien	2	0,21%	40,00	0,60%	2,75	6,88%
j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	15	1,57%	13,42	0,20%	3,21	23,92%
j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	33	3,46%	19,81	0,30%	2,96	14,94%
j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	46	4,82%	60,54	0,91%	5,95	9,83%
j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	9	0,94%	57,65	0,86%	0,50	0,87%
h-d1	Schistes	2	0,21%	10,56	0,16%	1,32	12,50%
Total formations retenues		955	98%	5 388	80,76%	369,35	
Formations non argileuses ni tourbeuses		19	2%	1 283	19,24%		
TOTAL		974	100%	6 671	100%		

Illustration 20 – Taux d'urbanisation et nombre de sinistres par formation

7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres

Les éléments précédents permettent de calculer des densités de sinistres par formation géologique, en prenant en compte la surface urbanisée de la formation. Les résultats indiquent que la prise en compte du taux d'urbanisation modifie sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques en terme de densité de sinistres, dans la mesure où le taux d'urbanisation varie d'une formation à l'autre (illustration 21).

Ainsi, la formation comptant une densité de sinistres ramenée à 100 km² de surface urbanisée la plus élevée est l'*Argile des Flandres*, qui n'était qu'en quatrième position avant la prise en compte de l'urbanisation effective.

La densité ainsi calculée est en moyenne pour les formations retenues comme argileuses de 704 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement urbanisé.

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

- *note 1* : moins de 704 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 704 et 1408 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à la moyenne des zones argileuses et inférieure à deux fois cette moyenne) ;
- *note 3* : plus de 1408 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à deux fois la moyenne).

Seules deux formations obtiennent une note de densité de sinistres de 3, l'*Argile des Flandres* et les *Argiles du Callovien-Oxfordien*. La susceptibilité est forte pour la première et moyenne pour la seconde. La *Tourbe supérieure* peut-être considérée comme étant caractérisée par une note de densité de sinistres de 2. En effet, avec 651 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation, elle est très proche du seuil moyen (704) ; de plus, elle présente généralement des caractéristiques de compressibilité telles qu'il est raisonnable de la surclasser, attirant ainsi l'attention toute particulière des acteurs locaux.

Concernant l'*Assise de Dunkerque*, quatre des sept communes pour lesquelles aucune donnée de sinistre n'a pu être recueillie se situent dans cette formation, ce qui implique que le nombre et donc la densité de sinistres retenus pour caractériser cette formation sont manifestement sous-estimés. Etant donné la forte urbanisation de certaines de ces communes, dont celle de Calais, et l'importance de la sinistralité rencontrée dans certaines communes voisines placées dans le même contexte géologique, il a été considéré que cette lacune d'informations était de nature à influencer de manière significative sur la note de sinistralité. Celle-ci a donc été rehaussée artificiellement d'un niveau et considérée comme égale à 2 (ce qui correspond à un minimum de 58 sinistres dont 19 ont été effectivement recensés).

FORMATIONS GÉOLOGIQUES		NOMBRE SINISTRES	SURFACE URBANISÉE (km ²)	SINISTRES POUR 100 km ² D'AFFLEUREMENT URBANISÉ	NOTE DENSITÉ DE SINISTRES
Code	Noms				
C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	8	32,47	25	1
Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	186	30,65	607	1
Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	11	4,73	233	1
Fz3	Alluvions modernes Artois	8	33,70	24	1
MzD	Assise de Dunkerque	19	8,12	234	2*
Tz	Tourbe supérieure	28	4,30	651	2
MzC	Assise de Calais	0	9,70	0	1
Fy	Alluvions anciennes	0	3,49	0	1
OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	312	41,09	759	2
OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	36	2,68	1 343	2
OE/Cr	Limons des Plateaux	133	157,83	84	1
OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	0	2,87	0	1
e4-2c	Argiles des Flandres	59	1,05	5 619	3
e2a (b-a)	Argile de Louvil	32	7,93	404	1
c3ab-1	Dièves	3	10,86	28	1
n6G	Argiles du Gault	13	1,19	1 092	2
n4W-3	Wealdien	2	2,75	73	1
j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	15	3,21	467	1
j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	33	2,96	1 115	2
j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	46	5,95	773	2
j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	9	0,50	1 800	3
h-d1	Schistes	2	1,32	152	1
TOTAUX		955	369,35		

MOYENNE	704
---------	-----

Illustration 21 – Sinistralité (densité de sinistres).

* : Sinistralité rehaussée de 1 à 2 du fait de l'absence de réponse de certaines communes concernées (cf. page 77).

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 prend donc 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. Selon la valeur de cette densité par rapport aux valeurs seuils, la note de densité de sinistres ainsi attribuée prend la valeur 1, 2 ou 3.

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

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

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

Le classement ainsi obtenu est présenté sur le tableau de l'illustration 22. Ainsi, seules trois formations ont été classées en aléa fort vis à vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles : il s'agit de la *Tourbe supérieure*, de l'*Argile des Flandres* et des *Argiles du Gault*, qui ont été caractérisées par une susceptibilité forte et dont les densités de sinistres ramenées à 100 km² de surface urbanisée sont relativement élevées. Ces trois formations couvrent 2,03 % de la superficie départementale.

Sept formations sont considérées en aléa moyen, résultant soit d'une susceptibilité forte avec peu de sinistres (pour l'*Argile de Louvil*), soit d'une susceptibilité moyenne associée à une densité de sinistres forte ou moyenne. Cinq de ces sept formations sont peu étendues (surfaces inférieures à 61 km²), les sixième (*Assise de Dunkerque*) et septième (*Limons des Flandres-Lys*) ayant respectivement une surface de 223 km² et de 439 km². Ces formations couvrent 13,1 % de la superficie départementale.

Douze formations sont considérées comme présentant un aléa faible vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Elles couvrent au total 65,64 % de la superficie départementale et comprennent notamment les *Limons des Plateaux* qui présentent une surface de 3006 km², soit 45 % du territoire départemental.

Code	Formation	surface d'affleurement (km ²)	% d'affleurement	Susceptibilité	Note Densité de Sinistres	INDICE D'ALÉA	ALÉA
C-Lv	Colluvions et Limons de lavage	396,63	5,95%	1	1	3	faible
Fz1	Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies	182,05	2,73%	2	1	5	faible
Fz2	Alluvions modernes Boulonnais	41,85	0,63%	1	1	3	faible
Fz3	Alluvions modernes Artois	222,25	3,33%	1	1	3	faible
MzD	Assise de Dunkerque	223	3,34%	2	2	6	moyen
Tz	Tourbe supérieure	38,5	0,58%	3	2	8	fort
MzC	Assise de Calais	14,51	0,22%	1	1	3	faible
Fy	Alluvions anciennes	29,3	0,44%	1	1	3	faible
OE/e4-2	Limons des Flandres-Lys	439,1	6,58%	2	2	6	moyen
OE-S/e4-2	Limons argileux à silex des Flandres-Lys	26,69	0,40%	2	2	6	moyen
OE/Cr	Limons des Plateaux	3 006,17	45,06%	1	1	3	faible
OE-S/Cr	Limons argileux à silex des Plateaux	133,81	2,01%	2	1	5	faible
e4-2c	Argiles des Flandres	64,17	0,96%	3	3	9	fort
e2a (b-a)	Argile de Louvil	47,6	0,71%	3	1	7	moyen
c3ab-1	Dièves	287,36	4,31%	2	1	5	faible
n6G	Argiles du Gault	32,6	0,49%	3	2	8	fort
n4W-3	Wealdien	40	0,60%	2	1	5	faible
j9b-7a	Argiles de La Crèche-Wimereux	13,42	0,20%	2	1	5	faible
j8c-(6-7a)	Argiles de Châtillon	19,81	0,30%	2	2	6	moyen
j8a-6W	Argiles du Moulin-Wibert	60,54	0,91%	2	2	6	moyen
j6-3	Argiles du Callovien-Oxfordien	57,65	0,86%	2	3	7	moyen
h-d1	Schistes	10,56	0,16%	1	1	3	faible

Illustration 22 – Niveau d'aléa des formations.

8.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à dominante argileuse, marneuse ou tourbeuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Elle est présentée sur l'illustration 23 et en carte hors-texte à l'échelle 1/135 000 (où les sinistres, les zones urbanisées et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont issus des cartes géologiques à la même échelle.

Les formations retenues sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur niveau croissant d'aléa retrait-gonflement (qualifié respectivement de 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 19,2 % 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.

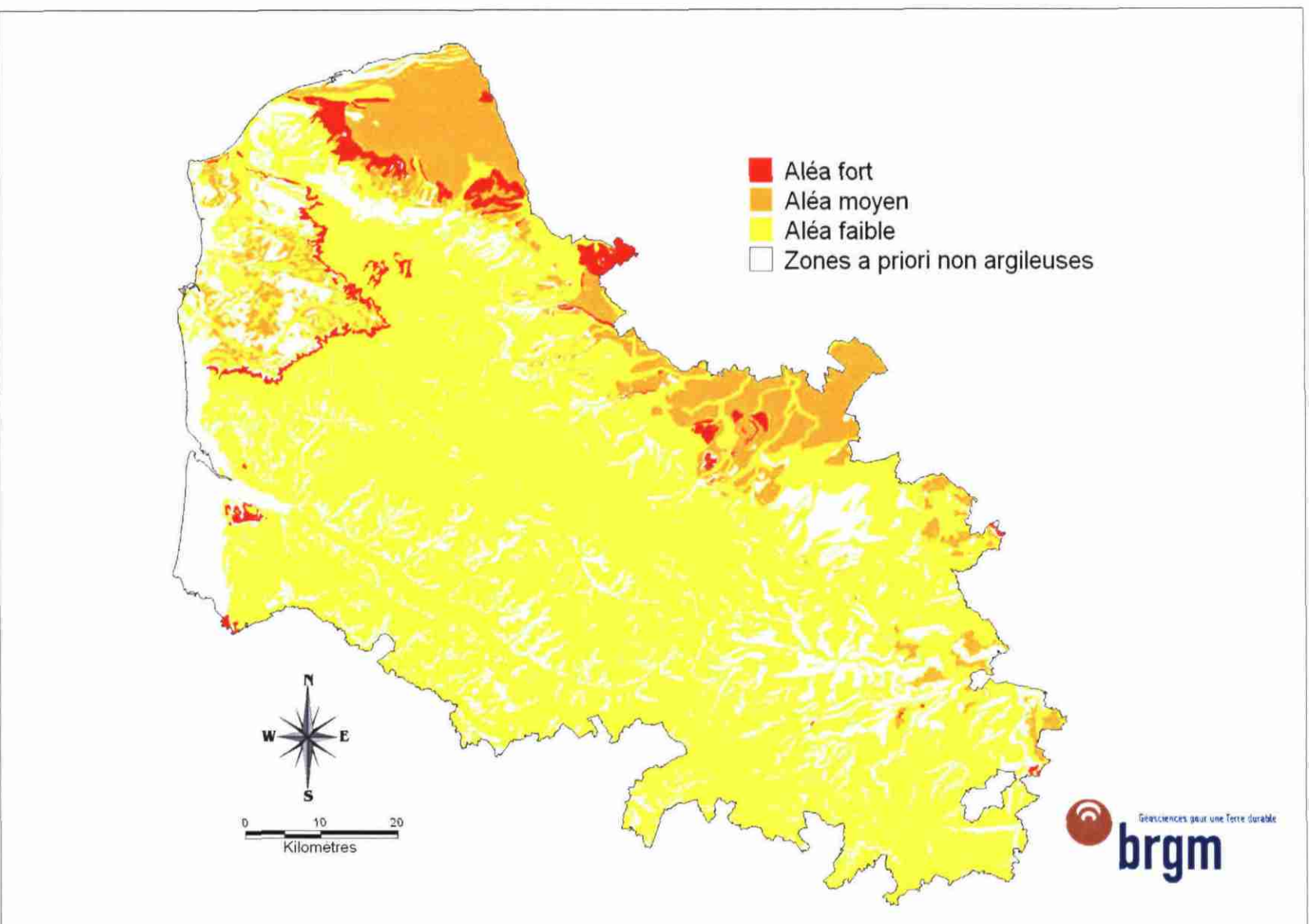


Illustration 23 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement du Pas-de-Calais

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 du Pas-de-Calais, essentiellement basée sur une interprétation de la carte géologique, associée à la synthèse d'un grand nombre d'informations concernant la susceptibilité au phénomène des formations à dominante argileuse, ainsi qu'à la localisation des sinistres liés aux mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une méthodologie générale développée par le BRGM à la demande du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et de la profession des assureurs. Cette démarche méthodologique a été mise au point lors d'études similaires menées dans les Alpes de Haute-Provence et les Deux-Sèvres, puis a été appliquée à une trentaine d'autres départements dont le Nord. D'autres études départementales sont actuellement en cours de réalisation, et à terme, ce seront au moins 44 départements qui devraient faire l'objet d'une telle cartographie.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argileuses, marneuses ou tourbeuses 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 22 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 argileuse, marneuse ou tourbeuse, 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, 974 sinistres répartis dans 99 communes du département ont ainsi été recensés et localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très largement représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

Trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible) ont été distingués afin de caractériser les formations argileuses, marneuses et tourbeuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur une superficie départementale totale de 6 671 km²,

- seulement 2,03 %¹ est classé en aléa fort ;
- 13,10 % est classé en aléa moyen ;
- 65,64 % est classé en aléa faible ;
- 19,23 % 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 du Pas-de-Calais, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier hors texte à l'échelle 1/135 000, 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.
- Barchi P., Delcourt L., Ducoin C., Vincent M. (2003)** - Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Nord. Rapport BRGM/RP-52107-FR, 139 p., 25 fig., 9 tabl., 3 ann., 3 cartes hors-texte.
- Bouquillon A., Chamley H., Debrabant P., Meilliez F. (1987)** – Données minéralogiques et géochimiques sur les forages de Jeumont-1 et Épinoy-1. Doc. BRGM, 139, p. 35-47.
- CEBTP** sous l'égide de l'AQC, l'APSAD, l'AFAC, la CCR et la FNB (1991) – Détermination des solutions adaptées à la réparation des désordres des bâtiments provoqués par la sécheresse. *Guide pratique CEBTP*, 3 fascicules.
- Chamley H. (1988)** – Minéralogie des argiles dans le Givétien de Ferques (Boulonnais – France). Nature et signification. In D. Brice (Éd.) : Le Dévonien de Ferques. Bas Boulonnais., coll. Biostratigraphie du Paléozoïque, 7, p. 1-520.
- Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., avec la coll. de Ducreux G.H. (1995)** – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse/pluie) dans la région de Manosque (Alpes de Haute Provence). Échelle communale et départementale. Approche méthodologique. Rapport BRGM R 38695.
- Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., Ménillet F., Ducreux G.H. (1996)** – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols (sécheresse-pluie) à l'échelle départementale. Approche méthodologique dans les Alpes de Haute-Provence. *Rapport BRGM R39218*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 4 ann., 1 pl. hors-texte.
- Chassagneux D., Meisina C., Vincent M., Ménillet F., Baudu R. (1998)** – Guide synthétique pour la prise en compte de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle nationale. *Rapport BRGM R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. hors-texte.
- Debrabant P., Adida B., Painset J., Deconinck J.F., Récourt P. (1994)** – Comportement géotechnique des Argiles de Châtillon (Kimmeridgien/Tithonien du Bas-Boulonnais). *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 4, 2s, p. 145-153.
- Deconinck J.F., Chamley H., Debrabant P., Colbeaux J.P. (1982)** – Le Boulonnais au Jurassique supérieur : données de la minéralogie des argiles et de la géochimie. Extrait *Ann. Soc. Géol. Nord*, T C II, séance du 03/11/1982, 145p.
- Deconinck J.F., Holtzapffel T., Robaszynski F., Amédéo F. (1989)** – Données minéralogiques, géochimiques et biologiques comparées dans les craies cénomaniennes à santoniennes du Boulonnais. *Géobios*, mém. sp., 11, p. 179-188.

- Deconinck J.F., Amédéo F., Fiolet-Piette A., Juignet P., Renard M., Robaszynski F.** (1991) - Contrôle paléogéographique de la sédimentation argileuse dans le Cénomaniens du Boulonnais et du Pays de Caux. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 1, 2s, p. 57-66.
- Deconinck J.F., Geysant J.R., Proust J.N., Vidier J.P.** (1996) – Sédimentologie et biostratigraphie des dépôts kimmeridgiens et tithoniens du Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 4, 2s, p. 157-170.
- Deconinck J.F., Amédéo F., Robaszynski F., Pellenard P., Recourt P.** (2000) – Influences détritiques et volcaniques sur la minéralogie de la fraction argileuse des formations crayeuses traversées par le forage de Poigny (Projet Craie 700). Résultats préliminaires. *Bull. Inf. Bass. Paris*, 37, 2, p. 107-111.
- Debrabant P., Chamley H., Leplat J., Neusy D.** (1992) – Propriétés géotechniques et minéralogiques de l'Yprésien de Tourcoing (Nord de la France). *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 1, 2s, p. 119-128.
- Donsimoni M., Clozier L., Vincent M.,** avec la collaboration de **Motteau M., Gallas J.-C.** (2001) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Seine-Saint-Denis. Rapport *BRGM/RP-51198-FR*, 125 p., 7 fig., 13 tabl., 2 ann., 5 planches h.-t..
- El Albani A., Deconinck J.F., Herbin J.P., Proust J.N.** (1993) – Caractérisation géochimique de la matière organique et minéralogie des argiles du Kimmeridgien du Boulonnais. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 2, 2s, p. 113-120.
- Habib P.** (1992) – Les sécheresses de 1989 et 1990. *Rev. Fr. Géotech.*, 58, p. 7-30.
- Holtzapffel T.** (1985) – Les minéraux argileux : préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Mém. Soc. Géol. Nord*, 12, 136p.
- Huyghe A., Trentesaux A.** (1992) – Analyses des microfaciès et minéralogie des argiles du Viséen de l'Avesnois (Nord de la France) : conséquences sédimentologiques et diagénétiques. *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 1, 2s, p. 119-128.
- Lefrançois A., Deconinck J.F., Mansy J.L., Proust J.N.** (1993) – Structure, sédimentologie et minéralogie des argiles des Formations de Beaulieu et d'Hydrequent (Dévonien supérieur du Bas Boulonnais). *Ann. Soc. Géol. Nord*, T. 2, 2s, p. 159-169.
- Leplat J.,** avec la collaboration de **Czernichowski I., Caille M., Vinchon C., Denis L., Leprière J.P.** (1996) – Inventaire des formations argileuses du Nord – Pas-de-Calais destinées à la mise en œuvre des centres de stockage des déchets industriels spéciaux. Rapport BRGM R 39102, 25 p.
- Mastchenko A.** (2001) – Sécheresse et sols argileux. Projet industriel Alpha Sol. *École des Mines d'Alès*, 74p., 9 ann..
- Millot G.** (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p..

- Ndiaye L.** (1975) – Contribution à l'étude du Wealdien – Albien du Vert Mont, région de Réty. Mém. Univ. Sc. Tech. Lille, DEA.
- Prian J.-P., Donsimoni M., Vincent M. avec la collaboration de Denis L., Gallas J.-C., Marty F., Motteau M.** (2000) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. Rapport BRGM/RP-50376-FR, 269 p.
- Schnyder J., Baudin F., Deconinck J.F., Durllet C., Jan du Chêne R., Lathuilière B.** (2000) – Stratigraphie et analyse sédimentologique du passage Oxfordien/kimmeridgien dans le Boulonnais. Géol. France, 4, p. 21-37.
- 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.
- Vidier J.P.** (1996) – Modalités de la transgression médio-jurassique sur la bordure méridionale du massif Londres-Brabant (Nord de la France). Stratigraphie du Dogger de la région de Marquise (Boulonnais). Mém. Univ. Bourgogne, DER
- Vincent M., Le Nindre Y.M., Meisina C., Chassignol A.L.** (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Deux-Sèvres. Rapport BRGM R 39967, 89 p.
- Yans J., Spagna P., Foucher J.C., Perruchot A., Streel M., Beaunier P., Robaszynski F., Dupuis C.** (2002) – Multidisciplinary study of the wealden deposits of the Mons Basin (Belgium) : a progress report. *Geologica Belgica International Meeting, Aardk. Mededel.*, 4 p.

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. *Geotechnique*. 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.
- 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.
- Ministère de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Délégation aux Risques majeurs (1993) – Sécheresse et Construction. *Guide de Prévention*. Édit. La Documentation Française, Paris.
- Mouroux P., Margron P., Pinte J.C. (1988) - La construction économique sur sols gonflants. *Manuel et méthodes* n°14, 125 p., BRGM Éditeur.
- Mariotti M. (1976) – Le gonflement des sols argileux surconsolidés (aspects du phénomène, influence sur les structures, précautions à envisager). *Mines et Géologie*, 39, p. 13-28.
- Noël C. (1991) – Tassement de sols d'assise de fondations consécutifs à la sécheresse. L'expertise dans le cadre de la garantie « catastrophes naturelles ». SNEIC-INFO, 4.
- Norie A., Vincent M. (2000) - Établissement de Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles : « mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux » - Approche méthodologique dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM/RP-50591-FR*, 14 p., 4 fig., 4 ann..
- Parcevaux P. (1980) – Étude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux. Mém. Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 266 p.
- Pejon O.J., Le Roux A., Guignard D. (1997) – Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement, importance de la minéralogie et des textures. *Bull. Int. Eng. Geol.*, 55, p. 105-119.
- Philipponnat G. (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Rev. Fr. Géotech.*, 57, p. 5-22.
- Philipponnat G. (1987) – Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. 6^e Int. Conf. Exp. Soils, 7-10, New Delhi.
- Piantone P. (1986) – Minéralogie et cristalochimie des phyllosilicates : application à l'étude des altérations hydrothermales. Rap. BRGM 86 DAM 019 GMX, 61 p.

- Robinet J.C., Pakzad M., Plas F. (1994) – Un modèle rhéologique pour les argiles gonflantes. *Rev. Fr. Géotech.*, 67, p. 57-67.
- Schaeffner M. (1989) – Introduction de la valeur de bleu de méthylène d'un sol dans la classification des sols. Recommandation pour les terrassements routiers. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 163, p. 9-16.
- Scherer M. (1996) – Bilan des périodes récentes de sécheresse en France. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts. Paris, 11-12/12/1996.
- Serratrice J.F., Soyez B. (1996) – Les essais de gonflement. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 204, p. 65-85.
- Taibi S. (1994) – Comportement mécanique et hydraulique des sols partiellement saturés. Thèse de doctorat, École Centrale, Paris.
- Taylor R.K., Smith T. J. (1986) – The engineering geology of clay minerals: swelling, shrinking and mudrock breakdown. *Clays Min.*, 21, p. 235-260.
- Tessier D. (1990) – Organisation des matériaux argileux en relation avec leur comportement hydrique. In Decarreau (Éd.) : Matériaux argileux : structure, propriétés et applications.
- Toulemont M. (1996) – Bilan des dommages dus à la sécheresse comme catastrophe naturelle. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12 décembre 1996.
- Toulemont M., Cojean R., Faccendini J.P. (1994) – Cartographie prévisionnelle des sols sensibles à la sécheresse : un outil d'information préventive. *Mappemonde*, 4, p. 2-4.
- Vincent M. (2003) – Retrait-gonflement des sols argileux : méthode cartographique d'évaluation de l'aléa en vue de l'établissement de PPR. – 3^{ème} Conférence SIRNAT - Forum des Journées pour la Prévention des Risques Naturels, Orléans, janvier 2003. Actes du Colloque, 7p., 5 figs.
- 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.

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.

Cartes géologiques à 1/50 000

Leplat J., Sommé J. (1989) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Calais (2), Orléans BRGM, Notice explicative par Leplat J., Sommé J. 1989

Bonte A., Broquet P., Hoyez B., Hatrival J.N., Leroux B., Résende S., Savary M., Thibaut P.M., Destombes J.P., Sommé J., Goulliart M. (1971) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Marquise (5), Orléans BRGM, Notice explicative par Bonte A., Sommé J., Destombes J.P., Destombes P., Ramon S. 1971

Bonte A., Sommé J., Thibaut P.M., Destombes J.P., Hoyez B., Hatrival J.N. (1971) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Guines (6), Orléans BRGM, Notice explicative par Bonte A., Sommé J., Destombes J.P., Thibaut P.M., Ramon S. 1971

Waterlot G. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Cassel (7), Orléans BRGM, Notice explicative par Waterlot G. 1968

Leplat J., Bonte A., Destombes J.P., Broquet P., Hatrival J.N., Mania J., Colbeaux J.P. (1985) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Boulogne-sur-Mer (10), Orléans BRGM, Notice explicative par Bonte A., Colbeaux J.P., Leplat J., Sommé J. 1985

Bonte A., Broquet P., Mania J., Destombes J.P., Sommé J., Colbeaux J.P., Leplat J. (1979) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Desvres (11), Orléans BRGM, Notice explicative par Bonte A., Leplat J., Sommé J. 1982

Desoignies J., Thibaut P.M. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Saint-Omer (12), Orléans BRGM, Notice explicative par Desoignies J., Thibaut P.M. 1968

Leplat J., Sommé J., Colbeaux J.P., Paepe R. (1984) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Hazebrouck (13), Orléans BRGM, Notice explicative par Leplat J., Sommé J., Colbeaux J.P. 1984

Destombes J.P., Briquet A., Defrance A., Montaigne M., Sommé J. (1974) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Montreuil (16), Orléans BRGM, Notice explicative par Destombes J.P., Lapiere F. 1974

Destombes J.P., Delattre C. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Fruges (17), Orléans BRGM, Notice explicative par Destombes J.P., Delattre C. 1968

Delattre C., Goguel J. (1967) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Lillers (18), Orléans BRGM, Notice explicative par Delattre C. 1968

Delattre C., Scriban R., Segond R., Goguel J. (1960) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Béthune (19), Orléans BRGM, Notice explicative par Delattre C., Scriban R. 1960

Desoignies J., Sangnier P. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Carvin (20), Orléans BRGM, Notice explicative par Desoignies J., Sangnier P. 1968

Menessier G., Modret D., Lefebvre P., Monciardini C., Auffret J.P., Agache R. (1981) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Rue (23), Orléans BRGM, Notice explicative par Menessier G., Auffret J.P., Monciardini C. 1981

Destombes J.P., Waterlot M., Mériaux E. (1971) - Carte géologique de la France (1/50000), feuille Hesdin (24), Orléans BRGM, Notice explicative par Destombes J.P., Waterlot M., Mériaux E. 1971

Delattre C. (1969) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Saint-Pol (25), Orléans BRGM, Notice explicative par Delattre C. 1969

Delattre C. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Arras (26), Orléans BRGM, Notice explicative par Delattre C. 1968

Desoignies J., Goguel J. (1966) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Douai (27), Orléans BRGM, Notice explicative par Desoignies J. 1966

Broquet P., Menessier G., Skandari A., Akbar R., Durzada A. (1977) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Abbeville (33), Orléans BRGM, Notice explicative par Broquet P., Menessier G., Monciardini C., Boullier-Rollet A., Sornay J., Devriès R. Pacaud J., Agache R. 1977

Delattre C., Mériaux E., d'Arcy D. (1974) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Doullens (34), Orléans BRGM, Notice explicative par Delattre C., Mériaux E., d'Arcy D. 1974

Delattre C., Mériaux E. (1977) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Bapaume (35), Orléans BRGM, Notice explicative par Delattre C., Mériaux E. 1977

Leriche M., Celet P., Charvet J. (1968) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Cambrai (36), Orléans BRGM, Notice explicative par Celet P. 1968

Menessier G., Dickel B., Monciardini C., Agache R. (1976) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Albert (47), Orléans BRGM, Notice explicative par Menessier G., Agache R., Sornay J., Devriès A. 1976

Celet P., Coulombeau C., Monciardini C., Agache R. (1978) - Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Péronne (48), Orléans BRGM, Notice explicative par Celet P., Monciardini C. 1978

Sites internet :

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

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

<http://www.argiles.fr> : site internet sur l'aléa retrait-gonflement des sols argileux (développé par le BRGM)



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

Communes reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols et nombre de sinistres (données actualisées au 31 octobre 2005) :

- Nombre d'arrêtés par commune
- 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 (Nielles-lès-Calais en fin de liste) et formations géologiques identifiées

Nombre d'arrêtés par commune

Commune	Nb d'arrêtés	Commune	Nb d'arrêtés	Commune	Nb d'arrêtés	Commune	Nb d'arrêtés
Achiet-le-Petit	1	Clairmarais	3	Lens	1	Ruitz	1
Aire-sur-la-Lys	1	Coulogne	1	Lestrem	2	Ruminghem	2
Alincthun	1	La Couture	3	Linghem	1	Sailly-sur-la-Lys	2
Alquines	2	Crémarest	1	Locon	2	Saint-Floris	1
Ambleteuse	1	Desvres	1	Longuenesse	2	Saint-Léger	1
Ardres	3	Diéval	1	Lottinghen	1	Saint-Léonard	3
Arques	2	Divion	2	Marles-les-Mines	1	Saint-Martin-au-Laërt	2
Les Attaques	1	Eleu-dit-Leauwette	1	Marquise	1	Saint-Martin-Boulogne	2
Bayenghem-lès-Eperlecques	1	Eperlecques	3	Menneville	2	Saint-Omer	1
Beaumetz-lès-Loges	1	Farbus	1	Molinghem	1	Saint-Tricat	1
Beaurains	1	Fillièvres	1	Mont-Bernanchon	4	Saint-Venant	1
Belle-et-Houllefort	1	Fleurbaix	2	Moulle	1	Salperwick	1
Béthune	1	Givenchy-en-Gohelle	3	Muncq-Nieurlet	3	Samer	1
Beuvry	1	Gonnehem	2	Nielles-lès-Calais	1	Saudemont	1
Billy-Berclau	1	Guarbecque	2	Nortkerque	1	Thélus	1
Blangy-sur-Ternoise	1	Hames-Boucres	1	Nouvelle-Eglise	1	Vendin-lès-Béthune	2
Blendecques	3	Hersin-Coupigny	1	Offekerque	2	Verlincthun	1
Boulogne-sur-Mer	2	Hesdigneul-lès-Boulogne	1	Offrethun	1	Vieille-Chapelle	1
Bourlon	1	Hesdin-l'Abbé	3	Outreau	2	Vimy	1
Boursin	1	Heuringhem	3	Oye-Plage	1	Vitry-en-Artois	2
Bouvigny-Boyeffles	3	Hinges	3	Quiestède	1	Wardrecques	1
Brêmes	1	Houille	1	Racquinghem	2	Willeman	1
Brunembert	1	Isbergues	2	Rebreuve-Ranchicourt	1	Wimille	1
Calais	1	Isques	1	Recques-sur-Hem	1	Wittes	2
Calonne-sur-la-Lys	3	Lapugnoy	1	Rety	1	Zutkerque	2
Cambrin	2	Laventie	1	Richebourg	3		
Carvin	2	Leforest	1	Robecq	1	106 communes	162

VILLES	Nombres de sinistres	VILLES	Nombres de sinistres	VILLES	Nombres de sinistres
ACHIET-LE-PETIT	5	FLEURBAIX	23	OUTREAU	20
AIRE-SUR-LA-LYS	27	GIVENCHY-EN-GOHELLE	23	OYE-PLAGE	1
ALINCTHUN	1	GONNEHEM	24	QUIESTÈDE	1
ALQUINES	2	GUARBECQUE	6	RACQUINGHEM	7
AMBLETEUSE	6	HAMES-BOUCRES	3	REBREUVE-RANCHICOURT	3
ARDRES	22	HERSIN-COUPIGNY	3	RECQUES-SUR-HEM	3
ARQUES	4 + 1NL**	HESDIGNEUL-LÈS-BOULOGNE	6	RETY	1
BAYENGHEM-LÈS-EPERLECCQUES	NC*	HESDIN-L'ABBÉ	4 + 1NL**	RICHEBOURG	19
BEAUMETZ-LÈS-LOGES	25	HEURINGHEM	27	ROBECQ	1
BEURAINS	1	HINGES	14	RUITZ	1
BELLE-ET-HOULLEFORT	6	HOULLE	1	RUMINGHEM	NC*
BÉTHUNE	1	ISBERGUES	15	SAILLY-SUR-LA-LYS	15
BEUVRY	3	ISQUES	7	SAINT-FLORIS	9
BILLY-BERCLAU	86	LA COUTURE	34	SAINT-LÉGER	1
BLANGY-SUR-TERNOISE	1	LAPUGNOY	NC*	SAINT-LÉONARD	8
BLENDÉCQUES	10	LAVENTIE	36	SAINT-MARTIN-AU-LAÉRT	2
BOULOGNE-SUR-MER	10	LEFOREST	9	SAINT-MARTIN-BOULOGNE	52
BOURLON	1	LENS	1	SAINT-OMER	6 + 1NL**
BOURSIN	6	LES ATTAQUES	4	SAINT-TRICAT	13
BOUVIGNY-BOYEFFLES	2	LESTREM	43	SAINT-VENANT	1
BRÈMES-LÈS-ARDRES	1	LINGHEM	5	SALPERWICK	2
BRUNEMBERT	1	LOCON	17	SAMER	8
CALAIS	NC*	LONGUENESSE	26	SAUDEMONT	1
CALONNE-SUR-LA-LYS	11 + 5NL**	LOTTINGHEM	1	THÉLUS	1
CAMBRIN	12	MARLES-LÈS-MINES	1	VENDIN-LÈS-BÉTHUNE	6
CARVIN	3	MARQUISE	2	VERLINCTHUN	2
CLAIRMARAIS	29	MENNEVILLE	1	VIEILLE-CHAPELLE	6
COULOGNE	3	MOLINGHEM	1	VIMY	25
CRÉMAREST	3	MONT-BERNANCHON	31	VITRY-EN-ARTOIS	1
DESVRES	1	MOULLE	5	WARDRECQUES	3
DIÉVAL	6	MUNCQ-NIEURLET	7	VILLEMÁN	1
DIVION	8	NIELLES-LÈS-CALAIS	12	VIMILLE	1
ELEU-DIT-LEAUWETTE	1	NORTKERQUE	NC*	VITTES	7
EPERLECCQUES	32	NOUVELLE-EGLISE	13	ZUTKERQUE	5
FARBUS	5	OFFEKERQUE	NC*	TOTAL LOCALISÉ	974
FILLIÈVRES	1	OFFRETHUN	NC*	TOTAL	982

* Dossier(s) non communiqué(s) ou absent(s)

** Sinistre(s) non localisable(s)

Nombre de sinistres recensés par commune

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

Commune	Date Début	Date Fin	Date arrêté	Date JO	Commune	Date Début	Date Fin	Date arrêté	Date JO
Achiet-le-Petit	01/01/1995	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998	Cambrin	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Aire-sur-la-Lys	01/01/1995	31/12/1997	18/09/98	03/10/1998	Cambrin	01/01/1992	30/06/1998	21/01/99	05/02/1999
Alincthun	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Carvin	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Alquines	01/05/1989	31/12/1995	09/12/96	20/12/1996	Carvin	01/01/1991	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998
Alquines	01/01/1996	30/06/1998	29/12/98	13/01/1999	Clairmarais	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Ambleteuse	01/01/1995	31/12/1997	22/10/98	13/11/1998	Clairmarais	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Ardres	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Clairmarais	01/01/1991	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998
Ardres	01/01/1991	31/01/1997	17/12/97	30/12/1997	Coulogne	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Ardres	01/01/1998	30/06/1998	29/12/98	13/01/1999	Crémarest	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Arques	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990	Desvres	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Arques	01/01/1996	31/12/1996	06/07/01	18/07/2001	Diéval	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Bayenhem-lès-Eperlecques	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Divion	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Beaumetz-lès-Loges	01/04/1995	30/09/1997	21/07/99	24/08/1999	Divion	01/01/1991	30/06/1998	29/12/98	13/01/1999
Beaurains	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993	Eleu-dit-Leauw	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Belle-et-Houllefort	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Eperlecques	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Béthune	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Eperlecques	01/01/1991	31/12/1992	01/10/96	17/10/1996
Beuvry	01/01/1995	31/01/1997	19/09/97	11/10/1997	Eperlecques	01/01/1993	30/06/1998	19/03/99	03/04/1999
Billy-Berclau	01/05/1989	31/12/1995	17/06/96	09/07/1996	Farbus	01/01/1995	31/01/1997	17/12/97	30/12/1997
Blangy-sur-Ternoise	01/05/1989	31/12/1991	18/03/96	17/04/1996	Fillièvres	01/01/1995	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998
Blendecques	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990	Fleurbaix	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Blendecques	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Fleurbaix	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000
Blendecques	01/01/1991	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998	Givenchy-en-C	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Boulogne-sur-Mer	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Givenchy-en-C	01/01/1991	31/12/1995	09/12/96	20/12/1996
Boulogne-sur-Mer	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000	Givenchy-en-C	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000
Bourlon	01/01/1996	31/12/1996	06/07/01	18/07/2001	Gonnehem	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Boursin	01/05/1989	30/09/1993	03/05/95	07/05/1995	Gonnehem	01/01/1991	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998
Bouvigny-Boyeffles	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993	Guarbecque	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Bouvigny-Boyeffles	01/05/1989	31/12/1990	06/12/93	28/12/1993	Guarbecque	01/01/1992	31/12/1997	15/07/98	29/07/1998
Bouvigny-Boyeffles	01/01/1992	30/06/1998	29/12/98	13/01/1999	Hames-Boucre	01/05/1989	31/12/1991	06/12/93	28/12/1993
Brêmes	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993	Hersin-Coupi	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Brunembert	01/01/1995	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998	Hesdigneul-lès	01/05/1989	31/12/1990	27/05/94	10/06/1994
Calais	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Hesdin-l'Abbé	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Calonne-sur-la-Lys	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Hesdin-l'Abbé	01/10/1989	31/12/1992	19/09/97	11/10/1997
Calonne-sur-la-Lys	01/01/1991	31/12/1992	28/09/95	15/10/1995	Hesdin-l'Abbé	01/01/1993	31/03/1994	21/07/99	24/08/1999
Calonne-sur-la-Lys	01/01/1993	31/12/1997	15/07/98	29/07/1998					

Commune	Date Début	Date Fin	Date arrêté	Date JO	Commune	Date Début	Date Fin	Date arrêté	Date JO
Hearinghem	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990	Moulle	01/05/1989	31/12/1991	08/09/94	25/09/1994
Hearinghem	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Muncq-Nieurlet	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Hearinghem	01/01/1991	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998	Muncq-Nieurlet	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Hinges	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Muncq-Nieurlet	01/01/1996	31/12/1996	06/07/01	18/07/2001
Hinges	01/01/1991	31/10/1996	19/09/97	11/10/1997	Nielles-lès-Calais	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Hinges	01/11/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000	Nortkerque	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Houlle	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990	Nouvelle-Eglise	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Isbergues	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Offekerque	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Isbergues	01/01/1991	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998	Offekerque	01/01/1991	31/12/1993	18/08/95	08/09/1995
Isques	01/01/1996	31/12/1996	30/04/03	22/05/2003	Offrethun	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
La Couture	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Outreau	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
La Couture	01/01/1991	31/12/1992	03/05/95	07/05/1995	Outreau	01/01/1991	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998
La Couture	01/01/1993	31/01/1997	19/09/97	11/10/1997	Oye-Plage	01/01/1990	31/12/1990	16/08/93	03/09/1993
Lapugnoy	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Quiestède	01/01/1991	31/03/1996	28/05/97	01/06/1997
Laventie	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000	Racquinghem	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Leforest	01/01/1995	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998	Racquinghem	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000
Lens	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993	Rebreuve-Ranchicourt	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Les Attaques	01/01/1996	30/09/1996	27/12/00	29/12/2000	Recques-sur-Hem	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Lestrem	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Rety	01/10/1995	30/06/1998	19/05/99	05/06/1999
Lestrem	01/01/1991	31/01/1997	03/11/97	16/11/1997	Richebourg	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Linghem	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000	Richebourg	01/01/1991	31/12/1992	17/07/96	04/09/1996
Locon	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Richebourg	01/01/1993	31/01/1997	03/11/97	16/11/1997
Locon	01/01/1991	31/12/1992	09/12/96	20/12/1996	Robecq	01/01/1996	31/12/1996	06/07/01	18/07/2001
Longuenesse	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Ruitz	01/11/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000
Longuenesse	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000	Ruminghem	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Lottinghem	01/01/1996	31/12/1996	30/04/03	22/05/2003	Ruminghem	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Marles-les-Mines	01/01/1997	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998	Sailly-sur-la-Lys	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Marquise	01/01/1995	31/01/1997	12/03/98	28/03/1998	Sailly-sur-la-Lys	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000
Menneville	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Saint-Floris	01/01/1993	30/06/1998	23/02/99	10/03/1999
Menneville	01/05/1989	31/12/1991	18/08/95	08/09/1995	Saint-Léger	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Molinghem	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993	Saint-Léonard	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Mont-Bernanchon	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990	Saint-Léonard	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Mont-Bernanchon	01/10/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992	Saint-Léonard	01/01/1991	30/06/1998	19/03/99	03/04/1999
Mont-Bernanchon	01/01/1991	31/12/1993	02/02/96	14/02/1996	Saint-Martin-au-Laërt	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Mont-Bernanchon	01/01/1994	31/12/1995	09/12/96	20/12/1996	Saint-Martin-au-Laërt	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000

Commune	Date Début	Date Fin	Date arrêté	Date JO
Saint-Martin-Boulogne	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Saint-Martin-Boulogne	01/01/1991	30/06/1998	29/12/98	13/01/1999
Saint-Omer	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Saint-Tricat	01/05/1989	31/12/1991	06/12/93	28/12/1993
Saint-Venant	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Salperwick	01/05/1989	01/09/1989	31/08/90	16/09/1990
Samer	01/05/1989	30/06/1998	29/12/98	13/01/1999
Saudemont	01/01/1996	31/12/1996	15/11/01	01/12/2001
Thélus	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Vendin-lès-Béthune	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Vendin-lès-Béthune	01/01/1991	31/12/1994	28/09/95	15/10/1995
Verlincthun	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Vieille-Chapelle	01/01/1995	31/01/1997	17/12/97	30/12/1997
Vimy	01/05/1989	31/12/1995	09/12/96	20/12/1996
Vitry-en-Artois	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Vitry-en-Artois	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Wardrecques	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Willeman	01/01/1991	31/12/1991	25/01/93	07/02/1993
Wimille	01/01/1996	31/12/1996	12/03/02	28/03/2002
Wittes	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Wittes	01/01/1991	31/12/1997	12/06/98	01/07/1998
Zutkerque	01/05/1989	31/12/1990	14/01/92	05/02/1992
Zutkerque	01/01/1996	31/12/1996	27/12/00	29/12/2000

Liste des sinistres localisés (Nielles-lès-Calais en fin de liste)

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
1	Achiet-Le-Petit	sech. 95/97	OE/Cr	629 588	2 569 897	33	Alincthun	sech. 89/90	Grès Wirwignes	562 267	2 637 454
2	Achiet-Le-Petit	sech. 95/97	OE/Cr	629 561	2 570 001	34	Alquines	sech. 89/95	C-Lv	575 818	2 638 530
3	Achiet-Le-Petit	sech. 95/97	OE/Cr	629 571	2 569 972	35	Alquines	sech. 96/97	n6G-c1b	575 691	2 638 679
4	Achiet-Le-Petit	sech. 95/97	C-Lv	629 627	2 569 972	36	Ambleteuse	sech. 95/97	j(6-7a)-8c?	549 033	2 645 870
5	Achiet-Le-Petit	sech. 95/97	OE/Cr	629 532	2 569 923	37	Ambleteuse	sech. 95/97	j(6-7a)-8c?	549 063	2 645 910
6	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Ostri	603 031	2 629 323	38	Ambleteuse	sech. 95/97	j(6-7a)-8c?	549 378	2 645 880
7	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/Cr	602 914	2 627 480	39	Ambleteuse	sech. 95/97	j(6-7a)-8c?	550 112	2 645 815
8	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	603 825	2 626 583	40	Ambleteuse	sech. 95/97	j(6-7a)-8c?	548 966	2 645 947
9	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	604 537	2 626 587	41	Ambleteuse	sech. 95/97	j(6-7a)-8c?	548 963	2 645 877
10	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	604 769	2 626 790	42	Ardres	sech. 89/90	Tz	574 500	2 651 413
11	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	604 874	2 626 826	43	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 950	2 653 696
12	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	604 921	2 626 888	44	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 929	2 653 722
13	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	605 016	2 626 914	45	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	575 591	2 652 804
14	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 362	2 627 001	46	Ardres	sech. 89/90	MzD	575 152	2 655 081
15	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	604 954	2 627 131	47	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 866	2 653 149
16	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	605 306	2 627 229	48	Ardres	sech. 89/90	e2c-3-4	574 964	2 652 450
17	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	605 770	2 626 957	49	Ardres	sech. 89/90	Tz	574 452	2 652 464
18	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 682	2 627 327	50	Ardres	sech. 89/90	OE-S/e4-2	574 668	2 651 309
19	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 682	2 627 378	51	Ardres	sech. 91/97	OE/e4-2	574 946	2 653 653
20	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 185	2 627 443	52	Ardres	sech. 91/97	OE/e4-2	574 825	2 653 536
21	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 105	2 627 585	53	Ardres	sech. 91/97	e2c-3-4	574 987	2 652 584
22	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	604 498	2 628 777	54	Ardres	sech. 91/97	e2c-3-4	575 014	2 652 498
23	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	605 933	2 628 730	55	Ardres	sech. 91/97	e2c-3-4	574 200	2 653 750
24	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	605 444	2 628 782	56	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 208	2 653 863
25	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	607 282	2 628 463	57	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 278	2 653 884
26	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	607 182	2 627 864	58	Ardres	sech. 91/97	Tz	574 372	2 651 563
27	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	607 313	2 627 886	59	Ardres	sech. 91/97	Tz	574 370	2 651 662
28	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	605 945	2 627 650	60	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 955	2 653 651
29	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	605 879	2 625 992	61	Ardres	sech. 91/97	OE/e4-2	574 218	2 653 861
30	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	603 479	2 627 162	62	Ardres	sech. 91/97	OE/e4-2	574 288	2 653 882
31	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 707	2 627 334	63	Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	574 622	2 653 508
32	Aire-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	604 664	2 629 759						

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
64	Arques	sech. 96/97	OE/e4-2	598 405	2 638 817	95	Belle-et-Houllefort	sech. 89/90	j3-6	559 285	2 638 919
65	Arques	sech. 96/97	OE/e4-2	598 172	2 639 361	96	Belle-et-Houllefort	sech. 89/90	j3-6	559 107	2 638 906
66	Arques	sech. 89	Fz	597 123	2 637 802	97	Belle-et-Houllefort	sech. 89/90	OE/Cr	558 933	2 639 691
67	Arques	sech. 96/97	OE-S/e4-2	597 957	2 636 911	98	Belle-et-Houllefort	sech. 89/90	OE/Cr	559 230	2 639 741
68	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 580	2 583 181	99	Belle-et-Houllefort	sech. 89/90	OE/Cr	560 451	2 640 933
69	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 577	2 583 135	100	Béthune	sech. 89/90	OE/e4-2	621 294	2 613 823
70	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 570	2 583 104	101	Beuvry	sech. 95/96	OE/e4-2	624 214	2 613 731
71	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 552	2 583 132	102	Beuvry	sech. 95/96	OE/e4-2	624 251	2 613 705
72	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 838	2 582 679	103	Beuvry	sech. 95/96	OE/e4-2	624 188	2 613 771
73	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 520	2 583 043	104	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 345	2 614 535
74	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 507	2 582 992	105	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 368	2 614 550
75	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 513	2 582 946	106	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 385	2 614 565
76	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 579	2 582 999	107	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 397	2 614 579
77	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 881	2 583 266	108	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 405	2 614 591
78	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 881	2 583 214	109	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 415	2 614 602
79	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 768	2 582 718	110	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 426	2 614 618
80	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 797	2 582 726	111	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 429	2 614 634
81	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 804	2 582 748	112	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 432	2 614 650
82	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 817	2 582 772	113	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 433	2 614 663
83	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 914	2 583 066	114	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 440	2 614 678
84	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 937	2 583 081	115	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 452	2 614 693
85	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 945	2 583 056	116	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 462	2 614 717
86	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	622 922	2 583 040	117	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 605	2 614 494
87	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 380	2 582 999	118	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 617	2 614 489
88	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 483	2 583 117	119	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 628	2 614 491
89	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 252	2 583 166	120	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 642	2 614 486
90	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 273	2 583 173	121	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 649	2 614 479
91	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 280	2 583 155	122	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 653	2 614 480
92	Beaumont-les-Loges	sech. 95/97	OE/Cr	623 587	2 583 171	123	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 653	2 614 480
93	Beaurains	sech. 89/91	OE/Cr	632 146	2 586 241	124	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 674	2 614 473
94	Belle-et-Houllefort	sech. 89/90	j3-6	559 472	2 638 588	125	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 695	2 614 468

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
126	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 695	2 614 467	157	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 473	2 614 588
127	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 716	2 614 462	158	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 482	2 614 577
128	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 724	2 614 460	159	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 500	2 614 564
129	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 725	2 614 460	160	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 385	2 613 272
130	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 728	2 614 460	161	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 363	2 613 255
131	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 728	2 614 460	162	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 343	2 613 238
132	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 756	2 614 453	163	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 336	2 613 223
133	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 768	2 614 453	164	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	636 957	2 613 285
134	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 770	2 614 453	165	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 430	2 613 688
135	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 771	2 614 453	166	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 731	2 613 966
136	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 776	2 614 453	167	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 859	2 614 079
137	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 805	2 614 448	168	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 888	2 614 089
138	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 487	2 614 641	169	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 075	2 614 299
139	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 522	2 614 667	170	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 113	2 614 317
140	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 201	2 614 225	171	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 133	2 614 337
141	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 247	2 614 243	172	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 154	2 614 369
142	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 263	2 614 251	173	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 181	2 614 406
143	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 291	2 614 263	174	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 135	2 614 427
144	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 356	2 614 308	175	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 130	2 614 445
145	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 406	2 614 346	176	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 126	2 614 457
146	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 452	2 614 400	177	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 104	2 614 469
147	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 511	2 614 295	178	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 341	2 614 570
148	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 526	2 614 246	179	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 333	2 614 580
149	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 248	2 614 132	180	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 327	2 614 585
150	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 262	2 614 121	181	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 236	2 614 475
151	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 316	2 614 026	182	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 225	2 614 485
152	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 310	2 613 995	183	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 371	2 614 594
153	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 304	2 613 984	184	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 324	2 614 393
154	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 304	2 613 978	185	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 170	2 613 154
155	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 306	2 613 950	186	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 188	2 613 090
156	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 747	2 614 532	187	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	638 154	2 614 194

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
188	Billy-Berclau	sech. 89/95	OE/Cr	637 939	2 613 644	218	Bouignyn- Boyeffles	sech. 95/97	c(1-2)-3ab	623 664	2 602 873
189	Billy-Berclau	sech. 89/95	Fz	638 335	2 614 523	219	Bouignyn- Boyeffles	sech. 90/91	e2a (b-a)	623 897	2 604 289
190	Blangy-sur-Ternoise	sech. 89/91	Fz	587 951	2 603 137	220	Brêmes-les-Ardres	sech. 89/90	OE/e4-2	573 020	2 650 826
191	Blendecques	sech. 89/90	Fz	596 491	2 635 978	221	Brunembert	sech. 95/96	n8 (sable)	568 834	2 636 040
192	Blendecques	sech. 89/90	Fz	596 364	2 636 004	222	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	619 168	2 624 903
193	Blendecques	sech. 89/90	Fz	596 395	2 636 044	223	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	619 480	2 625 088
194	Blendecques	sech. 91/97	Fz	596 498	2 636 098	224	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	619 647	2 625 008
195	Blendecques	sech. 91/97	Fz	595 751	2 636 161	225	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	620 569	2 624 439
196	Blendecques	sech. 91/97	Fz	596 126	2 635 917	226	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	620 210	2 625 302
197	Blendecques	sech. 91/97	Fz	596 189	2 635 942	227	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	619 520	2 625 974
198	Blendecques	sech. 91/97	Fz	596 385	2 636 161	228	Calonne-sur-la-Lys	sech. 89/90	Fz	619 034	2 626 409
199	Blendecques	sech. 91/97	Fz	596 399	2 636 125	229	Calonne-sur-la-Lys	sech. 89/90	OE/e4-2	618 903	2 623 169
200	Blendecques	sech. 89/90	Fz	596 421	2 636 076	230	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	620 160	2 625 594
201	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	549 157	2 635 840	231	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	OE/e4-2	619 944	2 625 292
202	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	549 204	2 635 832	232	Calonne-sur-la-Lys	sech. 95/97	Fz	617 749	2 623 346
203	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	548 826	2 635 555	233	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 178	2 612 902
204	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	549 156	2 636 284	234	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 225	2 612 902
205	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	549 337	2 636 618	235	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 290	2 612 903
206	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	549 516	2 636 579	236	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 302	2 612 856
207	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	548 587	2 636 925	237	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 263	2 612 861
208	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	548 960	2 637 867	238	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 233	2 612 864
209	Boulogne-sur Mer	sech. 96	j(6-7a)-8c	548 001	2 637 268	239	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 209	2 612 864
210	Boulogne-sur Mer	sech. 89/90	J6W-8a	549 137	2 635 799	240	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 186	2 612 862
211	Bourlon	sech. 99	e2c-3-4	655 734	2 576 031	241	Cambrin	sech. 91/97	OE/Cr	628 161	2 612 720
212	Boursin	sech. 89/93	n6G-c1b	563 706	2 641 921	242	Cambrin	sech. 91/97	Fz	628 936	2 612 852
213	Boursin	sech. 89/93	n6G-c1b	563 652	2 641 873	243	Cambrin	sech. 91/97	Fz	628 938	2 612 825
214	Boursin	sech. 89/93	n6G-c1b	564 003	2 642 287	244	Cambrin	sech. 90/91	Fz	629 222	2 613 204
215	Boursin	sech. 89/93	n6G-c1b	563 956	2 641 628	245	Carvin	sech. 95/96	Fz	644 614	2 610 749
216	Boursin	sech. 89/93	n6G-c1b	564 307	2 641 597	246	Carvin	sech. 95/96	Fz	644 809	2 610 688
217	Boursin	sech. 89/93	n6G-c1b	563 977	2 641 545	247	Carvin	sech. 95/96	Fz	644 659	2 610 665

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
248	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 590	2 640 313	278	Coulogne	sech. 89/91	Tz	567 736	2 657 344
249	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 567	2 640 238	279	Coulogne	sech. 89/91	MzD	567 670	2 658 811
250	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 569	2 640 178	280	Crémarest	sech. 89/90	j3-6	560 800	2 634 295
251	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 556	2 640 113	281	Crémarest	sech. 89/90	j3-6	560 757	2 634 377
252	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 624	2 641 746	282	Crémarest	sech. 89/90	j3-6	560 909	2 634 206
253	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 556	2 641 717	283	Desvres	sech. 89/90	n6G-c1b	564 623	2 630 947
254	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 539	2 641 683	284	DiUval	sech. 89/91	OE/Cr	607 941	2 604 903
255	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 543	2 641 547	285	DiUval	sech. 89/91	OE/Cr	607 561	2 604 588
256	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 518	2 641 492	286	DiUval	sech. 89/91	OE/Cr	607 494	2 604 645
257	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 522	2 641 428	287	DiUval	sech. 89/91	OE/Cr	607 552	2 604 796
258	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 526	2 641 344	288	DiUval	sech. 89/91	OE/Cr	607 372	2 604 750
259	Clairmarais	sech. 95/97	OE/e4-2	597 293	2 642 370	289	DiUval	sech. 89/91	c(1-2)-3ab	607 932	2 604 492
260	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 238	2 642 374	290	Divion	sech. 91/98	OE/Cr	612 113	2 609 857
261	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 179	2 642 387	291	Divion	sech. 91/98	OE/Cr	612 255	2 610 199
262	Clairmarais	sech. 95/97	OE/e4-2	597 654	2 642 561	292	Divion	sech. 91/98	OE/Cr	611 126	2 609 063
263	Clairmarais	sech. 95/97	OE/e4-2	597 721	2 642 548	293	Divion	sech. 91/98	OE/Cr	611 368	2 608 917
264	Clairmarais	sech. 95/97	OE/e4-2	597 772	2 642 523	294	Divion	sech. 91/98	OE/Cr	611 023	2 608 461
265	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	602 161	2 641 729	295	Divion	sech. 91/98	OE/Cr	611 799	2 608 140
266	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	602 373	2 641 666	296	Divion	sech. 89/90	OE/Cr	612 231	2 608 508
267	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 596	2 641 720	297	Divion	sech. 91/98	Ostri	612 045	2 609 939
268	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 564	2 641 689	298	Eleu-dit-Leauwette	sech. 89/90	e2a (b-a)	633 536	2 602 780
269	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 590	2 640 002	299	Eperlecques	sech. 95/97	OE/e4-2	586 129	2 646 160
270	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 564	2 640 043	300	Eperlecques	sech. 95/97	e2c-3-4	584 829	2 646 255
271	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 491	2 642 595	301	Eperlecques	sech. 95/97	e2c-3-4	586 659	2 646 623
272	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 541	2 642 625	302	Eperlecques	sech. 95/97	e2c-3-4	586 652	2 646 862
273	Clairmarais	sech. 95/97	OE/e4-2	597 567	2 642 579	303	Eperlecques	sech. 95/97	e2c-3-4	586 858	2 646 939
274	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 542	2 641 883	304	Eperlecques	sech. 95/97	OE-S/e4-2	587 131	2 646 893
275	Clairmarais	sech. 95/97	e2c-3-4	597 426	2 642 173	305	Eperlecques	sech. 95/97	OE-S/e4-2	587 104	2 646 844
276	Clairmarais	sech. 95/97	Fz	597 510	2 640 373	306	Eperlecques	sech. 95/97	OE-S/e4-2	588 505	2 646 927
277	Coulogne	sech. 89/91	Tz	567 711	2 657 379	307	Eperlecques	sech. 95/97	OE/e4-2	589 189	2 646 507

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
308	Eperlecques	sech. 89/90	e2c-3-4	589 459	2 647 540	339	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 313	2 629 129
309	Eperlecques	sech. 89/90	OE/e4-2	585 817	2 645 831	340	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 334	2 628 983
310	Eperlecques	sech. 89/90	e2c-3-4	587 080	2 646 788	341	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 384	2 628 829
311	Eperlecques	sech. 89/90	OE/e4-2	588 972	2 647 923	342	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 060	2 628 787
312	Eperlecques	sech. 89/90	OE/e4-2	587 349	2 646 357	343	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	634 977	2 628 593
313	Eperlecques	sech. 89/90	e2a (b-a)	587 028	2 645 706	344	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 027	2 628 558
314	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	587 481	2 646 921	345	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	634 917	2 628 406
315	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	587 602	2 647 013	346	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	634 631	2 628 260
316	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	587 841	2 646 989	347	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	633 660	2 627 310
317	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	588 031	2 646 996	348	Fleurbaix	sech. 95/96	OE/e4-2	634 825	2 627 325
318	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	588 197	2 647 026	349	Fleurbaix	sech. 95/96	OE/e4-2	634 840	2 627 021
319	Eperlecques	sech. 89/90	Fz	589 697	2 646 560	350	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 295	2 626 932
320	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	587 017	2 647 014	351	Fleurbaix	sech. 95/96	OE/e4-2	635 366	2 626 947
321	Eperlecques	sech. 89/90	Fz	588 144	2 647 995	352	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 694	2 627 042
322	Eperlecques	sech. 89/90	Fz	588 259	2 647 915	353	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 911	2 627 298
323	Eperlecques	sech. 89/90	OE/e4-2	588 389	2 647 876	354	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	636 528	2 627 015
324	Eperlecques	sech. 89/90	e2c-3-4	589 311	2 647 436	355	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	636 242	2 627 846
325	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	586 425	2 647 163	356	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 655	2 628 206
326	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	586 472	2 646 943	357	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 250	2 628 334
327	Eperlecques	sech. 89/90	OE-S/e4-2	585 755	2 646 736	358	Fleurbaix	sech. 95/96	OE/e4-2	636 307	2 627 804
328	Eperlecques	sech. 89/90	e2c-3-4	586 878	2 646 779	359	Fleurbaix	sech. 95/96	OE/e4-2	634 357	2 629 805
329	Eperlecques	sech. 89/90	e2a (b-a)	585 937	2 645 240	360	Givenchy-en-Gohelle	sech. 89/90	OE/Cr	630 832	2 600 002
330	Eperlecques	sech. 95/97	OE/e4-2	587 160	2 645 478	361	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 754	2 599 965
331	Farbus	sech. 95	e2a (b-a)	634 784	2 596 049	362	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 712	2 599 947
332	Farbus	sech. 95	e2a (b-a)	634 697	2 596 226	363	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 661	2 599 931
333	Farbus	sech. 95	OE/Cr	635 187	2 595 694	364	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 623	2 599 914
334	Farbus	sech. 95	OE/Cr	635 040	2 595 641	365	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 576	2 599 900
335	Farbus	sech. 95	OE/Cr	635 110	2 595 666	366	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 790	2 599 980
336	Fillibvres	sech. 95/97	c(1-2)-3ab	587 404	2 591 841	367	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 735	2 599 954
337	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 188	2 629 129	368	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 689	2 599 940
338	Fleurbaix	sech. 89/91	OE/e4-2	635 235	2 629 159	369	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 612	2 599 427

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
370	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 892	2 599 632	400	Gonnehem	sech. 95/97	e2c-3-4	615 226	2 619 393
371	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 077	2 599 617	401	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	615 513	2 619 289
372	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	630 828	2 599 931	402	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	615 588	2 619 259
373	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	e2a (b-a)	630 982	2 599 452	403	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	615 603	2 619 185
374	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	e2a (b-a)	631 026	2 600 481	404	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	616 213	2 620 431
375	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	e2a (b-a)	630 986	2 600 638	405	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	617 488	2 618 696
376	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 031	2 600 413	406	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	619 340	2 619 011
377	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 089	2 600 453	407	Guarbecque	sech. 89/91	OE/e4-2	610 518	2 623 873
378	Givenchy-en-Gohelle	sech. 89/90	OE/Cr	631 064	2 600 372	408	Guarbecque	sech. 89/91	OE/e4-2	609 418	2 622 443
379	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 084	2 600 138	409	Guarbecque	sech. 95/97	Fz	611 099	2 624 607
380	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 061	2 600 145	410	Guarbecque	sech. 95/97	Fz	611 099	2 624 117
381	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	OE/Cr	631 042	2 600 156	411	Guarbecque	sech. 95/97	OE/e4-2	610 335	2 622 567
382	Givenchy-en-Gohelle	sech. 95	e2a (b-a)	631 014	2 599 292	412	Guarbecque	sech. 89/91	OE/e4-2	611 162	2 624 569
383	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	618 248	2 618 366	413	Hersin-Coupigny	sech. 89/90	OE/Cr	622 335	2 605 272
384	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	618 054	2 618 207	414	Hersin-Coupigny	sech. 89/90	OE/Cr	622 357	2 604 913
385	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	616 526	2 617 756	415	Hersin-Coupigny	sech. 89/90	OE/Cr	622 298	2 605 247
386	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	616 675	2 617 929	416	Hesdigneul les Boul.	sech. 89/91	Fz	553 231	2 629 206
387	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	616 724	2 618 356	417	Hesdigneul les Boul.	sech. 89/91	Fz	553 269	2 629 179
388	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	616 923	2 618 664	418	Hesdigneul les Boul.	sech. 89/91	Fz	553 246	2 629 162
389	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	616 997	2 618 703	419	Hesdigneul les Boul.	sech. 89/91	Fz	553 265	2 629 145
390	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	617 166	2 618 788	420	Hesdigneul les Boul.	sech. 89/91	Fz	553 468	2 629 299
391	Gonnehem	sech. 95/97	Fz	617 275	2 618 852	421	Hesdigneul les Boul.	sech. 89/91	Fz	553 249	2 629 195
392	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	617 419	2 619 651	422	Hesdin l'Abbé	sech. 89/92	j3-6	553 958	2 630 178
393	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	617 315	2 619 979	423	Hesdin l'Abbé	sech. 93/94	n3-4W	554 706	2 632 116
394	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	616 044	2 618 654	424	Hesdin l'Abbé	sech. 89	j6W-8a	554 569	2 631 891
395	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	615 791	2 619 011	425	Hesdin l'Abbé	sech. 93/94	j3-6	553 993	2 630 465
396	Gonnehem	sech. 95/97	OE/e4-2	615 518	2 618 500	426	Heuringhem	sech. 89/90	Fz	596 821	2 633 447
397	Gonnehem	sech. 95/97	e2c-3-4	613 563	2 618 078	427	Heuringhem	sech. 89/90	OE-S/e4-2	596 488	2 634 626
398	Gonnehem	sech. 95/97	e2c-3-4	614 948	2 618 515	428	Heuringhem	sech. 89/90	OE-S/e4-2	596 574	2 634 645
399	Gonnehem	sech. 95/97	e2c-3-4	615 280	2 618 823	429	Heuringhem	sech. 89/90	OE-S/e4-2	596 652	2 634 654

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
430	Heuringhem	sech. 89/90	OE-S/e4-2	596 688	2 634 659	461	Hinges	sech. 96	e2c-3-4	620 559	2 620 803
431	Heuringhem	sech. 89/90	OE-S/e4-2	596 928	2 634 609	462	Hinges	sech. 96	e2c-3-4	620 621	2 620 778
432	Heuringhem	sech. 89/90	e2c-3-4	596 984	2 634 528	463	Hinges	sech. 96	Fz	620 861	2 621 514
433	Heuringhem	sech. 89/90	e2c-3-4	597 022	2 634 473	464	Hinges	sech. 96	Fz	620 884	2 621 567
434	Heuringhem	sech. 89/90	OE/e4-2	597 813	2 634 097	465	Hinges	sech. 96	OE/e4-2	620 344	2 619 986
435	Heuringhem	sech. 89/90	OE/e4-2	597 760	2 634 100	466	Hinges	sech. 95	OE/e4-2	620 927	2 621 052
436	Heuringhem	sech. 89/90	OE/e4-2	597 741	2 634 049	467	Houille	sech. 89/90	OE/e4-2	588 173	2 644 797
437	Heuringhem	sech. 89/90	Fz	598 170	2 633 782	468	Isbergues	sech. 95/96	Fz	608 749	2 623 494
438	Heuringhem	sech. 89/90	e2c-3-4	597 955	2 634 353	469	Isbergues	sech. 95/96	Fz	609 150	2 623 866
439	Heuringhem	sech. 89/90	e2c-3-4	598 000	2 634 342	470	Isbergues	sech. 95/96	Fz	609 064	2 623 938
440	Heuringhem	sech. 89/90	e2c-3-4	598 084	2 634 306	471	Isbergues	sech. 95/96	Fz	608 073	2 624 105
441	Heuringhem	sech. 95/97	e2c-3-4	596 255	2 634 153	472	Isbergues	sech. 95/96	Fz	607 031	2 623 551
442	Heuringhem	sech. 95/97	OE-S/e4-2	596 339	2 634 605	473	Isbergues	sech. 95/96	Fz	609 783	2 624 521
443	Heuringhem	sech. 95/97	OE-S/e4-2	596 953	2 634 601	474	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	609 008	2 624 880
444	Heuringhem	sech. 95/97	OE-S/e4-2	596 936	2 634 576	475	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	608 853	2 625 502
445	Heuringhem	sech. 95/97	e2c-3-4	596 936	2 634 541	476	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	608 685	2 625 396
446	Heuringhem	sech. 95/97	OE-S/e4-2	597 823	2 634 413	477	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	608 769	2 625 111
447	Heuringhem	sech. 95/97	e2c-3-4	597 884	2 634 356	478	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	608 718	2 625 692
448	Heuringhem	sech. 95/97	Fz	598 501	2 633 586	479	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	608 284	2 625 619
449	Heuringhem	sech. 95/97	Fz	596 119	2 633 313	480	Isbergues	sech. 95/96	Fz	607 322	2 626 174
450	Heuringhem	sech. 95/97	OE/Cr	596 176	2 632 713	481	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	608 557	2 625 070
451	Heuringhem	sech. 89/90	OE-S/e4-2	596 840	2 634 632	482	Isbergues	sech. 95/96	OE/e4-2	609 440	2 623 786
452	Heuringhem	sech. 89/90	e2a (b-a)	595 577	2 633 959	483	Isques	sech. 96	j6W-8a	550 948	2 631 801
453	Hinges	sech. 89/90	Fz	621 091	2 621 850	484	Isques	sech. 96	Grès Wirwignes	550 849	2 631 805
454	Hinges	sech. 89/90	Fz	621 135	2 621 920	485	Isques	sech. 96	Grès Wirwignes	551 228	2 631 598
455	Hinges	sech. 89/90	OE/e4-2	621 555	2 621 819	486	Isques	sech. 96	Grès Wirwignes	551 263	2 631 580
456	Hinges	sech. 89/90	OE/e4-2	621 564	2 621 757	487	Isques	sech. 96	Grès Wirwignes	551 305	2 631 565
457	Hinges	sech. 89/90	OE/e4-2	621 527	2 621 629	488	Isques	sech. 96	Grès Wirwignes	551 628	2 631 207
458	Hinges	sech. 89/90	OE/e4-2	620 912	2 621 125	489	Isques	sech. 96	j6W-8a	550 492	2 632 293
459	Hinges	sech. 89/90	e2c-3-4	620 609	2 620 730	490	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 544	2 618 703
460	Hinges	sech. 89/90	OE/e4-2	620 131	2 618 419	491	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 215	2 619 272

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
492	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 517	2 620 272	522	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	624 909	2 621 665
493	La Couture	sech. 95	Fz	626 842	2 620 841	523	La Couture	sech. 95	Fz	627 811	2 618 956
494	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 815	2 620 783	524	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	632 424	2 624 672
495	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 277	2 620 934	525	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 846	2 625 223
496	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 193	2 620 858	526	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 842	2 625 143
497	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	626 144	2 620 316	527	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 587	2 625 672
498	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	625 521	2 620 338	528	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 572	2 625 641
499	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	625 112	2 620 040	529	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 340	2 625 246
500	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	624 859	2 621 067	530	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 720	2 625 212
501	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	624 908	2 621 089	531	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	632 584	2 624 228
502	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	624 948	2 620 756	532	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 596	2 623 310
503	La Couture	sech. 95	Fz	624 610	2 621 587	533	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	631 039	2 626 172
504	La Couture	sech. 95	Fz	625 188	2 621 987	534	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 773	2 626 003
505	La Couture	sech. 95	Fz	625 152	2 621 907	535	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	629 948	2 625 673
506	La Couture	sech. 95	Fz	624 899	2 621 667	536	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 739	2 626 466
507	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	625 793	2 621 805	537	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	631 981	2 624 091
508	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	627 313	2 620 125	538	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	632 002	2 623 037
509	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	627 633	2 619 956	539	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	632 694	2 626 072
510	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	627 744	2 620 036	540	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	632 715	2 626 129
511	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	628 157	2 619 903	541	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	631 013	2 625 517
512	La Couture	sech. 95	OE/e4-2	628 362	2 620 032	542	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	632 945	2 625 259
513	La Couture	sech. 91/93	Fz	625 078	2 622 146	543	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 930	2 625 681
514	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	625 667	2 621 110	544	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 930	2 625 645
515	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	625 127	2 622 643	545	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 933	2 625 604
516	La Couture	sech. 91/93	Fz	625 004	2 622 151	546	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 939	2 625 565
517	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	624 975	2 622 536	547	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 947	2 625 538
518	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	625 016	2 622 588	548	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 961	2 625 507
519	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	627 247	2 619 661	549	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 963	2 625 463
520	La Couture	sech. 91/93	OE/e4-2	627 200	2 619 346	550	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 969	2 625 433
521	La Couture	sech. 91/93	Fz	624 620	2 621 585	551	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 980	2 625 395

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
552	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 991	2 625 362	583	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 662	2 625 533
553	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 985	2 625 310	584	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 008	2 625 899
554	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	630 929	2 625 727	585	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	624 474	2 625 602
555	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	631 050	2 625 075	586	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 471	2 625 421
556	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	633 250	2 624 680	587	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 763	2 624 757
557	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	633 327	2 624 776	588	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	624 649	2 624 732
558	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	633 180	2 624 592	589	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 403	2 624 653
559	Laventie	sech. 95/97	OE/e4-2	631 303	2 625 096	590	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	624 336	2 625 272
560	Leforest	sech. 95/97	OE/e4-2	651 627	2 605 016	591	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 502	2 625 131
561	Leforest	sech. 95/97	OE/e4-2	651 668	2 605 001	592	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 337	2 624 986
562	Leforest	sech. 95/97	OE/e4-2	651 583	2 605 018	593	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 996	2 625 394
563	Leforest	sech. 95/97	OE/e4-2	651 464	2 604 945	594	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	621 873	2 624 781
564	Leforest	sech. 95/97	Fz	651 504	2 604 693	595	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	622 147	2 624 425
565	Leforest	sech. 95/97	Fz	651 521	2 604 672	596	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	624 428	2 623 733
566	Leforest	sech. 95/97	Fz	651 542	2 604 655	597	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 970	2 623 466
567	Leforest	sech. 95/97	Fz	651 565	2 604 638	598	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 027	2 623 215
568	Leforest	sech. 95/97	OE/e4-2	651 560	2 605 099	599	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	621 550	2 623 258
569	Lens	sech. 91	OE/Cr	635 794	2 605 613	600	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	622 322	2 622 503
570	Les Attaques	sech. 96	MzD	569 933	2 655 026	601	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	622 457	2 622 506
571	Les Attaques	sech. 96	MzD	569 582	2 655 181	602	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 077	2 622 632
572	Les Attaques	sech. 96	MzD	569 308	2 655 171	603	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	626 218	2 623 126
573	Les Attaques	sech. 96	MzD	569 773	2 657 029	604	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 677	2 623 917
574	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 938	2 624 006	605	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 400	2 623 515
575	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	626 208	2 624 405	606	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	622 150	2 623 505
576	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 467	2 624 514	607	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 256	2 625 737
577	Lestrem	sech. 95/96	Fz	625 760	2 625 117	608	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 368	2 625 721
578	Lestrem	sech. 95/96	Fz	625 585	2 625 239	609	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 002	2 624 633
579	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	626 611	2 625 216	610	Lestrem	sech. 95/96	Fz	622 101	2 623 835
580	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	626 873	2 626 187	611	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	626 047	2 624 086
581	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 794	2 625 012	612	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	623 139	2 623 238
582	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 606	2 624 949	613	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	626 175	2 623 298

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
614	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 741	2 625 375	642	Longuenesse	sech..90	Fz	594 921	2 638 839
615	Lestrem	sech. 95/96	Fz	624 567	2 625 539	643	Longuenesse	sech..90	Fz	594 768	2 638 921
616	Lestrem	sech. 95/96	OE/e4-2	625 885	2 623 598	644	Longuenesse	sech..90	OE/e4-2	595 046	2 638 095
617	Linghem	sech. 95/97	Ostri	602 846	2 622 695	645	Longuenesse	sech..90	OE/e4-2	595 080	2 638 072
618	Linghem	sech. 95/97	OE-S/e4-2	602 954	2 622 776	646	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	592 922	2 637 675
619	Linghem	sech. 95/97	e2a (b-a)	602 435	2 622 195	647	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	592 942	2 637 757
620	Linghem	sech. 95/97	OE/Cr	602 505	2 622 129	648	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	593 019	2 637 774
621	Linghem	sech. 95/97	e2a (b-a)	602 643	2 622 538	649	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	592 704	2 637 621
622	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 652	2 618 319	650	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	593 942	2 638 237
623	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 678	2 618 776	651	Longuenesse	sech..90	Fz	594 884	2 638 850
624	Locon	sech. 89/92	Fz	623 408	2 618 165	652	Longuenesse	sech..90	OE/e4-2	594 095	2 637 959
625	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	623 196	2 619 156	653	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	593 437	2 637 773
626	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	623 226	2 619 198	654	Longuenesse	sech..90	Fz	595 326	2 638 727
627	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	623 443	2 619 612	655	Longuenesse	sech..90	C-Lv	593 644	2 638 796
628	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	625 037	2 619 438	656	Longuenesse	sech..90	Fz	595 049	2 639 020
629	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	624 173	2 619 723	657	Longuenesse	sech..90	C-Lv	593 550	2 638 730
630	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	624 101	2 619 742	658	Longuenesse	sech..90	OE/Cr	593 643	2 639 001
631	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 960	2 620 872	659	Longuenesse	sech..90	Fz	595 078	2 639 129
632	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 910	2 620 822	660	Longuenesse	sech..90	OE/e4-2	594 180	2 637 944
633	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 857	2 620 940	661	Longuenesse	sech..90	e2a (b-a)	594 069	2 638 213
634	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 454	2 621 450	662	Longuenesse	sech..90	Fz	594 940	2 638 868
635	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	623 500	2 619 605	663	Longuenesse	sech..90	Fz	595 288	2 638 815
636	Locon	sech. 89/92	Fz	624 588	2 619 726	664	Longuenesse	sech..96	C-Lv	593 209	2 638 640
637	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	623 329	2 619 285	665	Lottinghem	sech..96	n6G-c1b	572 520	2 632 104
638	Locon	sech. 89/92	OE/e4-2	622 910	2 618 395	666	Marles-les-Mines	sech..97	OE/Cr	612 088	2 613 116
639	Longuenesse	sech. 96	OE/Cr	593 050	2 638 572	667	Marquise	sech..96	Fz	556 101	2 645 937
640	Longuenesse	sech. 90	OE/Cr	592 605	2 638 047	668	Marquise	sech..96	OE/Cr	555 070	2 647 477
641	Longuenesse	sech. 90	Fz	594 862	2 638 529	669	Menneville	sech..89/91	j3-6	567 094	2 632 561

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
670	Molinghem	sech. 89/91	OE/e4-2	608 333	2 625 307	700	Mont-Bernanchon	sech. 89/90	OE/e4-2	618 760	2 620 456
671	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	620 558	2 621 515	701	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 894	2 620 673
672	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	620 203	2 622 248	702	Mouille	sech. 89/91	Fz	588 758	2 644 508
673	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	620 002	2 622 294	703	Mouille	sech. 89/91	Fz	588 755	2 644 619
674	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 995	2 622 358	704	Mouille	sech. 89/91	Fz	588 717	2 644 657
675	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 555	2 622 302	705	Mouille	sech. 89/91	e2a (b-a)	588 568	2 643 491
676	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 376	2 622 574	706	Mouille	sech. 89/91	e2c-3-4	589 420	2 644 771
677	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 290	2 622 887	707	Muncq-Nieurlet	sech. 89/90	OE/e4-2	584 330	2 650 596
678	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 582	2 623 431	708	Muncq-Nieurlet	sech. 89/90	e2c-3-4	584 189	2 650 038
679	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 085	2 622 268	709	Muncq-Nieurlet	sech. 89/90	OE/e4-2	584 173	2 650 617
680	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 977	2 622 119	710	Muncq-Nieurlet	sech. 96	e2c-3-4	584 278	2 650 455
681	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 865	2 622 048	711	Muncq-Nieurlet	sech. 96	OE/e4-2	584 189	2 650 622
682	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 824	2 621 795	712	Muncq-Nieurlet	sech. 96	e2c-3-4	583 949	2 650 493
683	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 033	2 621 247	713	Muncq-Nieurlet	sech. 89/90	e2c-3-4	584 095	2 650 314
684	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 709	2 621 500	714	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	578 556	2 663 164
685	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 150	2 621 627	715	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	578 359	2 662 148
686	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 100	2 620 546	716	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 288	2 661 801
687	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 888	2 620 785	717	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 529	2 660 559
688	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 985	2 620 930	718	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 611	2 660 429
689	Mont-Bernanchon	sech. 95	e2c-3-4	618 485	2 620 792	719	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 389	2 659 259
690	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	618 254	2 621 236	720	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 659	2 659 052
691	Mont-Bernanchon	sech. 95	e2c-3-4	617 896	2 621 086	721	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	580 035	2 659 090
692	Mont-Bernanchon	sech. 95	e2c-3-4	617 796	2 621 124	722	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	580 102	2 659 167
693	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	617 814	2 621 295	723	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	580 126	2 659 085
694	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	617 009	2 621 798	724	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	580 473	2 657 939
695	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	616 476	2 622 082	725	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 664	2 658 869
696	Mont-Bernanchon	sech. 95	Fz	616 502	2 622 447	726	Nouvelle-Eglise	sech. 89/91	MzD	579 399	2 663 400
697	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	617 382	2 622 667	727	Outreau	sech. 91/97	sable et grès	547 731	2 635 035
698	Mont-Bernanchon	sech. 95	Fz	617 665	2 623 088	728	Outreau	sech. 91/97	j(6-7a)-Bc	547 707	2 635 050
699	Mont-Bernanchon	sech. 95	OE/e4-2	619 759	2 622 179	729	Outreau	sech. 91/97	Grès Crèche	547 168	2 635 338

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
730	Outreau	sech. 89/90	j6V-8a	547 854	2 635 020	760	Recques sur Hem	sech. 89/90	OE/e4-2	583 711	2 650 332
731	Outreau	sech. 89/90	Fz	548 193	2 632 985	761	Recques sur Hem	sech. 89/90	e2c-3-4	582 957	2 648 934
732	Outreau	sech. 89/90	j6V-8a	547 728	2 634 968	762	Rety	sech. 95/97	n6G-c1b	561 206	2 646 072
733	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 250	2 634 613	763	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	629 478	2 619 107
734	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 317	2 634 503	764	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	629 355	2 619 338
735	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 678	2 634 499	765	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	627 469	2 624 021
736	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 871	2 634 628	766	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	627 488	2 623 413
737	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	547 645	2 634 218	767	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	628 688	2 620 502
738	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 253	2 634 405	768	Richebourg	sech. 91/92	OE/e4-2	629 961	2 619 936
739	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 296	2 634 411	769	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	629 052	2 619 875
740	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 112	2 634 701	770	Richebourg	sech. 89/90	Fz	629 249	2 620 262
741	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	547 394	2 634 190	771	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	628 769	2 620 571
742	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 709	2 633 967	772	Richebourg	sech. 91/92	OE/e4-2	629 576	2 619 023
743	Outreau	sech. 91/97	j7A-9b	546 320	2 634 395	773	Richebourg	sech. 91/92	OE/e4-2	629 683	2 619 065
744	Outreau	sech. 89/90	j7A-9b	546 225	2 634 227	774	Richebourg	sech. 91/92	OE/e4-2	629 934	2 619 328
745	Outreau	sech. 91/97	j7A-9b	546 877	2 634 824	775	Richebourg	sech. 91/92	OE/e4-2	627 349	2 624 037
746	Outreau	sech. 91/97	j7A-9b	546 914	2 634 815	776	Richebourg	sech. 93/97	OE/e4-2	627 667	2 624 287
747	Oye Plage	sech. 90	dunes	580 334	2 667 203	777	Richebourg	sech. 89/90	OE/e4-2	628 971	2 619 934
748	Quiestpde	sech. 91/96	OE/e4-2	600 935	2 631 785	778	Richebourg	sech. 93/97	OE/e4-2	629 586	2 619 021
749	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	600 877	2 632 769	779	Richebourg	sech. 93/97	OE/e4-2	629 693	2 619 063
750	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	600 891	2 632 756	780	Richebourg	sech. 93/97	OE/e4-2	629 943	2 619 326
751	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	600 931	2 632 756	781	Richebourg	sech. 92	Fz	628 429	2 620 141
752	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	600 927	2 632 723	782	Robecq	sech. 95/97	OE/e4-2	616 723	2 622 997
753	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	600 971	2 632 826	783	Ruiz	sech. 96	C-Lv	617 587	2 607 275
754	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	601 062	2 632 702	784	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	630 755	2 629 091
755	Racquinghem	sech. 96	OE-S/e4-2	600 899	2 632 794	785	Sailly / Lys	sech. 96	Fz	630 719	2 629 428
756	Rebreuve-Ranchicourt	sech. 89/91	d1-h	615 845	2 604 432	786	Sailly / Lys	sech. 96	Fz	630 406	2 629 087
757	Rebreuve-Ranchicourt	sech. 89/91	d1-h	615 869	2 604 407	787	Sailly / Lys	sech. 96	Fz	630 906	2 629 567
758	Rebreuve-Ranchicourt	sech. 89/91	Fz	615 463	2 604 763	788	Sailly / Lys	sech. 96	Fz	631 728	2 629 920
759	Recques sur Hem	sech. 89/90	e2c-3-4	580 768	2 648 852	789	Sailly / Lys	sech. 96	Fz	631 811	2 629 905

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
790	Sailly / Lys	sech. 96	Fz	631 875	2 629 869	821	St Leonard	sech. 91/98	j6W-8a	550 143	2 633 219
791	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	632 792	2 629 865	822	St Leonard	sech. 91/98	Fz	549 529	2 633 554
792	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	631 128	2 628 773	823	St Leonard	sech. 91/98	j6W-8a	549 863	2 633 429
793	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	631 430	2 628 376	824	St Leonard	sech. 91/98	j6W-8a	549 816	2 633 353
794	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	632 049	2 629 099	825	St Leonard	sech. 91/98	Fz	549 615	2 633 576
795	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	632 252	2 628 753	826	St Leonard	sech. 91/98	Fz	549 830	2 632 420
796	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	632 728	2 629 714	827	St Leonard	sech. 91/98	j6W-8a	550 056	2 633 594
797	Sailly / Lys	sech. 96	OE/e4-2	632 069	2 629 639	828	St Omer	sech. 89/90	Fz	594 793	2 639 862
798	Sailly / Lys	sech. 90	OE/e4-2	632 057	2 629 301	829	St Omer	sech. 89/90	Fz	594 683	2 640 521
799	Salperwick	sech. 89/90	OE/e4-2	591 488	2 641 972	830	St Omer	sech. 89/90	Fz	594 979	2 639 414
800	Salperwick	sech. 89/90	Fz	593 049	2 642 256	831	St Omer	sech. 89/90	Fz	595 052	2 640 218
801	Samer	sech. 89/98	j6W-8a	558 092	2 627 135	832	St Omer	sech. 89/90	e2a (b-a)	594 626	2 639 686
802	Samer	sech. 89/98	Grès Wirwignes	557 883	2 627 025	833	St Omer	sech. 89/90	Fz	595 400	2 640 299
803	Samer	sech. 89/98	Grès Wirwignes	557 768	2 627 025	834	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	565 619	2 656 293
804	Samer	sech. 89/98	j6W-8a	557 785	2 627 239	835	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	OE/Cr	565 556	2 656 538
805	Samer	sech. 89/98	Grès Wirwignes	557 929	2 627 003	836	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	OE/Cr	565 595	2 656 612
806	Samer	sech. 89/98	Grès Wirwignes	557 866	2 626 914	837	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	OE/Cr	565 579	2 656 663
807	Samer	sech. 89/98	j6W-8a	557 907	2 626 682	838	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	OE/Cr	565 701	2 656 694
808	Samer	sech. 89/98	n3-4W	558 252	2 627 459	839	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	565 714	2 656 734
809	Saudemont	sech. 96	Fz	650 009	2 583 399	840	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	565 762	2 656 774
810	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 662	2 625 459	841	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	566 142	2 656 972
811	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 385	2 625 720	842	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	566 105	2 656 998
812	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 414	2 625 837	843	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	566 174	2 657 008
813	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 571	2 626 000	844	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	566 182	2 657 120
814	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 362	2 626 290	845	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	566 203	2 657 167
815	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 437	2 626 316	846	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	565 963	2 657 130
816	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	617 040	2 626 134	847	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	Tz	565 762	2 657 323
817	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	617 561	2 626 473	848	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	OE/e4-2	566 494	2 656 211
818	St Floris	sech. 96	OE/e4-2	616 701	2 625 498	849	St Tricat/Hames Bcre	sech. 89/91	C-Lv	565 066	2 654 130
819	St L'Uger	sech. 89/90	C-Lv	637 461	2 576 646	850	St Venant	sech. 89/90	OE/e4-2	614 565	2 625 115
820	St Leonard	sech. 91/98	j6W-8a	549 717	2 633 235	851	St-Martin-au-Laërt	sech. 96	e2a (b-a)	593 157	2 639 172

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
852	St-Martin-au-Laërt	sech. 89	Fz	593 452	2 640 915	882	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 715	2 636 600
853	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 736	2 637 111	883	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 748	2 636 573
854	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 750	2 637 108	884	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 730	2 636 536
855	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 734	2 637 093	885	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 691	2 636 557
856	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 711	2 637 090	886	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 645	2 636 575
857	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 688	2 637 083	887	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 596	2 636 588
858	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 697	2 637 069	888	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 611	2 636 625
859	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 721	2 637 060	889	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 701	2 636 594
860	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 733	2 637 072	890	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 746	2 636 557
861	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 716	2 637 065	891	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	548 875	2 635 440
862	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 691	2 637 048	892	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 607	2 636 607
863	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 671	2 637 055	893	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 627	2 636 599
864	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 708	2 637 047	894	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 648	2 636 557
865	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 718	2 637 035	895	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 669	2 636 552
866	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 735	2 637 055	896	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 689	2 636 602
867	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 720	2 637 073	897	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 602	2 636 639
868	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 710	2 637 093	898	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j(6-7a)-8c	549 756	2 636 909
869	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 694	2 637 073	899	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	550 294	2 635 795
870	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 714	2 637 062	900	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	Grès Crèche	550 223	2 637 612
871	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 733	2 637 084	901	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	Grès Crèche	550 182	2 637 548
872	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 727	2 637 099	902	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	549 612	2 636 637
873	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 709	2 637 083	903	St-Martin-Boulogne	sech. 91/98	j6V-8a	548 885	2 635 438
874	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 703	2 637 065	904	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j(6-7a)-8c	549 712	2 637 107
875	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	Grès Crèche	550 438	2 637 319	905	Thelus	sech. 89/90	OE/Cr	632 909	2 595 666
876	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 423	2 636 299	906	Vendin-lès-béthune	sech. 89/90	OE/e4-2	619 193	2 617 082
877	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	548 863	2 635 167	907	Vendin-lès-béthune	sech. 89/90	e2c-3-4	619 220	2 616 987
878	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 602	2 636 639	908	Vendin-lès-béthune	sech. 89/90	OE/e4-2	619 085	2 617 223
879	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 635	2 636 612	909	Vendin-lès-béthune	sech. 89/90	OE/e4-2	619 200	2 617 041
880	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 689	2 636 602	910	Vendin-lès-béthune	sech. 89/90	e2c-3-4	619 159	2 617 183
881	St-Martin-Boulogne	sech. 89/90	j6V-8a	549 656	2 636 639	911	Vendin-lès-béthune	sech. 89/90	e2c-3-4	619 247	2 616 907

n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e	n°	commune	secheresse	géologie	XL2e	YL2e
912	Verincthun	sech: 89/90	n6G-c1b	553 985	2 626 507	943	Vimy	sech. 95	OE/Cr	633 816	2 597 028
913	Verincthun	sech: 89/90	n6G-c1b	553 311	2 626 307	944	Vimy	sech. 96	OE/Cr	632 898	2 597 721
914	Vieille-Chapelle	sech: 95/97	OE/e4-2	627 160	2 622 183	945	Vitry en Artois	sech. 91	OE/Cr	646 092	2 592 502
915	Vieille-Chapelle	sech: 95/97	OE/e4-2	627 064	2 621 073	946	Wardrecques	sech. 89/90	OE/e4-2	601 110	2 635 070
916	Vieille-Chapelle	sech: 95/97	OE/e4-2	627 114	2 621 091	947	Wardrecques	sech. 89/90	e2c-3-4	599 852	2 632 973
917	Vieille-Chapelle	sech: 95/97	OE/e4-2	626 185	2 621 991	948	Wardrecques	sech. 89/90	OE/e4-2	601 351	2 634 837
918	Vieille-Chapelle	sech: 95/97	OE/e4-2	626 310	2 622 091	949	Willeman	sech. 91	Fz	586 704	2 595 516
919	Vieille-Chapelle	sech: 95/96	OE/e4-2	628 046	2 622 731	950	Wimille	sech. 96	J7A-9b	550 159	2 640 810
920	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 643	2 597 995	951	Wittes	sech: 95/97	OE-S/e4-2	603 950	2 630 729
921	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 631	2 597 995	952	Wittes	sech: 95/97	OE-S/e4-2	604 024	2 630 631
922	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 618	2 597 999	953	Wittes	sech: 95/97	OE-S/e4-2	603 592	2 630 958
923	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 629	2 598 007	954	Wittes	sech: 95/97	OE-S/e4-2	603 541	2 631 019
924	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 648	2 598 009	955	Wittes	sech: 95/97	OE/e4-2	605 400	2 630 253
925	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 869	2 596 992	956	Wittes	sech: 95/97	OE/e4-2	605 360	2 630 222
926	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 887	2 596 987	957	Wittes	sech: 95/97	Fz	602 230	2 631 093
927	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 879	2 596 999	958	Zutkerque	sech. 89/90	e2c-3-4	579 438	2 649 312
928	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 899	2 596 999	959	Zutkerque	sech. 89/90	OE/e4-2	579 066	2 649 183
929	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 892	2 597 012	960	Zutkerque	sech. 89/90	e2c-3-4	579 401	2 649 486
930	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 868	2 596 972	961	Zutkerque	sech. 89/90	OE/e4-2	579 328	2 649 041
931	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 870	2 597 073	962	Zutkerque	sech. 89/90	e2c-3-4	579 420	2 649 408
932	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 851	2 597 056	963	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	566 055	2 657 888
933	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 831	2 597 041	964	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	566 093	2 657 529
934	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 837	2 597 122	965	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	565 571	2 657 731
935	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 817	2 597 137	966	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	565 697	2 657 621
936	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 571	2 597 992	967	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	565 016	2 657 482
937	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 571	2 597 995	968	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	565 032	2 657 492
938	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 577	2 598 172	969	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	565 050	2 657 505
939	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 728	2 598 099	970	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	565 074	2 657 484
940	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 933	2 597 240	971	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	564 940	2 657 356
941	Vimy	sech: 95	OE/Cr	633 756	2 597 011	972	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	564 952	2 657 368
942	Vimy	sech: 95	e2a (b-a)	633 900	2 597 955	973	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	564 963	2 657 378
						974	Nielles-les-Calais	sech. 89/90	Tz	564 981	2 657 395

Annexe 3 – Liste et coordonnées des organismes ayant fourni des données géotechniques

CETE Nord-Picardie :

42 bis, rue du Marais Sequedin
BP 99
59482 Haubourdin cedex
Tel : 03.20.48.49.49
Fax : 03.20.50.55.09

Coordonnées des bureaux d'études ayant fourni des données :

Solen Géotechnique :

Direction Régionale Nord
Technoparc Futura
62400 - Béthune
Tél : 03.21.56.43.43
Fax : 03.21.68.19.99

ANTEA :

Agence Nord – Pas-de-Calais – Picardie – Champagne - Ardennes
Synergie Park
5 avenue L. Néel
59260 LEZENNES
Tél : 03.20.43.25.55
Fax : 03.20.05.54.87

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

Union Syndicale de Géotechnique

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



Annexe 4 – Résultats d'analyses des échantillons jurassiques du Boulonnais

- Localisation et photo
- Principe d'analyses minéralogiques par diffraction des Rayons X
 - Résultats des analyses minéralogiques RX
 - Résultats des analyses géotechniques (IP, Vb)

Neuf échantillons ont été prélevés pour analyses minéralogique RX et géotechnique (Ip, VB) afin de caractériser la susceptibilité au retrait-gonflement de certaines formations d'âge jurassique. Monsieur Jean-Pierre Vidier a bien voulu nous conduire sur les quelques points d'affleurement accessibles de ces formations (Boulonnais). Les coordonnées sont indiquées en système Lambert 2 étendu métrique.

- Échantillon 1 : *Argile de Wimereux* (sommet) : X : 549 940 - Y : 2 639 560

Prélèvement dans une loupe de glissement ; partie sommitale de la formation. Proximité du repère Ph3.

- Échantillon 2 : *Argile de Wimereux* (partie inférieure) : X : 551 050 – Y : 2 641 820

- Échantillon 3 : *Argile de Montaubert* (partie supérieure) : X : 562 930 - Y : 2 638 910

Prélèvement dans le talus nord de la RN42

- Échantillon 4 : *Argile de la Crèche* (partie supérieure) : X : 551 050 – Y : 2 641 820

- Échantillons 5-6-7 : *Argiles du Coquillot* (sommet) : X : 560 380 - Y : 2 643 930

prise dans une tranchée de pose de fondations d'une habitation au « Vert Mont ». Faune de *Cardioceras cf. bukowskii*. (Cliché photographique).

- Échantillon 8 : *Argiles du Coquillot* (partie inférieure) : X : 562 930 – Y : 2 638 910

Prélèvement dans le talus nord de la RN42

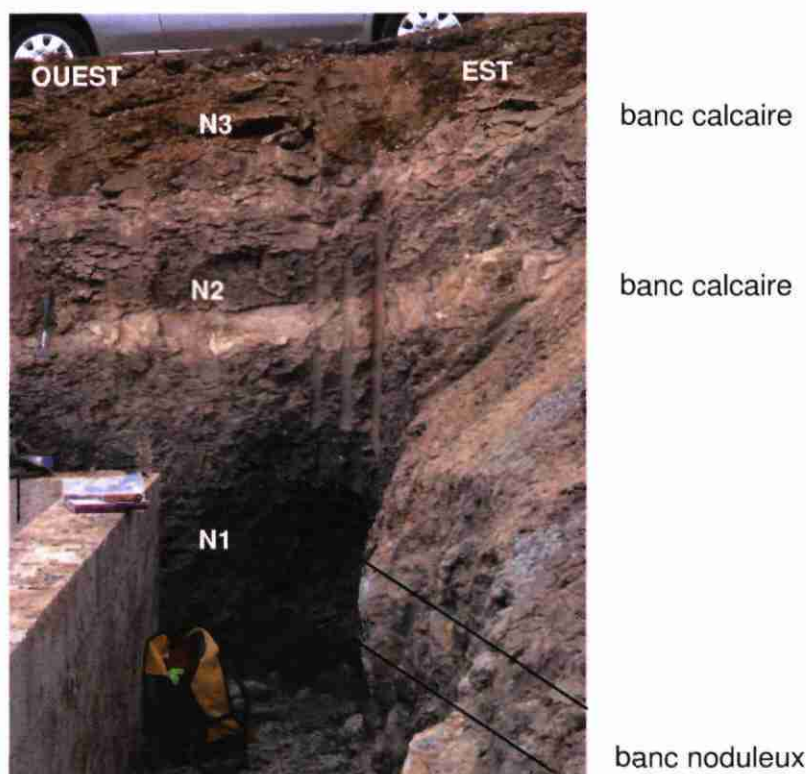
- Échantillon 9 : *Argiles du Moulin Wibert* (falaise de bord de mer).

Exemple d'affleurement des Argiles du Coquillot (Oxfordien inférieur), formation argileuse appartenant au Groupe Le Waast et intégrée dans la formation **Argiles du Callovien-Oxfordien**

Cet affleurement est accessible très ponctuellement et très momentanément au niveau des fondations d'une maison d'habitation, en construction au Sud-Est de Réty, bourg de Vert-Mont. Ces niveaux correspondent à la partie tout à fait supérieure des *Argiles du Coquillot*, d'après l'analyse de la macrofaune (*Cardioceras cf. bukowskii*, gryphées, pectenidés). Leur épaisseur est d'environ 3 mètres.

Trois faciès distincts se présentent :

- Niveau 1 : niveau de base des fondations. Ces argiles plastiques et gorgées d'eau sont bleues à noir foncé. D'environ 1,40 mètres d'épaisseur, elles sont coiffées par un banc calcaire induré très altéré de 20-25 centimètres d'épaisseur. Dans leur partie basale, à 30 centimètres du sol, un banc noduleux calcaire de 20 centimètres d'épaisseur est présent.
- Niveau 2 : les argiles sont grisâtres et légèrement oxydées. D'une épaisseur d'environ 50 centimètres, elles sont recouvertes d'un banc calcaire de 20 centimètres d'épaisseur.
- Niveau 3 : les argiles sont de couleur beige et semblent constituer la partie la plus altérée des *Argiles du Coquillot*. Épaisseur : 20 centimètres.



Analyses minéralogiques par diffraction des rayons X

Principe de la méthode :

La diffraction des rayons X permet de définir la composition minéralogique de la fraction argileuse ($<2\mu\text{m}$) ou de la roche totale. Cette méthode est basée sur le principe de la diffraction d'un faisceau de rayons X incidents par un réseau de plans cristallins selon la loi de Bragg :

$k\lambda = 2d\sin\Theta$	avec	λ = longueur d'onde du faisceau d = distance inter-réticulaire du réseau de plans cristallins Θ = angle d'incidence du faisceau sur le réseau
---------------------------	------	--

En faisant tourner selon un angle Θ l'échantillon autour d'un axe perpendiculaire au faisceau incident, il est possible de déterminer les distances d caractéristiques des différents minéraux argileux (Holtzapffel, 1985). Cette analyse est réalisée à l'aide d'un diffractomètre de type Philips 1730 à anticathode de cuivre. Les modalités expérimentales nécessitent une tension de 40kV, une intensité de 25mA et une sensibilité de 1000 coups/seconde. Cet appareil permet de faire de la diffraction des RX avec un balayage de $1^\circ 2\Theta/\text{minute}$.

Préparation des pâtes orientées :

Dans le cas de l'analyse d'une roche totale, l'échantillon est broyé afin d'obtenir une poudre constituée de grains de $40\mu\text{m}$ de diamètre environ. La poudre est ensuite compactée dans une pastille et l'échantillon est passé au diffractomètre.

Dans le cas de l'analyse de la fraction argileuse des roches, les échantillons bruts sont mis à déliter dans de l'eau distillée. Ils sont ensuite décarbonatés par un traitement à l'acide chlorhydrique N/5. L'excès d'acide est ensuite éliminé par rinçages successifs jusqu'à défloculation du matériel argileux. La partie supérieure de la solution est ensuite prélevée à l'aide d'une seringue après micro-homogénéisation et décantation pendant une durée définie par l'application de la loi de Stokes :

$t = 190x/d^2$	avec	t = temps de sédimentation (minutes) d = diamètre des particules (μm) x = profondeur de descente des particules de diamètre d (cm)
----------------	------	---

Le prélèvement est ensuite centrifugé à 3500 tours/minutes pendant 45 minutes. Le culot de centrifugation est ensuite récupéré et étalé sur une lame de verre rainurée afin de permettre l'orientation des minéraux argileux.

Traitements :

Une analyse diffractométrique complète nécessite plusieurs traitements qui mettent en évidence la variabilité de l'équidistance entre les feuillets des argiles. Chaque échantillon est soumis à trois passages au diffractomètre : 1) après séchage à l'air libre et à température ambiante (essai Naturel), 2) après saturation par l'éthylène glycol sous vide pendant 12 heures (essai glycolé) et 3) après chauffage à 490°C pendant 2 heures (essai chauffé).

Interprétation des diffractogrammes :

La détermination qualitative et semi-quantitative des minéraux argileux est alors possible grâce à l'étude des 3 diffractogrammes obtenus. Les résultats qualitatifs sont basés sur la reconnaissance des pics associés aux distances inter-réticulaire des faces principales des différents minéraux argileux en présence (Brindley et Brown, 1980). Les résultats semi-quantitatifs obtenus par l'intermédiaire du logiciel MacDiff (Petschick, 1999) sont précis à $\pm 5\%$.

échantillons	smectite	chlorite	illite	kaolinite	Interstratifiés illite-smectite et illite-chlorite
Argiles de Coquillot (base)	5	10	40	30	15
Argiles de Coquillot (niveau 1)	80	0	10	10	0
Argiles de Coquillot (niveau 2)	90	0	10	0	0
Argiles de Coquillot (niveau 3)	80	0	15	5	0
Argiles de la Crèche	45	5	35	15	0
Argiles de Montaubert (3m sous le banc 10)	0	10	35	40	15
Argiles de Moulin Wibert	5	5	35	55	0
Argiles de Wimereux (sommet)	5	5	45	35	10
Argiles de Wimereux (au dessus des niveaux phosphatés)	25	5	35	30	5

Tableau 1: Analyse minéralogique semi-quantitative par XRD de la fraction argileuse < 2 microns. Les minéraux argileux sont exprimés en % de l'assemblage argileux.

échantillons	quartz	calcite	feldspath	illite	kaolinite	smectite	autres
Argiles de Coquillot (base)	++++	+++	tr	+	+	-	
Argiles de Coquillot (niveau 1)	+++	++++	+	+	tr	++	pyrite +
Argiles de Coquillot (niveau 2)	++++	++++	++	+	-	++	
Argiles de Coquillot (niveau 3)	++++	++++	+	+	-	+	pyrite +
Argiles de la Crèche	++++	++++	+	+	+	+	pyrite tr
Argiles de Montaubert (3m sous le banc 10)	+++	++++	-	+	+	-	gypse +
Argiles de Moulin Wibert	++++	++	++	+	+	-	pyrite tr
Argiles de Wimereux (sommet)	++++	+	++	+	+	-	pyrite tr
Argiles de Wimereux (au dessus des niveaux phosphatés)	++++	+	-	++	+	tr	pyrite +

Tableau 2: Résultats qualitatifs de l'analyse XRD de la fraction totale (sur poudre): (tr) traces, (-) absent, (+) rare, (++) présent, (+++) abondant, (++++) très abondant.

Echantillons	Argiles %	Silts %	sables très fins %	sables fins %	sables moyens %	sables grossiers %	sables très grossiers %	Mode (µm)
	<2µm (<4µm)	2< x <63µm	63< x <125µm	125< x <250µm	250< x <500µm	500< x <1000µm	1000< x <2000µm	
Argiles de Coquillot (base)	16.3 (34.5)	83.4	0.3	-	-	-	-	7.1 µm
Argiles de Coquillot (niveau 1)	9.9 (23.7)	82.9	5.4	1.5	0.3	-	-	8.6 µm
Argiles de Coquillot (niveau 2)	9.8 (22.5)	80.3	7.5	2.2	0.2	-	-	13.5 µm
Argiles de Coquillot (niveau 3)	10.2 (23.4)	75.7	6.4	4.5	2.9	0.3	-	20.6 µm
Argiles de la Crèche	11.4 (23.4)	87.2	1.1	0.2	0.1	-	-	16.3 µm
Argiles de Montaubert (3m sous le banc 10)	12.7 (26.9)	75.2	9.3	2.5	0.3	-	-	5.5 µm
Argiles de Moulin Wibert	14.6 (30.7)	69.9	12.4	2.1	0.7	0.3	-	6.0 µm
Argiles de Wimereux (sommet)	19.9 (38.8)	64.0	4.3	7.1	4.1	0.6	-	4.1 µm
Argiles de Wimereux (au dessus des niveaux phosphatés)	16.4 (33.0)	75.8	5.0	1.6	1.0	0.2	-	5.5 µm

Tableau 3: Résultats de l'analyse granulométrique. La répartition dans les différentes classes granulométriques est indiquée en % et le Mode est exprimé en µm.

FORAGE	PROFON. m	NATURE	Wn %	WL %	(indices)		d _{max} mm	% passant à 50 mm 0 / D	% passant à 2 mm 0 / D	% passant à 80 µm 0 / D	% passant à 2 mm 0 / 50	% passant à 80 µm 0 / 50	% passant à 2 µm 0 / D	VBs	sans correction			I.P.L.	G.T.R.	
					Ip	Ic									Wopn %	pdopn t / m ²	Wn/ Wopn			
Normes AFNOR			94-060		94-051			94-056					94-057	94-068	94-093			94-078	11-300	
Remarques : *Wn = teneur en eau sur 0/20 (NFP 11-300) * Ic ne peut être calculé uniquement si le matériau < 400 µm (NFP 94-051)																				
Nombre d'essais			9		9		9													
1		Argile de Wimereux (sommet)	19.2	57	28	1.35														A3 ts
2		Argile de Wimereux (au dessus des niveaux phosphatés)	17.2	49	23	1.38														A2 s
3		Argile de Montaubert (3m sous le banc 10)	16.3	33	14	1.19														A2 m
4		Argile de la Creche	20.4	56	27	1.32														A3 ts
5		Argile de Coquillot (niveau 1)	38.0	67	31	0.94														A3 h
6		Argile de Coquillot (niveau 2)	24.4	63	30	1.29														A3 s
7		Argile de Coquillot (niveau 3)	18.6	48	23	1.28														A2 s
8		Argile de Coquillot (base)	31.2	63	29	1.10														A3 m
9		Argile du Moulin Wibert	5.8	36	17	1.78														A2 ts

Analyses Fondasol pour BRGM / ML04.258 - 30/07/2004

	RAPPORT D'ESSAIS N° 04-6-029-A
---	--------------------------------

Origine des échantillons : Retrait / Gonflement Pas-de-Calais	
Identification des échantillons :	
- Argile de Coquillot - base	- Argile de Montaubert (3m sous le banc 10)
- Argile de Coquillot – niveau 1	- Argile du Moulin Wibert
- Argile de Coquillot – niveau 2	- Argile de Wimmereux (au dessus niveaux
- Argile de Coquillot – niveau 3	Phosphatés)
- Argile de la crèche	- Argile de Wimmereux (sommet)
Nature des Essais et documents de référence :	
- Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par essai à la tache (norme NF P 94-068)	

RESULTATS DES ANALYSES

1 – PREPARATION DES ECHANTILLONS

Avant l'essai d'adsorption, l'échantillon est démonté et dispersé dans de l'eau additionnée de 10% d'eau oxygénée, puis laissé au repos au moins 12 heures.

2 – RESULTATS DES ANALYSES

Référence échantillons	VBS en g de bleu /100g de matériau
Argile de Coquillot - base	6,0
Argile de Coquillot – niveau 1	9,0
Argile de Coquillot – niveau 2	8,1
Argile de Coquillot – niveau 3	8,6
Argile de la crèche	5,1
Argile de Montaubert (3m sous le banc 10)	2,6
Argile du Moulin Wibert	3,3
Argile de Wimmereux (au dessus niveaux phosphatés)	4,9
Argile de Wimmereux (sommet)	3,6



Géosciences pour une Terre durable

brgm

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

Service géologique régional Nord Pas-de-Calais
Synergie Park
6 ter rue Pierre et Marie Curie
59260 - Lezennes - France
Tél. : 03 20 19 15 40

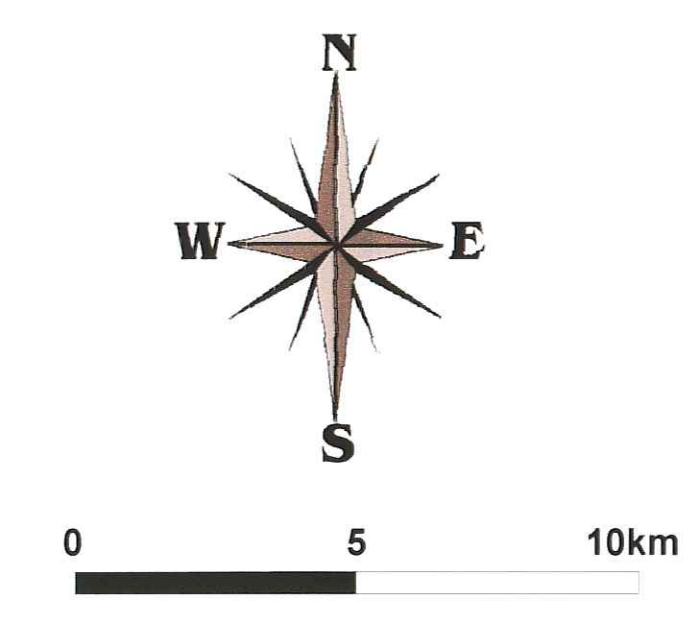


Carte 1
**Cartographie de l'aléa
 retrait-gonflement des argiles
 dans le département du Pas-de-Calais**

Carte synthétique des formations
 argileuses et marneuses

Echelle 1/ 135 000

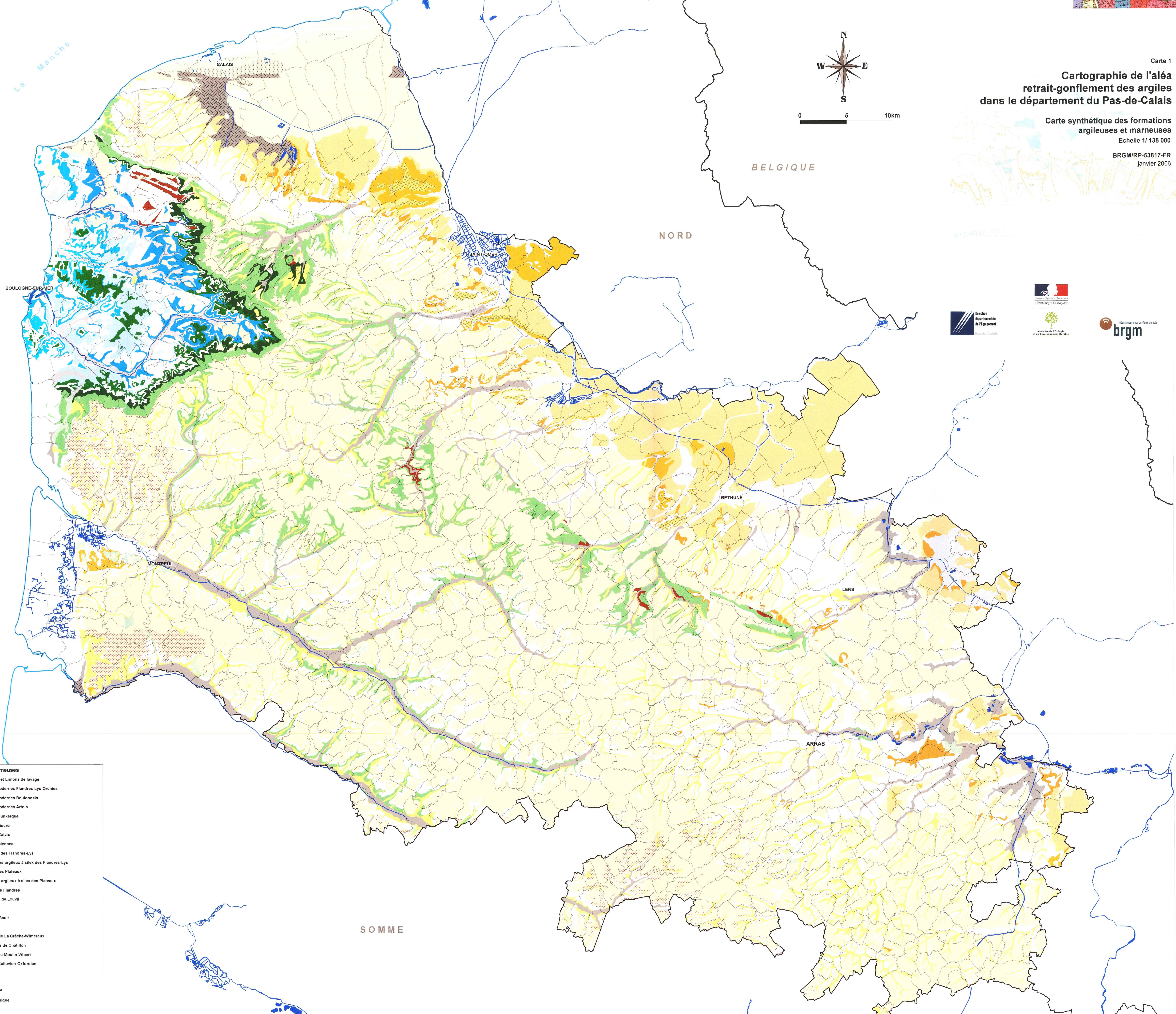
BRGM/RP-53817-FR
 janvier 2006



BELGIQUE

NORD

SOMME



Formations argilo-marneuses

- C-Lv - Colluvions et Limons de lavage
- F21 - Alluvions modernes Flandres-Lys-Orchies
- F22 - Alluvions modernes Boulonnais
- F23 - Alluvions modernes Artois
- Mzb - Assise de Dunkerque
- Tz - Tourbe supérieure
- MzC - Assise de Calais
- Fy - Alluvions anciennes
- OE/e4-2 - Limons des Flandres-Lys
- OE-S/e4-2 - Limons argileux à silex des Flandres-Lys
- OE/Cr - Limons des Plateaux
- OE-S/Cr - Limons argileux à silex des Plateaux
- e4-2c - Argiles des Flandres
- e2a (b-a) - Argiles de Louvil
- c3ab-1 - Dièves
- n6G - Argiles de Gault
- n4W-3 - Wealdien
- j8b-7A - Argiles de La Crèche-Wimereux
- j8c-(6-7a) - Argiles de Châtillon
- j8a-6W - Argiles du Moulin-Wibert
- j8-3 - Argiles du Callovien-Oxfordien
- h-d1 - Schistes

— Limite de commune
 — Réseau hydrographique

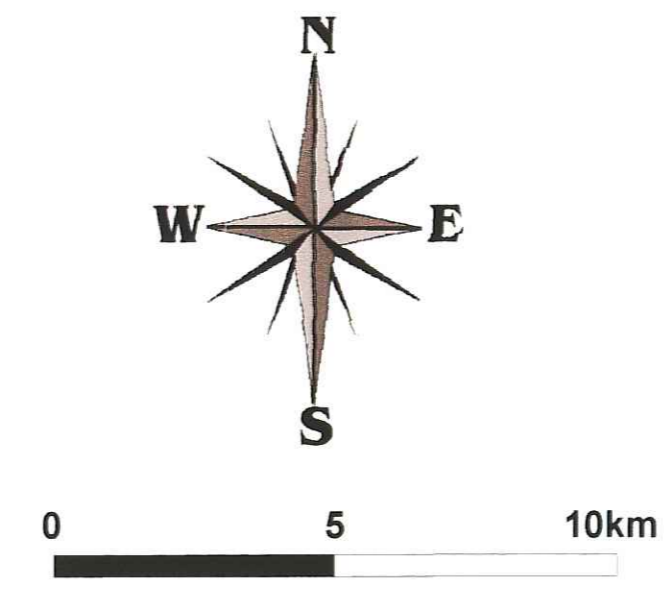


Carte 2
**Cartographie de l'aléa
 retrait-gonflement des argiles
 dans le département du Pas-de-Calais**

Carte départementale de susceptibilité
 au retrait-gonflement des argiles

Echelle 1/ 135 000

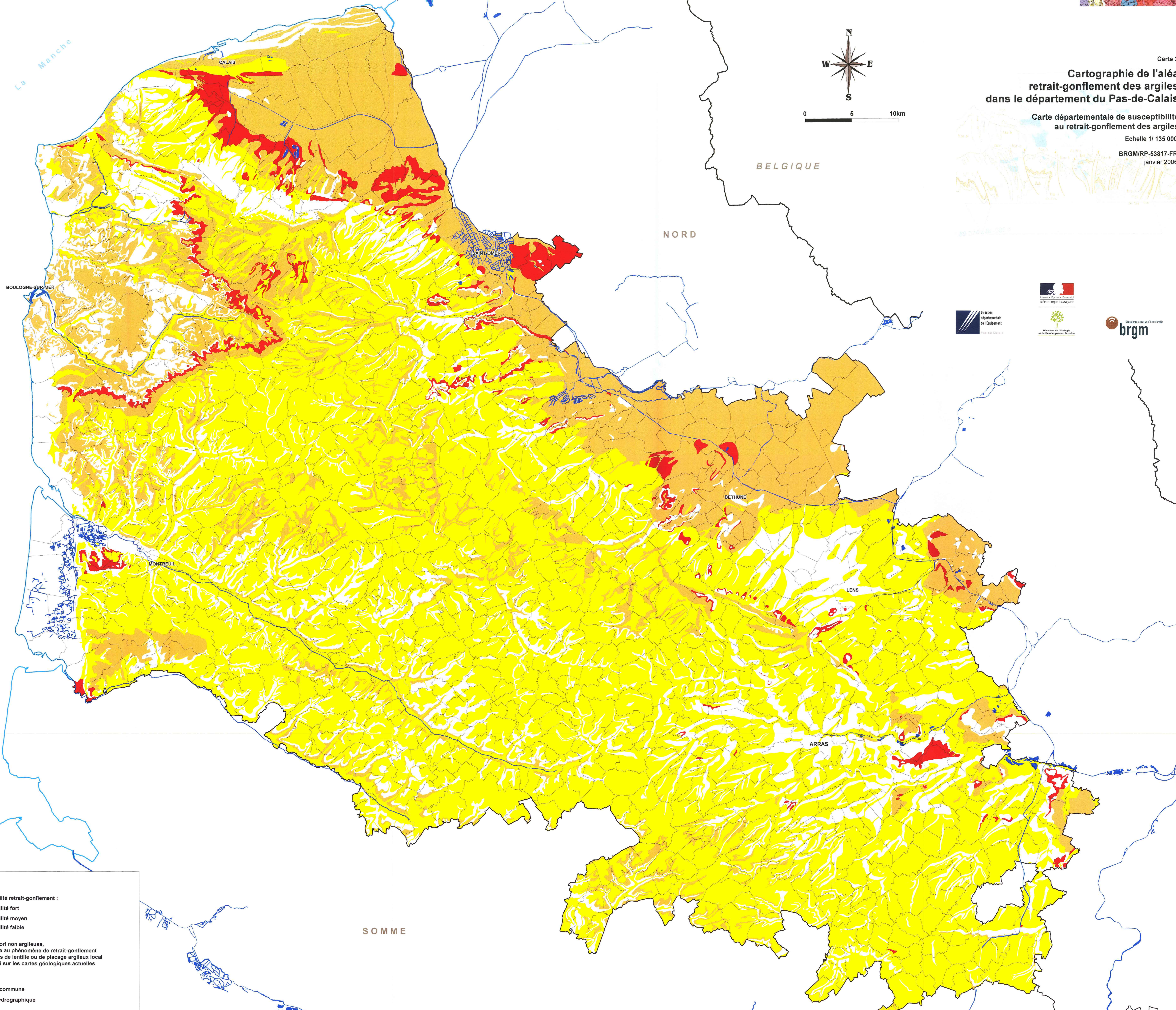
BRGM/RP-53817-FR
 janvier 2006



BELGIQUE

NORD

SOMME



LÉGENDE

Zone de susceptibilité retrait-gonflement :

- Susceptibilité fort
- Susceptibilité moyen
- Susceptibilité faible

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

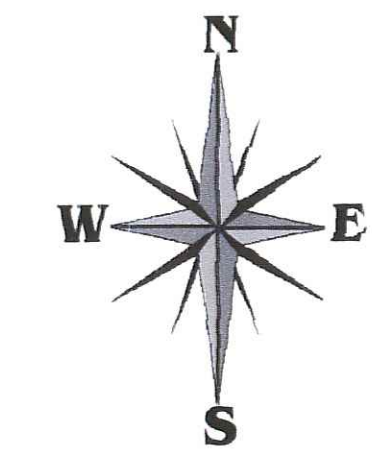
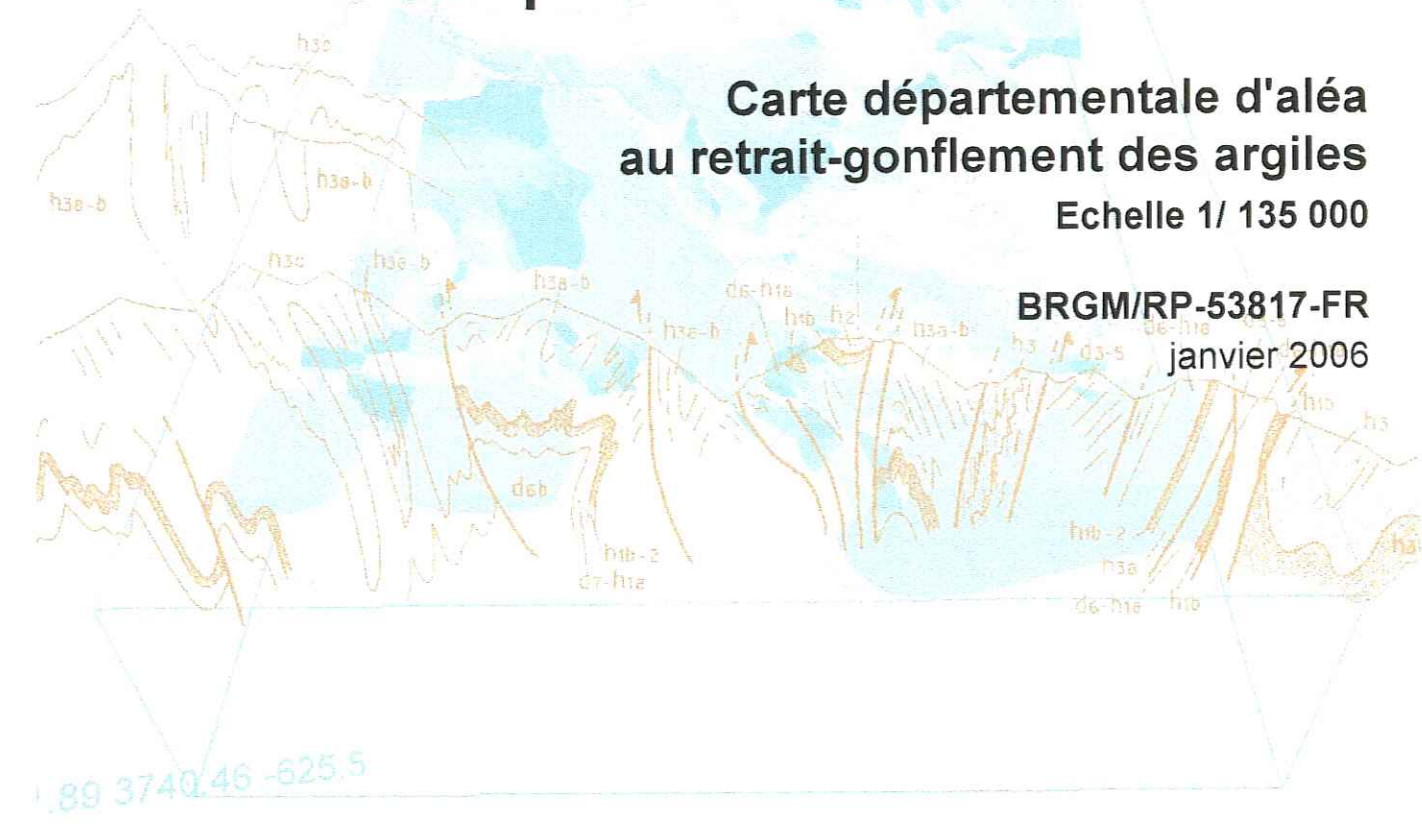
- Limite de commune
- Réseau hydrographique



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Pas-de-Calais

Carte départementale d'aléa au retrait-gonflement des argiles
Echelle 1/135 000

BRGM/RP-53817-FR
janvier 2006



0 5 10km

BELGIQUE

NORD

SOMME

La Manche

CALAIS

SAINT-OMER

BOULOGNE-SUR-MER

BETHUNE

LENS

ARRAS

MONTREUIL

- LÉGENDE**
- Zone d'aléa retrait-gonflement :
 - Aléa fort
 - Aléa moyen
 - Aléa faible
 - Zone a priori non argileuse, non sujette au phénomène de retrait-gonflement sauf en cas de lentille ou de placage argileux local non repéré sur les cartes géologiques actuelles
 - Sinistre dû au phénomène de retrait-gonflement des argiles
 - Zone urbanisée
 - Limite de commune
 - Réseau hydrographique

