

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

BRGM/RP-58041-FR
Juin 2010

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 07RISD13

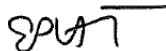
J.-M. Schroetter
Avec la collaboration de
E. Launay, N. Ollivaud, M. Imbault, S. Le Roy et E. Plat

Vérificateur :

Nom : Emmanuelle PLAT

Date : 09/07/10

Signature :



Approbateur :

Nom : Eric PALVADEAU

original signé le 16/07/10

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

Mots clés : argiles, marnes, altérites, argiles gonflantes, smectites, tertiaire, retrait-gonflement, aléa, risque naturel, sinistre sécheresse, catastrophe naturelle, géotechnique, cartographie, Morbihan, Bretagne.

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

Schroetter J.-M., avec la collaboration de Launay E., Ollivaud N., Imbault M., Le Roy S. et Plat E. (2010) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Morbihan. Rapport BRGM/RP-58041-FR. 160 p., 71 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

Synthèse

Les phénomènes de retrait-gonflement de certaines formations géologiques argileuses affleurantes provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel. En France métropolitaine, ces phénomènes, mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976, ont pris une réelle ampleur lors des périodes sèches des années 1989-91 et 1996-97, puis dernièrement au cours des étés 2003 et 2005.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département du Morbihan, 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.

Le département du Morbihan est peu concerné par ce phénomène lié à la sécheresse en comparaison avec d'autres départements français, puisque seulement **33** sinistres y ont été recensés dans le cadre de la présente étude.

Seulement **3** communes sur les **261** que compte le département ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène (**2** communes supplémentaires en ayant fait la demande), pour des périodes comprises entre 1990 et 2008.

Le Morbihan se situe ainsi en comparaison aux autres départements français, en termes de coût d'indemnisation sur la période 1989-2003, au 75^{ième} rang avec un montant de 407 000 euros (estimation CCR de septembre 2008, pour un coût national de 3,9 milliards d'euros) pour ce phénomène, soit parmi les plus faibles.

Cette étude a été conduite par le Service Géologique Régional (SGR) Bretagne sis à Rennes, en collaboration avec le service Risques naturels et sécurité du stockage du CO₂ du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 25 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture du Morbihan.

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations argileuses et marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000. Les formations ainsi identifiées et au nombre de trente-deux 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 particularité des départements bretons (et le département du Morbihan n'échappe pas à cette règle) est leur contexte géologique en domaine de « socle » par opposition à ceux situés en domaine de bassins sédimentaires comme le bassin parisien par exemple. Le Massif Armoricaire, même s'il est constitué de roches magmatiques et originellement sédimentaires, a encaissé deux orogénies les ayant transformées en roches métamorphiques (schistes, ortho à paragneiss etc.). Cependant, ces roches métamorphiques mais aussi les roches magmatiques (granites, roches volcaniques, etc.) ont subi ce qui fut appelé la « maladie tertiaire », c'est-à-dire un épisode d'altération les ayant ameublées en arènes, limons et argiles dits d'altération. Ces formations géologiques meubles appartiennent à la famille des formations superficielles, principales candidates responsables des mouvements de terrain liés à la sécheresse et à la réhydratation des sols. Cependant ces formations géologiques ne sont représentées sur les cartes géologiques que depuis un peu plus d'une dizaine d'années environ. Afin que la carte d'aléa, reflet de la carte départementale des formations argileuses, soit la plus homogène et représentative possible du département du Morbihan, l'option a été prise d'évaluer ces formations géologiques sur les cartes géologiques où elles n'étaient pas présentes. Cette évaluation a été réalisée à partir de **1980** sondages saisis pour cette étude et provenant d'études géotechniques, de **6 214** sondages issus de la banque de données du sous sol (BSS), de **1 125** issus de l'étude SILURE et de l'analyse géomorphologique.

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

Sur cette carte, les zones d'affleurement des formations argileuses sont caractérisées par trois niveaux d'aléa (fort, moyen, faible).

Sur l'ensemble du département,

- seulement **0,01** % de la superficie départementale est classée en aléa fort ;
- **1,46** % en aléa moyen ;
- **34,34** % en aléa faible ;
- **64,20** % de la surface correspond à un aléa a priori nul (y compris le réseau hydrographique).

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 la remobilisation subactuelle de roches d'altération ou encore à des zones argileuses

sous des couverts végétaux importants et où leur caractérisation cartographique n'est pas à l'heure actuelle reconnue. Ces secteurs pourraient eux aussi être susceptibles de provoquer localement quelques sinistres.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département du Morbihan, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l'échelle 1/125 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le point de départ pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (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	15
2. Méthodologie	17
2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES	17
2.2. FACTEURS DE PREDISPOSITION	18
2.2.1. Nature du sol	18
2.2.2. Contexte hydrogéologique	19
2.2.3. Géomorphologie	20
2.2.4. Végétation	20
2.2.5. Défauts de construction	21
2.3. FACTEURS DE DECLENCHEMENT	21
2.3.1. Phénomènes climatiques	21
2.3.2. Facteurs anthropiques	22
3. Methodologie	23
3.1. CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES	23
3.1.1. Caractérisation lithologique, géotechnique et minéralogique des formations	24
3.1.2. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement	24
3.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITE	25
3.3. RECENSEMENT ET LOCALISATION GEOGRAPHIQUE DES SINISTRES	25
3.4. DETERMINATION DES DENSITES DE SINISTRES	26
3.5. CARTE D'ALEA	26
4. Présentation du département du Morbihan	27
4.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE	27
4.2. CONTEXTE CLIMATIQUE	28
4.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL	30

4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE	36
5. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses	37
5.1. DOCUMENTS ET METHODOLOGIE UTILISES	37
5.1.1. Méthode utilisée	37
5.1.2. Etablissement de la carte des formations argileuses et marneuses	39
5.2. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES	42
5.2.1. Les formations argileuses et marneuses quaternaires	42
5.2.2. Les formations argileuses et marneuses tertiaires.....	58
5.2.3. Les formations argileuses résiduelles ou d'altération ($\mathcal{A}o-$ $d, \mathcal{A}bK, \mathcal{A}b\xi(K\delta), \mathcal{A}\gamma L, \mathcal{A}\zeta\xi, \mathcal{A}\Sigma\delta, \mathcal{A}KM, \mathcal{A}bS, \mathcal{A}, \mathcal{A}Kao$)	70
5.3. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES	81
6. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses et marneuses et élaboration de la carte de susceptibilité	83
6.1. GENERALITES SUR L'ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE	83
6.1.1. Critères retenus.....	83
6.1.2. Méthode de classification.....	83
6.2. CRITERE LITHOLOGIQUE.....	84
6.2.1. Définition du critère lithologique et barème	84
6.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan	85
6.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES	87
6.3.1. Définition du critère minéralogique et barème	87
6.3.2. Source des données	87
6.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan	88
6.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES.....	91
6.4.1. Définition du critère géotechnique et barème	91
6.4.2. Généralités sur les expertises de sinistres et les analyses géotechniques	92
6.4.3. Source des données	96
6.4.4. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan	98

7. Elaboration de la carte de susceptibilité	101
7.1. DETERMINATION DU DEGRE DE SUSCEPTIBILITE	101
7.2. SUSCEPTIBILITE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES	101
7.3. CARTE DE SUSCEPTIBILITE.....	102
8. Analyse de la sinistralité.....	107
8.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE.....	107
8.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES	108
8.2.1. Localisation des communes sinistrées	108
8.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle.....	110
8.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES.....	112
8.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES.....	115
8.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE BATIE.....	118
8.5.1. Détermination du taux d'urbanisation par formation.....	118
8.5.2. Détermination du critère densité de sinistres	121
9. Carte d'aléa	123
9.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA.....	123
9.2. CARTE D'ALEA	124
9.3. COMPARAISON AVEC LA LOIRE-ATLANTIQUE (44).....	128
9.4. SYNTHESE DE L'ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LE MORBIHAN ...	131
10. Conclusion	133
11. Bibliographie.....	135

Liste des illustrations

Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche	17
Illustration 2 – Carte de présentation du Morbihan	27
Illustration 3 – Données météorologiques (source Météo France, station de Rennes-Saint-Jacques).....	29
Illustration 4 – Bilan hydrique pour l'année 2003 dans le Morbihan (source Météo France)	30
Illustration 5 – Carte géologique harmonisée du Morbihan, position des grands cisaillements et des failles NW-SE et des trois grands domaines	35
Illustration 6 – Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du Morbihan	37
Illustration 7 – Cartes du département du Morbihan montrant l'ensemble des données recueillies et utilisées pour cette étude.....	40
Illustration 8 – Carte géologique départementale des formations argileuses et marneuses du Morbihan, accompagnée de sa légende	41
Illustration 9 – Répartition départementale de la formation FzT	44
Illustration 10 - Répartition départementale de la formation Fz	45
Illustration 11 - Répartition départementale de la formation Fy	47
Illustration 12 - Répartition départementale de la formation Fx	49
Illustration 13 - Répartition départementale de la formation Fp	50
Illustration 14 - Répartition départementale de la formation Fw.....	51
Illustration 15 - Répartition départementale de la formation SA.....	52
Illustration 16 - Répartition départementale de la formation SH	53
Illustration 17 – En haut, évolution de l'organisation microstructurale créée par la glace de ségrégation en lentille de déplacement sur pente de matériaux arénacés (d'après Van Vliet-Lanoë et Valadas, 1983).....	54
Illustration 18 - Répartition départementale de la formation C.....	55
Illustration 19 - Répartition départementale de la formation MzP	56
Illustration 20 - Répartition départementale de la formation My.....	57
Illustration 21 - Répartition départementale de la formation MzV	58
Illustration 22 - Répartition départementale de la formation p.....	60
Illustration 23 - Répartition départementale de la formation pA	62
Illustration 24 - Répartition départementale de la formation p-IVB	62
Illustration 25 - Répartition départementale de la formation p-IV	63
Illustration 26 - Répartition départementale de la formation Mp	64
Illustration 27 – Schéma des relations entre les formations pliocènes, et quaternaires avec la géomorphologie (Notice explicative de la carte de n°419, Redon).....	59

Illustration 28 - Répartition départementale de la formation e-Fx.....	65
Illustration 29 - Répartition départementale de la formation e4.....	66
Illustration 30 - Répartition départementale de la formation e-p/b.....	67
Illustration 31 - Répartition départementale de la formation III.....	68
Illustration 32 - Répartition départementale de la formation RIII.....	69
Illustration 33 – Profils d'altération dans des roches magmatiques plutoniques (de type granite, à gauche) et dans des roches métamorphiques (de type schiste, à droite)(Thomas, 1999).....	72
Illustration 34 - Evaluation du secteur altéré (commune d'Arradon) à partir de trois sources de données (Base des altérites en bleu [source SILURE], Indices de plasticité en rouge [source LRPC] et Lithogie en noir [source BSS logs validés]).....	73
Illustration 35 - Répartition départementale de la formation \mathcal{A}	75
Illustration 36 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}bS$	76
Illustration 37 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}KM$	76
Illustration 38 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}\Sigma\delta$	77
Illustration 39 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}\zeta\xi$	77
Illustration 40 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}\gamma L$	78
Illustration 41 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}b\xi(K\delta)$	78
Illustration 42 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}bK$	79
Illustration 43 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}o-d$	79
Illustration 44 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}kao$	80
Illustration 45 – Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation.....	85
Illustration 46 – Note lithologique des formations argileuses et marneuses.....	86
Illustration 47 – Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants.....	87
Illustration 48 - Synthèse des données minéralogiques et note minéralogique.....	90
Illustration 49 - Classification des sols selon le guide GTR92 (source © LCPC).....	92
Illustration 50 – Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation.....	94
Illustration 51 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation.....	95
Illustration 52 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation.....	95
Illustration 53 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation.....	96

Illustration 54 - Note géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département du Morbihan	100
Illustration 55 - Barème d'attribution d'un niveau de susceptibilité d'une formation argileuse	101
Illustration 56 - Degré de susceptibilité pour chaque formation argileuse ou marneuse du département du Morbihan	103
Illustration 57 – Répartition des formations argileuses selon leur degré de susceptibilité.....	105
Illustration 58 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des formations argileuses ou marneuses du département du Morbihan	104
Illustration 59 - Tableau des communes et des arrêtés de catastrophe naturelle « mouvement de terrain consécutif à la réhydratation ou la sécheresse » dans le Morbihan.....	109
Illustration 60 - Carte du département du Morbihan avec les 3 communes faisant l'objet d'arrêtés de catastrophe naturelle retrait-gonflement.....	110
Illustration 61 - Ecart de durée d'insolation sur la France en 2003 (source Météo France)	112
Illustration 62 - Nombre de sinistres recensés par commune (les communes CatNat sont indiquées en jaune)	114
Illustration 63 - Carte de répartition par commune des sinistres recensés	114
Illustration 64 - Carte de localisation des sinistres recensés dans le département du Morbihan.....	116
Illustration 65 - Répartition des sinistres par formation géologique	117
Illustration 66 - Carte des zones urbanisées du département du Morbihan (Source DDEA56 -BD Topo IGN).....	119
Illustration 67 - Détermination de la note densité de sinistres pour chaque formation argileuse ou marneuse du département du Morbihan.....	120
Illustration 68 - Calcul du niveau d'aléa des formations argileuses et marneuses.....	125
Illustration 69 – Répartition des formations argileuses selon leur niveau d'aléa.....	126
Illustration 70 - Carte de l'aléa retrait-gonflement du département du Morbihan.....	127
Illustration 71 - Carte de l'aléa retrait-gonflement du département du Morbihan et des départements limitrophes	130

Liste des annexes

Annexe 1 – Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles	143
Annexe 2 – Liste des sinistres “sécheresse” recensés et localisés dans le cadre de cette étude	149
Annexe 3 – Liste et coordonnées des entreprises, bureaux d'études et des maîtres d'ouvrages ayant fourni des données géotechniques	153
Annexe 4 – Protocole analytique et résultats des analyses minéralogiques.....	157

Liste des cartes hors-textes

- Carte 1 – Carte synthétique des formations argileuses et marneuses
(échelle 1/125 000)
- Carte 2 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles
(échelle 1/125 000)
- Carte 3 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des argiles
(échelle 1/125 000)

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 des étés 2003 et 2005.

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

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

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

Pour la région Bretagne, ce phénomène a affecté deux des quatre départements pour des coûts cumulés d'indemnisation de **407 000** euros pour le Morbihan (données CCR, septembre 2008), le classant en **75^{ème}** position, et de 2 200 000 euros pour l'Ille-et-Vilaine, le classant en 58^{ième} position.

Le Morbihan, d'une superficie de **6 823 km²**, comptait **694 821** habitants en **2006**. Au total, sur les **261** communes que compte le département, seulement **3** ont été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de janvier **1990** à septembre **2003**, soit un taux de sinistralité de **1,15 %**.

Afin d'établir un constat scientifique objectif à l'échelle de tout le département et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) a souhaité réaliser une carte de l'aléa retrait-gonflement dans le but de définir les zones 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 aux communes (pour l'établissement ultérieur de Plans de Prévention des Risques prenant en compte l'aléa retrait-gonflement), aux particuliers et surtout aux maîtres d'ouvrages 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 de Bretagne, sis à Rennes en collaboration avec le service Risques naturels et sécurité du stockage du CO₂ du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 25 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fonds de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture du Morbihan.

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la mission de service public du BRGM sur les risques naturels et s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui concerne l'ensemble du territoire métropolitain.

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.

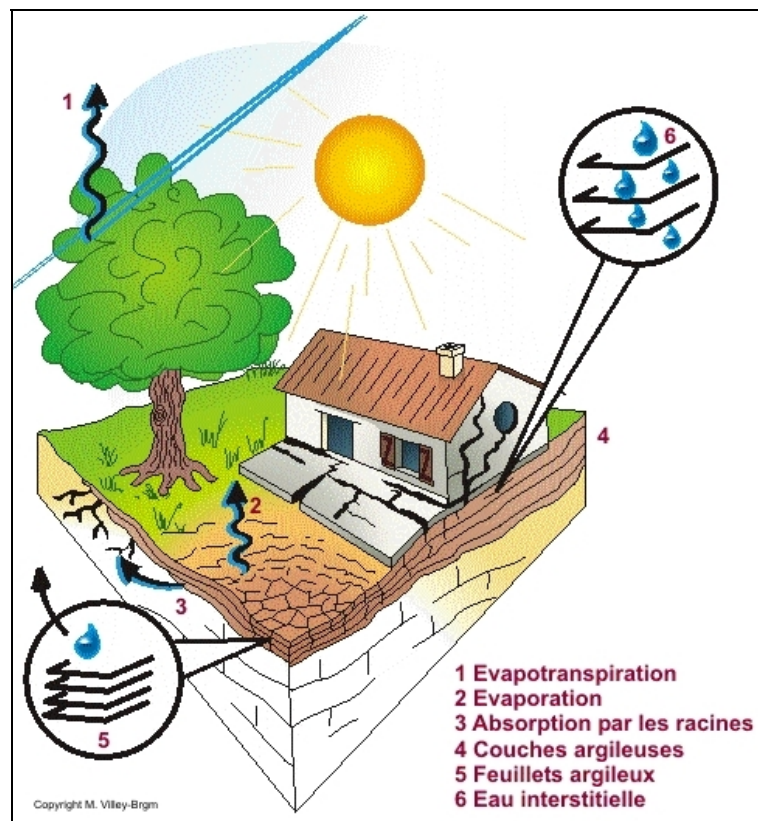


Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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

2.2. FACTEURS DE PREDISPOSITION

2.2.1. 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, 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 que la carte géologique au 1/50 000^{ième} en tant que telle ne peut ne pas suffire dans la détermination et la répartition des sols argileux sujets au retrait-gonflement. En effet, ces cartes peuvent ne pas prendre en compte les éventuelles transformations locales du sous sol (comme par exemple l'altération du substratum rocheux), ni les éventuelles variations de faciès au sein même d'une même formation géologique, la cartographie des formations géologiques superficielles pouvant se révéler hétérogène d'une carte à l'autre.

Par exemple ici pour dans le département du Morbihan, les parts respectives dues à l'altération des roches du substratum rocheux sont variables d'une carte géologique au 1/50 000^{ième} à l'autre. Ces formations géologiques issues de la détérioration de roches existantes peuvent être suivant un pourcentage non négligeable des secteurs en surface très argileux et qui, pour des raisons historiques, d'évolution de la connaissance géologique, d'évolution de la mise en carte mais aussi de l'évolution dans les besoins anthropiques, n'ont pas été systématiquement représentées sur les cartes géologiques.

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

2.2.2. 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.

2.2.3. Géomorphologie

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

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

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

2.2.4. 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 voire une fois et demie sa hauteur, mais ceci est variable selon les espèces arborées.

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

qui affecte surtout la tranche superficielle des deux premiers mètres, les racines d'arbres peuvent avoir une influence jusqu'à 4 à 5 m de profondeur. Le phénomène sera d'autant plus important que l'arbre est en pleine croissance et qu'il a, de ce fait, davantage besoin d'eau.

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

2.2.5. 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 (40 à 80cm).

L'examen de dossiers d'expertises réalisées dans le département du Morbihan 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 0,80m 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.

2.3. FACTEURS DE DECLENCHEMENT

2.3.1. 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.

2.3.2. 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. Pour ces derniers facteurs, une étude récente conduite par CEBTP-Solen sur environ 994 maisons sinistrées montre que ces facteurs peuvent être pris en compte dans un tiers des cas étudiés (Vincent et *al.*, 2006).

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.

3. Methodologie

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 (1995-96) (Chassagneux et *al.*, 1995 ; 1996) et des Deux-Sèvres (1998) (Vincent et *al.*, 1998), puis dans l'Essonne (2000) (Prian et *al.*, 2000) et en Seine-Saint-Denis (2001) (Donsimoni et *al.*, 2001). Cette méthodologie a été validée par le ministère en charge de l'environnement et est désormais appliquée dans le cadre d'un programme qui concerne l'ensemble des départements métropolitains français, ce qui permet d'obtenir des résultats homogènes au niveau national (Vincent et *al.*, 2008). Les trois autres départements de la région Bretagne font l'objet d'une étude similaire, réalisée avec la même méthodologie : le département de l'Ille-et-Vilaine sera couvert à la fin janvier 2010 alors que les départements des Côtes d'Armor et du Finistère seront couverts en août et septembre 2010.

3.1. CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

Dans une première étape, les cartes géologiques éditées par le BRGM à l'échelle 1/50 000 et couvrant le département ont fait l'objet d'un travail d'harmonisation, afin d'en déduire une carte géologique départementale harmonisée (Cagnard, 2009). Ce document a servi de point de départ pour la cartographie des formations argileuses et marneuses du département qui intègre également certaines données ponctuelles issues de diverses sources :

- **1 980** sondages saisis pour cette étude et provenant d'études géotechniques ;
- **6 214** sondages issus de la banque de données du sous sol (BSS) gérée par le BRGM, dont **411** contenant des argiles dans la tranche 0-10m ;
- **1 125** sondages réinterprétés lors de l'étude SILURE (Mougin et *al.*, 2008), sur lesquels avait été interprétée et extraite la base des altérites ;
- analyse géomorphologique à partir des cartes de l'IGN au 1/25 000^{ième} afin de cerner des secteurs susceptibles d'être concernés par le phénomène d'altération ;
- données bibliographiques diverses (thèses, DEA, rapports miniers, publications scientifiques etc.) et rapports d'expertise de sinistres.

Pour cela, toutes les formations argileuses ou marneuses du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, ont été inventoriées puis cartographiées. 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 (tâche concernant essentiellement les formations d'altération). Cela a permis d'aboutir à la carte départementale synthétique des formations argileuses au sens large. Cette

cartographie a été réalisée à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), numérisée, puis synthétisée et présentée hors-texte à l'échelle 1/125 000.

3.1.1. Caractérisation lithologique, géotechnique et minéralogique des formations

La caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses (i.e. la proportion de matériau argileux présente dans la formation) a été élaborée, pour chacune d'entre-elles, essentiellement à partir de la description faite de ces formations sur les cartes géologiques au 1/50 000^{ième} et de la connaissance de terrain du géologue régional.

La caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses a été élaborée à partir du dépouillement et de la synthèse des études géotechniques pour divers aménagements tels que des terrains de sports, des routes, des enfouissements de canalisations, des réalisations de ZAC, de constructions etc., et des expertises sinistres réalisées par différentes entreprises (Labosport), bureaux d'études (Urettek, Arbrotec, ECR Environnement, Fondasol, Egsol, Hydrogéotechnique, Arcadis, Géotec), compagnies ou experts d'assurance (CCR, MAIF), mais aussi et surtout par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc (LRPC Saint-Brieuc).

Ces données, **1980** au total, ont été récoltées lors de la consultation des **261** communes du département, lors de la visite de chaque entreprise, bureau d'études et maîtres d'ouvrage comme la Direction des Routes du Conseil Général du Morbihan, la Direction Régionale de l'Équipement (DRE), la Direction Interdépartementale des Routes de l'Ouest (DIR Ouest). Chacun d'entre eux a bien voulu nous laisser consulter leurs archives. Enfin ces données ont été recoupées avec les données bibliographiques quand ce fut nécessaire ou que celles-ci étaient présentes.

Pour la caractérisation minéralogique des formations, dans un souci d'homogénéité sur les données, ce sont en priorité les **40** analyses aux rayons X (dont **20** réalisées pour le Morbihan et **20** pour l'Ille-et-Vilaine) qui ont été utilisées. La bibliographie scientifique, thèses, DEA, rapports du BRGM et les notices des cartes géologiques, sont venues confirmer ou infirmer cette caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses, correspondant à l'évaluation de la proportion de minéraux argileux gonflants (smectites, interstratifiés, etc.).

3.1.2. 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, ne sont pas pris en compte car leur impact est local et ne peut être cartographié à une échelle départementale.

Les conditions météorologiques (répartition des déficits hydriques) n'apparaît pas comme un élément discriminant à l'échelle du département et donc n'a pas été pris en compte dans l'élaboration de la carte départementale de l'aléa.

Les connaissances hydrogéologiques en domaine de « socle » ont largement évolué depuis plus d'une vingtaine d'années (Lachassagne et Wyns, 2005). Malgré l'évolution des connaissances et une meilleure compréhension de la répartition des masses d'eau en profondeur, l'influence des nappes reste difficile à mettre en évidence à une échelle départementale dans la mesure où elle dépend souvent de conditions très locales et où elle constituerait une étude à part entière. C'est pourquoi, ce critère n'a pas pu être pris en compte dans l'élaboration de la carte départementale de l'aléa, bien que ce facteur ait fait l'objet d'une attention particulière sur la base d'éléments issus des notices de cartes géologiques et de rapports du BRGM.

Le facteur géomorphologique a en revanche été pris en compte dans une certaine mesure lors de la cartographie des secteurs d'altération susceptibles d'être argileux. Cependant, les terrains en pente, même s'ils peuvent conditionner la survenance de sinistres car des défauts de réalisation et de conception de fondations peuvent être fréquents, auxquels s'ajoutent de fortes variations de teneur en eau entre l'aval et l'amont de la construction, n'ont pu être intégrés à cette étude. Ainsi la cartographie s'en est tenu aux contours des formations lithologiques des cartes et s'est basée sur un découpage géomorphologique pour les formations d'altération non-cartographiées initialement.

3.2. CARTE DE SUSCEPTIBILITE

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.

3.3. RECENSEMENT ET LOCALISATION GEOGRAPHIQUE 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 corrigée en prenant également en compte la sinistralité observée à ce jour pour chacune des formations identifiées comme potentiellement sujettes au phénomène.

Pour ce faire, un recensement des sinistres sécheresse a été effectué auprès de 261 communes du département, comprenant les 3 communes qui ont été reconnues en état de catastrophe naturelle au titre des mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, ainsi que 2 communes ayant fait une demande. Sur les **261** communes que compte le département, le taux de réponses pour l'inventaire des sinistres a été de **71,3 %** (186 réponses). Chaque

commune a été sollicitée trois fois (deux courriers postaux complétés par une relance téléphonique).

Ces données ont été complétées par celles recueillies directement auprès de la Caisse Centrale de Réassurance, des bureaux d'études, de compagnies et d'experts d'assurance. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont **33** sites de sinistres qui ont pu être recensés et localisés (sur cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000). Ils sont répartis sur **13** communes, les **3** communes ayant fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle en regroupant à elles seules **23**, ce qui permet de considérer l'échantillon comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département du Morbihan.

3.4. DETERMINATION DES DENSITES 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 de pondérer ces densités de sinistres en tenant compte du taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux a été calculé à partir de la couche bâti de la BD Topo (IGN) fournie par la DDTM du Morbihan dans le cadre de cette étude.

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

3.5. CARTE D'ALEA

La carte départementale d'aléa a été établie à partir des contours de la carte de synthèse des formations argileuses et marneuses : le niveau d'aléa vis à vis du phénomène de retrait-gonflement a été défini en croisant, pour chaque formation argileuse, la note de susceptibilité et la densité de sinistres ramenée à 100 km² de formation argileuse, 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. Elle est présentée en carte hors-texte sur support papier à l'échelle du 1/125 000.

4. Présentation du département du Morbihan

4.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

Le département du Morbihan (Illustration 2) est le plus méridional des départements bretons. Il est cerné à l'est par le Finistère, au nord par les Côtes d'Armor, au nord-est par l'Ille-et-Vilaine et il est bordé au sud par l'océan atlantique. Enfin, au sud-est, il est limitrophe avec la région des Pays de la Loire par le département de la Loire-Atlantique.

D'une superficie de 6 823 km², il comptait en 2006, 694 821 habitants soit une densité de population de 102 hab./km². Le Morbihan est subdivisé en 261 communes, regroupées en 3 arrondissements : Vannes, la préfecture, Lorient et Pontivy les sous-préfectures, avec une répartition de la population assez inégale d'une ville à l'autre (53 079 habitants à Vannes et 59 264 à Lorient mais seulement 13 518 à Pontivy). Cette répartition de la population est aussi contrastée du sud au nord, avec plus de personnes en bord de mer (sur le littoral) qu'à l'intérieur des terres du département (pour information : respectivement 132 880 et 186 144 habitants pour les agglomérations vannetaise et lorientaise).



Illustration 2 – Carte de présentation du Morbihan

Le relief morbihannais est le reflet de sa structuration géologique, caractérisé par une alternance WNW à ESE, de collines de faibles altitudes et de dépressions (Landes de Lanvaux, Montagnes Noires). L'ensemble descend progressivement du nord (du centre Bretagne) vers le sud (vers l'océan) à partir de points culminants comme le mont Saint-Joseph à 297 mètres d'altitude (commune de Plouray) vers les quelques dizaines de mètres d'altitude de la zone littorale (île aux moines dans le Golfe du Morbihan).

Plusieurs rivières entaillent ce plateau méridional breton incliné vers le sud, à savoir : le Scorff, le Blavet, l'Ellé, l'Oust et la Vilaine qui soit, longent et contournent les arrêtes rocheuses de schistes et de gneiss subparallèles à la côte, soit les recourent perpendiculairement. Les exutoires de ces fleuves côtiers s'ouvrent à la mer en des embouchures échancrées et parfois profondes, soumises à l'action des marées qui entaillent le profil côtier.

La zone côtière est assez plate, composée soit d'une côte basse sablonneuse, soit d'une côte proposant un découpage en dentelle dont le paroxysme est atteint par le Golfe du Morbihan. Ce littoral morbihannais s'étend sur plus de 830 km de côte et de nombreuses îles : Houat, Hoëdic, Groix et, la plus grande de Bretagne, Belle-Ile-en-Mer, jalonnent ce littoral tortueux aux avant-postes des estuaires. Les flux et reflux successifs des marées gênent la fixation des végétaux qui sont à l'origine des vasières côtières. La partie vaseuse est recouverte à chaque marée, c'est la slikke avec au-dessus, le schorre : zone atteinte seulement par les marées de vives eaux. Le haut schorre est souvent utilisé en agriculture comme prés salés.

4.2. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat général du Morbihan, de type océanique, présente d'assez fortes disparités mais se caractérise par sa douceur exceptionnelle. Des températures très douces, grâce à la présence de l'océan, et un ensoleillement remarquable qui lui donne un climat agréable.

Les îles et une étroite bande côtière connaissent une moins grande pluviosité, des températures hivernales très douces (la moyenne des températures minimales du mois de février dépasse les 5°C pour Belle-Ile-en-Mer) et un plus grand ensoleillement estival du fait de la dominance des vents du sud-ouest (anticyclone des Açores). L'ensoleillement est important entre mai et octobre. La côte morbihannaise est la zone la plus ensoleillée de toute la Bretagne. À Lorient par exemple, on dépasse les 2 000 heures d'ensoleillement par an (comme à Lyon). Dans la zone côtière, cette forte pénétration de la mer atténue les écarts de températures entre les saisons et entre les heures de chaque journée. À certains endroits en été, il suffit de s'éloigner de la côte sur 30 km dans les terres, pour passer d'une météo douce et océanique à un régime nettement plus marqué par les écarts journaliers de température.

Les reliefs du Massif Armoricaïn au nord protègent le Morbihan des vents du nord et les Montagnes Noires à l'ouest atténuent la dominance des zones dépressionnaires en provenance du Finistère. Malgré un relief peu accusé, celui-ci suffit à dessiner la carte des précipitations qui sont importantes sur les portions relevées : collines du nord-ouest et Landes de Lanvaux.

Comme le montre l'illustration 3 ci-dessous, pour la période 1971-2000, les températures moyennes mensuelles minimales oscillent entre 3-4°C et 14°C et les températures moyennes mensuelles maximales entre 9-10°C et 25°C, d'hiver en été.

Pour la même période et pour ce qui concerne la pluviométrie, elle oscille entre 40 et 110 mm et l'année qui fut la plus sèche fut l'année 1973 alors que l'année la plus pluvieuse fut l'année 2000.

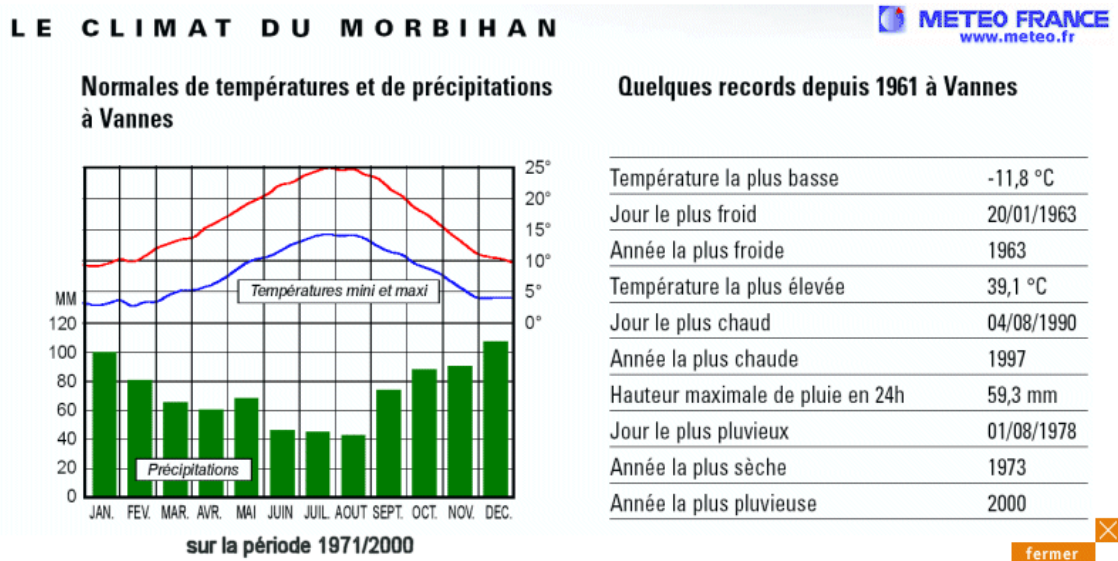


Illustration 3 – Données météorologiques (source Météo France)

Les arrêtés de catastrophes naturelles liés aux mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse et la réhydratation des sols ont eu lieu pour le département du Morbihan pour les années : 1990, 1991, 1996, 1998 et 2003.

L'année 2003 par exemple, pour le département comme pour la majeure partie de la France métropolitaine, fut une année où les températures de l'été ont été sans conteste les paramètres vedettes. Au cours du mois de juin, les températures sont plus élevées que les normales de 1°C, puis s'envolent avec +4 à +5°C par rapport aux valeurs saisonnières pour les valeurs maximales et autour de +3°C pour les minimales. Le minimum absolu du mois de juin est de +3,5°C le 28 à Lanvenegen et le maximum absolu est de +36,0°C le 22 à Guer. Les précipitations sont présentes dès le début de juin, mais en faible quantité hormis quelques foyers orageux. Il s'en suit une période presque sèche avant les pluies et orages de la fin du mois de juin. Au final des valeurs très disparates, -37% par rapport aux normales à Lorient et -34% à Pontivy mais +11% à Vannes.

Au mois de juillet 2003, malgré une troisième décade un peu plus fraîche, les températures maximales sont supérieures aux normales. Du 9 au 14, la moyenne sur ces 6 jours des températures maximales va de +27°C à Belle-Île-en-Mer à +31°C sur la région vannetaise, soit +5°C à +6°C de plus que la normale. La journée, la plus chaude, est incontestablement le 13 juillet 2003 avec un mercure qui atteint

allègrement +32°C à +35°C dans les terres, +31°C à +32°C sur les îles (Valeur la plus forte mesurée: +35.1°C à Saint-Avé). Une chute brutale du mercure de 5°C à 7°C se produit entre les 15 et 16 avant de remonter dès le lendemain. Quant aux minimales, elles sont supérieures d'environ +2°C aux normales. Au petit matin du 5, il fait particulièrement frais avec seulement +6.6°C relevé à Plouray. Malgré un nombre de jour de pluie peu élevé, les précipitations des 25 et 26 rendent contre toute apparence, le mois globalement excédentaire. L'excédent approche les 50% à Sarzeau et Vannes (Séné). Par contre à Pontivy, le cumul mensuel est déficitaire de 10%. A signaler également le 2, des valeurs élevées de 15 à 20 mm sous orage sur une ligne allant de Plouay à Josselin.

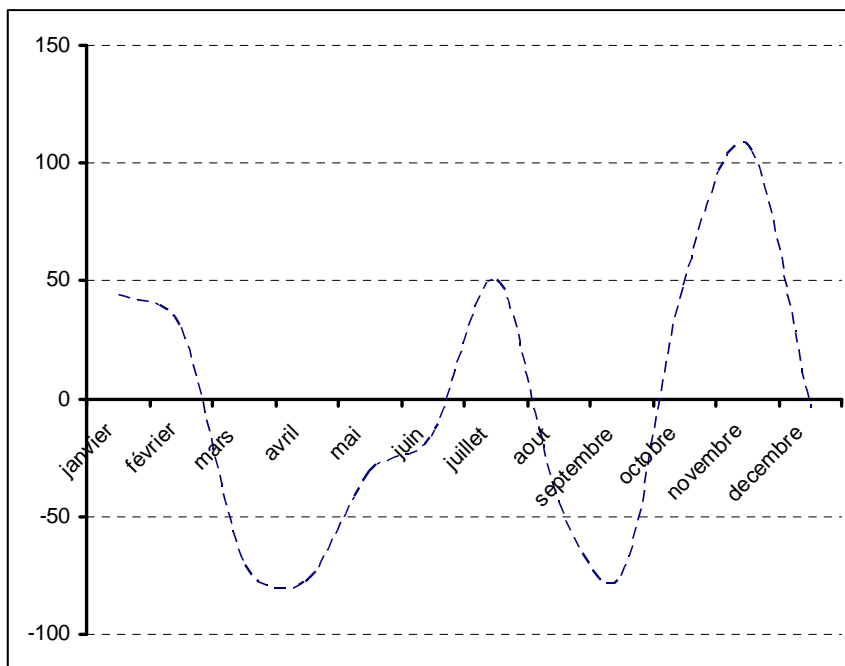


Illustration 4 – Bilan hydrique pour l'année 2003 dans le Morbihan (source Météo France)

4.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

Le département du Morbihan peut être découpé en **trois grands domaines litho-stratigraphiques** comme le montre la carte géologique harmonisée du département (Illustration 5).

Le domaine le plus au nord est le **Domaine varisque de Bretagne centrale (1)**, limité par au nord le Cisaillement nord-armoricain et au sud par la Faille des Landes de Lanvaux (ou branche nord du Cisaillement sud-armoricain). Les roches du Briovérien qui le composent sont des roches sédimentaires détritiques (wackes, schistes, grès), déformées, datant du Protérozoïque terminal jusqu'au Paléozoïque initial. Cet ensemble briovérien est recouvert (en discordance) par une série de roches sédimentaires du Paléozoïque correspondant à l'**Unité du Sud de Rennes** et dans lesquelles on retrouve essentiellement des schistes et des grès.

Le second domaine **(2)** est le **Domaine varisque ligéro-sénan** qui constitue une étroite bande orientée WNW-ESE, limité au nord par la Faille des Landes de Lanvaux et au sud par le Cisaillement Sud Armoricaïn (CSA). Ce domaine se compose de quatre unités principales : du nord au sud, les **Unités de St Julien-de-Vouvantes, des Landes de Lanvaux, de St Mars-la-Jaille et de St Georges-sur-Loire**. Dans le Morbihan, l'Unité de St Georges-sur-Loire surmonte l'Unité de Péaule biseauté par le CSA et traversée par des intrusions granitiques liées à l'activité de cette faille majeure (**Massif de Questembert, Massif d'Ergué-Languidic**).

Enfin le dernier domaine noté **(3)** et le plus au sud, est le **Domaine varisque sud-armoricaïn** qui constitue l'un des tronçons majeurs de la chaîne hercynienne. Au nord, il est limité par le CSA alors qu'au sud, il est immergé. Ce domaine est composé de trois grands ensembles : le plus au nord, en grande partie migmatitique, est l'**Unité du Morbihan**, caractérisée par l'abondance d'orthogneiss. L'ensemble médian comprend des unités métasédimentaires et métavolcaniques **de la Vilaine et du Pouldu**. L'ensemble plus au sud est constitué d'une unité affectée par un épisode de haute pression (**Unité de Groix-Cené**). Ce domaine est également traversé par de nombreux plutons essentiellement leucogranitiques jalonnant le CSA.

GÉODYNAMIQUE ANCIENNE (simplifiée de Béchenec *et al.* (2001 ; Notice explicative, feuille Rosporden)

Le Protérozoïque supérieur (900-570 Ma, Sédimentation et magmatisme)

Dans le nord du département, le Protérozoïque supérieur est représenté par les micaschistes du Briovérien situés au Nord des grands cisaillements (failles) satellites du Cisaillement Sud Armoricaïn (CSA). C'est une série monotone issue d'une sédimentation turbiditique (alternance de grés et schistes plus ou moins argileux), déposée dans un vaste bassin intra-continentale avec des niveaux interstratifiés de laves tholéitiques continentales.

Le Paléozoïque inférieur (570-440 Ma, Sédimentation et magmatisme)

L'Ordovicien inférieur est marqué par une importante sédimentation détritique (micaschistes de Merrien et de Trünvel) et plus mature (Groupe de Nerly), dans la moitié occidentale du Domaine varisque sud-armoricaïn, associée à des séries volcaniques d'environnement d'arc/arrière arc et à un magmatisme basaltique tholéitique de type MORB.

Le Domaine varisque sud-armoricaïn, en régime de subduction océanique durant l'Ordovicien inférieur, est également argumenté par l'existence d'orthogneiss calco-alcalins de type « arc » (Orthogneiss du Cosquer : 497 ± 11 Ma ; Orthogneiss de Lanmeur : 498 ± 12 Ma). Néanmoins, ce contexte de convergence est caractérisé aussi par des granitoïdes aux signatures nettement crustales (Orthogneiss peralumineux de Nizon : 489 ± 5 Ma et calco-alcalins, Kemper et, *pro parte* Moëlan 485 ± 6 Ma) et des granitoïdes sub-alcalins à alcalins (Orthogneiss de Ty Lipig : 483 ± 10 Ma et, *pro parte* Moëlan).

À la même époque, un plutonisme de type arc affecte la bordure méridionale du domaine centre-armoricain (Trondhjémite de Douarnenez : 473 ± 23 Ma ; Métagranodiorites de Gougastel, Orthogneiss du Loc'h : 483 ± 3 Ma ; Granodiorite de Plogonnec). Cette évolution se poursuivrait, au moins localement, jusqu'à l'Arénigien ($485-470$ Ma) où succède une sédimentation d'environnement de plateforme stable jusqu'au Dévonien supérieur.

Le Siluro-Dévonien (440-350 Ma, l'Evolution éo-varisque)

Les plus anciens témoins d'un épisode éo-varisque sont représentés par le « Complexe de la baie d'Audierne » et par l'Unité de Peumerit, correspondant à un lambeau de lithosphère océanique, métamorphisé au grade granulitique vers 384 ± 6 Ma. Ce métamorphisme témoigne d'un enfouissement attribuable à une période de convergence majeure d'âge Dévonien inférieur à moyen. Cette convergence et ce métamorphisme de haute pression au Silurien et Dévonien, dans le Morbihan, sont soulignés par la présence de Schistes bleus de l'île de Groix (399 ± 12 Ma). Au Dévonien moyen, la convergence se transforme en collision continentale dont les témoins sont les granites migmatitiques de Sainte-Anne-d'Auray (372 ± 24 Ma).

Le Carbonifère (350-290 Ma, l'Evolution varisque)

Cet évènement est dominé par le fonctionnement des grandes failles (les cisaillements subparallèles dextres du CSA) qui séparent les Domaines varisques sud-armoricain, ligéro-séanais et de Bretagne centrale et il est responsable (1) de la formation d'ultramylonites dans des couloirs axés WNW-ESE, (2) de la naissance de structures ductiles « C/S/L » dans les granites carbonifères et (3) de la verticalisation des structures antérieures. Un métamorphisme de type basse à moyenne pression et la genèse de leucogranites accompagnent cette évolution varisque, avec des granites précoces (orthogneissifiés comme celui de Saint Joseph-Pors Poulhan (338 ± 10 Ma) et d'autres plus récents comme celui de Saint-Thurien (316 ± 3 Ma) ou de Pluguffan (318 ± 4 Ma)).

La fin du Carbonifère correspond à une tectonique cassante apparemment « transtensive » soulignée par le rejeu du CSA et par le développement d'étroits bassins stéphaniens (baie des Trépassés ; Quimper) et l'individualisation du système de failles conjuguées axées NW-SE et NE-SW (Système Kerforne).

L'Evolution post-paléozoïque (240-65Ma)

Cette évolution demeure assez mal connue dans le Massif armoricain. Au Mésozoïque, d'épaisses séries triasiques et jurassiques se déposent dans les bassins de la Manche et d'Aquitaine, mais aucun témoin de ces transgressions mésozoïques n'est encore connu sur la péninsule bretonne. Seuls des filons de dolérite NW-SE à NS datés à 205 Ma, témoignent de cette période d'extension, prélude de l'ouverture de l'océan Atlantique nord.

GÉODYNAMIQUE RÉCENTE

Le Cénozoïque (**65 Ma à l'actuel**) est finalement la période qui pour cette étude, va être primordiale. La région est considérée comme essentiellement continentale (Durand, 1960 ; Estéoule-Choux, 1967) où de rares altérites résiduelles, associées à des occurrences de fer (cuirasses) pourraient correspondre à la fin du Mésozoïque ou au début du Cénozoïque.

L'Éocène est quant à lui, une période marquée par une altération importante (sous des climats chauds et humides) des roches du substratum décrites ci-dessus, déterminant des profils latéritiques de 70 à 100 m d'épaisseur. La fin de cette période d'altération est marquée par des horizons de silicification (conglomérats, grès ladères et de sabal) interprétés par Wyns et Guillocheau (1999), comme une période pour l'Europe du nord, caractéristique d'une subsidence lithosphérique. Ces silicifications d'âge supposé éocène moyen sont observables par exemple sur la feuille de Rosporden.

Les failles NW-SE cassantes carbonifères vont rejouer pour créer des bassins d'effondrement (grabens) qui vont se remplir de sédiments argilo-sableux accompagnés de minces niveaux de lignite. Les mouvements tectoniques syn- à post-Éocène affectent les niveaux latéritiques, leur conférant une géométrie « en touches de piano ». Le remplissage de ces bassins va se poursuivre de l'Oligocène au Miocène par l'intermédiaire de sables, argiles et calcaires (Mer des faluns). Au Miocène tardif - Pliocène, les sables rouges et les dépôts marins associés vont venir combler une paléo topographie de type « ria » (Guillocheau et *al.*, 1998).

Le Quaternaire correspond au début des cycles glaciaires et donc à un changement climatique général vers 2,4 Ma. Une alternance de périodes froides et de réchauffement (périodes tempérées ou interglaciaires) vont se succéder où pendant les périodes froides, la ligne de rivage sera plus basse et où sur les parties continentales, le gel provoquera la fracturation des roches affleurantes et leur transit sur les versants, par cryoturbation, fauchage et gélifluxion (heads). Pendant les périodes tempérées interglaciaires, les niveaux des mers vont être proches de l'actuel.

L'Holocène (interglaciaire actuel) marque le retour d'un climat tempéré depuis 10 000 ans environ. Même si la fin cette dernière glaciation est mal connue, on dispose de nombreuses informations sur la flore et les variations du niveau marin depuis 8 000 ans BP (Morzadec-Kerfourn, 1974). La ligne du rivage est ainsi remontée de - 80 m au moins jusqu'au 0 actuel. De ce fait, les principales vallées des rivières côtières se prolongent en mer, ce réseau de paléovallées ayant été creusé lors de périodes froides, en relation avec les abaissements importants du niveau marin, notamment au Weichsélien.

Toutes les formations géologiques dont la susceptibilité au retrait et gonflement va être évaluée dans cette étude, sont dues à cette période géologique cénozoïque. Deux types de formations meubles avec un potentiel argileux découleront de cette période : Les formations argileuses d'origine sédimentaire et les formations argileuses d'origine climatique (les altérites).

SISMICITE

Aucun indice de déformation plio-quaternaire n'a été relevé dans la base de données Néopal (base nationale de la néotectonique et de paléosismicité, gérée par le BRGM).

L'analyse de la sismicité historique (récurrence des séismes), de la sismicité instrumentale et l'identification des failles actives, permettent de définir l'aléa sismique d'une région, c'est-à-dire la probabilité qu'un séisme survienne. Le zonage sismique de la France comporte 5 zones élaborées à partir de l'étude de 7 600 séismes ((zone 0 : sismicité négligeable (mais non nulle) ; zone Ia : sismicité très faible ; zone Ib : sismicité faible ; zone II : sismicité moyenne ; zone III : sismicité forte, décret du 14 mai 1991). Ce classement est réalisé à l'échelle du canton et le département du Morbihan se situe dans la zone 0.

La base de données nationale de la sismicité historique SisFrance du BRGM, EDF et IRSN (2008), dénombre pour les séismes d'intensité épiscopale supérieure ou égale à 5, pour la région Bretagne, 38 séismes, s'étalant de 1843 à 2002. L'un des séismes les plus importants pour la région Bretagne est la secousse sismique du 30 septembre 2002, avec une intensité épiscopale de 5,5 dans la région d'Hennebont. Ce séisme n'a pas fait de victimes mais a causé des dégâts matériels réduits comme des chutes de cheminées, fissuration de murs, bris de vitres. Mais il en existe d'autres comme celui du 9 janvier 1959 en Cornouaille à Melgven (29), avec une intensité épiscopale de 7, ou encore celui du 16 janvier 1930 d'intensité épiscopale de 7 à Meucon dans les Landes de Lanveaux.

Le séisme du 30 septembre 2002 de Hennebont a fait l'objet d'une analyse scientifique publiée (J. Perrot et *al.*, 2005) et il serait la conséquence d'une faille d'orientation N120-N150 ayant rejoué, suivant une contrainte locale orientée NW-SE avec une composante décrochante et en faille normale (affaissement). La profondeur de l'épicentre de ce séisme se situerait à environ 12km.

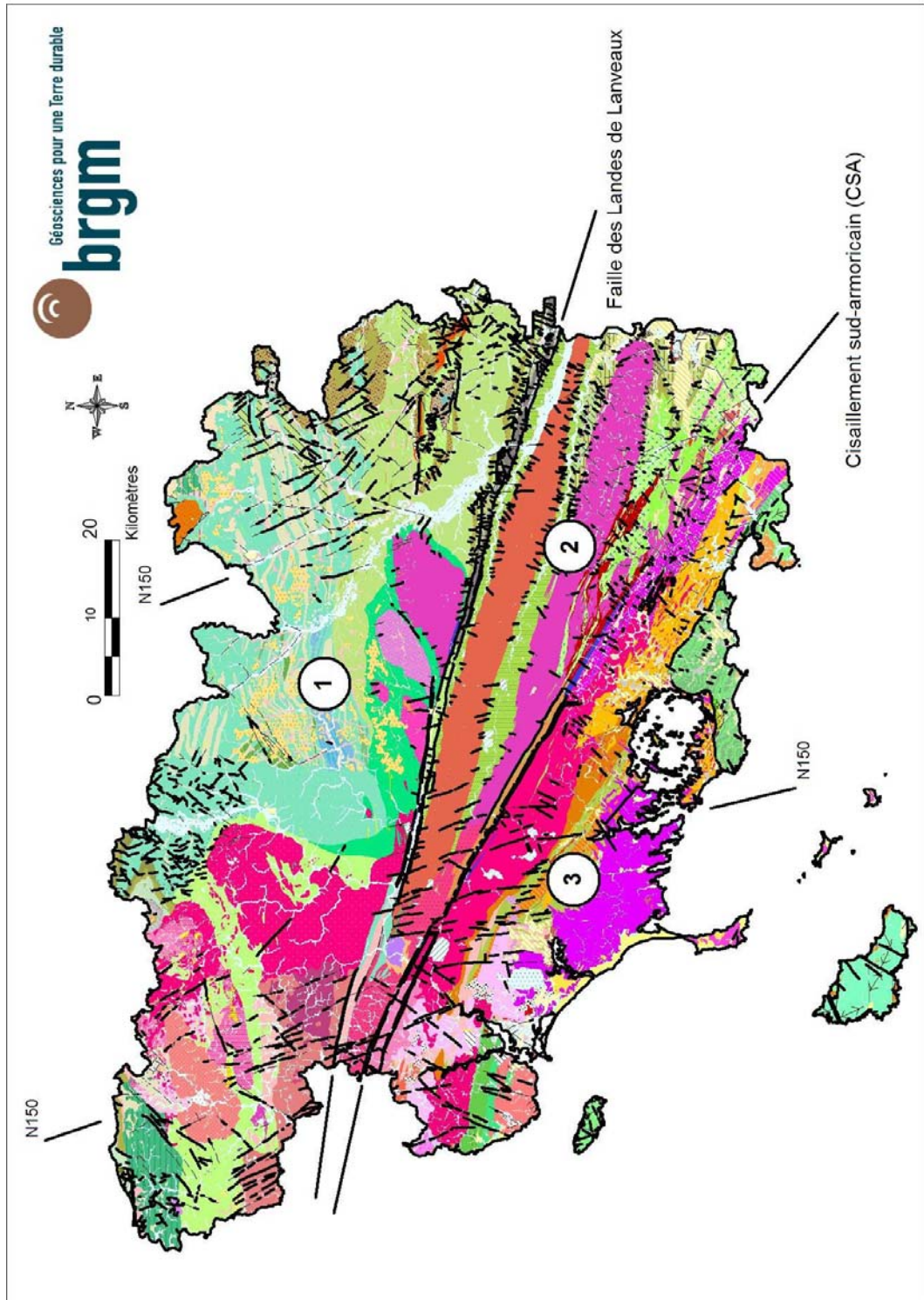


Illustration 5 – Carte géologique harmonisée du Morbihan, position des grands cisaillements et des failles NW-SE et des trois grands domaines

4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

L'hydrogéologie est le reflet de la géologie. Ainsi la géométrie des aquifères du département du Morbihan va être le reflet de la géométrie des formations géologiques qui les contiennent. On peut dénombrer environ 4 types d'aquifères pour le Massif Armoricaire même si certains sont très réduits, et en fonction de ces quatre types d'aquifères, il peut en exister tout un panel par combinaison, interaction et superposition d'un modèle sur un autre.

Le plus important en terme de superficie est l'aquifère de socle s.l. (1) situé dans l'altération et la fracturation d'origine latéritique mais aussi tectonique des roches du socle armoricaire. L'altération et la fracturation ont généré un horizon meuble de roches altérées (de 20 à 30 m d'épaisseur) avec une porosité permettant l'infiltration et le stockage des eaux météoritiques vers un horizon plus compact et fissuré de 40 à 60 m d'épaisseur et soutenant le débit des cours d'eau.

Cet ensemble socle-altération, comme nous l'avons exposé dans le cadre géologique du département, a subi des événements tectoniques transtensionnels créant de petits bassins d'effondrements tertiaires. Ces bassins sédimentaires tels que celui de Mohon ou de Gâvres, et dont le plus important pour la région Bretagne est celui de Chartres-de-Bretagne, renferment des aquifères de type sédimentaire (2) dans lesquels la ressource en eau, malgré leur taille réduite, est plus importante et contenue dans les couches sédimentaires les plus perméables.

Le troisième type d'aquifère (3) est celui commun à tous les fleuves et cours d'eau, celui des nappes alluviales. Ces aquifères sont contenus dans les alluvions des fleuves et cours d'eau et la capacité de production d'eau potable de ces aquifères est importante, mais ils sont vulnérables aux pollutions.

Enfin le dernier type d'aquifère (4), est l'aquifère côtier dont une des limites est constituée par la mer et l'autre par les premiers reliefs côtiers. De par leurs situations, le niveau des aquifères est imposé par celui de la mer et des eaux continentales douces de ces aquifères côtiers qui s'écoulent vers la mer. En cas de surexploitation, les eaux marines salées peuvent s'introduire dans l'aquifère en fonction des variations de charges.

Pour avoir un aperçu de ces nappes brièvement décrites à l'échelle du département, il est possible de se connecter au site internet : <http://www.inondationsnappes.fr>.

5. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses

5.1. DOCUMENTS ET METHODOLOGIE UTILISES

5.1.1. Méthode utilisée

L'un des but principal de cette étude repose sur la construction d'une carte des formations géologiques argileuses et marneuses du département du Morbihan, afin d'évaluer la susceptibilité de ces formations au retrait-gonflement.

Ce travail a été réalisé à partir des 23 cartes géologiques à 1/50 000 couvrant l'ensemble du département et réparties comme ci-dessous.

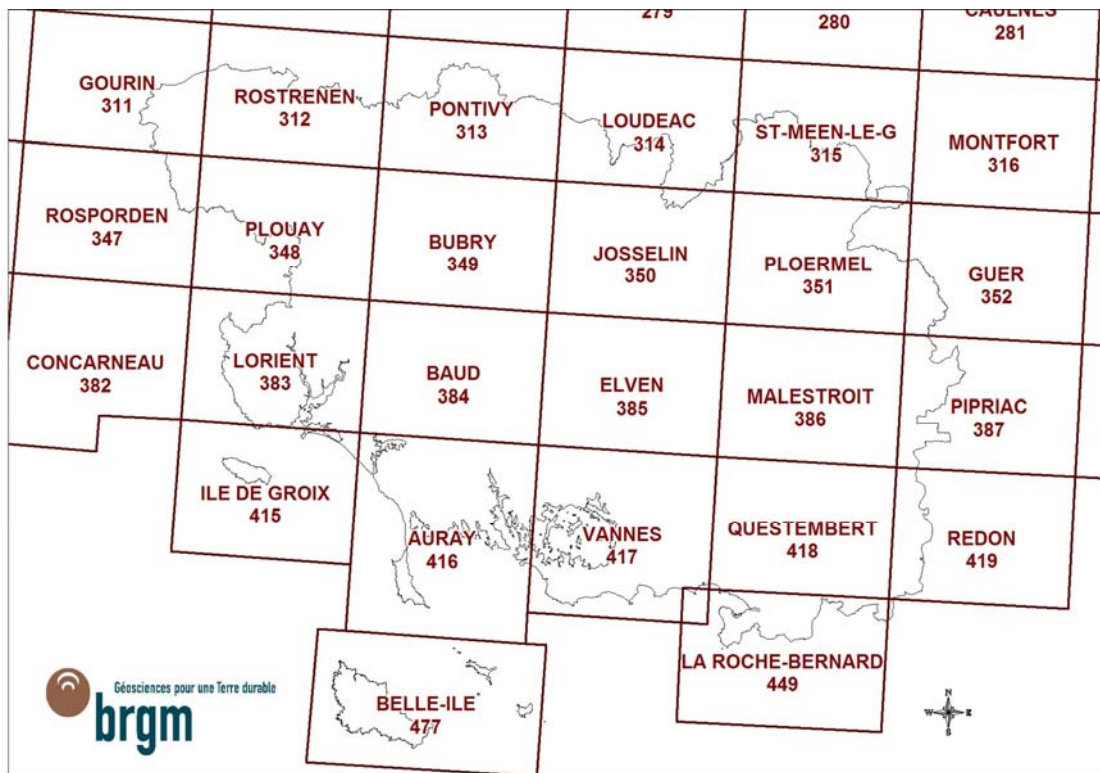


Illustration 6 – Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du Morbihan

La liste et les références complètes concernant des cartes géologiques du département du Morbihan sont données en fin de manuscrit dans les références bibliographiques.

Chaque carte géologique au 1/50 000 existe en version numérique en format vecteur, et toutes les cartes sont dans un même système de coordonnées géographiques (Système Lambert II étendu). Sur chaque carte, les formations géologiques sont associées à une table attributaire qui renseigne pour chaque formation, différents champs comme : un code lithologique correspondant à son âge et sa nature, une description géologique, la carte à laquelle elle appartient etc.

L'harmonisation géologique de l'ensemble des cartes géologiques du département consiste donc à harmoniser l'ensemble des formations géologiques des 23 cartes du département en une seule et unique table attributaire de synthèse dans laquelle les formations géologiques du même âge, de même nature lithologique mais aussi ayant la même histoire géologique sont regroupées sous un même code et sous une description géologique synthétique commune.

Pour certaines formations géologiques, comme par exemple les alluvions actuelles des fleuves et cours d'eau qui apparaissent généralement sous le code lithologique Fz sur toutes les cartes géologiques de France, ce travail peut prendre un aspect trivial. Mais pour d'autres formations géologiques dont il n'existe pas d'âges (azoïques) ou de datations et où les variations de lithologies sont complexes, leur harmonisation relève d'un réel travail de synthèse et de réflexion afin de ne pas perdre de l'information géologique mais aussi de ne pas complexifier l'information géologique rendant la carte illisible.

Une fois que la table attributaire de l'ensemble des formations géologiques est réalisée, la carte géologique harmonisée est réalisable. Il reste une étape primordiale qui est, sur cette première mosaïque de cartes, l'uniformisation des contours aux limites des cartes, liée à des interprétations différentes des différents auteurs ou plus simplement et pragmatiquement à la réalisation de travaux d'aménagements (tranchée d'autoroute par exemple) qui offrent un point d'observation qui n'existait pas auparavant. Ainsi la continuité des contours géologiques est assurée aux limites de chaque feuille par des corrections de détail basées sur une réinterprétation géomorphologique, sur l'existence de nouvelles données (nouveaux forages) de la Banque de données du Sous Sol (BSS) ou encore des analyses de sols et de nouvelles données de sondages géotechniques apportées par cette étude. Ces ajustements et modifications ne sont en général pas contrôlés par des visites de terrain.

La Bretagne en matière d'acquisition de ces cartes géologiques au 1/50 000 a pris un certain retard de part la complexité de sa géologie et des conditions difficiles d'affleurements de roches. Malgré tout, le lever des cartes géologiques a pu être fait dans les temps afin de permettre la réalisation de cette étude et le travail d'harmonisation. Cependant la réalisation d'une carte géologique au 1/50 000 est un travail considérable, de longue haleine, qui se réalise en deux temps : (1) La réalisation de la carte proprement dite, faite par l'acquisition de terrain et (2) la rédaction de la notice qui accompagnera la carte tout au long de sa vie. Ainsi donc les notices des cartes géologiques de Bubry, Baud, Elven, Vannes, Auray, Josselin, Loudéac et Guer ne sont pas disponibles et c'est donc l'information géologique contenue dans les cartes voisines qui a été utilisée, complétée par celles des départements voisins.

5.1.2. Etablissement de la carte des formations argileuses et marneuses

Une fois la carte géologique harmonisée à l'échelle du département, la sélection des formations géologiques parmi celles qui seront susceptibles d'être argileuses et marneuses, s'est faite suivant plusieurs approches :

- Une approche *géomatique* qui consiste à rechercher à l'intérieur de la table attributaire de la carte géologique harmonisée des formations géologiques, les termes lithologiques (1) qui peuvent être associés à la présence d'argiles. Pour le département du Morbihan, les requêtes ont porté sur les termes : « alluvion (s), colluvion (s), remanié (s, es), vase (s), vaseux, argile (s), argilite (s), altérite (s), kaolinite, kaolin, altération, arène, argileux, argileuse, résiduelle (s), allotérite (s), *marne, marneux etc.* », mais aussi des requêtes qui sollicitent la connaissance de l'histoire géologique du département et qui ont porté sur les termes stratigraphiques (2) : « quaternaire, holocène, pléistocène, pliocène, miocène, éocène, tertiaire, cénozoïque etc. ».
- Une autre approche plus *géologique* et *régionale* repose sur la connaissance géologique du département et de la Bretagne. Les cartes géologiques étant assez inégales sur la représentation de certaines formations géologiques superficielles notamment sur celles d'altération, une approche a été élaborée pour évaluer la répartition de ces formations d'altération non représentées sur les cartes géologiques. Cette approche a fait intervenir la cartographie existante, la cartographie ponctuelle (rapports, études ponctuelles) et une digitalisation des surfaces géomorphologiques pouvant correspondre à des paléo-surfaces d'altération. Cette opération s'est faite en s'aidant des **1 980** sondages géotechniques saisis pour cette étude, des **6 214** sondages issus de la banque de données du sous sol (BSS) dont **411** contenant des argiles dans la tranche 0-10m, des **1 125** sondages réinterprétés lors de l'étude SILURE (Mougin et *al.*, 2008), sur lesquels avait été interprétée et extraite la base des altérites. Enfin, afin d'avoir un contrôle de terrain, l'échantillonnage sur 4 jours pour la caractérisation minéralogique et les gisements potentiels d'argile prospectés par le BRGM lors du plan minier breton sont venus infirmer, confirmer ou réfuter cette approche (Illustration 7).

Une fois l'évaluation de la répartition des altérites faite sur les secteurs où elles étaient inexistantes, leurs polygones sont venus redécouper à l'emporte-pièce, les polygones sous-jacents de roches du socle. A cette répartition des roches d'altération est ainsi venue s'associer une lithologie de socle caractérisée en termes d'altération par Janine Estéoule-Choux dans sa thèse (1967). Afin de ne pas avoir une carte d'une extrême complexité des formations argileuses, les roches d'altération ont été regroupées entre elles en fonction de leur minéralogie, leur texture et leur origine en 8 groupes ; *une harmonisation en quelques sortes des formations d'altération* a été réalisée.

Les deux approches décrites ci-dessus, permettent d'identifier, pour le département du Morbihan, **32 formations géologiques argileuses et marneuses** (Illustration 8). **24** formations sont directement extraites de la cartographie du département (cartes

géologiques au 50 000^{ième} et harmonisée) et 8 formations sont issues de l'analyse des données disponibles sur le département.

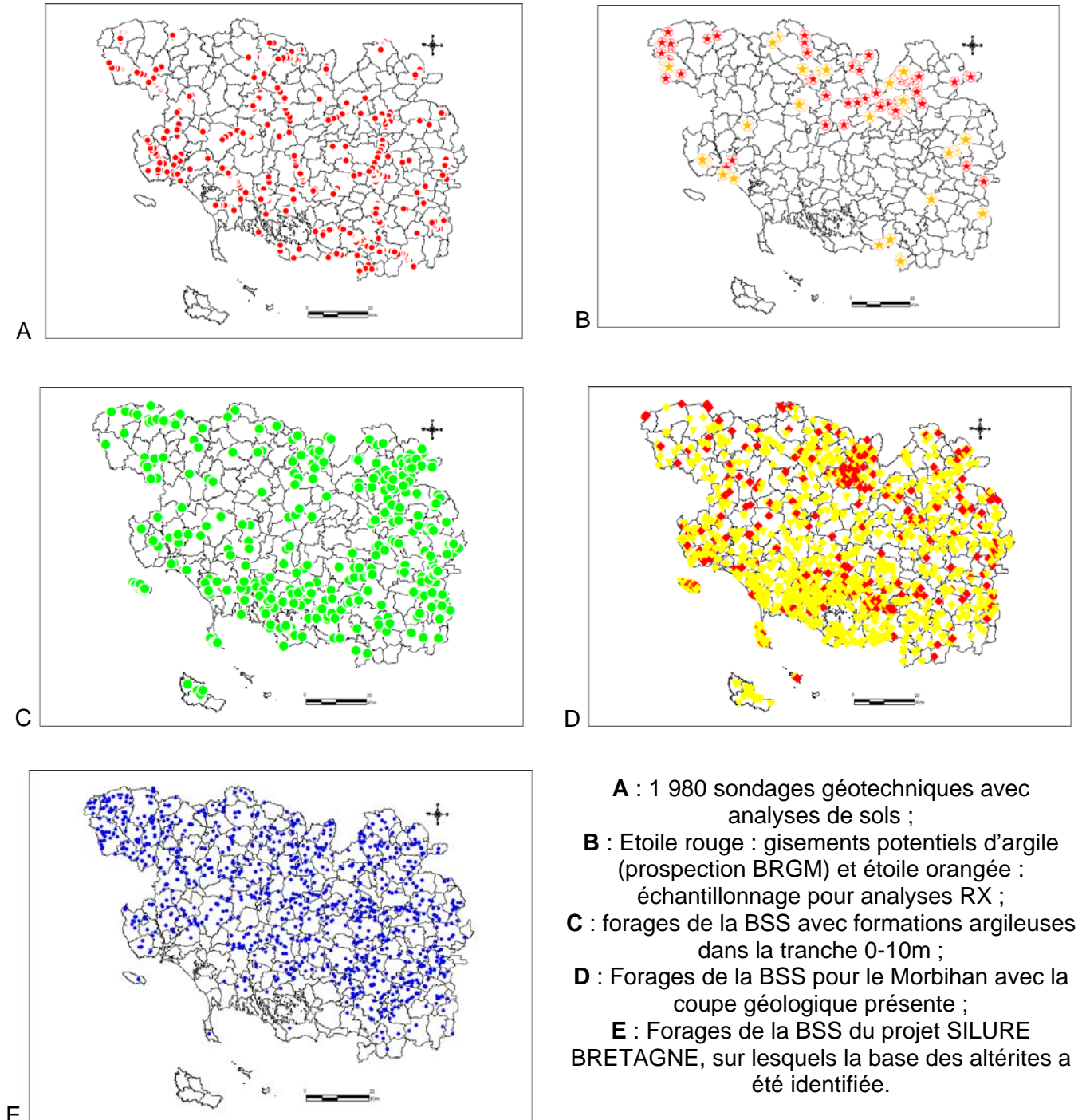
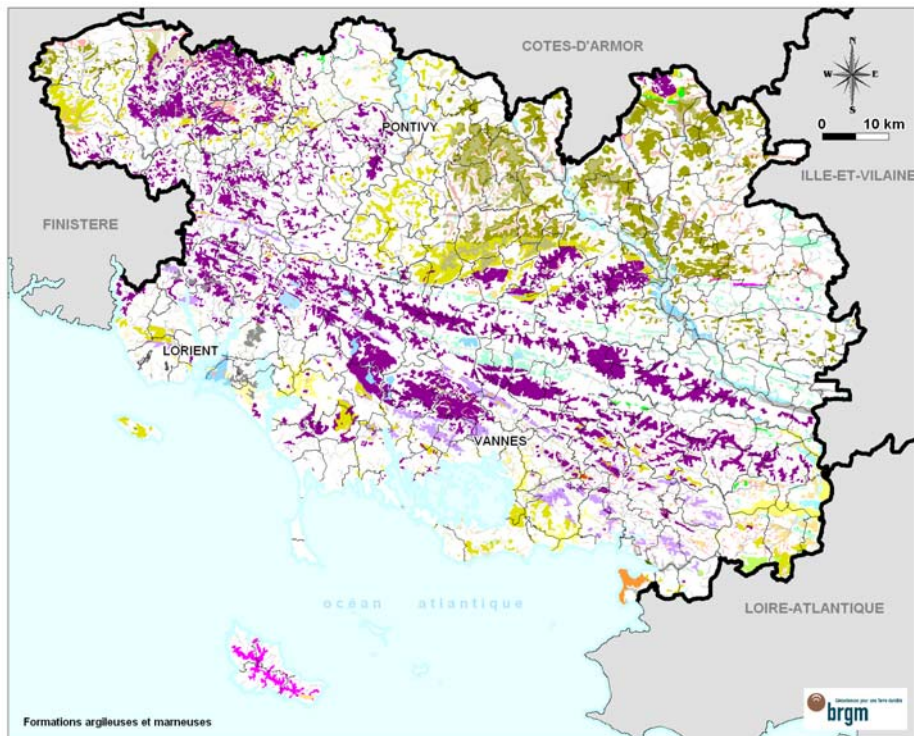


Illustration 7 – Cartes du département du Morbihan montrant l'ensemble des données recueillies et utilisées pour cette étude.



Formations argileuses et marneuses

- FzT - Alluvions récentes tourbeuses, Holocène
 - Fz - Alluvions récentes, Holocène
 - Fy - Alluvions des basses terrasses, Pléistocène
 - Fx - Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène
 - Fp - Alluvions fluviales "anciennes", Quaternaire
 - Fw - Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène
 - SA - Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire
 - SH - Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire
 - C - Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène
 - MzP - Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène
 - My - Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène
 - MzV - Dépôts estuariens vaseux, siltke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène
 - p - Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviales de couleur rouge à blanc, Pliocène
 - pA - Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène
 - p-IVB - Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire
 - p-IV - Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire
 - Mp - Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène
 - e-Fx - Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel
 - e4 - Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien
 - e-pb - Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène
 - III - Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?
 - A - Argiles d'altération
 - RIII - Epandage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées
 - AbG - Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques
 - AKM - Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites
 - AΣδ - Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques
 - A_{CS} - Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites
 - A_{YL} - Altérites au sens large de roches de la famille des granites
 - Abj(Ks) - Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates
 - AbK - Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes
 - Ao-d - Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques
 - Akao - Kaolin (altérites)
- Limite de commune

Illustration 8 – Carte géologique départementale des formations argileuses et marneuses du Morbihan, accompagnée de sa légende

5.2. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

Ce chapitre dresse l'inventaire des formations argileuses et marneuses retenues pour le Morbihan et l'illustration 8, correspond à la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département qui est aussi présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000. Finalement et au total, ce sont 32 formations qui ont été retenues pour le département du Morbihan comme argileuses ou marneuses et elles sont décrites dans les lignes ci-dessous.

Elles peuvent être regroupées en 4 ensembles :

- Les formations argileuses et marneuses quaternaires d'origine fluviale à marine : Fz, Fy, Fx, Fw, FzT, Fp, MzP, MzV et My ;
- Les formations argileuses et marneuses quaternaire de versant : C, SA et SH ;
- Les formations argileuses et marneuses tertiaires : pA, p-IV, p-IVB, p, Mp, AAA, RAAA, e-p/b, e-Fx et e4 ;
- Les formations argileuses résiduelles ou d'altération : $\mathcal{A}o-d$, $\mathcal{A}bK$, $\mathcal{A}b\xi(K\delta)$, $\mathcal{A}\gamma L$, $\mathcal{A}\zeta\xi$, $\mathcal{A}\Sigma\delta$, $\mathcal{A}KM$, $\mathcal{A}bS$, \mathcal{A} , $\mathcal{A}Kao$.

5.2.1. Les formations argileuses et marneuses quaternaires

a) *Les formations argileuses et marneuses quaternaires d'origine fluviales*

Pendant les périodes froides du Quaternaire, l'alluvionnement a été abondant et de vastes nappes constituées de sables, d'argiles, mais surtout de cailloutis, ont alors occupé le fond des vallées. Les remblaiements périglaciaires ont alterné avec des phases de creusement et il s'est formé un système de terrasses emboîtées, s'étageant en ordre chronologique ; les plus élevées sont les plus anciennes et les plus basses les plus récentes. La distribution altimétrique, et parfois certains caractères sédimentologiques, permettent de distinguer plusieurs cycles.

Leur composition sera variable le long du cours d'eau, mais en règle général on retrouve une partie grossière (cailloutis, galets et blocs) dont la lithologie est le reflet des roches qu'elle traverse et une partie fine (argile, limon à sable) pouvant être constituée de minéraux lourds, micas, feldspaths, minéraux argileux ou matière organique accumulée sous forme de poches tourbeuses (**FzT**). Pour les cours d'eau, ces dépôts sont répertoriés le long de leur lit, selon leurs positions altimétriques relatives. Les dépôts les plus anciens sont situés sur les hauts des versants et les dépôts plus récents s'emboîtent au fur et à mesure du surcreusement fluviale. La notation se fait de bas en haut (du plus récent au plus ancien) en **Fz**, **Fy**, **Fx**, **Fw** ou **Fv**, éventuellement **Fp**.

Ces formations fluviatiles des cours d'eau principaux peuvent avoir une origine lointaine (avec des éléments bien arrondis) comme très locale (avec des éléments anguleux provenant d'un apport latéral proximal).

(1) Alluvions récentes tourbeuses, Holocène (FzT)

Cette première formation est associée à la formation qui suit, notée Fz et nommée : Alluvions récentes.

Elle se situe dans certains secteurs du département, sous la forme d'accumulations argilo-tourbeuses. Par leur présence et leur concomitance au sein des dépôts alluviaux, les argiles et les niveaux tourbeux rendent ces sols potentiellement compressibles et sensibles au retrait-gonflement, ce qui peut induire des tassements.

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.

Sur l'Isole, l'Odet, l'Hières et le Ster-Goanez, elles forment de petites plaines alluviales, très étroites, qui portent des prairies humides. Parfois des silts tourbeux noirs ou même de tourbes franches forment de vastes surfaces plus ou moins marécageuses. Leur développement est particulièrement important dans la dépression de Plouray-Langonnet où elles occupent les zones basses et plates associées à de puissantes formations latéritiques. Cette formation se rencontre également le long du canal de Nantes à Brest qui emprunte le cours de plusieurs affluents du Blavet.

Les rares points d'observation montrent des épaisseurs de 0,40 à 0,60 m mais localement elles peuvent atteindre de 1,50 à 2,0 m.

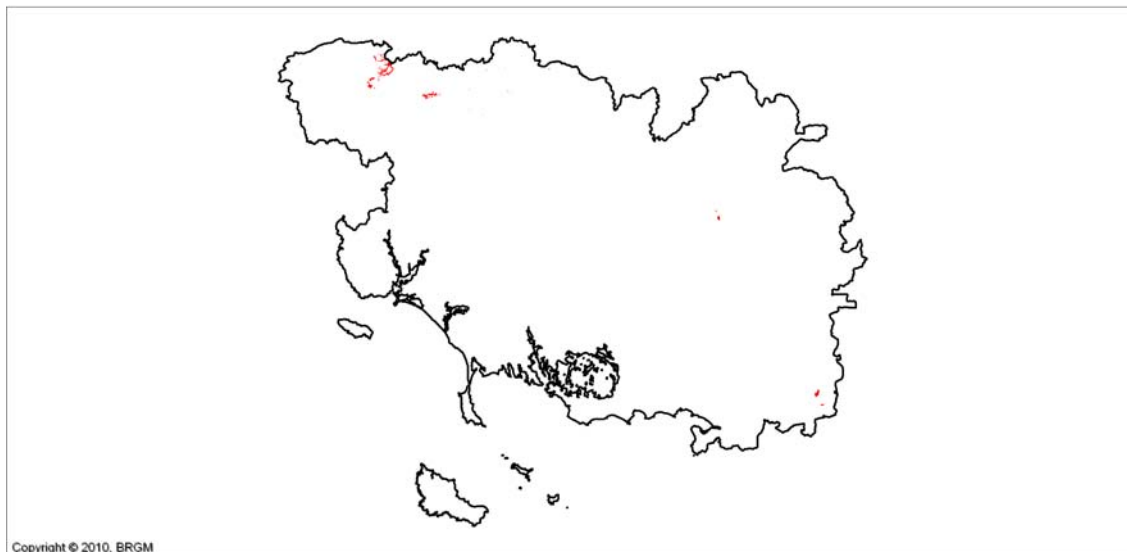


Illustration 9 – Répartition départementale de la formation FzT

(2) Alluvions récentes, Holocène (Fz)

Les alluvions récentes remblayant le fond des vallées sont généralement formées de sable et d'argile englobant des cailloux anguleux.

Elles proviennent du remaniement des coulées périglaciaires et des altérites par les courants fluviaux concentrés dans les thalwegs et par le ruissellement s'exerçant sur les versants.

Les alluvions récentes correspondent au lit majeur des cours d'eau et sont présentes sur l'ensemble des cartes géologiques. Leurs caractéristiques lithologiques varient en fonction des cours d'eau, des bassins versants et de leurs positions relatives par rapport au cours d'eau (dépôts de bordure de méandres ou situés aux cœurs des chenaux). La plupart des auteurs des cartes géologiques du département décrivent des formations argilo-limoneuses et des dépôts sablo-graveleux plus ou moins argileux, où s'intercalent des horizons d'argiles grises, bleues ou noires.

La variabilité des faciès et le caractère aléatoire des zones argileuses conduisent à retenir l'ensemble des *Alluvions modernes et récentes* parmi les formations argileuses.

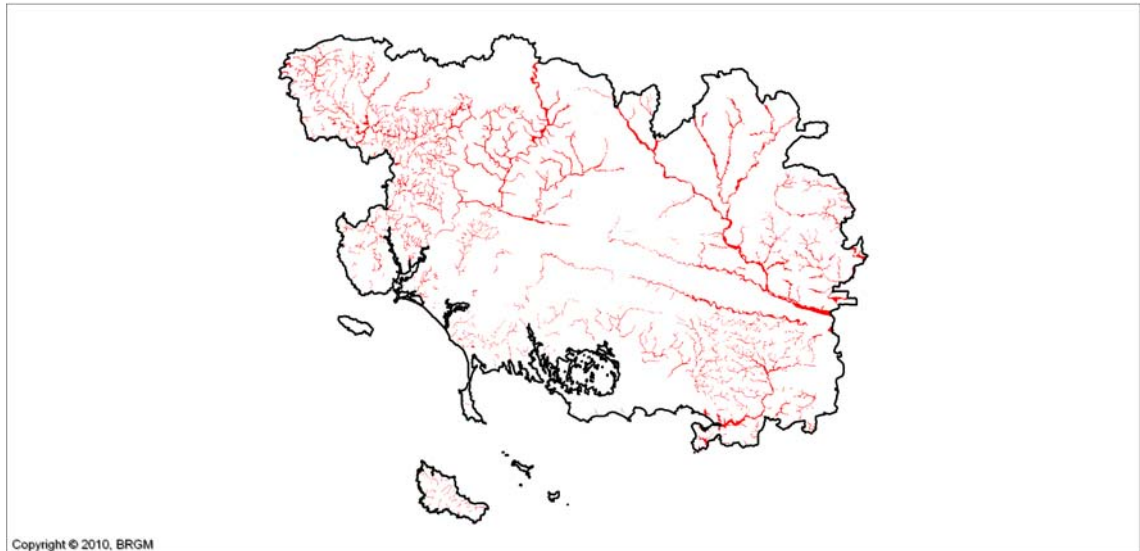


Illustration 10 - Répartition départementale de la formation Fz

(3) Alluvions des basses terrasses, Quaternaire (Fy)

Déposées à partir du Pléistocène supérieur sur 2 à 10 m d'épaisseur au-dessus du lit actuel, elles constituent le système de terrasse le plus bas et le plus récent ; sa base peut passer sous le niveau des alluvions actuelles Fz. Ces terrasses suivent les lits actuels des cours d'eau du département pour les parties continentales de cette formation. Il est possible de la lire dans le paysage, à travers des replats parfois étendus (Oust). Plus rarement, une petite rupture de pente permet de distinguer deux niveaux étagés.

Dans le secteur sud du département autour de son embouchure, la Vilaine a réoccupé sa vallée en s'encaissant dans des formations marines qui l'avaient fossilisée. Des terrasses alluviales du secteur de Redon n'apparaissent ici qu'au Haut Verger, au nord-ouest de Nivillac à +42 m et se raccordent vers l'aval aux formations de Pénestin, alors que les dépôts de Foleux et de Brédan correspondent en amont à la terrasse de Rieux et vers l'aval aux formations de Bétahon. Des alluvions anciennes apparaissent aussi dans le val de l'Arz, au nord-est.

Ces formations se distinguent des sédiments pliocènes, qu'elles remanient parfois, par leur hétérométrie, le faible émoussé des galets et l'absence d'évolution du quartz dans les sables. On y remarque aussi quelques blocs démesurés d'origine glaciaire. Les dépôts sont généralement rubéfiés et forment parfois des dalles de grès ou des poudingues ferrugineux. Ces formations sont azoïques mais un peuplement précoce a été constaté dans le cours moyen de la Vilaine au niveau de Saint-Malo-de-Phily et de Damgan.

Ces alluvions sont formées par des dépôts argilo-sableux gris ou par des sables et galets (5 m d'épaisseur en moyenne), à la base des dépôts estuariens. On peut y associer les dépôts sablo-argileux et les tourbes anciennes situées à la base du

remplissage flandrien de Brière. Sur la bordure du marais breton, et localement en bordure des îles de Brière, on constate la présence de ces sables et argiles grises, d'une puissance réduite, le plus souvent. Ils ont été préservés localement (bien que souvent tronqués) dans des secteurs abrités de l'érosion qui a déblayé ailleurs la plupart des dépôts homologues lors des phases régressives qui ont suivi. On les trouve, par sondage, à la cote -25 m en Vilaine près de Redon, à la cote -18 m en Brière centrale, vers -30 m dans la région des marais de Montoir en Loire, vers la cote +5 (et jusqu'à +10 m) sous forme de terrasses à Arbourg et à la Gravelais.

Ces formations à l'intérieur des terres et dans le secteur de Redon constituent les terrasses de Cran, du Val, de la Lombardie, de Paimbu pour la Vilaine, de Redon pour la confluence Arz, Oust, Vilaine, de Guéméné pour le Don et de Lezin.

Les matériaux montrent une stratification parfois oblique ; les éléments sont hétérométriques, depuis des blocs de 10-15 cm (rares) jusqu'aux sables grossiers à moyens, en passant par les graviers. Leur degré d'usure est variable mais souvent faible : éléments anguleux ou vaguement émoussés ; on remarque localement, et de manière aléatoire, des éléments nettement plus roulés et arrondis pouvant provenir du remaniement d'alluvions plus anciennes ou de formations marines. La pétrographie des composants permet de retrouver, outre du quartz filonien très abondant, les faciès du substratum paléozoïque, ainsi que des éléments cristallins assez rares (granité d'Allaire). L'altération des éléments est peu poussée (ils conservent leur dureté). Le matériau est dans l'ensemble cohérent sans montrer d'induration particulière (quasi-absence de ciment entre les éléments). L'altitude maximum actuelle des terrasses n'excède pas +15 m : +10 m pour la terrasse de Cran, +10-12 m pour la terrasse du Val, +10 m pour Redon et Paimbu, +10-12 m pour la Lombardie, +10-12 m pour la terrasse de Guéméné. Seule la terrasse de Lezin s'élève jusqu'à environ +14-15 m, avec une géomorphologie très nette d'emboîtement dans le substratum. Ce dispositif s'observe d'ailleurs fréquemment.

En amont de la cluse de Saint-Congard, cette formation domine le lit de l'Oust de +5 m et en aval, elle plonge lentement sous les alluvions actuelles. Le matériel ici est très grossier et la composition pétrographique des galets varie de quartz, grès, phanites à schistes. Des blocs glaciaires parfois énormes sont souvent visibles dans les carrières à la base de ces formations. Dans quelques excavations, notamment dans le secteur de la Touche-Carnée, on observe deux nappes d'alluvions superposées. Les dépôts supérieurs, de teinte grisâtre, ravinent un matériel de teinte jaunâtre pouvant constituer la base de la basse terrasse supérieure; celui-ci a été cryoturbé et s'injecte parfois dans le niveau supérieur. Dans les vallées de la Claie et de l'Arz, la basse terrasse inférieure est rarement bien individualisée et souvent masquée par les alluvions holocènes ou les coulées périglaciaires.

Sur les bords du Blavet, ces alluvions à blocs et galets sont grossières et de matrice sableuse.

Dans l'ouest du département, il existe quelques lambeaux de terrasses dans les vallées de l'Ellé et de l'Inam, en particulier autour du moulin de Pont-Blanc. Ces terrasses dominent les lits de cours d'eau actuels de quelques mètres et se trouvent

respectivement à des altitudes de 125 et 85 m. Leur épaisseur dépasse le mètre. Elles sont composées de gros galets de quartz et de lentilles de graviers dans lesquels sont noyés des blocs de granite (Vogt, 1961). Ces blocs de quartz, de 3 à 15 cm, très émoussés, de teinte beige, ocre ou rubéfié, avec des traces locales de dissolution et peut être de déformation, se trouvent dispersés sur quelques replats en bordure du Doré au Sud de Plouguernevel, en bordure du canal de Nantes à Brest au Nord de Bonen, à Kerourin. Ils se trouvent respectivement à des altitudes de 155, 170 et 130 m.

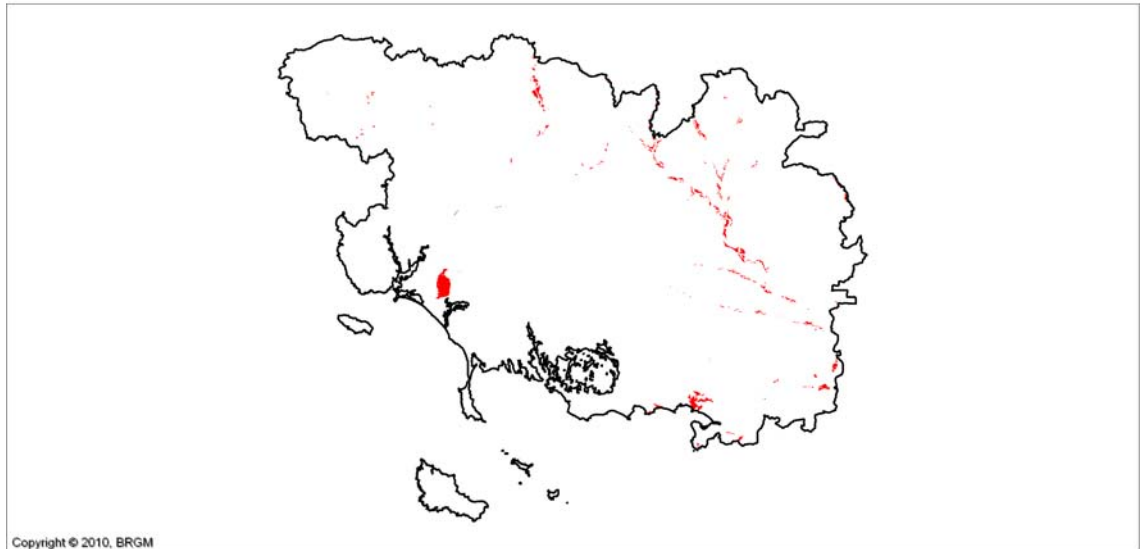


Illustration 11 - Répartition départementale de la formation Fy

(4) Alluvions des hautes terrasses, Quaternaire (Fx)

Ou alluvions des secondes terrasses, souvent scindées en deux niveaux distincts à partir du lit actuel (10 à 20 m au-dessus cours actuel) (Pléistocène moy. à sup. ?) : Outre le critère altimétrique, ces dépôts fluviaux sont moins alimentés par les coulées détritiques périglaciaires issues des versants que les alluvions des basses terrasses Fy. En conséquence, le pourcentage de blocs du substratum est beaucoup moins important et leur composition s'apparente plutôt à celle des alluvions des hautes terrasses. Cependant, la taille des éléments est souvent bien inférieure et le matériel est généralement beaucoup plus homogène : ce sont principalement des galets de quartz dont le diamètre ne dépasse pas 10 cm. Parfois, des blocs sont rubéfiés, voire cimentés par des oxy-hydroxydes de fer « roussard ». Ces cimentations ferrugineuses sont concentrées à la base de ces formations fluviales, lacérées par l'érosion quaternaire plus récente qui provoque leur incorporation aux alluvions des basses terrasses (Fy). Localement sont observables des lentilles métriques contenant, soit des sables grossiers rougeâtres, mal classés et sans figures sédimentaires, soit des niveaux d'argiles grises ou ocres, relativement homogènes.

Ces formations de terrasses alluviales de Saint-Nicolas, de la Provotaie, de Redon, de Rangoulas, de Rieux et de Quinssignac pour la Vilaine, de Saint Ferreux et d'Aucfer pour l'Oust, des Rues Morel et du Pâtis pour l'Arz, correspondent à des sédiments gravelo-sableux bien stratifiés, classés et triés. L'origine des éléments paraît être les séries du Paléozoïque en amont, granités de Lanvaux et d'Allaire, sables et galets pliocènes. Le sommet de ces formations montre les traces d'une altération de type pédogénétique avec individualisation d'horizons ; les fentes en coins sont fréquentes.

On retrouve en revanche, en aval de Saint-Congard, un premier niveau de cette formation mais aussi sur la rive droite de l'Oust au Roc-Saint-André à la Ville-aux-Figlins et à la Lande (Nord-Ouest de Malestroit). Sur la rive gauche, en aval de Saint-Congard, il apparaît au château du Castellan et à Saint-Martin. En aval des Fougerêts, il est en grande partie fossilisé par des limons périglaciaires dont l'épaisseur peut atteindre 2 à 3 mètres. Un deuxième niveau, souvent mal individualisé par rapport au précédent, peut être discerné à la Garmanière (est de Malestroit) et à Saint-Laurent. En aval de Saint-Martin, il plonge sous des alluvions récentes. Dans la vallée de la Claie, ces terrasses sont également bien développées, mais peu épaisses; elles forment les replats de la Massonais et de la Béraudaie. Dans le val d'Arz, où elles sont le plus souvent fossilisées par les limons périglaciaires, elles apparaissent principalement au Clos-Fleuri, à Bragoux, à Carlevaux, et au Vaugrenard.

Ces alluvions de teinte jaunâtre ou grisâtre sont en général peu argileuses. Dans la vallée de l'Oust, les blocs démesurés y sont abondants, parfois énormes comme à Saint-Laurent. La mise en place de ce matériel semble être contemporaine d'une phase froide comportant deux oscillations et qui pourrait correspondre à la glaciation de Saale.

Ces formations ont d'abord été interprétées dans certains secteurs, en raison de l'altitude à laquelle elles avaient été vues dans le département (75, 95 et 131 m), comme un faciès de régression probablement fini-pliocène (Durand et Milon, 1962). Mais dans ces secteurs, elles sont localisées sur une bande de 1 à 2 km de large, de part et d'autre du Blavet et de ses principaux affluents (ruisseaux de Kergal et du Guernic), et de ce fait peuvent être rapportées au système des terrasses pléistocènes (Hallegouët *et al.*, 1980, dans la notice explicative de la feuille n°313). Connus sur la rive gauche de la Sarre à l'est de Guémené-sur-Scorff, quelques niveaux limoneux à galets sont probablement contemporains de cette formation (Le Strat, 1982 dans la notice explicative de la feuille n°313).

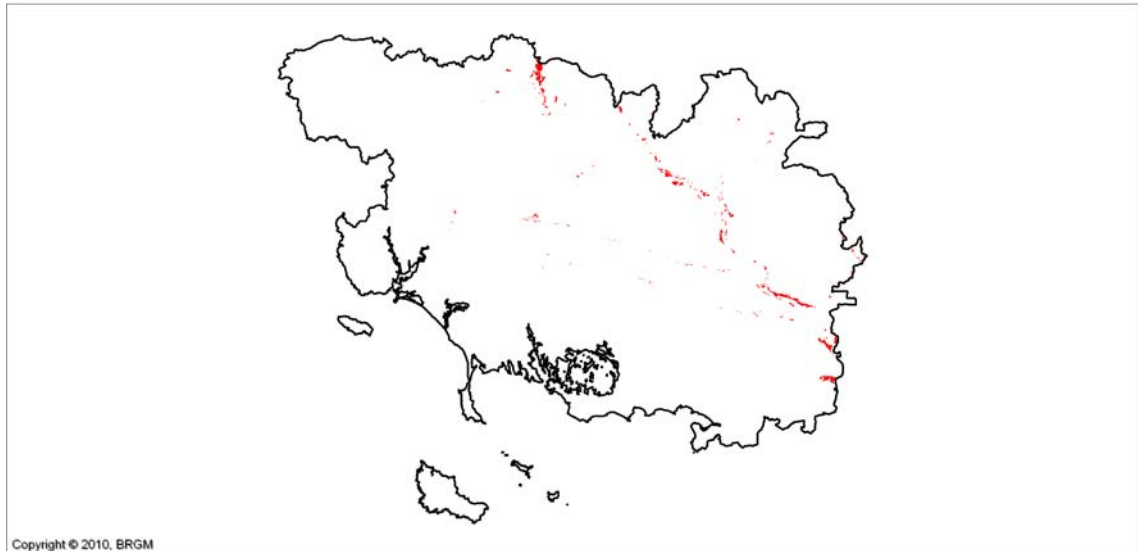


Illustration 12 - Répartition départementale de la formation Fx

(5) Alluvions fluviales anciennes, Quaternaire (Fp)

Ou alluvions fluviales anciennes, argiles, sables et graviers et cailloux peu émoussés. Cette formation n'est présente que pour les cartes géologiques de Baud et d'Elven. Ce sont des niveaux à cailloutis et galets préférentiellement, mais où l'on ne peut exclure la présence d'argiles en raison de leur caractère fluvatile. La matrice est d'ailleurs sablo-argileuse et leurs positions topographiques assez élevées œuvrent pour un âge plio-quaternaire ou quaternaire ancien.

De ce fait et par analogie, les argiles seraient présentes, et pourraient avoir une portion de minéraux argileux gonflants conséquente, comme celles que l'on retrouve dans les formations plio-quaternaires.

Au moment où ces lignes sont rédigées, les notices des cartes citées ci-dessus sont en cours de rédaction ou d'édition. Lors de l'échantillonnage, une visite de terrain a permis de rendre compte des faciès de cette formation et confirmer la brève description ci-dessus.

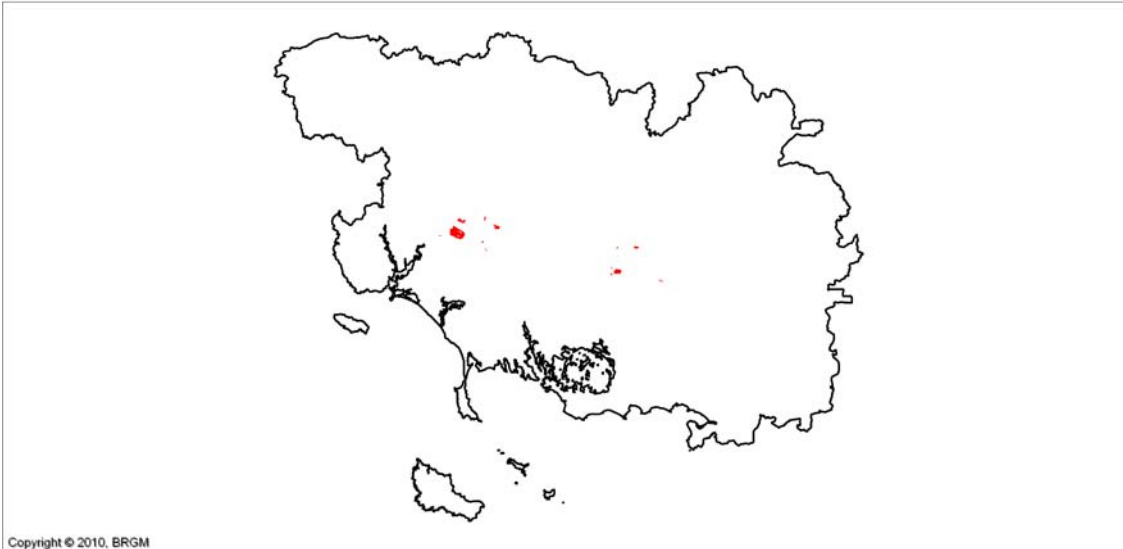


Illustration 13 - Répartition départementale de la formation Fp

(6) Alluvions des très hautes terrasses, Quaternaire (Fw)

Déposées à partir du Pléistocène inférieur entre 20 et 50 m au dessus du lit actuel, les hautes terrasses n'ont pas une expression topographique bien caractérisée en raison de leur dégradation par les processus de solifluxion ultérieurs à leur dépôt. Leur origine alluviale fait que cette formation a été incluse dans les formations argileuses du département.

Dans le secteur de Ploërmel, ces hautes terrasses se rencontrent à proximité de l'Oust, laissant penser qu'elles pourraient être les reliques du paléo-Oust. Les dépôts sont constitués de graviers et galets (avec parfois des blocs) allant jusqu'à des sables bruns ou rouges plus ou moins argileux qui rappellent les « sables rouges » généralement rapportés au Pliocène. Les dépôts ont été parfois consolidés en poudingues ou intensément rubéfiés et à leur surface, il est possible d'y observer parfois des paléosols : Lézeran.

Dans le secteur de Lorient, des cordons littoraux subsistent le long du littoral, témoins de transgressions marines, sous forme de cordons de galets fossiles à diverses altitudes sur l'est du Blavet, entre +15 et +20 m. Ils remanient des terrains pliocènes sous-jacents dans des altitudes de l'ordre de la dizaine de mètres au dessus de l'estuaire de la Laïta.

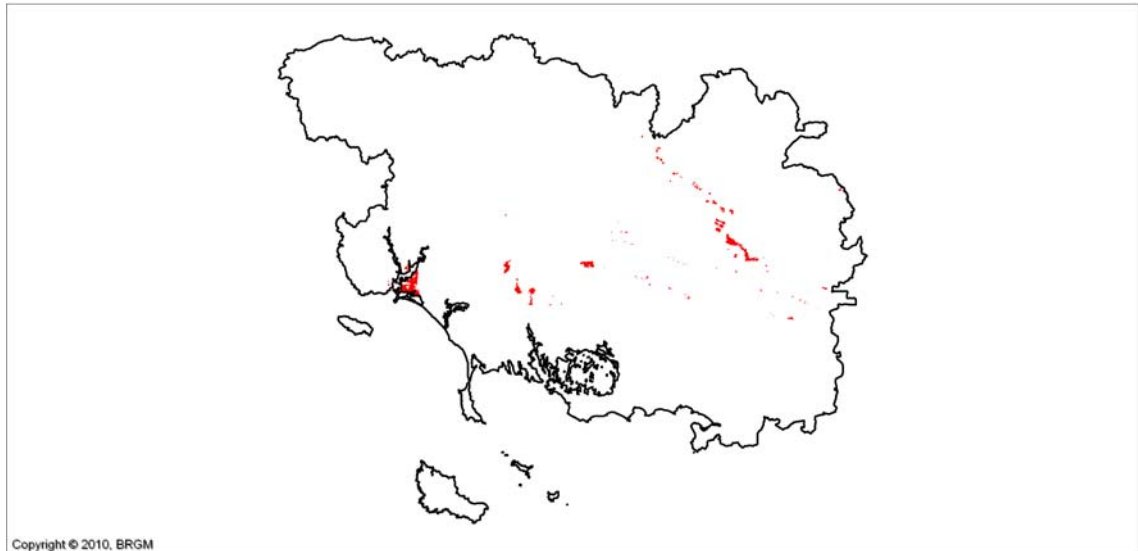


Illustration 14 - Répartition départementale de la formation Fw

b) Les formations argileuses et marneuses quaternaire de versant

(7) Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante - Quaternaire (SA)

Les coulées de solifluxion à matrice argileuse dominante (SA), avec délités de schistes ou petits cailloux anguleux de grès, se sont formées principalement sous les climats périglaciaires du Würm et lors d'hivers froids postérieurs. Elles proviennent de la désagrégation (gélifraction) et de l'altération de formations sous-jacentes.

Les coulées de solifluxion de type « head », **à blocs** gélifractés de taille décimétrique à métrique occupent préférentiellement le versant sud des Montagnes-Noires. Les coulées les plus anciennes remanient des blocs de quartzites hétérométriques, issus de l'érosion du Grès armoricain et emballés dans une matrice argileuse jaunâtre résultant de l'altération des grès feldspathiques. Elles sont surmontées de coulées plus tardives provenant de l'altération des schistes briovériens.

On peut observer, localement, le long de zones broyées jalonnant des failles transverses, d'importantes coulées à blocs, de taille métrique, qui se marquent dans le paysage par des terrains chaotiques recouverts de landes mésophiles à ajoncs.

Sur le versant nord des Montagnes-Noires, les coulées de solifluxion sont encombrées de blocs décimétriques. Comme pour la formation précédente, la composition argileuse est directement liée aux formations géologiques sous-jacentes qui les alimentent.

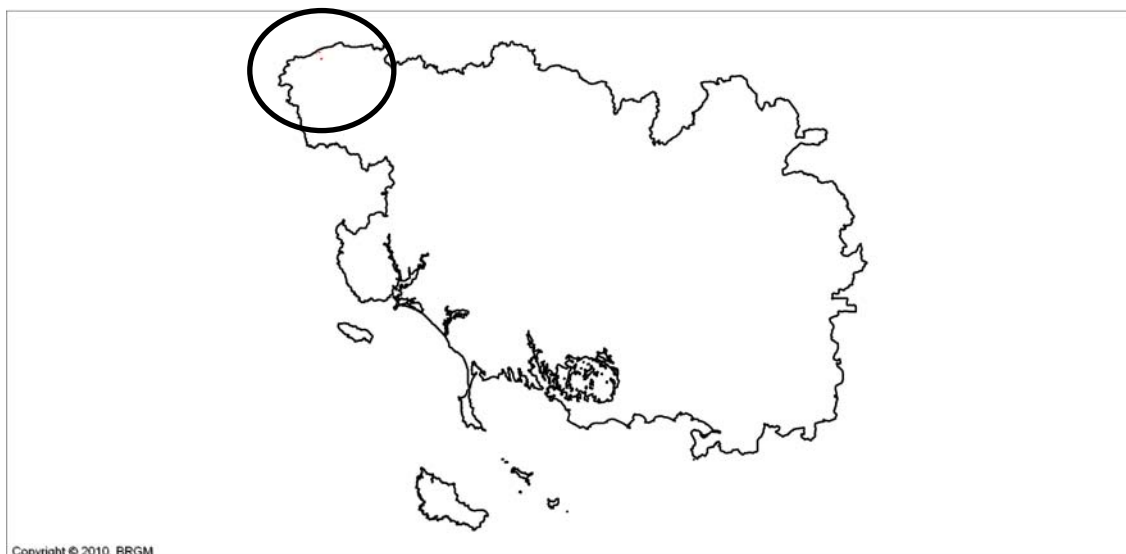


Illustration 15 - Répartition départementale de la formation SA

(8) Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques (périglaciaires), Quaternaire (SH)

Les dépôts de versant, de solifluxion, de pente et de bas de pente, peuvent masquer les formations du socle (substratum rocheux) à partir de la rupture de pente jusqu'en pieds de pente dans la vallée. Souvent, ces dépôts débutent au-dessous de la limite altérites/roche saine, et résultent d'une dynamique périglacière amorcée vraisemblablement lors de la dernière glaciation (Pléistocène supérieur, Weichsélien) sous l'action de climats froids qui ont régné en Bretagne, pendant les périodes glaciaires. Les alternances gel-dégel ont fragmenté le substrat rocheux plus ou moins profondément et les phénomènes de reptation, de gélifluxion et de solifluxion ont permis une migration des débris vers le bas des versants, où leur accumulation détermine ces concavités assez caractéristiques. L'appellation anglo-saxonne de « heads », introduite en Bretagne par A. Bullen en 1910 pour désigner les coulées périglaciaires sur les versants, s'applique d'abord aux formations grossières (« Head of rubble », c'est-à-dire la partie supérieure de la blocaille), mais elle a été par la suite utilisée également pour tous les dépôts de pente résultant de l'action du gel. Dans la masse des produits de gélivation, il y a sans doute des accumulations correspondant à plusieurs cycles périglaciaires; mais, en l'absence de sols interglaciaires bien caractérisés, il est difficile de distinguer les « heads » weichséliens des « heads » plus anciens. La partie superficielle des heads est souvent plus limoneuse ; elle correspond à des apports éoliens fins qui se sont déposés durant le Périglacière supérieur, lorsque régnait un climat froid et sec. Ces dépôts ont été redistribués au tardiglaciaire par une reprise de la gélifluxion et par le ruissellement sur les versants.

Ces dépôts sont constitués de fragments du substratum de granulométrie très variable, englobant souvent des blocs et cailloux anguleux, d'origine proximale, issus vraisemblablement de processus de fauchage. Les fragments sont emballés dans une matrice sablo-argileuse provenant des formations superficielles antérieures (altérites).

Comme pour la totalité des dépôts de versant, le transport est faible et se fait généralement lentement sous l'action de la gravité et du ruissellement.

Les éléments grossiers, habituellement englobés dans une matrice limoneuse, peuvent s'orienter selon la pente générale du versant ce qui a pour effet de leur faire acquérir plus ou moins une stratification avec des successions de niveaux lenticulaires s'enrichissant parfois en éléments fins ou grossiers. Localement la stratigraphie de certains niveaux proches de la surface peut être perturbée par la présence de pierres se redressant par rapport à la pente générale ou se disposant à la verticale en cloisonnant alors le matériel. Au contact de la roche en place, on observe aussi des phénomènes de fauchage et dans la partie supérieure des granités altérés ; un pseudo-litage, dû à l'action du gel, peut dans certains cas apparaître. Van Vliet-Lanoë et Valadas (1983) ont proposé sur le Massif Central des reconstitutions paléoclimatiques pour chaque type de ces formations géologiques (Illustration 17).

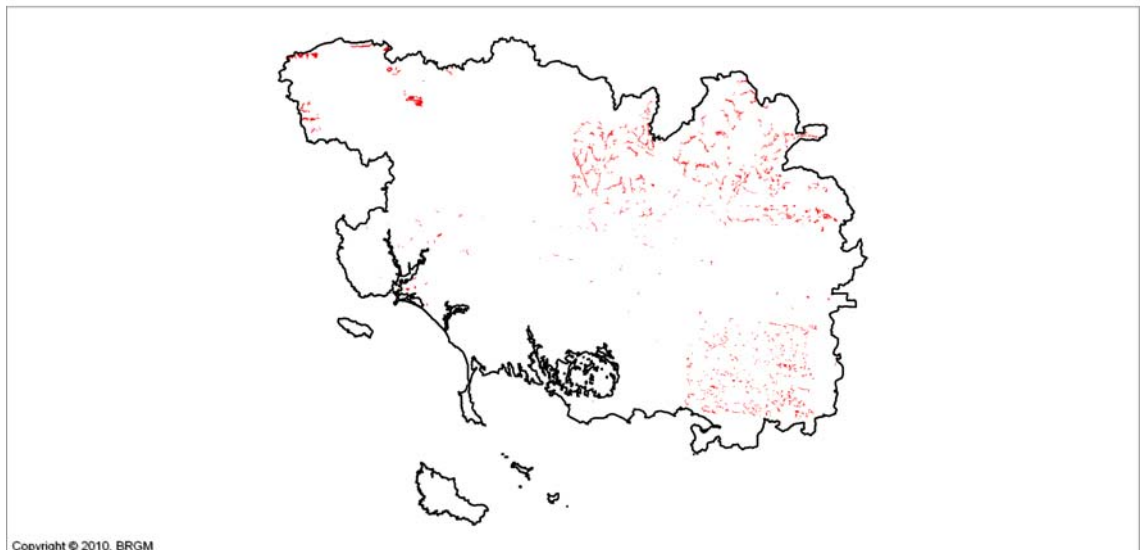


Illustration 16 - Répartition départementale de la formation SH

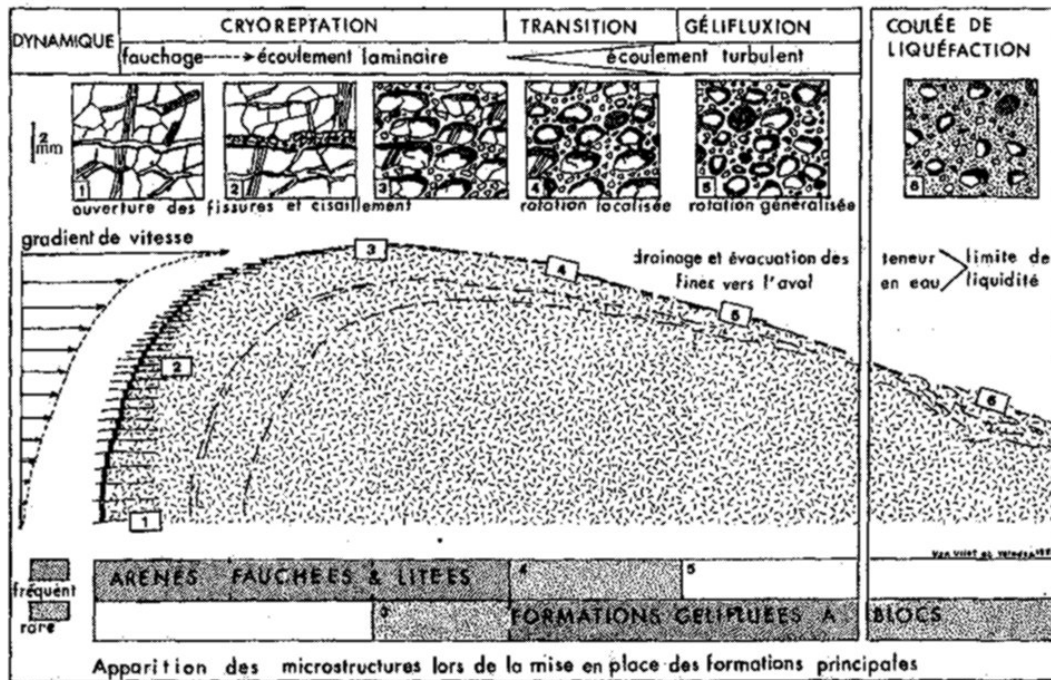


Fig. 3. — Evolution de l'organisation microstructurale créée par la glace de ségrégation en lentilles de déplacements sur pente de matériaux arénacés.

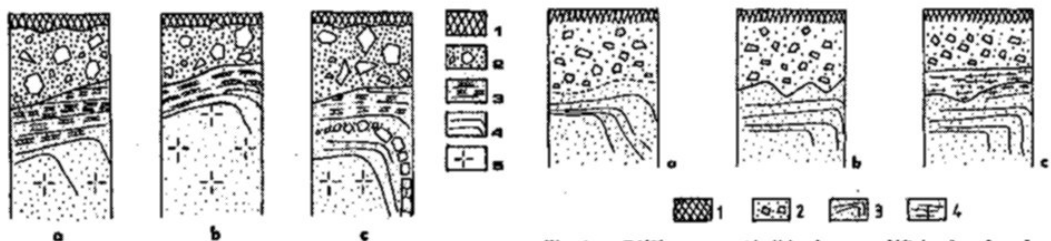


Fig. 1. — Différents faciès de l'association arènes / formations déplacées sur versants cristallins. (1) horizon humifère; (2) formation hétérogène à blocs et matrice fine; (3) arène litée; (4) arène fauchée; (5) arène en place.

Fig. 4. — Différents types de lithoséquences définies dans le cadre du Massif Central. (1) horizon humifère, (2) formation géifluée à blocs, (3) arènes litées, (4) fragipan.

Illustration 17 – En haut, évolution de l'organisation microstructurale créée par la glace de ségrégation en lentille de déplacement sur pente de matériaux arénacés (d'après Van Vliet-Lanoë et Valadas, 1983).

En bas, différents faciès sur versants cristallins (Fig. 1) et différents types de lithoséquences définies dans le Massif Central (Fig.4)

(9) Colluvions de fond de vallon, Quaternaire (C)

Les Colluvions de fond de vallon sont présentes sur l'ensemble du département et se caractérisent par des dépôts fins, généralement argilo-silteux à argilo-sableux, plus ou moins riches en matière organique. Elles se concentrent dans les vallons secs ou secondaires, alimentés latéralement par des phénomènes de solifluxion et des ruissellements qui entraînent les éléments les plus fins des formations situées plus en

hauteur. Des arrivées d'éléments grossiers caillouteux se font sporadiquement lors des événements pluviométriques importants.

L'épaisseur est généralement de l'ordre de 1 à 2 mètres, mais peut localement être supérieure.

La composition argileuse de ces colluvions est directement en rapport avec les formations géologiques qui les alimentent.

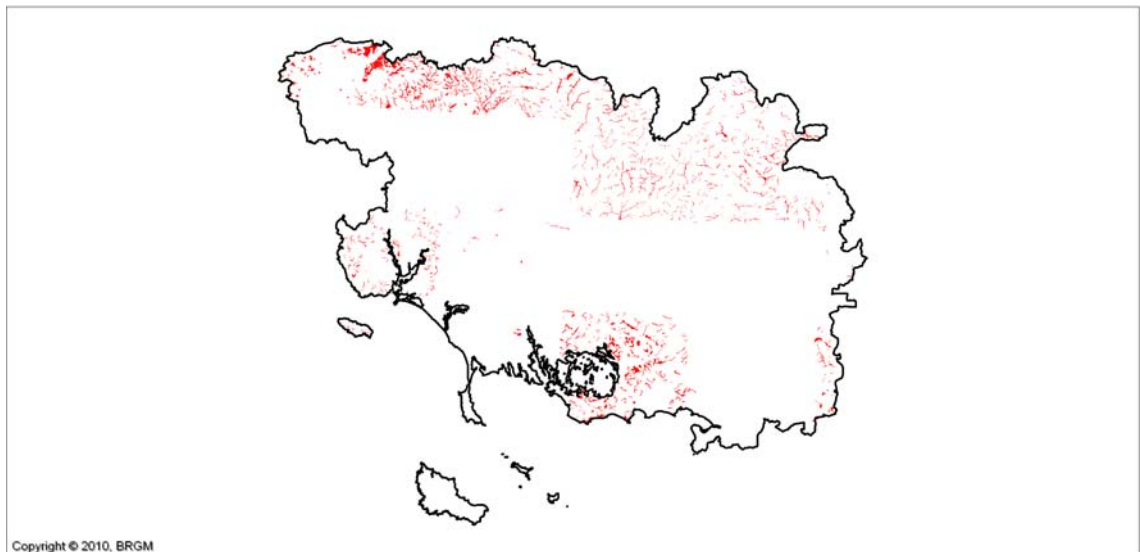


Illustration 18 - Répartition départementale de la formation C

c) Les formations marines littorales

Les formations qui ont été regroupées ici, sont les formations marines littorales telles que **MzP**, **MzV** et **My** et dont la sédimentation est représentée par des sables calcaires sur les estrans, des sables très fin et des vases dans les estuaires et les rivières dans la zone soumise aux influences marines (**MzV** et **My**). Ces secteurs peuvent être anthropisés **MzP** (Polders).

(10) Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénétisés, Holocène (MzP)

Les sols des polders sont constitués d'une alternance de vases et de sables, parfois drainés et pédogénétisés. Ces tangles peuvent être très argileuses avec des niveaux d'argiles sur des épaisseurs conséquentes et très plastiques.

Dans la baie du Mont Saint Michel (35), des sinistres ont été enregistrés dans ce type de formations géologiques et deux échantillons ont été prélevés pour être soumis à l'analyse aux rayons X. Ces échantillons montrent que les argiles qui les constituent, ont respectivement 49 % et 27 % de minéraux gonflants (smectite + interstratifiés illite-

smectite), 34 % et 49 % d'illite, 6 % et 9 % de chlorite et enfin 11 % et 15 % de kaolinite.

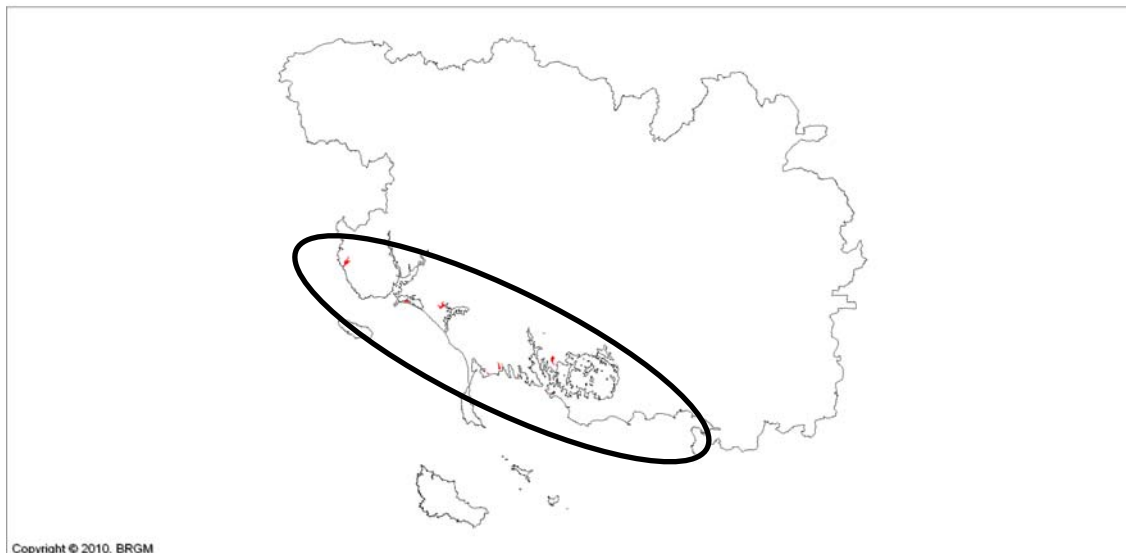


Illustration 19 - Répartition départementale de la formation MzP

(11) Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène (My)

Fréquemment recouverts par (ou interstratifiés dans) des coulées de solifluxion plus ou moins argileuses, on observe en alternances irrégulières trois types de dépôts marins anciens : des cordons de galets, des sables et coquilles et des bancs de sables consolidés. Ce complexe d'extension modeste, mais d'épaisseur parfois notable, est bien visible des plages qu'il surplombe dans la partie orientale de l'île de Groix, entre la pointe de Spernac et la pointe de l'Enfer.

Les *coulées de solifluxion plus ou moins argileuses*, de type périglaciaire, se distinguent par des blocs rocheux sub-autochtones dans une matrice argilo-limono-sableuse ocre à brune. Ces blocs sont anguleux et souvent débités en plaquettes ou plaques centimétriques à pluri-décimétriques.

Les *cordons de galets*, d'origine marine, sont les témoins résiduels de plages anciennes pléistocènes. Ils sont le plus souvent interstratifiés et remaniés dans les dépôts périglaciaires, ou plaqués contre la paroi rocheuse à une altitude généralement inférieure à +5 m.

Les *sables à coquilles*, interstratifiés à des niveaux plus argileux, sont les vestiges d'anciennes plages sableuses contemporaines des cordons de galets.

Les *bancs de sables consolidés* révèlent, comme ceux des placers actuels, un taux de minéraux lourds très important à dominante de grenat. Ces minéraux, bien qu'altérés et rubéfiés, laissent apparaître les séquences de dépôts dues au tri des différents

minéraux avant leur consolidation. Dans ces complexes, on décèle localement la présence de *sables éoliens* provenant d'anciennes dunes démantelées.

Le long du littoral subsistent de nombreux témoins de transgressions marines pléistocènes, sous forme de cordons de galets fossiles : entre +15 et +20 m d'altitude, à l'est du Blavet, remaniant les terrains pliocènes sous-jacents, à Kerzine, Kervent, La Madeleine, vers +10 m d'altitude, au sud de l'estuaire de la Laïta, au niveau du Grand-Fort, le plus fréquemment vers 3 à 4 m au-dessus des plus hautes mers, le long de la falaise entre la Laïta et le Scorff, autour de l'îlot de Gâvres et dans le fond de la mer de Gâvres.



Illustration 20 - Répartition départementale de la formation My

(12) Dépôts estuariens vaseux, Slikke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène (MzV)

Des dépôts vaseux, contiennent une majorité d'éléments inférieurs à 50 μ (boues, argiles, limons) et occupent de vastes étendues découvrant à marée basse sur l'estran de Bétahon, et également sur les rives de l'estuaire de la Vilaine (plus soumis à l'action de la marée depuis la construction du barrage d'Arzal). C'est pour ces raisons et parce qu'il existe du bâti sur ces formations qu'elles ont été maintenues ici. Les prés salés et les roselières ont été drainés et sont remplacés par des prairies permettant un élevage intensif.

Dans l'estuaire de la Vilaine, l'épaisseur du remplissage postglaciaire est de 17 m à Redon et de 35 m à Arzal.

La sédimentation flandrienne débute au Boréal par une formation de sables et de galets. Au-dessus de ce dépôt grossier, les sédiments sont beaucoup plus fins. Ils sont constitués de vases saumâtres à Redon et de vases et de sables fins plus marins à

Arzal. La sédimentation a été très rapide à la fin de la période boréale et au début de la période atlantique. Pendant la fin de la période atlantique et la période sub-boréale, les dépôts sont peu importants. Vers la fin du Sub-boréal, une légère régression du niveau marin a permis le développement d'un marais lacustre au-dessus de la vase saumâtre du marais de Redon. Au début de la période subatlantique, la sédimentation devient à nouveau active, puis elle se ralentit jusqu'à l'époque actuelle en devenant plus vaseuse. Au Flandrien, le niveau marin n'est pas remonté, dans la vallée de la Vilaine, de façon linéaire, mais avec des oscillations successives : oscillations positives à l'Atlantique, vers 6 000 années B.P. et au Subatlantique, vers 3 000 années B.P. (M.T. Morzadec-Kerfourn, 1974).

Dans les schorres, depuis le début de la période historique qui correspond à une relative stabilité du niveau marin et à la mise en place du cordon littoral de Gâvres, le lagon formant la baie de Locmalo a été remblayé par des sables et des vases. Les vases supérieures sont recouvertes par la végétation qui, en amont de la dune du Pérello, a donné lieu à la formation d'une **tourbière holocène**.

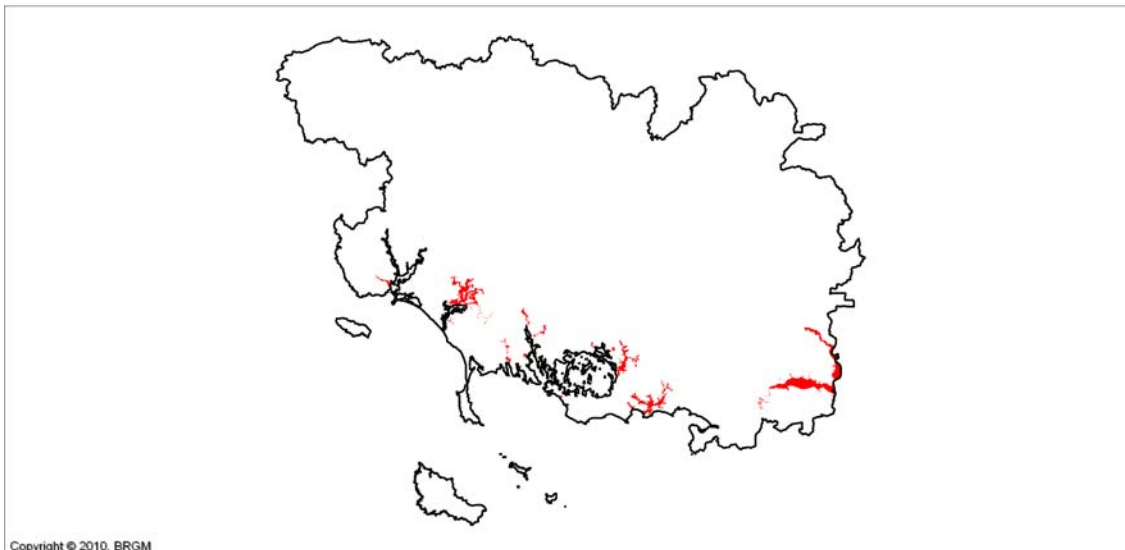


Illustration 21 - Répartition départementale de la formation MzV

5.2.2. Les formations argileuses et marneuses tertiaires

a) Les formations argileuses Mio-Pliocène (pA, p-IV, pIVB, p et Mp)

Ces formations correspondent pour l'essentiel à des systèmes fluviatiles du Miocène terminal au Quaternaire ancien dont les deux coupes schématiques ci-dessous illustrent leur relation dans l'espace en fonction du réseau hydrographique actuel (Illustration 22).

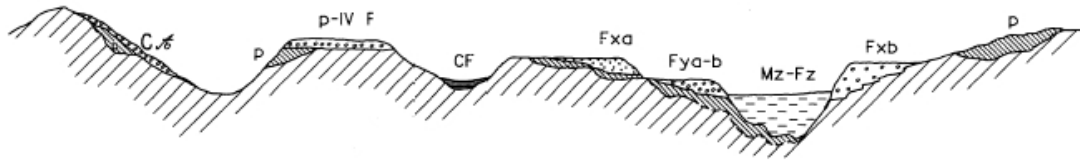


SCHÉMA DES RELATIONS ENTRE LES FORMATIONS QUATÉRNAIRES ET PLIOCÈNES

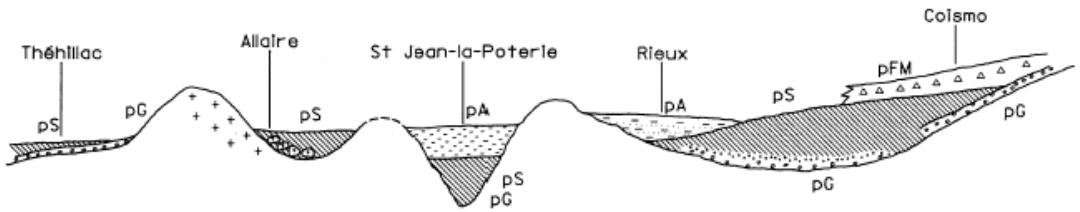


Illustration 22 – Schéma des relations entre les formations pliocènes, et quaternaires avec la géomorphologie (Notice explicative de la carte de n°419, Redon)

(13) Sables, galets et argiles - Pliocène (p)

La transgression pliocène a laissé dans la région de Questembert des dépôts s'élevant jusqu'à l'altitude de 90 m (Beau Soleil de Quily). Ces formations généralement sableuses ont fossilisé une topographie différenciée où certains thalwegs étaient déjà creusés à un niveau inférieur de leur position actuelle. Les dépôts observés sont souvent résiduels et ne constituent que de minces placages aux limites indécises. Dans la vallée du Bled, au Nord de Béganne, et dans les vallées du ruisseau du moulin de Sainte-Anne et de celui du moulin Neuf, au sud de la Vilaine, ils deviennent plus abondants. Quelques affleurements montrent des fronts de taille de plus de 5 m de hauteur : la Ville aux Jeunes, Bois Riveau. Des sondages réalisés par le B.R.G.M. près de la chapelle Saint-Clair en Limerzel ont révélé un remblaiement à Trévelo sur au moins 16 m par des sables marins. Ces sables comblent une dépression aux limites abruptes et dans cette vallée, les épaisseurs ne dépassent guère 4 à 5 m. Les sédiments pliocènes admettent parfois beaucoup de galets formant de gros bancs discontinus, séparés par des niveaux graveleux, sableux ou argileux. Les galets sont habituellement bien émoussés, mais vers la base des dépôts, ils sont quelquefois peu usés. Les quartz et les grès-quartzites sont nombreux. Les autres roches sont souvent altérées et, dans certains cas, réduites à l'état de fantômes argileux. Ces formations jaunâtres ou franchement blanchâtres en profondeur sont généralement très rubéfiées en surface. Des oxydes de fer (goéthite) concentrés à certains niveaux soulignent parfois la microstratification ou consolident entièrement le sédiment qui se présente alors sous la forme de dalles de grès ou de poudingues ferrugineux. Ceux-ci ont été parfois exploités comme minerais de fer. Les sables sont habituellement bien triés et présentent des caractères marins. On constate parfois cependant une éolisation importante qui affecte surtout les niveaux supérieurs. Ceux-ci ont été soumis à l'action

du vent, vraisemblablement pendant les périodes froides du Quaternaire. Les minéraux lourds les plus abondants sont l'andalousite, la staurotide, la tourmaline et l'ilménite. Le glaucophane a été parfois observé dans les fractions fines et la glauconie est souvent présente. Les *sables rouges* sont généralement décrits comme azoïques.

Les niveaux argileux associés aux *sables rouges* au sud-ouest de Marzan, n'ont pas livré de faune ni de pollen, contrairement à ceux de Saint-Jean la Poterie. Ces derniers sont généralement considérés comme du Pliocène tardif.

Au sud de Malansac, à proximité du château du Matz, des argiles ont été exploitées au fond d'un vallon pour la confection de poteries. Cette formation avait été attribuée au Pliocène. Ces argiles pourraient être en fait d'origine hydrothermale. Les matériaux recueillis en sondage correspondent en effet à des altérites kaoliniques, développées aux dépens du granité de Questembert dans une zone de fracture. La sédimentologie de ces dépôts permet aussi de conclure qu'ils ne peuvent pas être rapportés à l'*Argile de Redon*.

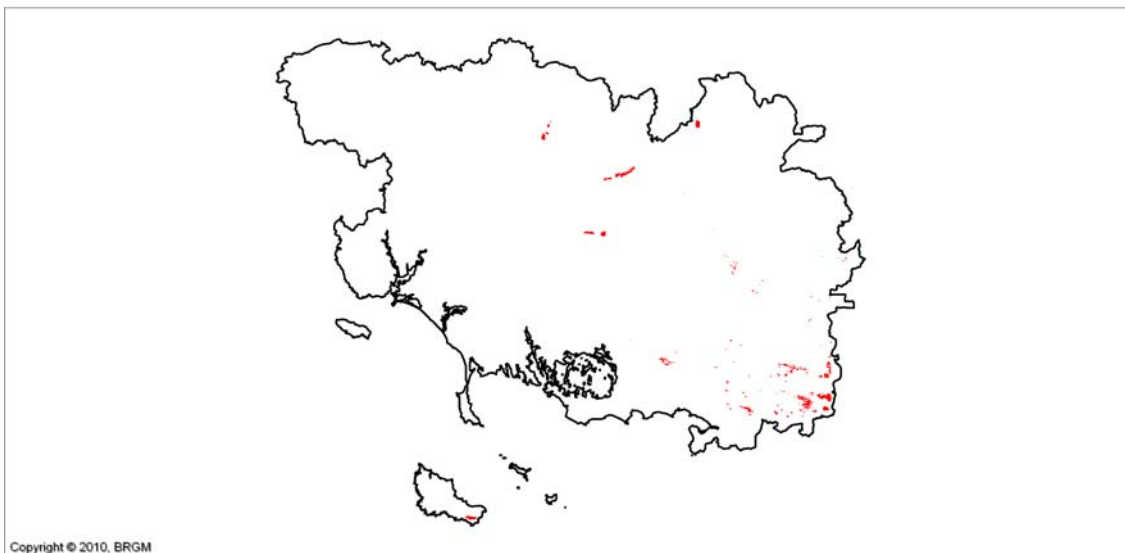


Illustration 22 - Répartition départementale de la formation p

(14) Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène (pA)

Cette formation est relativement réduite. Il s'agit des gisements connus depuis fort longtemps de Saint-Jean-la-Poterie et de Sévérac signalé par Vasseur (1891) et de quelques petits affleurements dispersés dont le synchronisme avec les précédents n'est pas établi. Malgré une campagne de recherches, la position exacte du gisement de Sévérac n'a pas pu être retrouvée, confirmant sa très faible étendue, et il a été figuré pour mémoire d'après des documents anciens.

Les argiles de Saint-Jean-la-Poterie ont été attribuées au Pliocène par Vasseur (1891). R. Herpin en 1910 observe des argiles surmontant des sables rouges. Ensuite, de nombreux auteurs ont décrit soit la faune de Saint-Jean (G. Denizot, 1922, J.-J. Chauvel, 1952 et 1956, J.-P. Margerel, 1968), soit la minéralogie (J. Estéoule-Choux, 1967) ; et C. Cavelier (1981) a fait une mise au point des connaissances sur le Redonien qui permet de mieux situer le gisement de Saint-Jean (Notice explicative de la feuille Redon).

La palynologie et l'étude des paléotempératures permettent de caler le gisement à la limite Reuverien —Prétilgien (2,8 Ma), c'est-à-dire à la base du Redonien froid récent ; à côté de flores froides persistent des espèces chaudes (Taxodiacées, *Séquoia*, *Sciadopitys*).

Malgré l'abondance des recherches, la position stratigraphique et la lithostratigraphie exacte du gisement restaient incertaines. Une série de 4 sondages réalisés par le B.R.G.M. dans le cadre du levé de la feuille Redon, a permis de confirmer l'observation de R. Herpin : des argiles fossilifères puissantes de 10 à 11 m surmontent 7 à 13 m de sables jaunes. Les argiles ont pour composition : 80 % de montmorillonite, 10 % d'illite et 10 % de kaolinite. La teneur en carbonate de calcium atteint 20 %. Par contre, les sables sous-jacents sont azoïques et les argiles associées sont à 50 % kaoliniques, 40 % d'interstratifiés, 10 % d'illite, sans trace de vermiculite.

Le matériau se présente sous la forme d'une fine alternance de lits argileux gris-bleu et de niveaux silto-argileux. Des concrétions en nodules d'environ 1 cm sont dispersées, ainsi que des fragments de coquilles (rendus non identifiables par la foration). L'extension du gisement est extrêmement réduite actuellement en raison d'une exploitation ancienne intense (interrompue depuis 1940 environ).

Les argiles sont affleurantes à la Gourlaye, dans un étroit couloir N-S de 300 m de long sur moins de 100 m de large. Des lambeaux d'argiles feuilletées à microfaune redonienne sont encore visibles au stade de Saint-Jean, au Sud du village.

D'autres gisements d'argiles attribuées au Pliocène sont connus : au stade de Rieux, dans la coupe la plus basse, où une série feuilletée silto-argileuse semble discordante sur des sables jaunes stratifiés ; la composition des argiles y est purement kaolinique et aucune faune n'a pu être récoltée ; il est probable que ces dépôts ne sont pas strictement équivalents de ceux de Saint-Jean-la-Poterie ; à Aucfer, au-dessus de la carrière la plus méridionale, quelques lentilles argileuses montrent un faciès identique à celui de Rieux ; ces argiles reposent sur des sables jaunes fins ; à Beaumelas et aux Mortiers en Avessac, des argiles ont été autrefois exploitées ; au Sud du bois du Lezay en Sévérac ; des indices d'argiles ont aussi été identifiés au Bourg-Neuf et dans des lotissements au Nord de Redon.

Dans le cadre de cette étude, un échantillon (56-Jean-1) a été prélevé à la tarière à main au cœur du gisement de Saint-Jean-la-Poterie. L'analyse de cette argile très plastique et de couleur gris-verte, confirme les compositions de la littérature avec : 87 % de minéraux gonflants (smectite), 5 % d'illite et 8 % de kaolinite.



Illustration 23 - Répartition départementale de la formation pA

(15) Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire (p-IVB)

Les mêmes descriptions lithologiques que celles de la formation de Bétahon (p-IV), peuvent être utilisées ici. La différence principale est que la formation p-IVB est un faciès beaucoup plus argileux. Les argiles de cette formation pourraient s'apparenter à celles de Saint-Jean-la-Poterie (pA) en termes de minéralogie.



Illustration 24 - Répartition départementale de la formation p-IVB

(16) Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quatenaire (p-IV)

Au nord de l'embouchure de la Vilaine, au sud-ouest de Billiers, l'érosion marine entaille des formations comprenant des niveaux de sables argileux avec de nombreux galets et ravinant une argile marmorisée. Les niveaux supérieurs à galets s'enfoncent en coin dans les argiles inférieures, tandis que ces dernières s'injectent dans les précédents, les traversant parfois complètement et soulignant une déformation périglaciaire. La partie supérieure est composée de trois niveaux constitués de haut en bas : d'argiles ocre, de sables argileux rouges, reposant sur un niveau de cailloutis rubéfiés et de sables fins jaunes. Cette succession par plusieurs aspects (granulométrie, topographie et morphologie) évoque pour A. Guilcher (1948), une formation deltaïque où la Vilaine aurait déposé une importante masse d'alluvions (Formations de Pénestin, de Bétahon, de Croméneac'h et de l'étier de Pénerf).

Dans les fractions fines, la présence de spicules d'éponges, de petits tests de Lamellibranches ne permettent pas une datation précise et l'abondance des smectites est interprétée comme pouvant provenir de la dégradation d'illites ferrifères à la faveur de mauvaises conditions de drainage.

Ailleurs, ces dépôts, semblent être moins remaniés à partir de dépôts pliocènes préexistants. Ils sont colorés de jaune ou rouge et constituent des sables, cailloutis et limons lœssiques.



Illustration 25 - Répartition départementale de la formation p-IV

(17) Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène (Mp)

Cette formation est présente sur la partie ouest de la commune de Lauzach et sur la partie littorale de la commune de Sarzeau. Au moment où ces lignes sont écrites, nous n'en avons pas une description détaillée. Leur position géomorphologique et la brève description pourrait en faire une formation du type de celle précédemment décrite ci-dessus et notée p-IV.

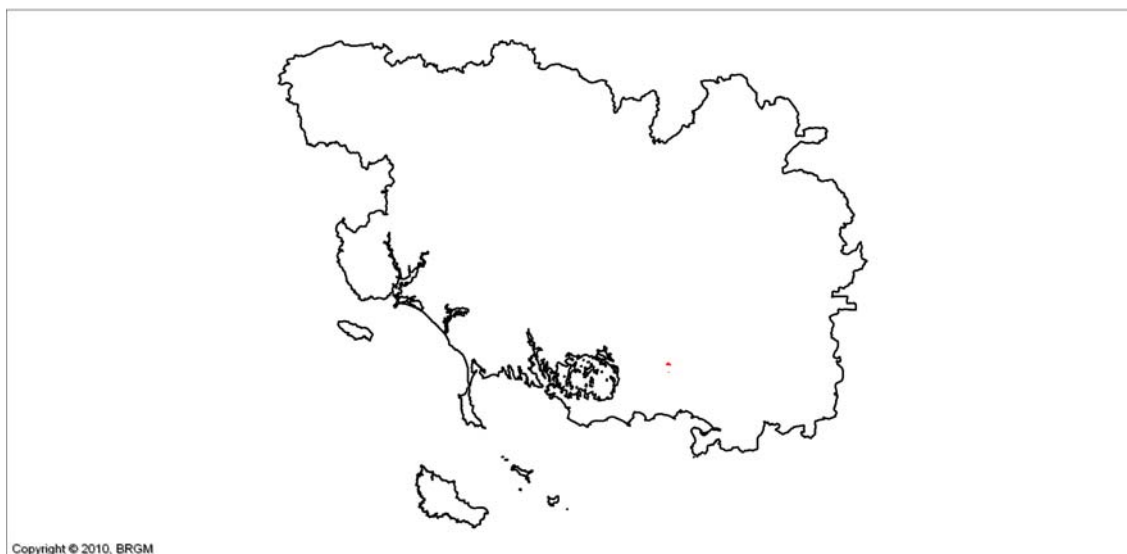


Illustration 26 - Répartition départementale de la formation Mp

b) Les formations argileuses Eocène (e-p/b, e-Fx et e4)

(18) Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel (e-Fx)

La formation de Pénestin est une formation composite (**e-Fx**) et avec une position stratigraphique encore controversée. Des travaux de S. Durand, Y. Milon, A. Rivière et *al.* (dans la Notice explicative de la feuille n°449) suggèrent que cette formation est le témoin « arénisé » au Tertiaire de dépôts éocènes, argileux, bariolés et peu épais (**e**), surmonté d'une formation plio-quadernaire, le tout sur substratum cristallophyllien.

Cette dernière formation plio-quadernaire (**Fx**) est représentée par des sables jaunes et des cailloutis rouges reposant sur une dalle conglomératique ferruginisée. Viennent ensuite des couches ocracées, des cailloutis colorés à patine brun-rouge, des limons beiges, les faciès argileux présentant des caractères périglaciaires (pingos, coins de glace). Des dépôts comparables sont aussi décrits, mais à l'état de témoins très peu épais et discontinus, dans le secteur de Larmor (pointe du Bile) sur un compartiment surélevé (faille de la pointe du Maresclé). A Pénestin, une lentille argileuse a livré (S. Durand) une belle flore de Diatomées marines pliocènes : *Amphistetras antediluviana*, *Biddulphia tiromeyi*, *Terpsinoe americana*, etc.

A Pénestin, l'ensemble a une puissance de l'ordre de la dizaine de mètres.

D'après les observations réalisées in situ, nos interprétations seraient légèrement différentes. La falaise de Pénestin constituerait un substratum altéré, en l'occurrence le Groupe de l'estuaire de la Vilaine, composé de micaschistes à muscovite, chlorite, albite, avec parfois des résidus de grenat, ayant été altéré et effondré (graben) pendant le Tertiaire, comme l'atteste la présence de nombreux plans de failles. A ces argiles limoneuses d'altération effondrées sont venues se superposer les sédiments anciens de la Vilaine.

Le secteur de Pénestin est caractérisé par la superposition donc de deux formations géologiques argileuses.



Illustration 27 - Répartition départementale de la formation e-Fx

(19) Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien (e4)

Sur le seul secteur où nous avons pu observer et échantillonner cette formation, c'est à dire à l'est de l'anse de Gâvres, près de Kerfaut ; elle est représentée par une argile vert-pistache très caractéristique et très plastique qui avec celles du Pliocène daté pA, constituent les argiles les plus plastiques du département.

Cependant ces niveaux de l'Yprésien sont cartographiés comme apparaissant aussi à l'affleurement, en deux autres points dans la région de Port-Louis : (1) sur la rive gauche du Blavet, près du moulin de Sterbouest, sous forme d'argiles et de sables verts, légèrement calcaires et (2) au nord de la mer de Gâvres, dans la falaise de Locmalo, sous la forme de sables fins décalcifiés à moules glauconieux de Nummulites, d'alvéolines et d'orthophragmines.

Par ailleurs des formations de l'Éocène sont connues par sondages dans la dépression de Kerdurand par exemple en Riantec. L'analyse de l'échantillon 56RIAN-2 aux rayons

X a montré que cette argile était composée de 69 % de smectites, 15 % d'illite et 16 % de kaolinite.



Illustration 28 - Répartition départementale de la formation e4

(20) Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène (e-p/b)

Cette formation ne se trouve qu'au nord-est du département au lieu-dit La Ville-Caro, sur la commune de Mauron. Elle est décrite comme composée de sables, sables argileux, sables grossiers et conglomérats en alternance. Elle est située à une centaine de mètres d'altitude et discordante sur le Briovérien altéré sous-jacent.

Plusieurs sondages l'ont traversé et sa puissance (épaisseur) est de l'ordre de 10 à 20 m. Il est possible d'avoir une description plus détaillée sur la notice de la carte géologique n°315, description de Brault, 2000.

Les parties fines de ces faciès sont riches en kaolinite en position soit matricielle, soit sous forme d'éléments. L'analyse au microscope électronique à balayage de ces kaolinites (Brault, 2000 dans la notice explicative de la carte géologique n°315) montre des plages typiques de kaolinites néoformées qui proviennent de l'altération de roches sous des climats latérisants (Estéoule-Choux et Rozé, 1982) et qui impliquerait une période d'altération postérieure à la mise en place des sables. À une vingtaine de kilomètres au sud-est de Mauron, sur un gisement de sables et conglomérats, la kaolinite est abondante.

Les analyses palynologiques menées sur certains échantillons (Olivier-Pierre, 1974) ont montré l'âge éocène (Cuisien) du gisement qui fut considéré autrefois comme Pliocène par analogie de faciès. Ainsi un âge postérieur à la dernière phase d'altération latéritique pour les sédiments de Mauron pourrait être envisagé.



Illustration 29 - Répartition départementale de la formation e-p/b

c) Les formations argileuses résiduelles dites tertiaires (III, RIII)

Ces formations argileuses pourraient appartenir à un même ensemble et à une même dynamique sédimentaire. Aussi, les descriptions de l'une et l'autre peuvent être parfois proches. En général, les résidus de cette formation situés en altitude élevée (interfluves des fleuves actuels) sont des formations peu argileuses, alors que ceux situés à des altitudes proches des fleuves et cours d'eau actuels sont très argileux.

(21) Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ? (III)

Ce sont des sables et argiles bariolées (Tertiaire probable : Éocène ?) que l'on retrouve dans le secteur de Mohon dans le nord-est du département. Cette formation est composée à cet endroit par une alternance sablo-argileuse à dominante argileuse, avec parfois des niveaux de quartz roulés. Deux carrières permettent d'observer des figures sédimentaires. Ces dépôts pourraient faire suite, au sud de Mohon, à ceux de la Trinité-Porhoët (carte géologique de Loudéac) d'âge Éocène inférieur (Cuisien supérieur) (Estéoule-Choux et Ollivier-Pierre, 1973 ; Ollivier-Pierre, 1974). Les dépôts argilo-sableux de la Trinité-Porhoët, très riches en flore, se sont vraisemblablement mis en place dans des dépressions de superficie restreinte. L'analyse palynologique (Ollivier-Pierre, 1974) a montré que ces dépôts s'étaient effectués dans des étendues d'eau douce bordées de zones marécageuses, elles-mêmes entourées de forêts palustres.

Un échantillon dans le secteur de Mohon, à l'intérieur d'une carrière d'argile très plastique et grise à claire, a été prélevé et analysé. Cette argile (56MOH-3) contient : 86 % de kaolinite et 14 % d'illite.

On retrouve aussi sous ce code lithologique des niveaux à galets de quartz, parfois oxydés dans les sols des crêtes des interfluves de l'Odet, du Steir et de l'Aven. Des concentrations importantes ont été observées à Kerveur, entre Coray et Coadry, vers 215 m d'altitude. Les galets sont émoussés, avec dans la matrice des « quartz émoussés luisants » (Hallégouët, 1972). Des galets avec des émoussés comparables occupent aussi une tête de vallon en bordure de la D15, entre Ty Coat et Croaz Verr, et des éléments isolés sont dispersés sur le plateau jusqu'à la cote 171 m. Au sud de Coray en direction de Tourc'h, ainsi qu'au sud-ouest de Coadry, quelques galets de quartz sont aussi présents au sommet des altérites entre 185 m et 200 m. Une interprétation de ces formations s'étalant sur le versant méridional des Montagnes Noires, est, qu'elles ne pourraient être assimilées à des vestiges de formations fluviales car des blocs de 50 cm de diamètre avec, dans leur grand axe, des médianes des indices d'émoussés comprises entre 495 et 545 et d'aplatissement entre 1,72 et 1,87, traduiraient une usure pouvant résulter d'une action marine. De ce fait, il s'agirait de reliquats de cordons littoraux d'une ou de plusieurs transgressions marines qui auraient submergé le plateau méridional breton jusqu'à au moins 200 m.

D'autres formations de ce type apparaissent également au-dessus de 200m d'altitude sur la crête du Ménez-Hom et en bordure du Landes-du-Mené. Ces dépôts sont cependant azoïques (sans fossiles) et semblent accompagnés dans le paysage des Montagnes Noires et la butte de Coray, des paléo-falaises.

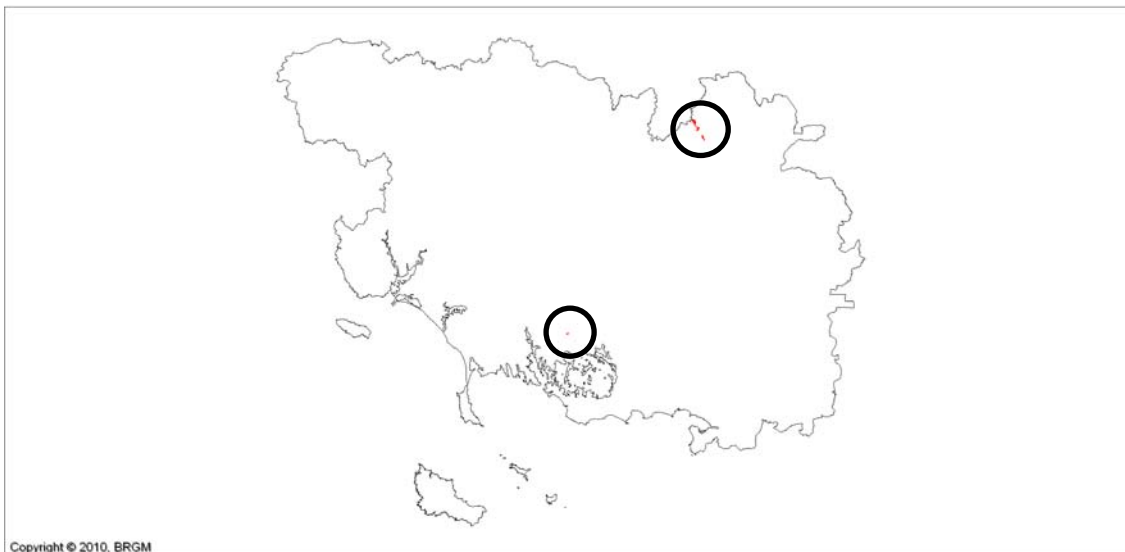


Illustration 30 - Répartition départementale de la formation III

(23) Epannage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées (RIII)

Cette formation correspond à des altérites remaniées, solifluées, génétiquement équivalentes des altérites en place dont le déplacement aboutit à la non-conservation :

- des structures originelles de la roche mère (stratification, schistosité) et,
- du volume de la roche.

Malgré un faible transport, cette formation ne correspond pas au profil d'altération sensu-stricto. Ces altérites déplacées recouvrent les altérites en place mais aussi la transition entre altérites meubles et la roche saine puis elles se stabilisent dans les replats topographiques. Elles possèdent ainsi les mêmes caractéristiques lithologiques et minéralogiques que les altérites.

Ces altérites remaniées, assez communes sur la carte de Saint-Méen-le-Grand, emballent des éléments sub-anguleux à émoussés de quartz (cailloutis, galets et blocs). Ces éléments de quartz sont parfois nombreux à la surface des champs et sont le résultat du lessivage des fines (argiles et silts d'altération). Ces étendues peuvent largement être confondues avec les formations III, d'autant que les éléments peuvent apparaître roulés par le simple fait de l'altération.

Les analyses aux rayons x des argiles ont montré que ces formations étaient composées, pour deux échantillons, de (56BUL-1) 62 % de kaolinite, 24 % d'illite et 14 % d'interstratifiés non gonflants / vermiculite, et de (56LAN-1) 80 % de kaolinite, 10 % d'illite, 5 % d'interstratifiés non gonflants / vermiculite et 5 % de chlorite.

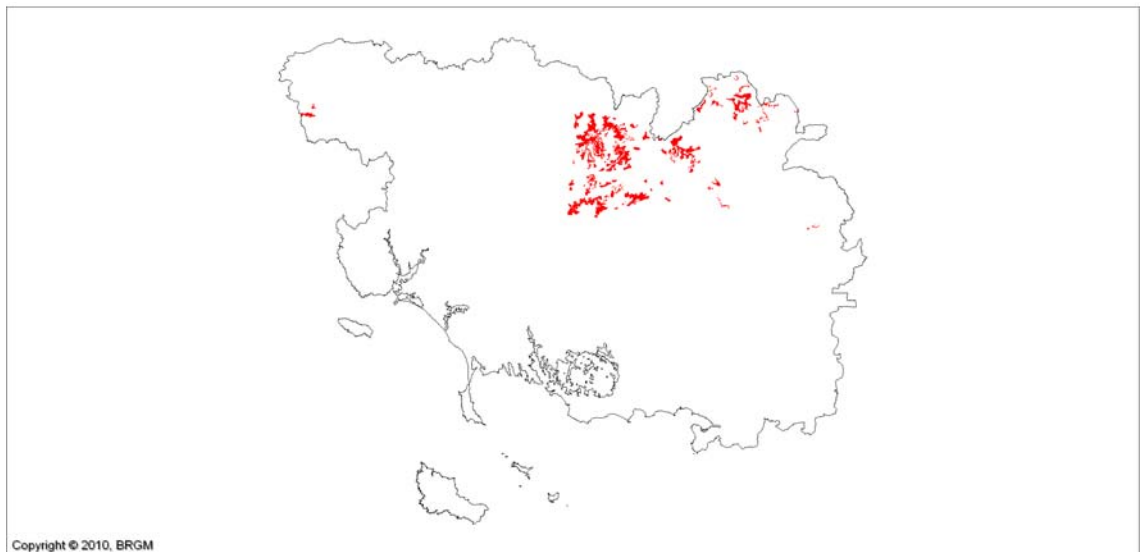


Illustration 31 - Répartition départementale de la formation RIII

5.2.3. Les formations argileuses résiduelles ou d'altération ($\mathcal{A}0$ - d , $\mathcal{A}bK$, $\mathcal{A}b\xi(K\delta)$, $\mathcal{A}\gamma L$, $\mathcal{A}\zeta\xi$, $\mathcal{A}\Sigma\delta$, $\mathcal{A}KM$, $\mathcal{A}bS$, \mathcal{A} , $\mathcal{A}Kao$)

a) Généralités

Les formations d'altération dérivent des modifications *in situ* des propriétés physiques et chimiques de leurs roches mères méta-sédimentaires ou plutoniques, sous l'action principale des eaux météoriques. En effet, l'interaction eau-roche provoque des réactions d'altération dont la principale est l'hydrolyse.

Au cours de l'hydrolyse des minéraux de la roche mère, les éléments chimiques les plus solubles (K, Na, Ca) sont mis en solution et les éléments restants se recombinaient sous forme de nouvelles phases minérales. Ces nouveaux minéraux formés sont en général des phyllosilicates hydratés, provenant soit de la transformation d'un phyllosilicate préexistant, soit d'une néoformation à partir d'un silicate qui n'est pas en feuillet à la suite du réarrangement de la structure cristalline. Les phyllosilicates néoformés sont des minéraux argileux.

Les processus supergènes (de surface) comme les climats chauds et humides du Tertiaire (Durand, 1960 ; Estéoule- Choux, 1967) ont pu être, sur tout le Massif armoricain, d'excellents catalyseurs pour amorcer ces transformations physico-chimiques, engendrant des profils latéritiques de 100 m par endroit, en fonction de leur préservation. Cependant, il est possible aussi que la position altimétrique de la surface continentale par rapport au niveau marin relatif ait pu conditionner le développement ou la destruction de ces profils d'altération même sous des climats dits « hydrolysants » (Wyns, 1991a).

Des lambeaux de cette surface continentale, soulignés par des formations silicifiées, d'origine pédologique, en dalles ou sous la forme d'éléments siliceux épars, subsistent localement, marquant l'arrêt du fonctionnement du profil d'altération, consécutivement à des changements climatiques et/ou une variation de l'altitude moyenne de la surface continentale. Ces lambeaux de surface sont les témoins d'une histoire postérieure à la latérisation et peuvent constituer un repère stratigraphique dans les séries azoïques.

Après cet épisode de transformation supergène tertiaire (anté-Éocène supérieur), il est probable que d'autres périodes d'altération aient pu se produire sous des climats tempérés du Plio-Quaternaire (Estéoule-Choux, 1967). Ces altérations dites « ménagées » (Estéoule-Choux, 1967) ont conduit à la formation de roches meubles, mais où la kaolinite est faiblement représentée.

La distinction entre ces altérations « ménagées » de celles « supergènes » est très difficile et ne pourrait se faire que sur la minéralogie des argiles, à la condition de bien connaître la minéralogie de la roche-mère et de bien connaître sa position altimétrique dans le profil d'altération.

Géométriquement, le profil d'altération ou latéritique sur le Massif Armoricain, a une organisation verticale quadratique, composée, de la base au sommet, par : (1) le

domaine fissuré, (2) les isaltérites, (3) les allotérites et (4) la cuirasse latéritique riche en fer, nickel ou aluminium (les Ferricrètes).

Le domaine fissuré

La roche-mère passe progressivement au domaine fissuré, avec une épaisseur variable d'une dizaine de mètres à 50 m sur certains granites. Le domaine fissuré est caractérisé par une fracturation importante qui décroît en profondeur. Cette fracturation de la zone fissurée est certainement la conséquence de la superposition ou de la combinaison de la fracturation tectonique, de la structure originelle de la roche-mère (schistosité, plans de fluidalité et joints de refroidissement etc.) sur lesquelles vient par opportunisme s'imprimer la fracturation latéritique provenant de l'éclatement de la roche sous l'effet des contraintes produites par l'hydratation des minéraux ferromagnésiens entraînant une augmentation de leurs volumes. Cette zone fissurée, particulièrement bien mise en évidence dans les domaines à roches plutoniques grenues comme les granites, leucogranites ou migmatites, est beaucoup plus difficile à caractériser dans les domaines métasédimentaires (schistes).

De ce domaine fissuré, le passage avec le domaine situé directement au-dessus, celui des isaltérites, est tout aussi progressif que le précédent.

Les isaltérites

Les isaltérites sont des roches meubles où la texture originelle de la roche et les relations spatiales entre les minéraux sont préservées. Il est possible d'observer dans ces roches néoformées l'ensemble des structures originelles et de façon anecdotique, le géologue considère qu'il a affaire à des isaltérites lorsque la roche est assez meuble pour que l'on puisse y enfoncer un couteau. Pour la famille des granites ou des roches grenues, on trouve sous cette terminologie les arènes compactes contenant des boules plus dures de roches-mères ou, pour les roches déformées possédant une schistosité, des affleurements schisteux tendres mais où, sous forme de talus, ils résistent largement à l'érosion et à la gravité.

En théorie, lors de l'altération, les minéraux sont remplacés par des minéraux secondaires ou par des pores qui possèdent la forme du minéral primaire remplacé. Les relations spatiales entre minéraux préexistants et le volume de la roche sont maintenues. Il s'avère cependant que la conservation du volume d'origine n'est pas toujours respectée. L'apparition de néosilicates comme ceux du groupe des montmorillonites ou de celui des vermiculites introduit des perturbations dans l'assemblage minéralogique originel car ces minéraux sont des minéraux qui « gonflent » ou se « contractent » en fonction du degré d'hydratation du profil de la roche.

Les allotérites

Le terme « allotérite » est employé pour désigner les horizons altérés où les structures de la roche-mère (stratification, litages schistosité ou foliation...) ne sont plus visibles. Certains minéraux, stables dans les parties profondes du profil d'altération ne le sont

plus dans les parties les plus superficielles. Ces minéraux argileux sont alors remplacés par des minéraux argileux plus stables, des oxydes et des hydroxydes.

Ceci s'accompagne généralement d'une disparition progressive de la structure de la roche originelle et d'une modification du volume (perte).

Les isaltérites et les allotérites constituent le « **saprolite** ». C'est le saprolite qui a été évalué dans cette étude en complément de sa partie qui avait déjà été cartographiée. En effet, d'une part, la limite entre les altérites meubles (isaltérites et allotérites) et la zone fissurée, constitue une discontinuité géomorphologique identifiable, d'autre part, le saprolite constitue l'horizon à dominante argileuse.

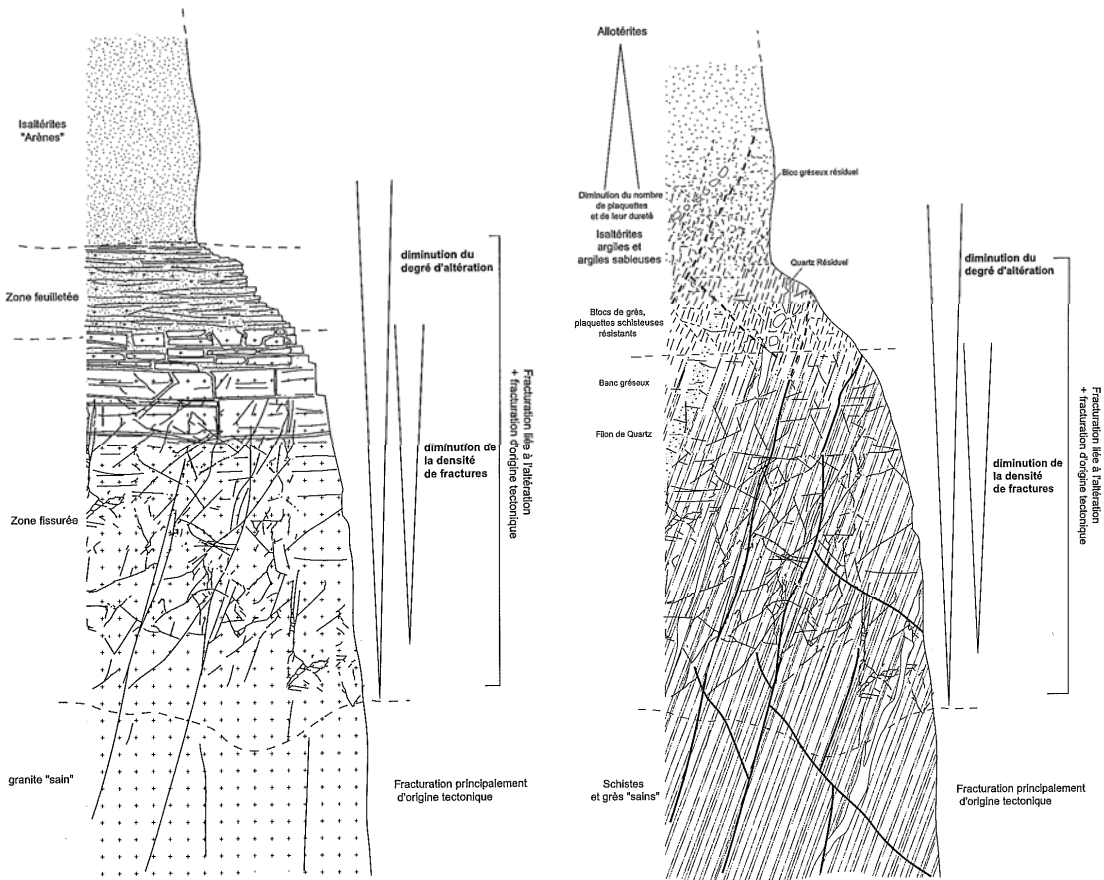


Illustration 32 – Profils d'altération dans des roches magmatiques plutoniques (de type granite, à gauche) et dans des roches métamorphiques (de type schiste, à droite)(Thomas, 1999)

b) Evaluation des altérites : exemple sur la commune d'Arradon

En utilisant l'organisation verticale des roches d'altération, décrite ci-dessus et proposée par R. Wyns, mais aussi en utilisant l'analyse géomorphologique couplée à plusieurs données de sondages comme les forages de la BSS issus de l'étude SILURE Bretagne et sur lesquels ont été extraits la base des altérites, mais aussi les logs

validés des forages de la BSS et les analyses de sols issues des études géotechniques routières du LRPC de Saint-Brieuc, il a été possible de compléter et de proposer une évaluation des zones d'altération sur les secteurs où les altérites n'avaient pas été cartographiées.

En effet, la géomorphologie bretonne décrit des talwegs et des vallées souvent étroites et encaissées sur une à plusieurs dizaines de mètres seulement, et chacune d'entrelles est séparée par des zones sub-tabulaires de plateaux constituant des interfluves. En règle générale, ces replats topographiques peuvent être l'expression d'une ou de plusieurs surfaces du profil d'altération, et le plus souvent de la base des altérites meubles. Ainsi les niveaux se situant au-dessus de cette surface correspondent aux formations d'altération du saprolite, partie des profils d'altération les plus argileux, et à partir de la rupture de pente, on rentre dans les formations d'altération plus résistantes, celles de la zone fissuré.

Ces replats peuvent même être parsemés de bosses pouvant correspondre soit à des allotérites préservées, soit à des résidus de paléo-surfaces d'altération antérieures.

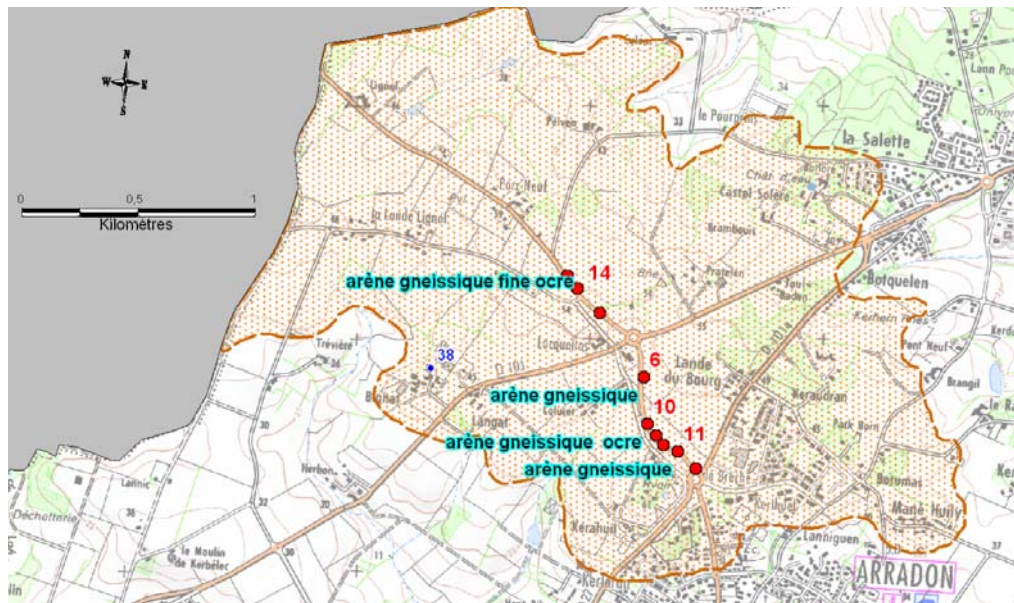


Illustration 33 - Evaluation du secteur altéré (commune d'Arradon) à partir de trois sources de données (Base des altérites en bleu [source SILURE], Indices de plasticité en rouge [source LRPC] et Lithologie en noir [source BSS logs validés])

Sur l'illustration 33 ci-dessus, le polygone en orange a été dessiné à partir du logiciel © MAPINFO. Il est caractérisé par les lithologies, ici d'arène gneissique, issues des données des logs validés de la BSS (logs du référentiel géologique, en noir) mais aussi des sondages géotechniques (source LRPC Saint-Brieuc), qui contiennent des mesures d'indices de plasticité validant la présence de formations géologiques meubles (en rouge). Un forage de SILURE BRETAGNE (en bleu), donne une altitude

de la base des altérites vers 38 m NGF. Cette altitude correspond à la rupture de pente, identifiable sur la carte topographique autour de la courbe de niveau 35 m.

Ces surfaces ont été validées par d'autres données en possession du BRGM, comme l'ensemble des carrières de Bretagne qui, lorsque la production de celles-ci correspond à des roches dures en direction du marché des granulats, se situent dans le domaine fissuré. La prospection d'argile lors du plan minier breton réalisé par le BRGM dans les années 70 est venue apporter son lot d'indices (Le Berre, 1987). Ces données ont enfin été complétées par la modélisation des altérites du projet SILURE BRETAGNE, mais réalisée à une échelle non utilisable ici, ainsi que par l'ensemble des cartes sur lesquelles elles étaient déjà connues.

Lors de l'échantillonnage, les géologues du BRGM ont profité des profils longitudinaux des reliefs pour valider un maximum de surfaces topographiques.

Dans certains secteurs, l'interprétation de ces surfaces a pu faire intervenir des notions de tectonique ou d'eustatisme. En effet, des surfaces d'altération ont montré par endroits différentes altitudes (soulignées par des variations de la base des altérites).

Ces variations d'altitude ont pu être mises en relation avec la présence dans le secteur de failles dont on a supposé quelles pouvaient avoir décalé en « touches de piano », cette surface d'altération comme cela a été décrit dans certaines notices de cartes géologiques (Rosporden notamment). Lorsque les surfaces ont été étagées, séparées par un talus de raccordement de roches saines, les variations du niveau marin au cours des temps géologiques ont été privilégiées dans l'interprétation.

c) Les altérites du Morbihan (*Ab-d, AbK, Abξ(Kδ), AyL, Aξξ, AΣδ, AKM, AbS, A, AKao*)

A partir de la répartition des altérites acquises par la méthode décrite ci-dessus et de la répartition des altérites fournie par certaines cartes géologiques, un découpage à « l'emporte-pièce », projetant les lithologies du substratum dans cette répartition départementale des altérites a été réalisé.

Il ressort de cette opération 147 formations géologiques d'altération que nous avons classées en fonction de la nature des matériaux d'origine. Pour cette classification nous nous sommes basés sur la thèse de J. Estéoule-Choux, 1967. Dans son travail de doctorat, J. Estéoule-Choux a caractérisé les minéraux argileux issus de l'altération des roches du « socle » en fonction de leur nature géologique.

Ainsi son travail nous permet d'avoir une caractérisation minéralogique des roches métasédimentaires peu à pas métamorphiques, des roches métamorphiques, des roches acides plutoniques comme effusives (famille des granites) et basiques plutoniques et effusifs (gabbros, dolérites etc.).

Des 147 formations géologiques d'altération, le regroupement pour une classification basée sur la nature de roches originelles aboutit au regroupement en 8 formations géologiques d'altération qui suivent :

(22) Argiles d'altération (A)

Cette formation géologique constitue sur les cartes géologiques la partie la plus argileuse du profil d'altération. La kaolinite est l'argile très nettement dominante, indépendamment de la nature originelle de la roche mère. Les phyllosilicates donnent à ces lithologies des reflets caractéristiques (scintillements) à la lumière du soleil.



Illustration 34 - Répartition départementale de la formation A

(24) Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques ($\mathcal{A}bS$)

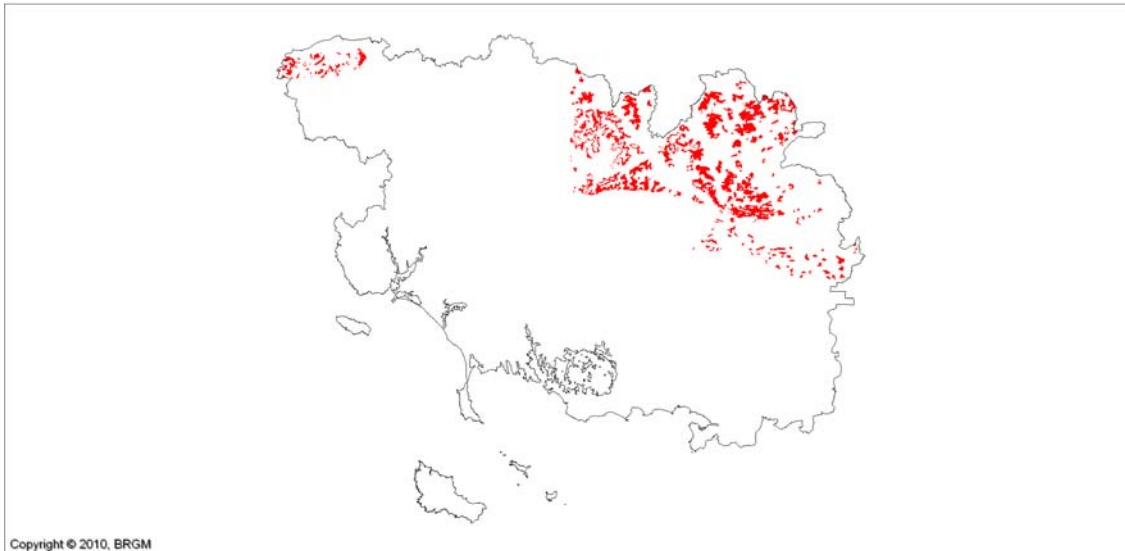


Illustration 35 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}bS$

(25) Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites ($\mathcal{A}KM$)

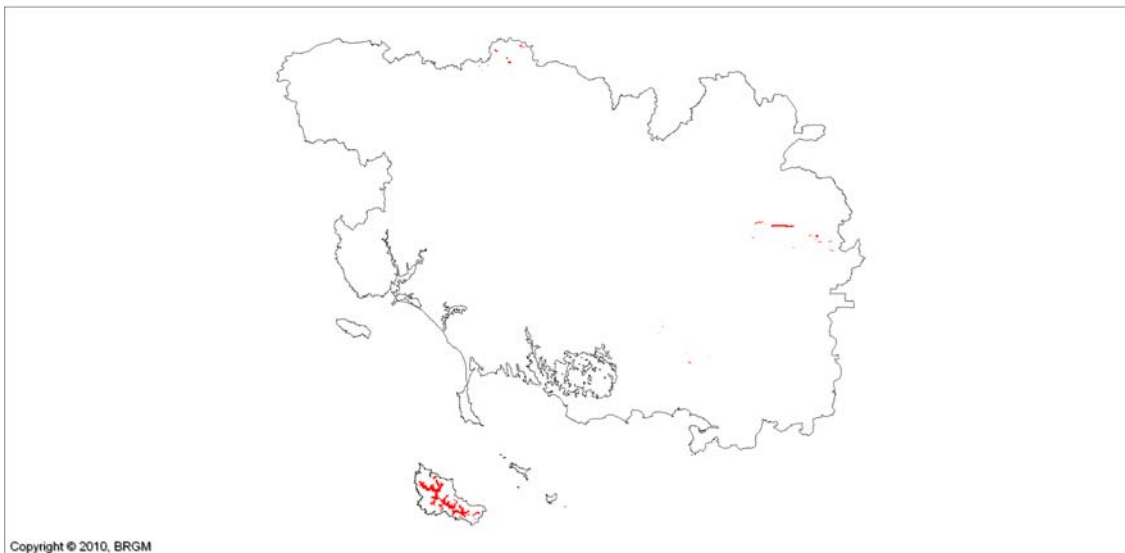


Illustration 36 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}KM$

(26) Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques ($\mathcal{A}\Sigma\delta$)

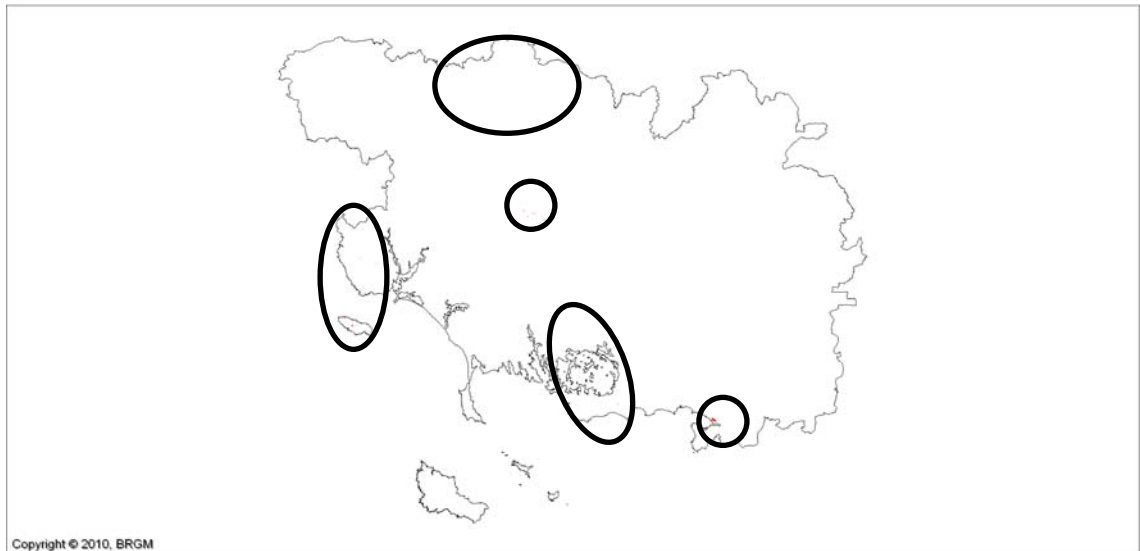


Illustration 37 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}\Sigma\delta$

(27) Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites ($\mathcal{A}\zeta\xi$)

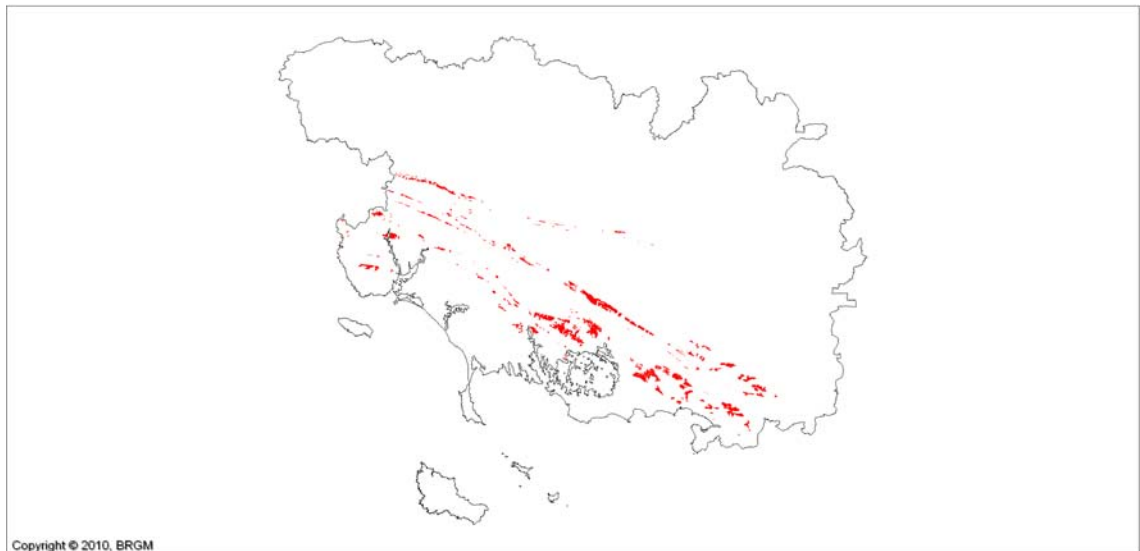


Illustration 38 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}\zeta\xi$

(28) Altérites au sens large de roches de la famille des granites ($\mathcal{A}\gamma L$)

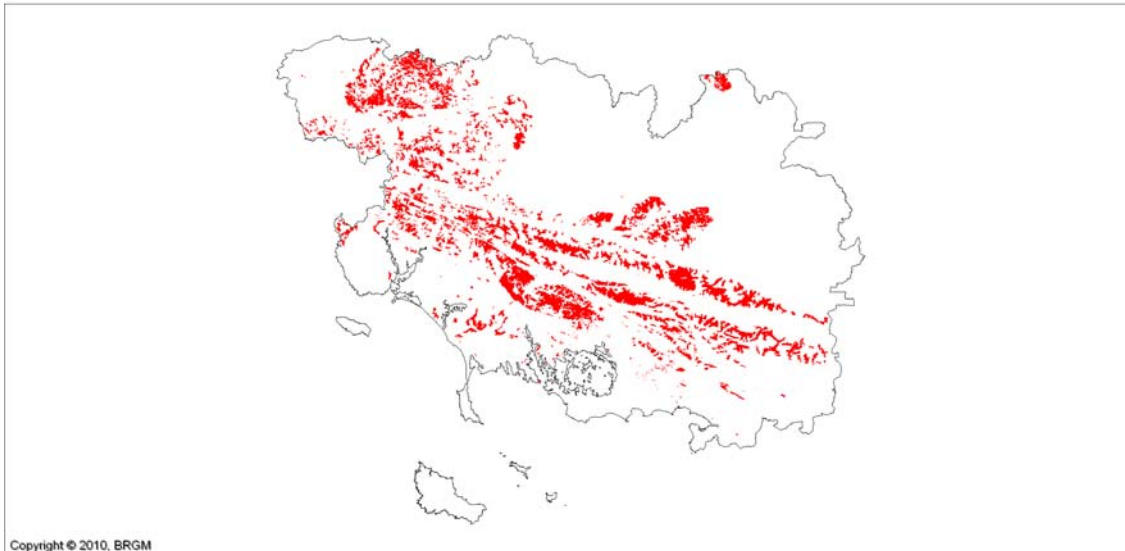


Illustration 39 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}\gamma L$

(29) Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates ($\mathcal{A}b\xi(K\delta)$)

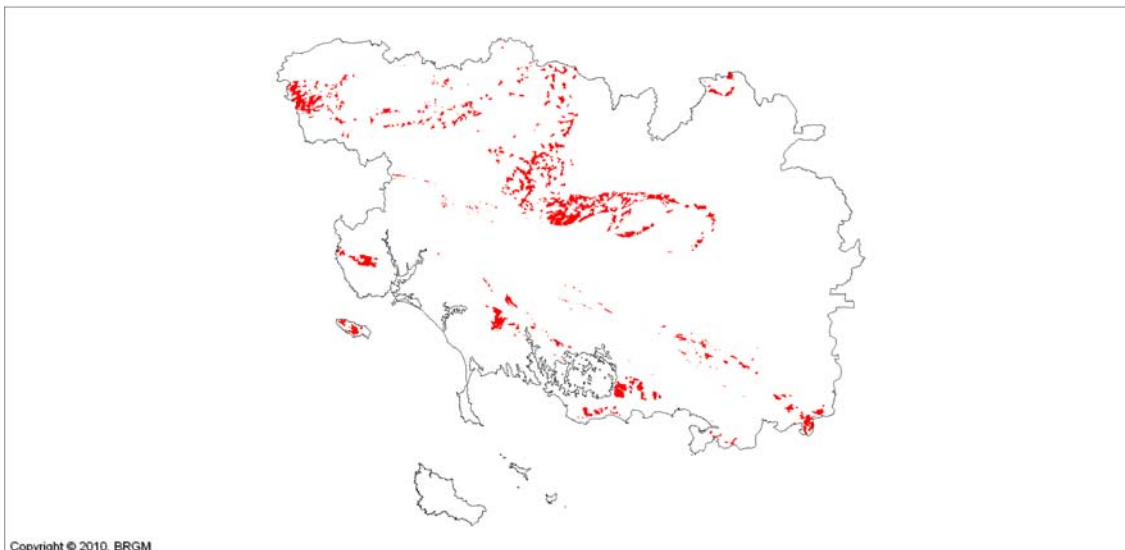


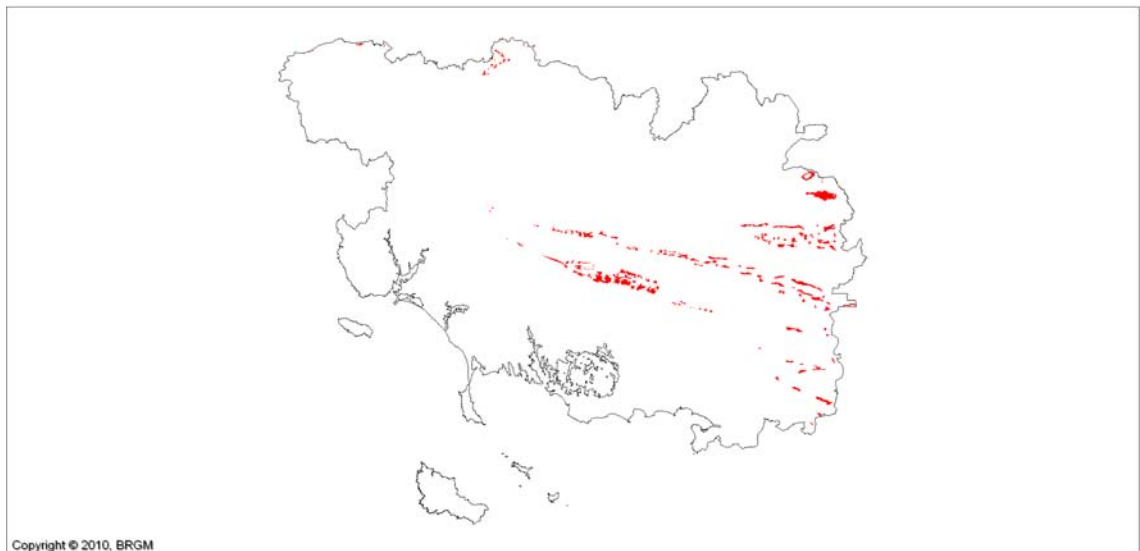
Illustration 40 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}b\xi(K\delta)$

(30) Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes (Ab**K)**



*Illustration 41 - Répartition départementale de la formation A**b**K*

(31) Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques (Ao**-d)**



*Illustration 42 - Répartition départementale de la formation A**o**-d*

(32)- Kaolin (altérites) (*Akao*)

La même description peut être faite ici que la description ci-dessus. Cependant, cette formation correspond à des gisements de kaolin.



*Illustration 43 - Répartition départementale de la formation *Akao**

d) Remarque

Ce serait tromper le lecteur que de présenter la description précise de ces 8 formations géologiques d'altération du département, lui laissant croire que leur caractérisation est acquise et figée.

Il est simplement proposé une méthode d'évaluation de la répartition des roches meubles issues de l'altération du substratum en fonction de la nature des terrains sous-jacents, car ceux-ci peuvent influencer la minéralogie de la formation d'altération.

En réalité, les processus d'altération sont beaucoup plus complexes et régis par un ensemble de paramètres qui vont déterminer la répartition, l'organisation verticale des minéraux argileux à l'intérieur du profil d'altération du saprolite.

Une telle approche, pourrait être envisagée à la condition qu'il existe, pour chaque lithologie du substratum, une coupe de référence de son profil d'altération caractérisant l'évolution verticale par tranche granulométrique du pourcentage de chaque minéral d'altération.

Les évolutions post-latéritiques tectoniques, mais aussi climatiques, sont venues bousculer les profils altérations (décalage en « touches de piano » et/ou scalps érosifs des parties meubles des profils d'altération), sans que nous en connaissions, à l'heure

où sont écrites ces lignes, les parts respectives. Ainsi, seul un programme de type étude du « Régolithe » pourra apporter des réponses et une évaluation plus précise de ces problèmes.

Aussi à cette répartition spatiale, nous nous sommes efforcés d'attribuer, suivant les polygones géographiques, une caractérisation lithologique, géotechnique et minéralogique à partir des analyses de sols récoltées et des travaux d'Estéoule-Choux. L'ensemble de ces données sont synthétisées dans le tableau des formations argileuses du Morbihan de l'annexe 2.

5.3. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES

Parmi les formations qui ont été considérées comme non argileuses, il est possible que certaines contiennent néanmoins des corps argileux (lentilles, poches, auréoles, enclaves d'extension limitée), qui n'ont pu être prises en compte dans la cartographie départementale.

Ces corps argileux secondaires peuvent être localement à l'origine de quelques sinistres, mais ils ne justifient pas pour autant de considérer la formation dans son ensemble comme argileuse et de ce fait sujette au phénomène de retrait-gonflement.

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

6.1. GENERALITES SUR L'ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE

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

6.1.2. 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 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 :
 - l'étendue de son domaine plastique (caractérisée par son indice de plasticité) ;

- la réactivité du sol vis à vis de l'eau (caractérisée par la valeur de bleu) ;
- l'importance du retrait possible (en terme de volume) en cas de dessèchement (caractérisée par les mesures de retrait linéaire) ;
- le potentiel de gonflement du sol (évalué par le coefficient de gonflement).

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 argileuses ou marneuses identifiées.

Les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses et marneuses du département sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

6.2. CRITERE LITHOLOGIQUE

6.2.1. 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, qui est très forte pour bon nombre de formations du Morbihan. L'épaisseur de la formation entre également en ligne de compte, puisque les formations argileuses peu épaisses présentent un potentiel de retrait ou de gonflement moindre que les formations puissantes.

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

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

Illustration 44 – Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation

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 présenté sur l'illustration 44.

6.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan

Les principaux éléments ayant permis la caractérisation lithologique des formations ont été détaillés lors de la description de ces formations dans le chapitre 5.2. Les notes lithologiques attribuées à chacune des formations sont présentées dans le tableau ci-dessous (Illustration 46).

La classification suivant la note lithologique met en évidence la grande hétérogénéité des formations argileuses ou marneuses du département, qui contiennent toutes une ou plusieurs composantes non argileuses (dominantes ou non suivant les cas). Parmi les **32** formations géologiques argileuses ou marneuses du département :

- **5** obtiennent une note de **(4)**, qui correspond aux formations essentiellement argileuses de plus de 3 m d'épaisseur ;
- **4** formations obtiennent une note de **(3)**, ce qui signifie que leur composante argileuse est dominante dans la formation ;
- **19** formations obtiennent une note de **(2)**, ce qui signifie que le terme argileux n'est pas prédominant. Il s'agit notamment ;

-**4** formations ont une note de **(1)**, ce qui traduit bien le fait que l'argile y est minoritaire par rapport aux autres éléments plus grossiers (sables et graviers notamment).

N°	Code_Formation	Nom_Formation	Surf. (km²)	% du départ.	Note lithologique
1	FzT	Alluvions récentes tourbeuses, Holocène	8,795	0,13	3
2	Fz	Alluvions récentes, Holocène	342,7	5,02	2
3	Fy	Alluvions des basses terrasses, Pléistocène	60,31	0,88	2
4	Fx	Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène	35,31	0,52	1
5	Fp	Alluvions fluviatiles "anciennes", Quaternaire	9,59	0,14	1
6	Fw	Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène	37,1	0,54	1
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	0,353	0,01	2
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	94,79	1,39	2
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	168,517	2,47	2
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène	4,274	0,06	3
11	My	Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène	6,799	0,10	1
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, slikke vaseuse, shore des estuaires, Holocène	76,25	1,12	3
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviatiles de couleur rouge à blanc, Pliocène	28,58	0,42	2
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	0,287	0,00	4
15	p-IVB	Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire	0,229	0,00	4
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	10,26	0,15	2
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	0,768	0,01	2
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	9,126	0,13	4
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	0,043	0,00	4
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	0,2	0,00	2
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	1,614	0,02	3
22	A	Argiles d'altération - Age ?	15,19	0,22	4
23	RIII	Épandage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	114,9	1,68	2
24	AbS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques	277,4	4,07	2
25	AKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	19,8357	0,29	2
26	AΣδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiqes	0,864	0,01	2
27	Aζξ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	98,0832	1,44	2
28	AγL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	698,824	10,24	2
29	Abξ(Kδ)	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	232,421	3,41	2
30	AbK	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	7,08	0,10	2
31	Ao-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	79,87	1,17	2
32	Akao	Kaolin (altérites)	2,379	0,03	2

Illustration 45 – Note lithologique des formations argileuses et marneuses

6.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

6.3.1. Définition du critère minéralogique et barème

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, lorsque ceux-ci comportent des smectites au sein de leur structure, par exemple smectites/illite ou illite/smectites. La vermiculite est aussi connue pour sa sensibilité au phénomène de retrait-gonflement. La caractérisation minéralogique des argiles se détermine par des analyses de diffractométrie aux rayons X.

Le critère minéralogique est basé sur le pourcentage moyen de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) présents dans la phase argileuse. Les notes de 1 à 4 sont attribuées en fonction des coupures suivantes :

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

Illustration 46 – Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants

6.3.2. Source des données

De manière générale, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, ne contiennent jamais de caractérisation des minéraux argileux composant les formations géologiques identifiées comme susceptibles. De même, les expertises de sinistres se basent assez rarement, pour effectuer leur diagnostic, sur des analyses aux rayons X, qui sont relativement coûteuses.

Les sources pour la caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan proviennent :

- de données contenues dans les notices des cartes géologiques du département et des départements limitrophes ;

- de données bibliographiques, notamment les données de la thèse de Janine Estéoule-Choux (1967), de rapports de prospection et de caractérisation de gisements d'argile en Bretagne du BRGM et d'études spécifiques concernant les argiles de la région Bretagne ;
- et des analyses **(40)** qui ont été réalisées dans le cadre de cette étude mais aussi dans le cadre de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement du département de l'Ille-et-Vilaine.

Ces données ont été complétées par celles issues d'études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement déjà menées ou en cours par le BRGM dans des départements voisins. La prise en compte de ces données acquises hors département nécessite bien entendu une extrême prudence mais peut permettre d'orienter le jugement en cas d'absence totale de données locales.

Il est à noter que les données recueillies sont pour l'essentiel des résultats d'analyses diffractométriques aux rayons X, valeurs factuelles qui permettent une hiérarchisation des matériaux selon un critère quantitatif objectif, mais qui présentent l'inconvénient de n'avoir un intérêt que purement local et ne sont pas nécessairement représentatives de l'ensemble de la formation géologique, lorsque celle-ci présente de fortes variabilités spatiales. C'est pourquoi la prise en compte de ces valeurs a été complétée par une analyse plus qualitative, basée sur l'expertise du géologue régional et qui permet d'évaluer la composition probable de la phase argileuse des formations en fonction de ses conditions de mise en place et d'évolutions pédogénétiques ultérieures.

6.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan

La caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département est synthétisée dans le tableau ci-dessous (Illustration 48).

La détermination du pourcentage moyen de minéraux gonflants a été faite en prenant surtout en compte les analyses réalisées pour cette étude et complétée avec les données de la littérature.

Les analyses réalisées sur le département ont été privilégiées de part leur homogénéité malgré qu'elles ne soient qu'au nombre de 20. Cependant, 21 analyses supplémentaires réalisées pour le département de l'Ille-et-Vilaine permettent d'avoir une meilleure répartition géographique et une meilleure représentativité dans le calcul de la note minéralogique.

Au final :

- **3** formations ont été caractérisées par une note minéralogique **(4)**.
- **1** formation a été caractérisée par une note minéralogique de **(3)**.
- **2** formations ont reçu une note minéralogique de **(2)**.

- **16** formations ont reçu des notes minéralogiques de **(1)**.

Les notes minéralogiques caractérisent **22** formations géologiques argileuses du département du Morbihan, **10** formations argileuses restent sans analyses aux rayons X mais leur caractère très terrigène empêche une caractérisation minéralogique claire et précise.

Ces résultats montrant très largement une note minéralogique faible pour la majorité des formations argileuse et marneuses, soulignent l'abondance des minéraux argileux issus de l'altération des roches plus que ceux d'origine sédimentaire. Seul la formation argileuse d'altération 26 notée : $\mathcal{A}\Sigma\delta$ et nommée : *Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques*, montre la présence très importante de minéraux gonflants en raison de la chimie originelle de la roche mère.

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

N°	Code Formation	Nom Formation	MINÉRALOGIE RX + BIBLIOGRAPHIE							Note	
			Nb	% Kao	% Illite	% Chlorite	% Interstrat	% Smectite (M/Sm)	% autres	SOURCE	minéralogique
1	FzT	Alluvions récentes tourbeuses, Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Fz	Alluvions récentes, Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Fy	Alluvions des basses terrasses, Pléistocène	1	29	55	4	12	-	-	ARG56	1
4	Fx	Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	Fp	Alluvions fluviatiles "anciennes", Quaternaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Fw	Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène	3	11/15/30	34/49/40	6/9/-	49/27/-	-/-/30	-	ARG35/449	2
11	My	Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, slikke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène	3	11/15/30	34/49/40	6/9/-	49/27/-	-/-/30	-	ARG35/449	2
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviatiles de couleur rouge à blanc, Pliocène	1	60	40	-	-	-	-	419	1
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	2	-/10	-/10	-	-	87/80	13/-	ARG56/419	4
15	p-IVB	Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire	3	-/10/-	-/10	-	-	87/80/++++	13/-	ARG56/419/418	4
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	2	74/60	-	-	-	-	14	ARG56/419	1
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	2	98/94	2/6	-	-	-	2	ARG56	1
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	1	16	15	-	-	69	-	ARG56	3
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	2	28/++++	67/-	4/-	-	-	-	ARG56/347	1
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	1	86	14	-	-	-	-	ARG56	1
22	A	Argiles d'altération - Age ?	1	+++	+	+	-	-	-	387	1
23	RIII	Epandage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	2	60/80	16/10	24/10	-	-	-	ARG56	1
24	AbS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques	2	32/48	39/45	12/5	-	-	17/2	ARG56	1
25	AKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	1	++++	-	-	-	-	-	312	1
26	ASδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques	2	3/5	-	-	-	97/94	-	2ARG44	4
27	AKξ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	1	60	24	4	-	-	12	ARG56	1
28	AL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	2	92/20	6/32	18	-	-	2/30	ARG56	1
29	Abξ(Kδ)	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	3	90/69/73	7/16/16	3/0/0	0/15/11	-	-	ARG56	1
30	AbK	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	1	85	15	-	-	-	-	ARG56	1
31	AO-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	3	60/11/+++	18/42/-	4/1/-	-	-	0/6/-	2ARG56/313	1
32	Akao	Kaolin (altérites)	1	++++	-	-	-	-	-	312	1

Illustration 47 - Synthèse des données minéralogiques et note minéralogique

6.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

6.4.1. 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 analyses géotechniques font souvent référence au guide GTR (1992) élaboré par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et qui permet une comparaison possible des matériaux entre eux. Dans sa première version de 1992, le guide GTR avait remplacé l'ancienne « Recommandation pour les terrassements routiers » (RTR) éditée en 1976. Le guide GTR a fait l'objet de mises au point et de modifications mineures dans sa deuxième version rééditée en juillet 2000.

Ce guide est aujourd'hui appliqué par l'ensemble de la profession (maîtrises d'ouvrages, maîtrises d'œuvres, ingénieries, entreprises) à la conception et à la construction d'ouvrages en terre dans le domaine des routes et autoroutes.

Dans les autres domaines, il est appliqué partiellement ou tient lieu pour le moins de règles de références, en complément à des prescriptions ou recommandations spécifiques à d'autres fonctions d'ouvrages.

L'illustration 48 présente de façon synthétique la classification selon le GTR 92, et montre comment un sol sera de plus en plus argileux dans la classification (pointe de la flèche rouge).

La classification du matériau en R, C, B ou A, s'articule autour de sa granulométrie et de la taille des éléments, tel que R = matériaux rocheux, C = matériaux rocheux mais avec matrice fine, B et A = matériaux à matrice fine. Les matériaux à matrice fine sont eux aussi ensuite subdivisés en deux parties avec B = les sols avec $D_{max} > 50$ mm alors que A = les sols avec $D_{max} < 50$ mm.

Dans les matériaux de type A franchement argileux, la discrimination se fera en fonction de la valeur au Bleu de méthylène (Vb ou VBS) et de l'indice de plasticité (Ip), paramètres géotechniques qui seront décrits plus loin dans le manuscrit.

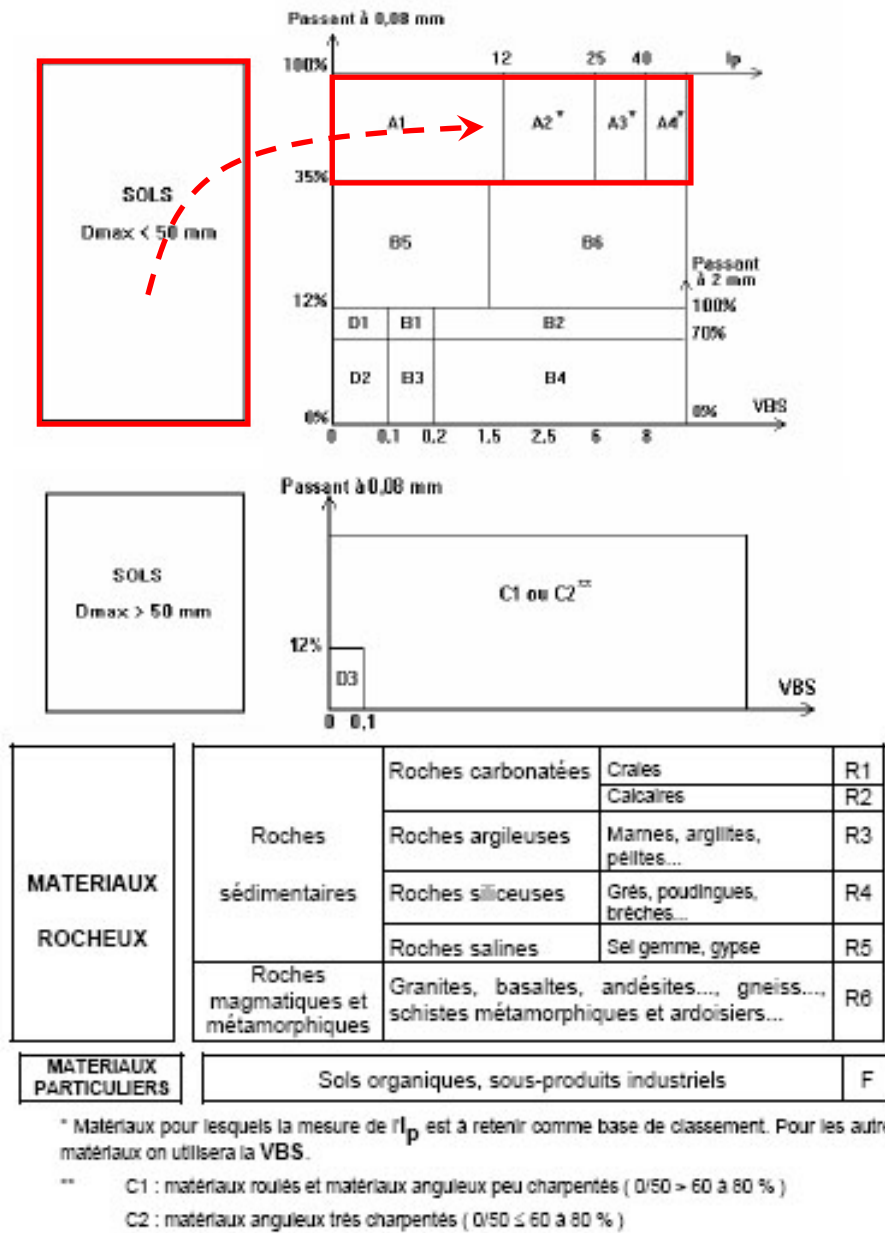


Illustration 48 - Classification des sols selon le guide GTR92 (source © LCPC)

6.4.2. Généralités sur les expertises de sinistres et les analyses géotechniques

Les expertises de sinistres et les analyses géotechniques ont deux objectifs particuliers et varient dans leurs contenus d'un bureau d'études à l'autre et suivant les objectifs assignés à l'étude. Cependant, la reconnaissance de sol se fait toujours par

l'intermédiaire soit d'un sondage mécanique avec une sondeuse (foreuse) ou une pelle mécanique, soit manuel avec une tarière à main ou en fouille directe. Les objectifs de cette reconnaissance sont :

- **(1)** de déterminer **les caractéristiques intrinsèques du sol** en déterminant les limites d'Atterberg (qui permettent de calculer l'indice de plasticité IP), le retrait linéaire (RI), la valeur au bleu de méthylène (Vb ou VBS, qui traduit la capacité d'adsorption du sol) et le coefficient de gonflement (Cg), éventuellement complétés par une analyse granulométrique pour déterminer le passant à 80 µm. Les analyses granulométriques inférieures à 2 µm qui permettraient de déterminer la fraction argileuse du matériau et les analyses aux rayons X permettant de distinguer le pourcentage de minéraux gonflants, sont réalisées plus rarement car elles sont plus coûteuses ;
- **(2)** de **caractériser l'état du sol**, et notamment son état de dessiccation en effectuant des mesures de teneurs en eau à différentes 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.

Dans le cadre d'une cartographie des sols argileux susceptibles au retrait-gonflement, seuls les caractéristiques intrinsèques du sol sont pris en compte car **(1)** ils sont indépendants de la période de prélèvement et **(2)** car il est question de déterminer la susceptibilité au retrait-gonflement de chaque formation de sol.

Les études géotechniques post sinistres sont souvent complétées par des essais *in situ* au pressiomètre ou au pénétromètre dynamique. L'objectif de ces essais est la vérification de la capacité portante du sol afin de déterminer le type de fondations et son dimensionnement. Ces résultats permettent ainsi le dimensionnement ultérieur de micropieux, si une reprise en sous-œuvre des fondations est nécessaire. Ces résultats ne sont cependant pas directement utilisés dans le cadre de la présente étude.

Pour résumer, les résultats intéressants le cadre de l'étude pour caractériser le comportement géotechnique du matériau vis à vis du phénomène de retrait-gonflement sont au nombre de **4** : **(1)** l'indice de plasticité IP, **(2)** la valeur de bleu de méthylène Vb ou VBS, **(3)** le coefficient de gonflement Cg et **(4)** le retrait linéaire RI.

Ces essais sont présentés dans les paragraphes suivants, sachant que les deux essais jugés les plus représentatifs de l'aptitude d'un sol au retrait-gonflement sont la valeur de bleu et le retrait linéaire. Pour le département du Morbihan, ce sont essentiellement les indices de plasticité Ip, les valeurs au bleu Vb (ou VBS si effectué sur la fraction totale du sol) qui ont été utilisées.

- **Indice de plasticité (IP)**

Il est calculé à partir des limites d'Atterberg qui mettent en évidence l'influence de la teneur en eau sur la consistance du matériau fin. Cet indice correspond à la différence

entre la limite de liquidité (Wl) et la limite de plasticité (Wp) du matériau. Il représente donc l'étendue du domaine plastique et donne une indication sur l'aptitude du matériau argileux à acquérir de l'eau.

On considère généralement (Chassagneux et *al.*, 1998) que la susceptibilité d'une argile vis-à-vis du retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité (IP) de la manière suivante :

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note
IP < 12	faible	1
12 ≤ IP < 25	moyenne	2
25 ≤ IP < 40	forte	3
IP ≥ 40	très forte	4

Illustration 49 – Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation

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

e) Essai au bleu de méthylène (Vb)

L'essai au bleu de méthylène permet d'évaluer la surface spécifique d'échange d'un matériau argileux, ce qui constitue un bon indicateur de sa susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement. Il traduit en effet à la fois l'argilosité de l'échantillon et la teneur en minéraux gonflants de sa fraction argileuse. Malheureusement, les résultats d'essai de bleu sont relativement peu nombreux et il n'est pas toujours aisé de les interpréter de manière statistique.

Cet essai a été développé par Tran Ngoc Lan (1977) et adopté comme procédure d'essai officiel des Laboratoires des Ponts et Chaussées (LCPC, 1979), puis normalisé (norme AFNOR NF P 18-592). Il consiste à mesurer la capacité d'adsorption de bleu de méthylène, c'est-à-dire la quantité de ce colorant nécessaire pour recouvrir d'une couche mono-élémentaire les surfaces externes et internes de toutes les particules argileuses présentes dans 100 g de sol. On appelle cette quantité, la valeur de bleu, notée Vb et exprimée en grammes de bleu pour 100 g de matériau.

On considère généralement (Chassagneux et *al.*, 1995) 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

Illustration 50 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation

f) 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 teneur en eau. Pendant la deuxième phase, les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher, l'élimination de l'eau ne fait plus varier le volume du sol, mais se traduit par sa désaturation. La teneur en eau correspondant à ce pallier est appelée limite de retrait. Plus cette valeur est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit en cas de dessiccation sera grand.

Le retrait linéaire, noté RI, correspond à la pente de la droite donnant le tassement de l'échantillon en fonction de la diminution de teneur en eau, dans la partie où cette teneur en eau reste supérieure à la limite de retrait. Les coupures suivantes ont été proposées (Mastchenko, 2001) pour caractériser le potentiel de retrait avec ce paramètre.

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

Illustration 51 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation

Dans le département du Morbihan, une seule valeur de retrait linéaire était disponible, elle n'a donc pas été considérée.

g) Coefficient de gonflement (Cg)

L'essai de gonflement à l'œdomètre (ASTM 90, norme XP P 94-091) consiste à mesurer une amplitude de gonflement à la suite d'un apport d'eau. Il est par conséquent fortement conditionné par l'état initial de saturation en eau du sol considéré. En effet, pour un même sol, le gonflement relatif sera d'autant plus grand que le sol était initialement plus sec. Cette observation souligne l'intérêt d'associer ces essais avec la réalisation d'un profil hydrique. Ainsi la pression de gonflement ne constitue pas une caractéristique intrinsèque du sol, les valeurs dépendant fortement de l'état de saturation initial du sol considéré. Le potentiel de gonflement peut cependant être caractérisé par le coefficient de gonflement Cg (pente de la droite de déchargement observée dans un essai œdométrique) qui permet d'évaluer le potentiel de gonflement des formations argileuses identifiées :

Coefficient de gonflement	Susceptibilité	Note
Cg < 0,025	faible	1
0,025 ≤ Cg < 0,035	moyenne	2
0,035 ≤ Cg < 0,055	forte	3
Cg ≥ 0,055	très forte	4

Illustration 52 - Barème d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation

Dans le département du Morbihan, aucune valeur de ce paramètre n'a pu être obtenue.

6.4.3. Source des données

Les données géotechniques qui ont été recueillies pour caractériser les différentes formations argileuses et marneuses affleurant dans le département proviennent pour l'essentiel des études géotechniques réalisées par des bureaux d'études et par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc.

Ces dossiers nous ont été transmis :

- soit par les communes,
- soit par des mutuelles d'assurance (Groupama, MAIF et MAAF),
- soit par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR),
- soit par visites directes des bureaux d'études et du LRPC Saint-Brieuc.

Les analyses de sol ainsi recueillies et exploitées dans le cadre de la présente étude (c'est-à-dire uniquement les dossiers qui comportent des résultats d'essais géotechniques) sont en définitive au nombre de **1 980**.

Les coordonnées complètes des entreprises et bureaux d'étude ayant fourni des données géotechniques sont présentées en annexe 3.

Les bureaux d'études sollicités qui ont accepté d'accueillir un agent du BRGM pour exploiter et extraire des analyses de sol de leurs archives sont : Arbrotec Ouest (Vannes), Arcadis (Quimper), ECR Environnement (Larmor-Plage), Egsol (Rennes), Fondasol (Brest et Nantes), Géotec (Nantes) et Hydrogéotechnique (Rennes).

Nous souhaitons les remercier pour leur collaboration, ainsi que la Direction Générale des Infrastructures et de l'Aménagement (Direction des routes du Département du Morbihan) et le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc.

La répartition par sources des échantillons comportant un essai géotechnique est la suivante (sachant que certains dossiers ont été transmis par plusieurs sources) :

Source de la donnée	Nombre d'échantillons
CETE Ouest - Saint-Brieuc	1 573
Conseil général 56 - Routes	348
Bureaux d'études	46
URETEK	6
Communes	3
CCR	2
BRGM	2
<i>Total</i>	<i>1 980</i>

La répartition par bureau d'étude ayant réalisé l'expertise de ces mêmes échantillons exploités est la suivante :

Bureau d'étude	Nombre d'échantillons
LRPC Saint-Brieuc	1 921
APC Ingénierie	3
ECR Environnement	27
EGsol	6
Fondasol	5
BRGM	2
Arcadis	10
Hydrogéotechnique	4
CEBTP	2
<i>Total</i>	<i>1 980</i>

Les analyses de sol récoltées dans la cadre de cette étude pour la caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du Morbihan, sont au nombre de **1 980**, réparties comme ceci : **459** indices de plasticité **IP** utilisés sur les **1 516** récoltés, **238** valeurs au bleu de méthylène **Vb** ou **VBS** utilisées sur les 581 récoltés, **1** retrait linéaire **RI** et **533** analyses granulométriques (certains échantillons ayant fait l'objet de plusieurs caractérisations).

6.4.4. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan

La synthèse des données géotechniques exploitées dans le cadre de cette étude pour la caractérisation géotechnique des formations argileuses ou marneuses et les notes géotechniques qui leur ont été attribuées, sont présentées ci-dessous.

L'attribution de la note géotechnique par formation argileuse ou marneuse est faite à partir des critères présentés dans les paragraphes précédents, et valables pour toutes les études départementales d'aléa retrait-gonflement déjà réalisées.

Le plus grand nombre d'échantillons et le type d'essai par formation argileuse ou marneuse, ont été utilisés pour attribuer cette note, mais en accordant une importance plus forte aux valeurs de bleu qui caractérisent mieux la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement. La grande variabilité des matériaux au sein d'une même formation et le nombre parfois relativement restreint d'analyses disponibles ne permettent en effet pas de réaliser de simples moyennes arithmétiques mais exigent une analyse

pondérée des résultats. Il faut cependant remarquer que pour les principales formations du département, le nombre d'échantillons est relativement élevé et, dans la plupart des cas, les résultats provenant de différents types d'essais donnent des valeurs cohérentes.

Les résultats montrent que **12** formations ont reçu une note géotechnique de **(1)**, **5** formations ont reçu la note géotechnique de **(2)**. Aucune formation n'a reçu la note géotechnique de **(3)**, et enfin **1** seule formation ont reçu la note géotechnique maximale de **(4)**.

18 formations argileuses sur les 32 ont pu être caractérisées. Malgré les 1980 analyses récoltées sur l'ensemble du département, de nombreuses formations argileuses ont de faibles superficies ce qui explique qu'elles n'aient pas pu ainsi être caractérisées géotechniquement. L'autre explication est que celles-ci se situent dans des niveaux topographiquement bas n'ayant pas bénéficié d'analyses de sols en vu de probables aménagements.

N°	Code Formation	Nom Formation	IP			VBS			Note géotechnique	
			Nb	Min	Max	Moy.	Nb	Min		Max
1	FzT	Alluvions récentes tourbeuses, Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Fz	Alluvions récentes, Holocène	10	5	17	9	0,1	1,42	0,5	1
3	Fy	Alluvions des basses terrasses, Pléistocène	23	4,5	21	9,17	0,22	1,47	0,91	1
4	Fx	Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène	4	15	21	16,13	0,22	0,54	0,41	2
5	Fp	Alluvions fluviales "anciennes", Quaternaire	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Fw	Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène	5	8	16	11,8	0,43	1,71	1,07	1
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	-	-	-	-	-	-	-	-
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	21	9	15	11,14	0,15	1,47	0,37	1
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	9	6	17	11,17	0,21	2	1,01	1
10	MzP	Sols des soldiers, vases et sables drainés et pédogénésés, Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-
11	My	Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, silkke vaseuse, shore des estuaires, Holocène	-	-	-	-	-	-	-	-
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviaux de couleur rouge à blanc, Pliocène	22	3	29	13,07	0,26	3,57	0,6	1
14	pA	Facès argileux ou marne-silteux bossifiés stratifiés et dominant, Pliocène	-	-	-	-	-	7,71	8,33	4
15	p-IVB	Formation de Bétaion, argiles - Plio-quaternaire	-	-	-	-	-	-	-	-
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	11	7	25,5	17,41	0,24	0,66	0,45	2
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	-	-	-	-	-	-	-	-
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	5	8	46	25,4	-	-	-	2
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	-	-	-	-	-	-	-	-
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	-	-	-	-	-	-	-	-
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	-	-	-	-	-	-	-	-
22	6	Argiles d'altération - Age ?	5	11	16	13,7	-	-	-	1
23	RIII	Epannage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérées tertiaires remaniées	11	14	30	21,45	0,23	1,04	0,54	2
24	6bS	Altérites au sens large de schistes peu à pas métamorphiques	43	7	24	14,17	0,24	0,84	0,5	1
25	6KM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	-	-	-	-	-	-	-	-
26	6S8	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques	-	-	-	-	-	-	-	-
27	6L	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	47	5	41	13,09	0,18	2,42	0,55	1
28	6L	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	147	6	31,5	12,3	0,05	12,6	0,88	1
29	6b5(K8)	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	82	7	36	16,55	0,1	1,2	0,54	2
30	6bK	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	-	-	-	-	-	-	-	-
31	6o-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	14	5	26,2	11,34	0,07	0,96	0,31	1
32	6kao	Kaolin (altérites)	-	-	-	-	0,86	0,86	0,86	1

Illustration 53 - Note géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département du Morbihan

7. Elaboration de la carte de susceptibilité

7.1. DETERMINATION DU DEGRE DE SUSCEPTIBILITE

Le degré de susceptibilité vis à vis du retrait-gonflement pour chaque formation argileuse ou marneuse correspond à la moyenne arithmétique des trois notes précédentes de minéralogie, de lithologie et de géotechnique. A partir de la valeur de la moyenne des trois notes précédentes, potentiellement comprise entre 1 et 4, trois classes de susceptibilité sont calculées suivant de tableau qui suit :

Note moyenne	Degré de susceptibilité
valeur ≤ 2	faible
$2 < \text{valeur} \leq 3$	moyen
valeur > 3	fort

Illustration 54 - Barème d'attribution d'un niveau de susceptibilité d'une formation argileuse

7.2. SUSCEPTIBILITE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

Le degré de susceptibilité des 32 formations argileuses et marneuses identifiées dans le département du Morbihan est présenté dans l'illustration ci-dessous.

Cette hiérarchisation des formations argileuses et marneuses du département du Morbihan, vis-à-vis du retrait-gonflement est établie sur la base de critères physiques.

Cette susceptibilité est :

- **forte** pour **3** formations argileuses ou marneuses ce sont : **pA, p-IVB, e4**
- **moyenne** pour **5** formations : **FzT, MzP, MzV, e-Fx, $\mathcal{A}\Sigma\delta$** ;
- **faible** pour **24** formations : **Fz, Fy, Fx, Fp, Fw, SA, SH, C, My, p, p-IV, Mp, e-p/b RIII, III, \mathcal{A} , $\mathcal{A}bS$, $\mathcal{A}KM$, $\mathcal{A}\zeta\xi$, $\mathcal{A}\gamma L$, $\mathcal{A}b\xi(K\delta)$, $\mathcal{A}bK$, $\mathcal{A}o-d$ et $\mathcal{A}Kao$.**

7.3. CARTE DE SUSCEPTIBILITE

La carte départementale de susceptibilité a été tracée à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, en attribuant à chacune des formations géologiques la classe de susceptibilité définie précédemment. Cette carte est présentée sur l'illustration 56 et en carte hors-texte à l'échelle 1/125 000.

Les secteurs de couleur blanche de la carte correspondent aux secteurs théoriquement non sujets au phénomène de retrait-gonflement. Cependant, il n'est pas possible d'exclure que ces secteurs ne puissent pas être très localement recouverts par un niveau d'argile ou ne contiennent pas aléatoirement de poches d'argile. Si ces exceptions argileuses locales ne sont pas représentés sur les cartes géologiques actuelles, c'est qu'elles ne constituent pas des entités cartographiables à l'échelle du 1/50 000.

Les formations argileuses ou marneuses sont représentées par trois couleurs : jaune, orange et rouge, selon respectivement à leur degré de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement : faible, moyen et fort.

La superficie du département du Morbihan est finalement caractérisée par (Illustration 57) :

- un degré de susceptibilité faible sur **34,34 %** de la superficie totale du territoire départemental, soit **2 343 km²** environ ;
- un degré de susceptibilité moyen sur **1,46 %**, soit **99,31 km²** environ ;
- un degré de susceptibilité fort sur **0,01 %**, soit **0,56 km²** environ.

En résumé, les formations avec une susceptibilité **faible** couvrent environ un tiers du département, tandis que celles avec une susceptibilité **moyenne** représentent que quelques pourcents du département. En ce qui concerne les formations avec une susceptibilité **forte**, elles ne sont qu'anecdotiques et correspondent aux argiles sédimentaires du Pliocène **pA** et **p-IVB** et de l'Eocène (Yprésien) **e4** dans les secteurs où elles sont affleurantes.

64.2 % du département du Morbihan n'est, dans l'état des connaissances actuelles de la géologie du département, *a priori* pas susceptible au retrait-gonflement des argiles.

Ce pourcentage de 64,2 % correspond donc à des formations considérées comme non argileuses et au réseau hydrographique. Cette proportion est à l'image du classement national en 75^{ème} position du département du Morbihan.

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

N°	Code Formation	Nom Formation	Note	Note	Note	Indice de suscept.	Note	Niveau de susceptibilité
			Note lithologique	géotechnique	minéralogique		susceptibilité	
1	FzT	Alluvions récentes tourbeuses, Holocène	3	-	-	3,00	2	moyen
2	Fz	Alluvions récentes, Holocène	2	1	-	1,50	1	faible
3	Fy	Alluvions des basses terrasses, Pléistocène	2	1	1	1,33	1	faible
4	Fx	Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène	1	2	-	1,50	1	faible
5	Fp	Alluvions fluviatiles "anciennes", Quaternaire	1	-	-	1,00	1	faible
6	Fw	Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène	1	1	-	1,00	1	faible
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	2	-	-	2,00	1	faible
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	2	1	-	1,50	1	faible
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	2	1	-	1,50	1	faible
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène	3	-	2	2,50	2	moyen
11	My	Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène	1	-	-	1,00	1	faible
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, siltke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène	3	-	2	2,50	2	moyen
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviatiles de couleur rouge à blanc, Pliocène	2	1	1	1,33	1	faible
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	4	4	4	4,00	3	fort
15	p-IVB	Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire	4	-	4	4,00	3	fort
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	2	2	1	1,67	1	faible
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	2	-	-	2,00	1	faible
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	4	2	1	2,33	2	moyen
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	4	-	3	3,50	3	fort
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	2	-	1	1,50	1	faible
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	3	-	1	2,00	1	faible
22	A	Argiles d'altération - Age ?	4	1	1	2,00	1	faible
23	RIII	Epanchage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	2	2	1	1,67	1	faible
24	AbS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques	2	1	1	1,33	1	faible
25	AKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	2	-	1	1,50	1	faible
26	AΣδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques	2	-	4	3,00	2	moyen
27	AΣξ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	2	1	1	1,33	1	faible
28	AγL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	2	1	1	1,33	1	faible
29	Abξ(Kδ)	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	2	2	1	1,67	1	faible
30	AbK	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	2	-	1	1,50	1	faible
31	Ao-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	2	1	1	1,33	1	faible
32	Akao	Kaolin (altérites)	2	1	1	1,33	1	faible

Illustration 55 - Degré de susceptibilité pour chaque formation argileuse ou marneuse du département du Morbihan

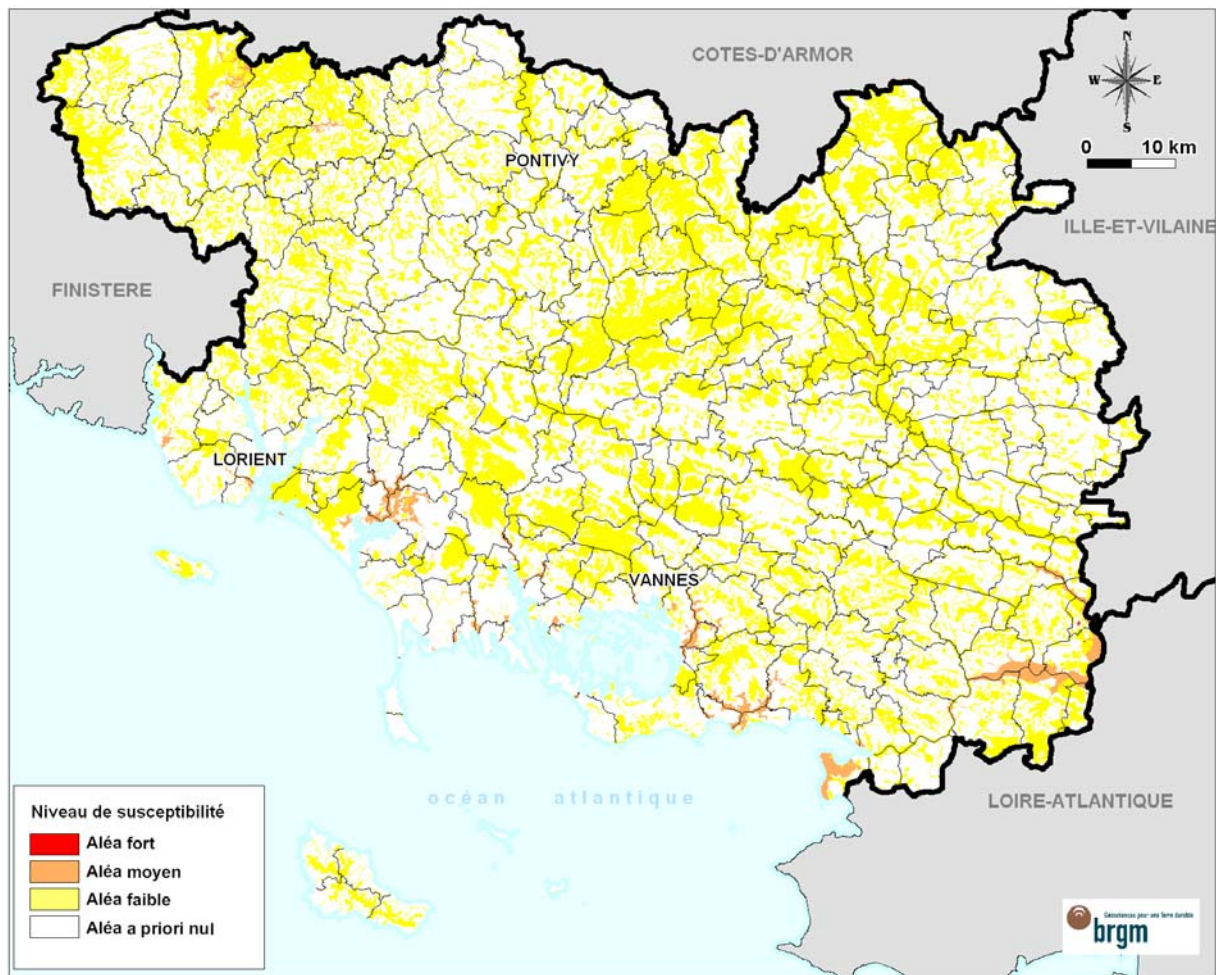


Illustration 56 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des formations argileuses ou marneuses du département du Morbihan

N°	Code_Formation	Nom_Formation	Surf. (km²)	% du départ.	Susceptibilité
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	0,29	0,004	fort
15	p-IVB	Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire	0,23	0,003	fort
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	0,04	0,001	fort

TOTAUX	0,56	0,01	fort
---------------	-------------	-------------	-------------

1	FzT	Holocène	8,80	0,13	moyen
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, sables et tangues des salines, Holocène	4,27	0,06	moyen
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, slikke vaseuse, shore des estuaires, Holocène	76,25	1,12	moyen
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	9,13	0,13	moyen
26	ΑΣδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques, Age ?	0,86	0,01	moyen

TOTAUX	99,31	1,46	moyen
---------------	--------------	-------------	--------------

2	Fz	Alluvions fluviales récentes, limons de débordement, Holocène	342,70	5,02	faible
3	Fy	Alluvions fluviales "anciennes", sables gris, argiles grises à débris végétaux, Pléistocène	60,31	0,88	faible
4	Fx	Alluvions fluviales "anciennes", sables et argiles, Pléistocène	35,31	0,52	faible
5	Fp	Alluvions fluviales "anciennes", argiles, sables, graviers et cailloux, Tertiaire	9,59	0,14	faible
6	Fw	Pléistocène	37,10	0,54	faible
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	0,35	0,01	faible
8	SH	Quaternaire	94,79	1,39	faible
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	168,52	2,47	faible
11	My	Cordon littoral ancien, sables et argiles, plages anciennes, Pléistocène	6,80	0,10	faible
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviales de couleur rouge à blanc, Pliocène	28,58	0,42	faible
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	10,26	0,15	faible
17	Mp	pliocène	0,77	0,01	faible
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	0,20	0,00	faible
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	1,61	0,02	faible
22	Α	Argiles d'altération - Age ?	15,19	0,22	faible
23	RIII	remaniées	114,90	1,68	faible
24	ΑbS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques, Age ?	277,40	4,07	faible
25	ΑKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites, Age ?	19,84	0,29	faible
27	Αξξ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites, Age ?	98,08	1,44	faible
28	ΑγL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites, Age ?	698,82	10,24	faible
29	Αbξ(Kδ)	Age ?	7,08	0,10	faible
30	ΑbK	Age ?	232,42	3,41	faible
31	Αo-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques, Age ?	79,87	1,17	faible
32	Αkao	Kaolin (altérites), Age ?	2,38	0,03	faible

TOTAUX	2342,87	34,34	faible
---------------	----------------	--------------	---------------

Illustration 57 – Répartition des formations argileuses selon leur degré de susceptibilité

8. Analyse de la sinistralité

8.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE

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

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

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

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

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

décade située au cours du premier trimestre (janvier à mars, période de recharge hivernale) où la réserve en eau est inférieure à 50 % de la normale. Ces critères ont été modifiés pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle concernant les sinistres survenus au cours de l'été 2003.

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

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

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

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

8.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES

8.2.1. Localisation des communes sinistrées

Au 1^{er} juin 2010, seules 3 communes du département du Morbihan ont déjà été reconnues 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 janvier 1990 et septembre 2003.

Ces communes représentent **1,15 %** des **261** communes que compte le département. Ce taux de sinistralité est très faible en comparaison par exemple à d'autres départements comme ceux du sud-ouest (Gers : près de 96 %) d'Île-de-France (plus de 80 % en Seine-Saint-Denis et dans le Val-de-Marne).

Au total, 4 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris à ce jour dans le département du Morbihan aux dates qui suivent : 15/07/1998, 29/12/1998, 22/11/2005 et 16/06/2006.

La commune de Billiers est concernée par celui du 15/07/1998, la commune de Damgan est concernée par celui du 16/06/2006 et enfin la commune de Pénestin est concernée par ceux du 29/12/1998 et du 22/11/2005.

D'après les données de la Caisse Centrale de Réassurance de septembre 2008, le département du Morbihan se place à la 75^{ème} position des départements français en termes de coût d'indemnisation pour la période 1989-2003.

La liste des communes concernées est présentée ci-dessous, ainsi que les périodes de reconnaissance, les dates des arrêtés interministériels et les dates de leur parution au Journal Officiel.

INSEE	COMMUNE	RISQUE	Date début	Date fin	Date arrêté	Date JO
56018	Billiers	RG	01/01/1990	31/12/1996	15/07/1998	29/07/1998
56052	Damgan	RG	01/07/2003	30/09/2003	16/06/2006	14/07/2006
56155	Pénestin	RG	01/01/1991	31/08/1998	29/12/1998	13/01/1999
			01/07/2003	30/09/2003	22/11/2005	13/12/2005

Illustration 58 - Tableau des communes et des arrêtés de catastrophe naturelle « mouvement de terrain consécutif à la réhydratation ou la sécheresse » dans le Morbihan

La carte de l'illustration 59 permet de localiser ces 3 communes et montre que les communes reconnues en état de catastrophe naturelle pour le retrait-gonflement des argiles sont concentrées dans un même secteur du département.



Illustration 59 - Carte du département du Morbihan avec les 3 communes faisant l'objet d'arrêtés de catastrophe naturelle retrait-gonflement

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

Sur les **3** communes reconnues en état de catastrophe naturelle, d'une part : **2** d'entre-elles ont fait l'objet que d'un seul arrêté et **1** seule de deux arrêtés, et d'autres parts : ces **3** communes en l'état sont géographiquement proches. De plus, la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle varie d'une commune à l'autre et d'un arrêté à l'autre (Illustration 58). Certains arrêtés couvrent des périodes de plusieurs années consécutives alors que d'autres ne concernent que quelques mois seulement.

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 à compter du 3^{ème} (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), ces trois paramètres d'observation sont à prendre en compte dans l'analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle puisque ils lient milieu physique, données météorologiques et récurrence du phénomène.

D'ailleurs à ce jour, aucun PPR retrait-gonflement des argiles n'a été prescrit dans le Morbihan.

Les périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour le département peuvent être découpées **en deux périodes distinctes**. Une première période datant d'une vingtaine d'années, et environ la même reconnue pour les communes de **Pénestin et Billiers** (entre **1990** et **1998**) ; puis une seconde et même période, dans cette décennie, reconnue sur les communes de **Pénestin et Damgan** et qui correspond à **l'été 2003**.

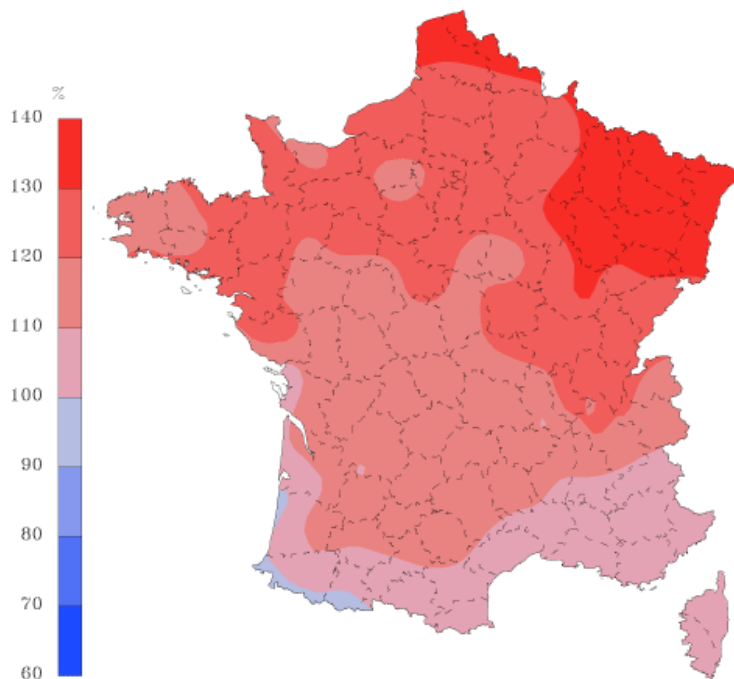
L'**année 1990** est une année très contrastée, avec des tempêtes violentes et répétitives en hiver, **de la chaleur et de la sécheresse en été** et après un automne normal, un mois de décembre froid et neigeux. **L'été 1990** est en grande partie marqué par un temps de saison chaud **et assez sec, peu d'orage** dû à des conditions anticycloniques durables. La majeure partie de la France est touchée **pour la deuxième année consécutive par une sécheresse sévère**.

L'**année 1991** restera dans les mémoires pour diverses raisons et dans la lignée contrastée de l'année 1990 : un **hiver froid, des froids tardifs, une forte canicule en août, un temps ensoleillé généralement et surtout très sec**. Les températures restent pour l'ensemble de l'année proches des normales. **L'été 1991 est proche des températures de saison**, même si **les températures ont augmenté continuellement de juin à août**. Il a **plu modérément**, ce qui a entraîné, étant donné les saisons sèches précédentes, **de forts étiages et de nombreux cours d'eaux à sec ! Peu d'orages** et un soleil un peu plus vaillant que la normale (source www.alertes-meteo.com).

L'**année 2003** fut **exceptionnellement chaude en France**, égalant le record précédemment établi en 1994 avec **13,0°C** (température moyenne calculée à partir des 22 stations représentatives de chacune des régions économiques). Avec **17,9°C**, la moyenne des températures maximales dépasse quant à elle très largement le précédent record de **17,4°C** datant de **1989**. Les précipitations de l'année 2003 furent inférieures à la normale sur la majeure partie du pays. Le nombre de jours avec précipitations supérieures ou égales à 1 mm est très inférieur à la normale sur l'ensemble du territoire. Dans les Pays-de-la-Loire et le quart nord-est le déficit est supérieur à 30 jours. De février à septembre 2003 (soit 8 mois), la **sécheresse affecte l'ensemble de la France** ; les rapports à la normale des précipitations sont plus ou moins déficitaires selon les mois et les régions. La pluviométrie de février à septembre est partout déficitaire de 20 à 50 % par rapport à la normale. Le cumul annuel de la durée d'insolation est excédentaire par rapport à la moyenne 1991-2000 (Illustration 60).



Ecart aux valeurs moyennes des durées d'insolation
Cumuls de l'année 2003 comparés aux moyennes 1991-2000



Edition avec les données présentes dans la base le 6/1/2004

Illustration 60 - Ecart de durée d'insolation sur la France en 2003 (source Météo France)

Certaines déclarations de sinistres peuvent être tardives et de ce fait 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.

8.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES

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

- la consultation des dossiers de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle disponibles à la Caisse Centrale de Réassurance (2 sinistres);

- une enquête auprès de l'ensemble des communes du département (26 sinistres);
- la consultation de dossiers communiqués par des bureaux d'études (5 sinistres).

A chaque étape, les doublons (sinistres successifs sur le même site ou donnée redondante issue de sources parallèles) ont été éliminés.

La principale source d'informations provient d'une enquête effectuée auprès de toutes les communes du département, y compris celles n'ayant pas été reconnues en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène à ce jour. Cette enquête s'est faite par l'envoi d'un courrier, adressé aux maires des **261** communes. Le courrier a été envoyé par l'intermédiaire de la préfecture, en date du **12 novembre 2007**. Une relance a été effectuée par courrier par le BRGM aux communes n'ayant pas répondu le **22 février 2008** et enfin une dernière relance téléphonique a été faite du **6 au 16 juin 2008** sur les communes restantes.

Le taux de réponse aux différents courriers envoyés a été très satisfaisant puisque **71,3 %** des communes contactées ont répondu soit **186** communes sur les **261** du département. Ce taux de réponse peut être considéré comme tout à fait représentatif, compte-tenu de la sinistralité limitée du département.

7 sinistres supplémentaires ont pu être collectés lors de la consultation des différents bureaux d'études, entreprises d'expertise et auprès des mutuelles d'assurances (MAAF, MAIF, Groupama) comme de la CCR. Leur localisation a été rendue possible grâce aux fonds topographiques de l'IGN à 1/25 000, aux cartes de localisation renvoyées par les communes, à celles consultées dans les dossiers ainsi que par la consultation de sites « internet » géographiques (pagesjaunes.fr, mappy.fr, viamichelin.fr, géoportail.fr, googlemaps.com et cadastre.gouv.fr).

Ces **33** sinistres se répartissent sur **13** communes du département dont seulement **3** sont reconnues en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse (cf. communes en jaune de l'illustration 61, regroupant près de 70 % des sinistres recensés). Le nombre de sinistres par commune est très variable, les deux communes les plus touchées sont les communes de Pénestin avec **15** sinistres recensés et de Damgan avec **7** sinistres recensés.

INSEE	Commune	Nb de sinistres recensés	Nb de sinistres signalés par les mairies
56011	Béganne	1	1
56018	Billiers	1	1
56052	Damgan	7	6
56060	Fougerêts	1	1
56089	Inguiniel	1	1

56101	Languidic	1	0
56116	Locmariaquer	1	1
56118	Locmiquélic	1	0
56155	Pénestin	15	11
56161	Ploemel	1	1
56165	Ploërmel	1	1
56223	Saint-Jean-la-Poterie	1	1
56240	Sarzeau	1	1
Totaux	13	33	26

Illustration 61 - Nombre de sinistres recensés par commune (les communes CatNat sont indiquées en jaune)

Géographiquement (Illustration 62), les communes reconnues en état de catastrophe naturelle et les plus sinistrées sont situées dans un même secteur, ce qui semble indiquer un secteur particulièrement affecté par le phénomène de retrait-gonflement des argiles en raison de l’affleurement de certaines formations géologiques sensibles.

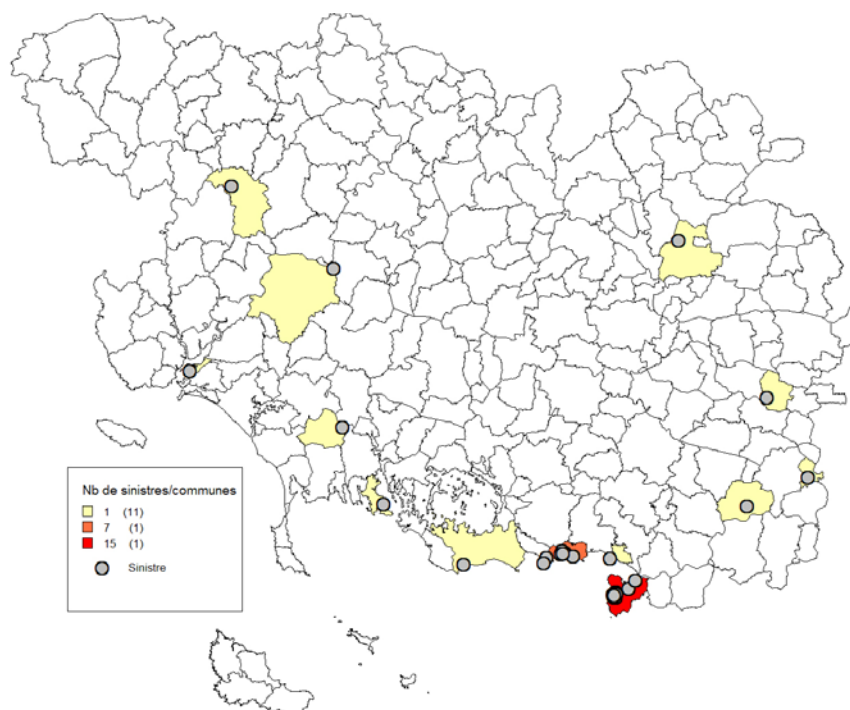


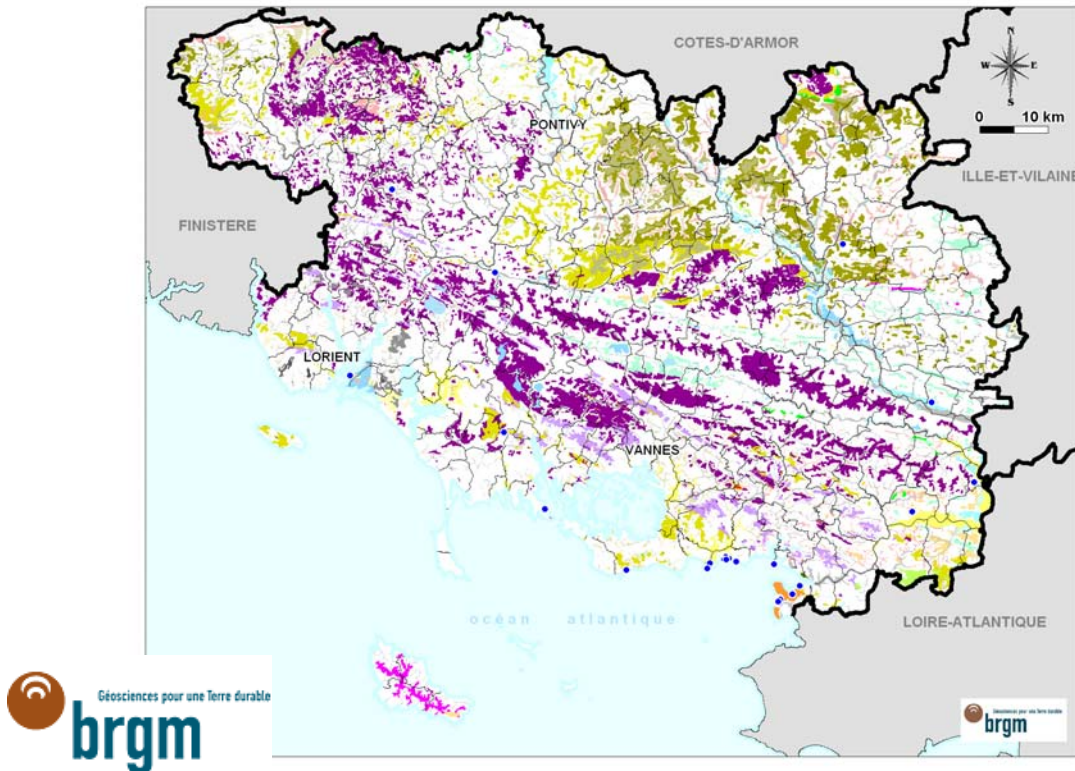
Illustration 62 - Carte de répartition par commune des sinistres recensés

La liste des sinistres recensés et signalés, avec leurs coordonnées en projection Lambert II étendu, est présentée en annexe 2. Pour des raisons de confidentialité, les noms et adresses des sinistrés, qui avaient été collectés pour supprimer les doublons, n'apparaissent pas dans ce tableau.

8.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES

La nature géologique des terrains affleurants constitue un des principaux facteurs de prédisposition au phénomène de retrait-gonflement, ce qui conduit à étudier la répartition des sinistres par formation géologique. Pour chacun des **33** sinistres recensés et localisés, le croisement avec la carte géologique synthétique des formations argileuses ou marneuses a permis de déterminer la nature de la formation concernée (Illustration 63). Pour chaque formation argileuse ou marneuse sont indiqués le nombre de sinistres, la superficie de la formation, et la densité de sinistres pour 100 km² d'affleurement. **28** sinistres sur les **33** recensés correspondent à des formations argileuses ou marneuses identifiées.

L'illustration 64 présente, pour chaque formation, sa surface d'affleurement, son nombre de sinistre ainsi que la densité de sinistre pour 100 km² de formation.



Formations argileuses et marneuses

- FzT - Alluvions récentes tourbeuses, Holocène
 - Fz - Alluvions récentes, Holocène
 - Fy - Alluvions des basses terrasses, Pléistocène
 - Fx - Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène
 - Fp - Alluvions fluviales "anciennes", Quaternaire
 - Fw - Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène
 - SA - Coulees de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire
 - SH - Coulees de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire
 - C - Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène
 - MzP - Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène
 - My - Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène
 - MzV - Dépôts estuariens vaseux, silke vaseuse, shore des estuaires, Holocène
 - p - Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviales de couleur rouge à blanc, Pliocène
 - pA - Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène
 - p-IVB - Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire
 - p-IV - Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire
 - Mp - Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène
 - e-Fx - Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel
 - e4 - Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien
 - e-p/b - Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène
 - III - Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?
 - A - Argiles d'altération
 - RII - Epannage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées
 - AbS - Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques
 - AKM - Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites
 - AS6 - Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques
 - A26 - Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites
 - A7L - Altérites au sens large de roches de la famille des granites
 - Ab(K6) - Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates
 - AbK - Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes
 - Ao-d - Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques
 - Akao - Kaolin (altérites)
- Limite de commune
- Sinistres

Illustration 63 - Carte de localisation des sinistres recensés dans le département du Morbihan

N°	Code_Formation	Nom_Formation	Surf. (km²)	Nb_sin	Densité de sinistre pour 100 km² de formation argileuse
1	FzT	Alluvions récentes tourbeuses, Holocène	8,80	0	0
2	Fz	Alluvions récentes, Holocène	342,70	2	0,583600817
3	Fy	Alluvions des basses terrasses, Pléistocène	60,31	8	13,26479854
4	Fx	Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène	35,31	0	0
5	Fp	Alluvions fluviales "anciennes", Quaternaire	9,59	0	0
6	Fw	Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène	37,10	1	2,69541779
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	0,35	0	0
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	94,79	0	0
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	168,52	1	0,593411941
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène	4,27	0	0
11	My	Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène	6,80	0	0
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, slikke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène	76,25	0	0
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviales de couleur rouge à blanc, Pliocène	28,58	0	0
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	0,29	1	348,4320557
15	p-IVB	Formation de Bétahon, argiles - Plio-quaternaire	0,23	0	0
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	10,26	0	0
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	0,77	0	0
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	9,13	14	153,4078457
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	0,04	0	0
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	0,20	0	0
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	1,61	0	0
22	Æ	Argiles d'altération - Age ?	15,19	0	0
23	RIII	Epanchage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	114,90	0	0
24	ÆbS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques	277,40	0	0
25	ÆKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	19,84	0	0
26	ÆΣδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques	0,86	0	0
27	ÆΣξ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	98,08	0	0
28	ÆγL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	698,82	1	0,143097547
29	ÆbK	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	232,42	0	0
30	Æbξ(Kδ)	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	7,08	0	0
31	Æo-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	79,87	0	0
32	Ækao	Kaolin (altérites)	2,38	0	0

Illustration 64 - Répartition des sinistres par formation géologique

Les sinistres (28 sur les 33) sont localisés à **84,84** % sur des formations identifiées comme argileuses ou marneuses.

Les formations argileuses ou marneuses contenant les sinistres constituent **19,4** % de la surface du département. Cependant ce pourcentage se réduit et passe à **9** % de la superficie totale du département du Morbihan, si il est fait abstraction de la formation argileuse d'altération issue des roches de la famille des granites qui ne contient qu'un seul sinistre malgré son importante superficie.

Sur ces 9 % du territoire départemental, **69,69** % des sinistres (23 sur les 33) sont concentrés sur seulement 2 formations argileuses ou marneuses. Ces formations sont :

- **e-Fx** - la Formation dite de Pénestin, composée d'argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers de la Formation de Larmor, d'âge Eocène pour les argiles d'altération et Würm pour la formation alluviale sus jacente, composée de sables, d'argiles ocre – orangé et de conglomérats, et dont la base est ferruginisée ;

- **Fy** - les alluvions fluviales "anciennes" de Damgan, composées de sables gris à rouge, argiles grises à débris végétaux, localement conglomératiques ou ferruginisées, et d'âge Pléistocène supérieur.

En général, ces formations alluviales sont azoïques (dépourvues de fossiles), et leur âge est relatif et déterminé par leur position altimétrique par rapport au lit actuel des cours d'eau. Il est ainsi possible que la formation « **Fx** » de Pénestin au dessus des argiles d'altération notées « e », soit la même formation que celle notée « **Fy** » à Damgan. Lors des reconnaissances de terrain à Damgan, nous avons pu constater que sous les argiles ocre – orangé contenant des galets, le substratum était altéré en argile ocre - orangé. Dans un tel cas de figure, à Damgan comme à Pénestin mais aussi à Billiers, nous pourrions être dans un même contexte géologique d'un substratum altéré surmonté d'une formation alluviale, l'ensemble étant responsable de la sinistralité de ces secteurs.

8.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE BATIE

Etant donné que les surfaces d'affleurement des différentes formations géologiques sont extrêmement variables, il est important de raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique (ramenées à 100 km² de surface d'affleurement). Cependant, il faut garder à l'esprit que l'urbanisation n'est pas uniforme sur l'ensemble du département, ce qui peut biaiser l'analyse sur les densités de sinistres par formation. En effet, une formation géologique s'étendant principalement en milieu très peu habité aura moins de risque de donner lieu à des sinistres sur le bâti qu'une formation très urbanisée. Cela explique que l'on ait été amené à raisonner sur les densités de sinistres par formation géologique, ramenés à 100 km² de surface effectivement bâtie.

8.5.1. Détermination du taux d'urbanisation par formation

L'urbanisation est déterminée à partir de la couche « bâti » de la BD TOPO de l'IGN (Illustration 65) qui a été superposée à la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Cette opération permet de calculer, pour chaque formation argileuse ou marneuse sa surface bâtie. Ces zones urbanisées sont figurées en pointillés sur la carte d'aléa, en planche hors-texte (carte n°3). Il est à noter que ces contours sont donnés à titre indicatif et peuvent présenter quelques décalages avec la réalité, notamment dans les secteurs urbanisés très récemment.

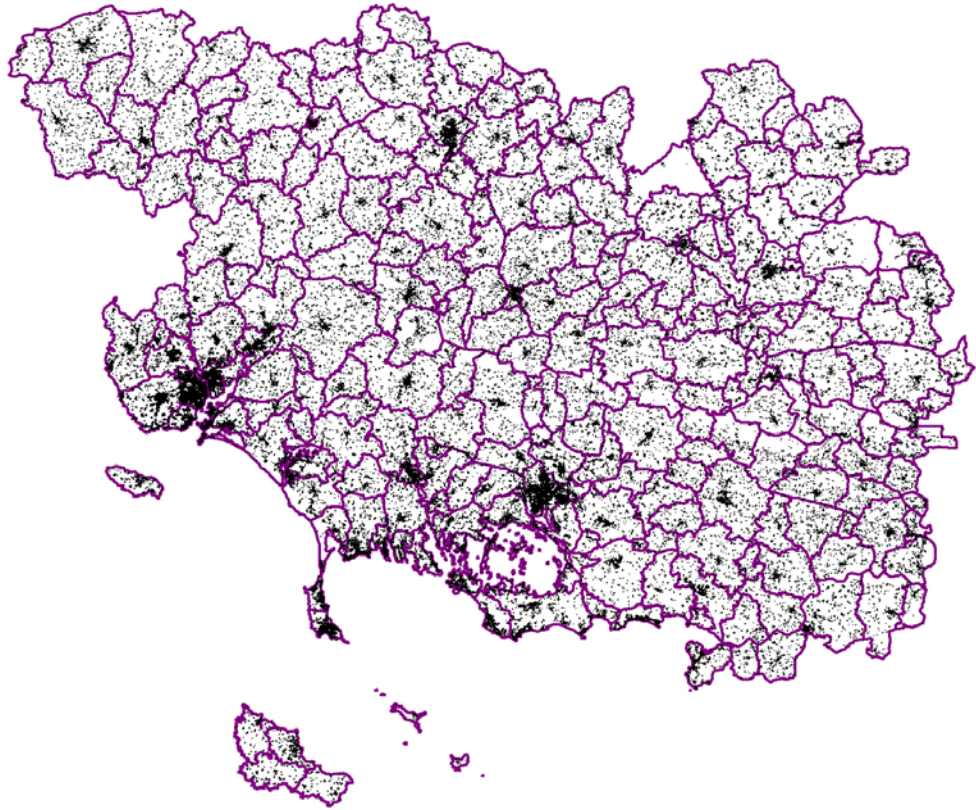


Illustration 65 - Carte des zones urbanisées du département du Morbihan (Source DDEA56 -BD Topo IGN)

La surface totale des zones bâties du département a été ainsi estimée à **73,73 km²**, soit environ **1,08 %** de la superficie du département.

La superposition de : (1) la carte des formations argileuses ou marneuses, avec celle (2) des zones bâties, montre que la surface totale occupée par les zones bâties dans les formations géologiques argileuses ou marneuses, est de **21 km²**; ce qui correspond à **0,86 %** de la surface totale des formations argileuses ou marneuses.

Les surfaces bâties et les nombres de sinistres recensés sont indiqués, pour chaque formation géologique argileuse, sur l'illustration 66. Ces éléments permettent de calculer des densités de sinistres par formation géologique, en prenant en compte la surface de la zone bâtie de la formation. Les résultats montrent que la prise en compte du taux d'urbanisation modifie sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques en termes de densité de sinistres, dans la mesure où le taux d'urbanisation varie d'une formation à l'autre.

N°	Code_Formation	Nom_Formation	Surf. (km²)	Bati (km²)	Nb_sin	Note suscep.	Densité	Note Sin
1	FzI	Alluvions récentes tourbeuses, Holocène	8,80	0,005	0	2	N.S.	N.S.
2	Fz	Alluvions récentes, Holocène	342,70	1,404	2	1	142	2
3	Fy	Alluvions des basses terrasses, Pléistocène	60,31	0,834	8	1	959	3
4	Fx	Alluvions des hautes terrasses, Pléistocène	35,31	0,643	0	1	N.S.	N.S.
5	Fp	Alluvions fluviales "anciennes", Quaternaire	9,59	0,084	0	1	N.S.	N.S.
6	Fw	Alluvions des très hautes terrasses, Pléistocène	37,10	0,683	1	1	N.S.	N.S.
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	0,36	0,000	0	1	N.S.	N.S.
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	94,79	0,375	0	1	N.S.	N.S.
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	169,52	0,705	1	1	N.S.	N.S.
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène	4,27	0,036	0	2	N.S.	N.S.
11	My	Cordon littoral ancien, Pléistocène à Holocène	6,80	0,165	0	1	N.S.	N.S.
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, siltite vaseuse, shore des estuaires, Holocène	76,25	0,531	0	2	N.S.	N.S.
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviaux de couleur rouge à blanc, Pliocène	28,58	0,263	0	1	N.S.	N.S.
14	pA	Facès argileux ou marro-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	0,29	0,006	1	3	N.S.	N.S.
15	p-IVB	Formation de Batahon, argiles - Plio-quaternaire	0,23	0,006	0	3	N.S.	N.S.
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	10,26	0,054	0	1	N.S.	N.S.
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	0,77	0,005	0	1	N.S.	N.S.
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	9,13	0,217	14	2	N.S.	3
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	0,04	0,001	0	3	N.S.	N.S.
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	0,20	0,000	0	1	N.S.	N.S.
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	1,61	0,026	0	1	N.S.	N.S.
22	A	Argiles d'altération - Age ?	15,19	0,174	0	1	N.S.	N.S.
23	RIII	Epannage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	114,90	1,038	0	1	0	1
24	Abs	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques	277,40	2,643	0	1	0	1
25	AKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	19,84	0,066	0	1	N.S.	N.S.
26	Aδδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques	0,86	0,005	0	2	N.S.	N.S.
27	Aζζ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	98,08	1,516	0	1	0	1
28	AγL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	698,82	6,306	1	1	16	1
29	ABK	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	232,42	2,415	0	1	0	1
30	Aβζ(Kδ)	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	7,08	0,050	0	1	N.S.	N.S.
31	Ao-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	79,87	0,725	0	1	N.S.	N.S.
32	Akao	Kaolin (altérites)	2,38	0,031	0	1	N.S.	N.S.

Illustration 66 - Détermination de la note densité de sinistres pour chaque formation argileuse ou marneuse du département du Morbihan

8.5.2. Détermination du critère densité de sinistres

La dernière colonne du tableau de l'illustration 64, donnait la densité de sinistres par formation argileuse ou marneuse pour 100 km² d'affleurement. Le nombre de sinistres moyen et pour 100 km² de formation réellement bâtie pour le département du Morbihan est de **133**.

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, le seuil moyen de **133** sinistres pour 100 km² réellement bâtis a été calculé et, à partir de celui-ci, les seuils de coupure pour l'attribution de notes de sinistralité, ont été établis :

- *Note 1 (faible)* : moins de **133** sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation;
- *Note 2 (moyen)* : entre **133** et **267** sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation;
- *Note 3 (fort)* : plus de **267** sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation.

REMARQUE IMPORTANTE : *Le retour d'expérience acquis sur d'autres départements a montré que pour les formations argileuses présentant une surface bâtie trop restreinte, la sinistralité n'était pas significative. A plus ou moins un sinistre, leur note de sinistralité pouvait varier de façon importante. Ces formations se sont donc vu attribuées une note de sinistralité non significative, notée « N.S. ».*

Les formations concernées ici par cet ajustement, sont les formations ayant une superficie bâtie inférieure ou égale à 0,75 km² auxquelles la note est « NS », à l'exception de la formation des Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel (e-Fx) qui présente un nombre de sinistres très importants justifiant son niveau de sinistralité élevé.

La note caractérisant ainsi la sinistralité des formations argileuses du département est résumée dans l'illustration **Erreur ! Source du renvoi introuvable..**

Cette détermination de la note de densité de sinistres montre que :

- **2** formations argileuses ou marneuses du département du Morbihan ont une note de sinistralité de **(3) : forte**.
- **1** formations argileuses ou marneuses ont une note de sinistralité de **(2) : moyenne**.
- **5** formations argileuses ou marneuses ont une note de sinistralité de **(1) : faible**.

REMARQUE IMPORTANTE : *Etant donné le nombre de formations présentant une note de sinistralité non significative et afin de traiter les formations argileuses de manière homogène, il a été décidé de ne pas prendre en compte la note de sinistralité et de définir le niveau d'aléa comme égal au niveau de susceptibilité, conformément à la méthodologie adoptée dans les départements peu sinistrés.*

9. Carte d'aléa

9.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA

L'aléa retrait-gonflement des argiles est, par définition, la probabilité d'occurrence du phénomène. Le niveau d'aléa a été ici évalué, de manière purement qualitative, pour chaque formation argileuse et marneuse, en combinant la susceptibilité et la densité de sinistres.

La susceptibilité des formations argileuses et marneuses identifiées a été caractérisée à partir de la moyenne des notes attribuées pour chacun des critères lithologique, minéralogique et géotechnique, comme indiqué au chapitre 5. L'indice de susceptibilité ainsi obtenu a été décliné en trois classes, qualifiées respectivement par une susceptibilité faible, moyenne et forte, et prend les valeurs 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 bâtis. Selon la valeur de cette densité par rapport aux valeurs seuils qui sont respectivement **133** (densité de sinistres moyenne des formations argileuses dans le département) et **266** (double de cette valeur moyenne), la note de densité de sinistres ainsi attribuée prend la valeur 1 (moins de **133** sinistres pour 100 km² de surface bâtie dans la formation), 2 (entre **133** et **266** sinistres pour 100 km² bâtis) ou 3 (plus de **266** sinistres pour 100 km² bâtis).

Etant 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.

Toutefois, de nombreuses formations n'ayant pas pu être caractérisées d'un point de vue de leur sinistralité étant donné leur très faible surface bâtie, cette note de sinistralité n'a pas été intégrée au calcul de l'aléa et la note d'aléa est alors défini comme étant égal à la susceptibilité.

Le classement ainsi obtenu est présenté sur l'illustration 67.

Ainsi, il apparaît que **3** formations argileuses ou marneuses du département du Morbihan présentent **un aléa fort** vis à vis du phénomène de retrait-gonflement des argiles. Il s'agit de :

- la formation argileuse notée **pA**, constituée du faciès argileux ou marno-silteux fossilifères et stratifiés du Pliocène. Cette formation avait déjà une forte note de susceptibilité,
- la formation argileuse notée **p-IVB** (Formation de Bétahon, argiles - Plio-quadernaire) qui peut s'apparenter à pA,

- la formation argileuse notée **e4** (sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien).

Cinq formations argileuses sont classées en **aléa moyen**, il s'agit des formations notées :

- **FzT** (Alluvions récentes tourbeuses, Holocène) ;
- **MzP** (Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, Holocène) ;
- **MzV** (Dépôts estuariens vaseux, slikke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène) ;
- **e-Fx** (Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Quaternaire) ;
- **ASD** (Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques).

Enfin l'ensemble des 24 autres formations argileuses ont été classées en **aléa faible**.

9.2. CARTE D'ALEA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessus. Le résultat de cette carte est présenté sur l'illustration 70 et en carte hors-texte 3 à l'échelle 1/125 000 (où les sinistres, les zones bâties et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont issus des cartes géologiques à la même échelle.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent **64,2 %** de la superficie départementale. Il n'est toutefois pas exclu de localement retrouver des zones argileuses d'extension limitée, en dessous du seuil cartographiable au 1/50 000ème. Ces placages ou lentilles argileuses, non cartographiés sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

Les formations argileuses et marneuses 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 formations en aléa fort ne représentent que **0,01 %** de la superficie du département ; celles en aléa moyen représentent **1,46 %** de la superficie du département alors que les formations en aléa faible constituent **34,34 %** de la superficie du département (Illustration 68).

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

N°	Code Formation	Nom Formation	Note litho.	Note géotech.	Note minéral.	Note suscept.	Surf. (km²)	Bati (km²)	Nb_sin	Niveau d'aléa
1	FzT	Tourbes, alluvions fluviales récentes tourbeuses, limons gris sombres, Holocène	3	-	-	2	8,80	0,005	0	moyen
2	Fz	Alluvions fluviales récentes, limons de débordement, Holocène	2	1	-	1	342,70	1,404	2	faible
3	Fy	Alluvions fluviales "anciennes", sables gris, argiles grises à débris végétaux, Pléistocène	2	1	1	1	60,31	0,834	8	faible
4	Fx	Alluvions fluviales "anciennes", sables et argiles, Pléistocène	1	2	-	1	35,31	0,643	0	faible
5	Fp	Alluvions fluviales "anciennes", argiles, sables, graviers et cailloux, Tertiaire	1	-	-	1	9,59	0,084	0	faible
6	Fw	Alluvions fluviales "anciennes", argiles, sables, graviers et cailloux, Pléistocène	1	1	-	1	37,10	0,683	1	faible
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	2	-	-	1	0,35	0,000	0	faible
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	2	1	-	1	94,79	0,375	0	faible
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	2	1	-	1	168,52	0,705	1	faible
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénésés, sables et tangues des salines, Holocène	3	-	2	2	4,27	0,036	0	moyen
11	My	Cordon littoral ancien, sables et argiles, plages anciennes, Pléistocène	1	-	-	1	6,80	0,165	0	faible
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, silke vaseuse, shore des estuaires, Holocène	3	-	2	2	76,25	0,531	0	moyen
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviales de couleur rouge à blanc, Pliocène	2	1	1	1	28,58	0,263	0	faible
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	4	4	4	3	0,29	0,006	1	fort
15	p-IVB	Formation de Béahon, argiles - Plio-quaternaire	4	-	4	3	0,23	0,006	0	fort
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quaternaire	2	2	1	1	10,26	0,054	0	faible
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	2	-	-	1	0,77	0,005	0	faible
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	4	2	1	2	9,13	0,217	14	moyen
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	4	-	3	3	0,04	0,001	0	fort
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	2	-	1	1	0,20	0,000	0	faible
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine, sables et argiles bartoliées - Eocène ?	3	-	1	1	1,61	0,026	0	faible
22	A	Argiles d'altération - Age ?	4	1	1	1	15,19	0,174	0	faible
23	RUII	Epannage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	2	2	1	1	114,90	1,038	0	faible
24	A6BS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques, Age ?	2	1	1	1	277,40	2,643	0	faible
25	A6KM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites, Age ?	2	-	1	1	19,84	0,066	0	faible
26	A6Z8	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiqes, Age ?	2	-	4	2	0,86	0,005	0	moyen
27	A6C5	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites, Age ?	2	1	1	1	98,08	1,516	0	faible
28	A6YL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites, Age ?	2	1	1	1	698,82	6,306	1	faible
29	A6BK	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes, Age ?	2	2	1	1	232,42	2,415	0	faible
30	A6C(K8)	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates, Age ?	2	-	1	1	7,08	0,050	0	faible
31	A6O-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques, Age ?	2	1	1	1	79,87	0,725	0	faible
32	A6kao	Kaolin (altérites), Age ?	2	1	1	1	2,38	0,031	0	faible

Illustration 67 - Calcul du niveau d'aléa des formations argileuses et marneuses

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

N°	Code_Formation	Nom_Formation	Surf. (km²)	% du départ.	Niveau d'aléa
14	pA	Faciès argileux ou marno-silteux fossilifères stratifiés et dominant, Pliocène	0,29	0,0042	fort
15	p-IVB	Formation de Bétahon, argiles - Plio-quadernaire	0,23	0,0034	fort
19	e4	Sables et argiles vertes, calcaires à nummulites, Eocène, Yprésien	0,04	0,0006	fort

TOTAUX	0,56	0,01	FORT
---------------	-------------	-------------	-------------

1	FzT	Tourbes, alluvions fluviatiles récentes tourbeuses, limons gris sombres, Holocène	8,80	0,1289	moyen
10	MzP	Sols des polders, vases et sables drainés et pédogénisés, sables et tangles des salines, Holocène	4,27	0,0626	moyen
12	MzV	Dépôts estuariens vaseux, slikke vaseuse, shorre des estuaires, Holocène	76,25	1,1175	moyen
18	e-Fx	Formation de Pénestin, argiles d'altération sous des sables, argiles et graviers, Eocène à Actuel	9,13	0,1338	moyen
26	ΑΣδ	Altérites au sens large de roches basiques et ultrabasiques	0,86	0,0127	moyen

TOTAUX	99,31	1,46	MOYEN
---------------	--------------	-------------	--------------

2	Fz	Alluvions fluviatiles récentes, limons de débordement, Holocène	342,70	5,0227	faible
3	Fy	Alluvions fluviatiles "anciennes", sables gris, argiles grises à débris végétaux, Pléistocène	60,31	0,8839	faible
4	Fx	Alluvions fluviatiles "anciennes", sables et argiles, Pléistocène	35,31	0,5175	faible
5	Fp	Alluvions fluviatiles "anciennes", argiles, sables, graviers et cailloux, Tertiaire	9,59	0,1406	faible
6	Fw	Alluvions fluviatiles "anciennes", argiles, sables, graviers et cailloux, Pléistocène	37,10	0,5437	faible
7	SA	Coulées de solifluxion à matrice argileuse abondante, Quaternaire	0,35	0,0052	faible
8	SH	Coulées de solifluxion de bas de pentes (heads) à gros blocs erratiques, Quaternaire	94,79	1,3893	faible
9	C	Colluvions des têtes de vallées, de piémonts, de dépressions et de fond de vallons, Holocène	168,52	2,4698	faible
11	My	Cordon littoral ancien, sables et argiles, plages anciennes, Pléistocène	6,80	0,0996	faible
13	p	Conglomérats, sables estuariens, parfois argileux, fluviatiles de couleur rouge à blanc, Pliocène	28,58	0,4189	faible
16	p-IV	Cailloutis, sables jaunes et rouges, parfois argileux en nappes résiduelles, Plio-quadernaire	10,26	0,1504	faible
17	Mp	Formations littorales et marines, argiles, sables et graviers anciens, Mio-pliocène	0,77	0,0113	faible
20	e-p/b	Conglomérats, sables argileux et argiles blanches à noires structurées - Eocène à Pliocène	0,20	0,0029	faible
21	III	Argiles, sables, galets "anciens" d'origine marine ; sables et argiles bariolées - Eocène ?	1,61	0,0237	faible
22	Α	Argiles d'altération	15,19	0,2226	faible
23	RIII	Epanchage résiduel de dépôts tertiaires indifférenciés et altérites tertiaires remaniées	114,90	1,6840	faible
24	ΑbS	Altérites au sens large des schistes peu à pas métamorphiques	277,40	4,0657	faible
25	ΑKM	Altérites au sens large de laves, roches volcaniques et volcanoclastites	19,84	0,2907	faible
27	Αξ	Altérites au sens large de para et ortho gneiss, migmatites	98,08	1,4375	faible
28	ΑγL	Altérites au sens large de roches de la famille des granites	698,82	10,2422	faible
29	ΑbK	Altérites au sens large de schistes métamorphiques tachetés et cornéennes	232,42	3,4064	faible
30	Αbξ(Kδ)	Altérites au sens large de roches métamorphiques riches en phyllosilicates	7,08	0,1038	faible
31	Αo-d	Altérites au sens large de roches sédimentaires paléozoïques	79,87	1,1706	faible
32	Αkao	Kaolin (altérites)	2,38	0,0349	faible

TOTAUX	2342,87	34,34	FAIBLE
---------------	----------------	--------------	---------------

Illustration 68 – Répartition des formations argileuses selon leur niveau d'aléa

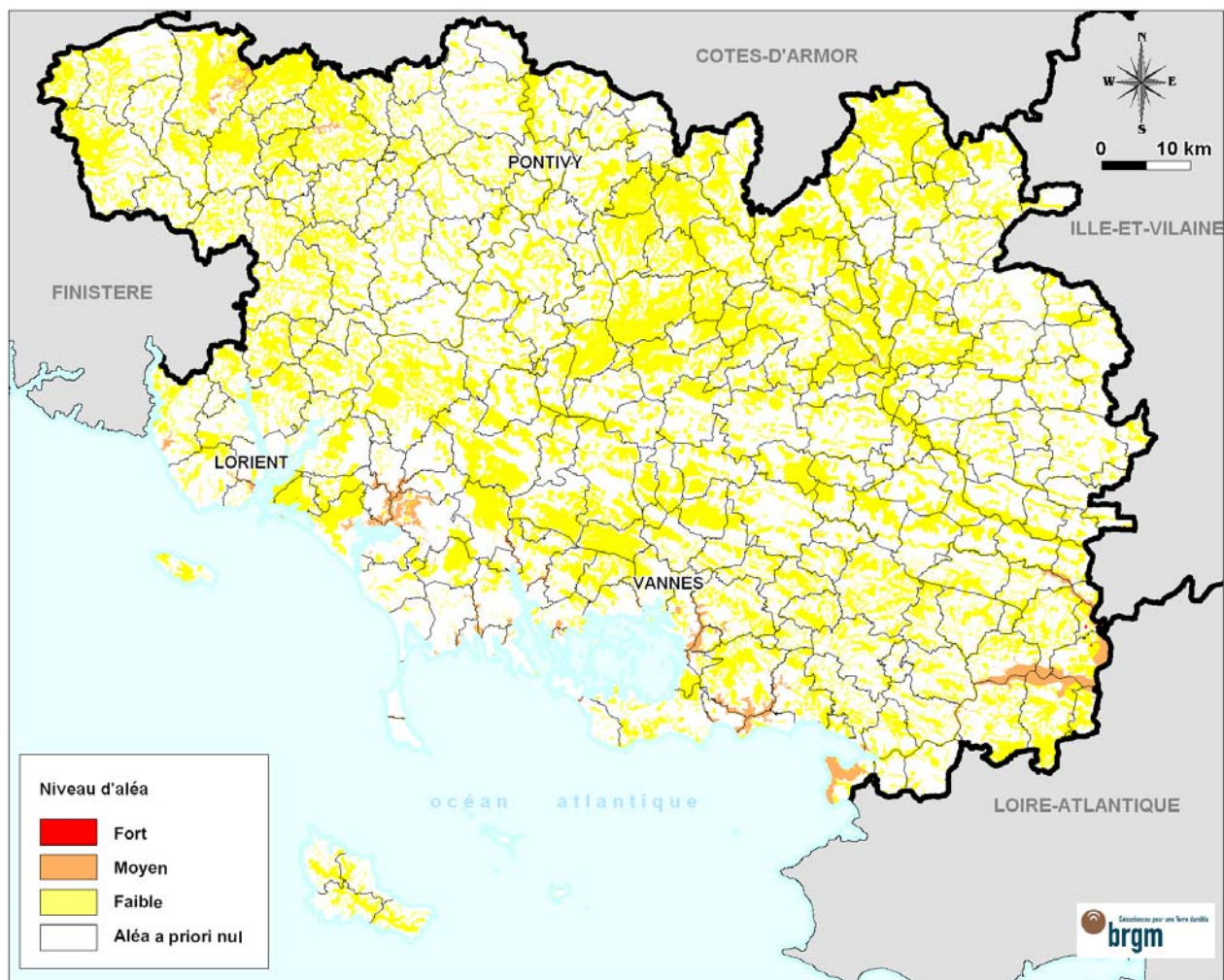


Illustration 69 - Carte de l'aléa retrait-gonflement du département du Morbihan

9.3. COMPARAISON AVEC LA LOIRE-ATLANTIQUE (44)

La comparaison entre les résultats de cette étude et ceux obtenus dans le département limitrophe de la Loire-Atlantique, du point de vue de la nature de terrains les plus impliqués dans le phénomène de retrait-gonflement, c'est-à-dire des formations argileuses ou marneuses qui, en Loire-Atlantique, ont été classées en aléa fort, montre que les argiles pliocènes « **pA** » de Saint-Jean-la-Poterie du Morbihan sont remplacées par une formation argileuse résiduelle issue de l'altération de péridotites et serpentinites (roches basiques et ultrabasiques).

Cette formation géologique d'altération n'est pas présente dans le Morbihan, tout comme les argiles pliocènes sensu stricto de Saint-Jean-la-Poterie ne le sont pas en Loire-Atlantique.

En revanche, une formation pouvant s'apparenter à la formation du Morbihan notée « **pA** », apparaît en Loire-Atlantique, sous la notation « **ep-A** » avec un aléa moyen et qui correspond à des argiles éocènes à pliocènes.

Dans le Morbihan, une formation argileuse d'altération a été créée et nommée « altérites en sens large de roches basiques et ultrabasiques », et notée $\mathcal{A}\Sigma\delta$, mais celle-ci est différente de celle de Loire-Atlantique.

Dans le Morbihan, les formations avec un aléa moyen, sont les formations notées : **p-IVB**, **e-Fx** et **e4**. La première correspond à des argiles qui s'apparentent fortement à **pA**. **e-Fx** et **e4** sont deux formations argileuses de l'Eocène mais la première est une formation argileuse d'altération et la seconde une formation argileuse sédimentaire. **e4** pourrait ainsi s'apparenter à la formation **ep-A** de Loire-Atlantique alors que la formation **e-Fx** pourraient être apparenter à l'altération des micaschistes en aléa moyen de Loire-Atlantique.

Pour résumer, pour le **Morbihan** comme pour le département de **Loire-Atlantique**, les formations argileuses ou marneuses d'origine sédimentaire de l'Eocène au Pliocène sont les formations argileuses ou marneuses qui vont présenter une plus grande prédisposition au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. A ces formations vont venir s'ajouter les formations argileuses ou marneuses dont l'origine est l'altération du substratum rocheux. Les roches de « socle » qui auront une plus grande prédisposition au phénomène, seront les altérations de micaschistes ou de roches basiques à ultrabasiques dont l'altération semblent générer un pourcentage plus important de minéraux gonflants, surtout sous un drainage déficient (Estéoule-Choux, 1967).

Les différences entre les deux départements peuvent s'expliquer par :

- l'absence de fossiles sur les formations argileuses ou marneuses en jeu et qui n'ont qu'un âge relatif,
- des cartes géologiques de différentes générations,

- ou encore des variations importantes dans les compositions minéralogiques des argiles des formations argileuses ou marneuses en jeu.

Néanmoins, les résultats obtenus entre ces deux départements sont assez proches.

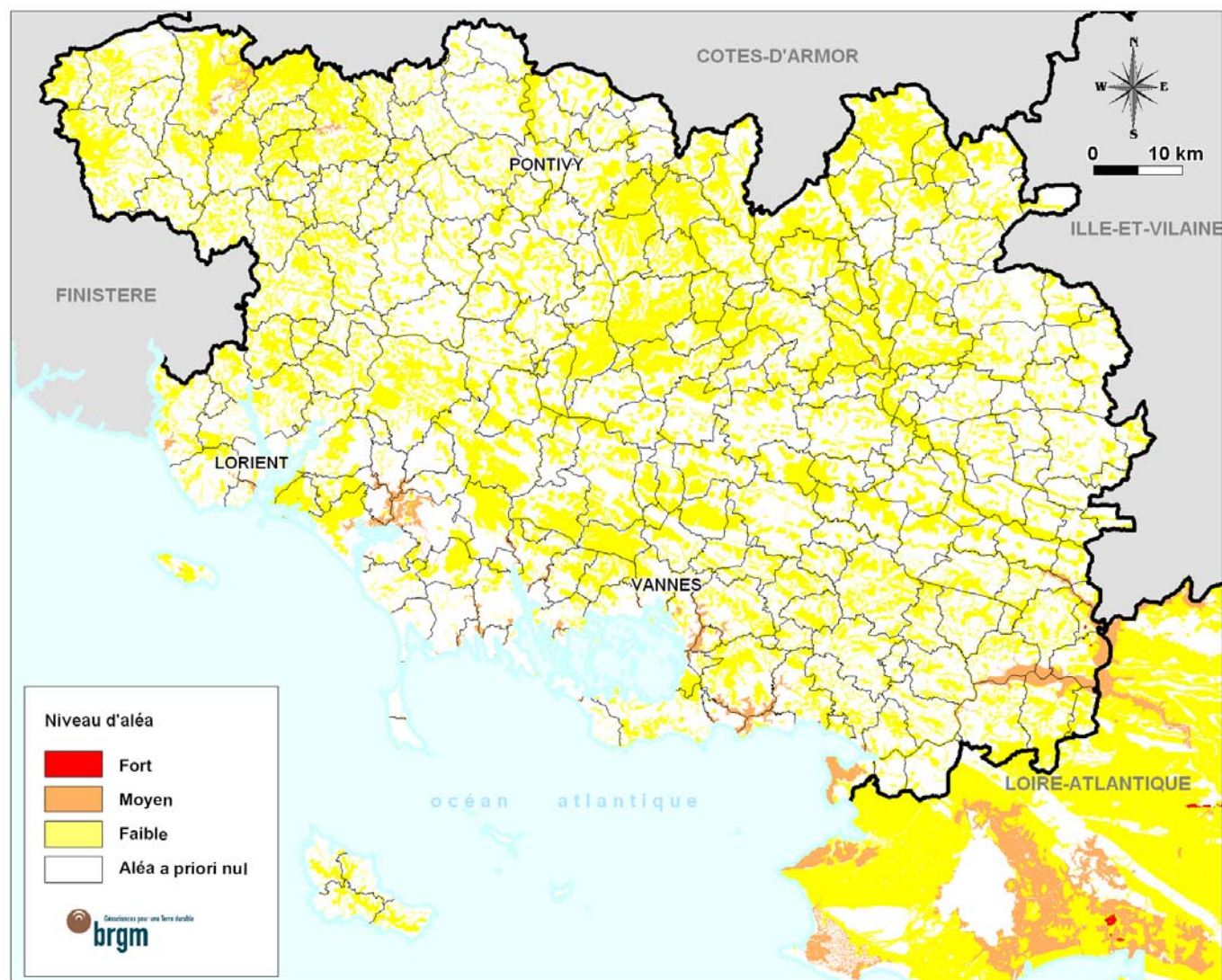


Illustration 70 - Carte de l'aléa retrait-gonflement du département du Morbihan et des départements limitrophes

9.4. SYNTHÈSE DE L'ALÉA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LE MORBIHAN

Ainsi, le département du Morbihan se caractérise par une faible proportion du département reconnue sujette à l'aléa retrait-gonflement.

La superficie en aléa fort ne fait que **0,01 %** de la superficie totale du département, et celle de l'aléa faible avec ses **34,34 %**, est largement dominante sur celle de l'aléa moyen à **1,46 %**.

Ces résultats s'expliquent en partie, par la très faible présence à l'affleurement de formations géologiques argileuses d'origine sédimentaires, susceptibles d'être riches en minéraux gonflants. Mais il n'est certainement pas à exclure, le fait que des conditions climatiques extrêmes n'aient pas totalement été « au rendez-vous ».

Pour ces départements soumis à des conditions climatiques océaniques, la note de susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement, pourrait être la note à prendre en compte principalement, puisqu'elle constitue une évaluation naturaliste de la formation argileuse.

Les formations argileuses ayant les plus grandes prédispositions au phénomène sont des formations argileuses sédimentaires tertiaires mais sur lesquelles, la surface bâtie est faible.

Ainsi les deux formations argileuses du département du Morbihan avec le plus grand nombre de sinistres, **8** sinistres pour **Fy** et **14** sinistres pour **e-Fx**, reçoivent respectivement des notes de susceptibilité et d'aléa, au retrait-gonflement des sols argileux, de faibles et de moyennes.

*Dans l'état actuel des connaissances de ce secteur, plusieurs hypothèses peuvent être avancées : (1) soit **Fy** est la même formation que **Fx**, dans ce cas le secteur de Damgan où **Fy** est présente, correspondrait à un substratum altéré, surmonté d'une terrasse alluviale ancienne de la Vilaine comme à Pénestin (**e-Fx**) ou encore (2) la formation **Fy** de Damgan serait très différente de celles du département et dans ce cas devrait être traitée seule. En ce qui concerne le secteur de Pénestin où **e-Fx** est présente, de nombreux glissements de terrain affectent la falaise composée d'**e-Fx**. Ces glissements de terrain dus à l'action des vagues, mais aussi certainement aux fluctuations du niveau de la nappe phréatique du secteur, pourraient être les acteurs des mouvements de terrain enregistrés sur cette commune. Ainsi il est possible d'envisager un mouvement de décompression du secteur bâti en retrait de la falaise engendrée par le prélèvement de matière sur le front de mer.*

Cette carte d'aléa est valide à l'échelle 1/50 000 et une de ses finalités est de servir de support à la prévention du risque à l'échelle départementale. Le niveau d'aléa correspond ainsi à la probabilité d'occurrence d'un sinistre, en un lieu donné, estimée de façon qualitative.

Si l'on souhaite raisonner à l'échelle d'un projet de construction, l'hétérogénéité des formations, telle qu'elle se manifeste à l'échelle départementale, amène à considérer le niveau d'aléa d'une formation comme une probabilité plus ou moins grande de

rencontrer, au niveau de la parcelle considérée, des argiles sujettes au phénomène de retrait-gonflement. Cela souligne ainsi l'importance de réaliser une étude de sol avant tout projet de construction dans une zone soumise à un aléa : la description de la formation et sa caractérisation vis à vis du phénomène de retrait-gonflement, telles qu'elles ont été conduites dans cette étude, peuvent alors servir de guide pour analyser les résultats obtenus sur la parcelle et les replacer dans le contexte plus général de la formation géologique identifiée.

10. 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 Morbihan, essentiellement basée sur une interprétation de la carte géologique, associée à une synthèse d'un grand nombre d'informations concernant la susceptibilité au phénomène des formations argileuses ou marneuses et 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 globale mise au point par le BRGM à la demande du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (MEEDDM) 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 soixantaine d'autres départements. D'autres études départementales sont actuellement en cours de réalisation, et le territoire national sera entièrement couvert par une telle cartographie d'ici fin 2010.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argileuses ou marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et d'observations bibliographiques existantes. La carte synthétique recense en définitive **32 formations argileuses ou marneuses**, dont une des caractéristiques est la forte hétérogénéité, liée à leurs conditions de dépôts ou leur altération superficielle.

Ces formations argileuses ou marneuses identifiées ont 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 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 argileuses et marneuses, après une seconde hiérarchisation des formations prenant en compte non seulement la susceptibilité des formations identifiées, mais aussi la probabilité d'occurrence du phénomène. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres, en calculant pour chaque

formation sélectionnée une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement bâtie dans cette formation, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre formations. Au total, **33** sinistres (affectant, entres autres, les 3 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour la sécheresse), ont ainsi été recensés. 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 hiérarchiser les formations argileuses et marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur les 6 860 km² de superficie du département,

- seulement **0,01 %** sont classés en aléa fort ;
- **1,46 %** sont classés en aléa moyen ;
- **34,34 %** sont classés en aléa faible.

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 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 Morbihan, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l'échelle 1/125 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le point de départ pour l'élaboration de Plans de Prévention des Risques naturels (PPRN), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique 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.

11. Bibliographie

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

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

Blanchet C., (1985), Caractérisation des formations superficielles du sud des Montagnes Noires (Massif Armoricaïn) – le problème de l'altération des micas, DEA, Rennes, 65 p.

Blanchet C., (1986), Inventaires bibliographiques des indices et gisements de matériaux tertiaires en Bretagne (complément à l'inventaire bibliographique « sables rouges » réalisé en 1985), 93 p.

Borne, V., Margerel, J.-P., et Ollivier-Pierre, M.-F., L'évolution des paléoenvironnements au Paléogène dans l'Ouest de la France. Le Bassin de Safré-Nort-sur-Erdre (Loire-Atlantique, France), Bulletin de la Société géologique de France, t. 162, n°4, pp. 739-751.

Braut, N., Bourquin, S., Guillocheau, F., Dabard, M.-P., Bonnet, S., Courville, P., Estéoule-Choux J., et Stapanoff, F., (2004), Mio-Pliocene to Pleistocene paleotopographic evolution of Brittany (France) from sequence stratigraphic analysis : relative influence of tectonics and climate, *Sedimentary Geology*, 163, p. 175-210.

BRGM, (1989), Région de Bretagne, Plan Minier Breton 1986, Recherche d'argiles nobles en Ille-et-Vilaine, BRGM 89 SGN 266 BRE, 31 p., 18 ann.

BRGM, (1997), Mémento roches et minéraux industriels : Le Kaolin, Rap. BRGM, R 39949, 42 p., 7 fig., 8 tabl.

Cagnard, F., 2009, Carte géologique harmonisée du département du Morbihan. Notice technique, Rapport final, BRGM/RP-56656-FR.

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

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

Chassagneux D., Meisina C., Vincent M., Ménillet F., Baudu R. (1998) – Guide synthétique pour la prise en compte de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle nationale. *Rapport BRGM R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. h.-t.

Clément, J.-P., et Dadet, P., (1976), Recherche d'argiles en Bretagne, BRGM 76 SGN 342 BPL, 22 p., 6 ann., 3 cartes h.-t.1/200 000.

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

Durand, S., (1960), Le Tertiaire de Bretagne : Etude stratigraphique, sédimentologique et tectonique, Thèse d'état, Mémoire de la Société Géologique et Minéralogique de Bretagne, 389 p.

Durand S., Milon Y. (1962) - Influence de la morphologie et de la tectonique sur la localisation du Pliocène en Bretagne. *Mém. Soc. belg. Géol.*, n° 6.

Estéoule-Choux J., (1967), Contribution à l'étude des Argiles du Massif Armoricaire. Argiles des altérations et argiles des bassins sédimentaires tertiaires, Thèse de doctorat, Université de Rennes, série C, n° d'ordre 63, n° de série 26, 319 p.

Estéoule-Choux J. et Rozé, M., (1982), Sur l'origine de la kaolinite dans les sables rouges pliocènes du Massif armoricain, Bulletin de la Société géologique et minéralogique de Bretagne, ©, 14, 2 : p ; 91-101.

Estéoule-Choux J., Margerel J.-P., Guernet C. et Rivoalland H., (1986), Données nouvelles sur le bassin stampien de Quessoy (Massif Armoricaire); études sédimentologique et micropaléontologique du gisement du Moulin de Boguet, Revue de Micropaléontologie, vol.28, n° 4, pp.243-254

Estéoule-Choux J. et Blanchet, C., (1987), L'altération directe de muscovites et de biotites en Halloysite : Mise en évidence par microscopie électronique à balayage, Clay minerals, 22, p. 11-20.

Estéoule-Choux J., Bos P., et Blanchet C., (1988), Le Bassin tertiaire de Pipriac (Ille-et-Vilaine) : structure, mise en évidence de dépôts oligocènes, Géologie de la France, n°1, pp. 47-50.

Estéoule-Choux J., Ollivier-Pierre M.-F. (1973), Présence de dépôts lacustres d'âge éocène en Bretagne, à la Trinité-Porhoët (Morbihan), *C.R. Acad. Sci.*, Paris, 277, p. 633-635.

Estéoule J., Estéoule-Choux J., et Perret P., (1972), Etude des formations superficielles du Massif Armoricaire : Caractères distinctifs et passage des altérites et des dépôts tertiaires aux formations quaternaires, Bulletin de la Société géologique et minérale de Bretagne, série C, vol.4, n° 2, pp.97-106.

Fourniguet J. et Trautmann F., (1988), Etude sédimentologique du Redonien de Saint-Jean-la-Poterie (Morbihan), Géologie de la France, vol.1989, n° 1-2, pp.55-62.

- Guillocheau F., Bonnet S., Bourquin S., Dabard M.-P., Outin J.-M., Thomas E.,** (1998), Mise en évidence d'un réseau de paléovallées ennoyées (paléorias) dans le Massif armoricain : une nouvelle interprétation des sables pliocènes armoricains, C.R. Acad. Sci., 327, 237-243.
- Guilcher A.,** (1948), Le relief de la Bretagne méridionale, de la Baie de Douarnenez à la Vilaine. Thèse d'Etat Paris, La Roche-sur-Yon, 682 p.
- Lachassagne, P. et Wyns, R.,** (2005), *Aquifères de socle : nouveaux concepts - Application à la prospection et la gestion de la ressource en eau*, Géosciences, n° 2, sept. 2005.
- Le Berre P.,** (1982), Recherche de gisements d'attapulгите et de bentonite dans le Massif Armoricain, Tome 1 et 2, Rapport BRGM, 82 SGN 175 GMX, 203 p.
- Le Berre P.,** (1989), Mémento roches et minéraux industriels : Les attapulгites (palygorskites) et sépiolites, Rap. BRGM, R 30 001, GEO SGN 89, 41 p., 1 ann.
- Le Guern, C., et Coulon, A.,** (2009), Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans la département de Loire-Atlantique, Rapport BRGM/RP-56818-FR, 131 p., 29 ill., 5 ann., 3 cartes h.-t.
- Millot G.,** (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.
- Morzadec-Kerfourn, M.-T.,** (1974), Variation de la ligne de rivage armoricaine au Quaternaire : Analyses polliniques de dépôts organiques littoraux, Thèse d'état, Rennes, Mémoire de la Société géologique et minéralogique de Bretagne 17, 208 p.
- Mougin, B., Allier, D., Blanchin, R., Carn, C., Courtois, N., Gateau, C. et Putot, E.,** (2008), SILURES Bretagne (Système d'Information pour la Localisation et l'Utilisation des Ressources en Eaux Souterraines), Rapport final, Année 5, BRGM/RP-56457-FR.
- Nicolas J.,** (1956), Contribution à l'étude géologique et minéralogiques des quelques gisements de kaolins bretons, Thèse de doctorat, Université de Paris, Série A, n°2976, n° ordre 3848, 253 p.
- Ottmann, F.,** (1981), Conséquences des dernières oscillations marines pour la géologie de l'ingénieur dans les zones littorales, Bulletin de l'Association française pour l'Etude du quaternaire, n°1, p. 53-62.
- Ollivier-Pierre M.-F.,** (1974), Découverte d'une flore éocène à la Trinité-Porhoët (Morbihan). *Bull. Soc. géol. minéral. Bretagne*, (C), VI, 2, p. 71-89.
- Perrot J. et al.,** (2005), Analysis of the Mw 4.3 Lorient earthquake sequence: a multidisciplinary approach to the geodynamics of the Armorican Massif, westernmost France, *Geophysical Journal International*, 162, 935–950.
- Prian J.-P., Donsimoni M. et Vincent M.,** (2000), Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. BRGM/RP-50376-FR, septembre 2000, 273 p., 32 fig., 11 tabl., 6 ann., 3 cartes h.-t.

Thomas E., (1999), Evolution cénozoïque d'un domaine de socle : Le massif armoricain – apport de la cartographie des formations superficielles, Thèse de doctorat, Univ. Rennes 1, 2vol. 148 p., 83 ill. et 5 cart. h.t.

Van Vliet-Lanoë, B. et Valadas, B., (1983), A propos des formations déplacées des versants cristallins des massifs anciens : Le rôle de ségrégation dans la dynamique, Bulletin de l'Association française pour l'étude du Quaternaire, vol. 4, p. 153-160.

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

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

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

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

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

Vogt, J., (1961), Notes de morphologie bretonne, *Norais*, n°31, p. 273-292.

Vogt, J., (1981), Problèmes majeurs de la cartographie des « formations superficielles » et des ses applications, Bulletin de l'Association française pour l'Etude du quaternaire, vol. 18, n°1, p.5-7.

Wyns, R., (1991), L'utilisation des paléosurfaces continentales en cartographie thématique probabiliste, *Géologie de la France*, n°3, pp.3-9.

Wyns, R., (1991a), Evolution tectonique du bâti armoricain oriental au Cénozoïque d'après l'analyse des paléosurfaces continentales et des formations géologiques associées, *Géologie de la France*, 3, 11-42.

Wyns, R., Quesnel, F., Simon-Coinçon, R., Guillocheau, F., et Lacquement, F., (2003), Major weathering in France related to lithospheric deformation, *Géologie de la France*, n°1, p.79-87.

Wyns, R., (2007), *Géologie de la surface, (0-100m), Impact des paléooltérations sur les propriétés des roches*, Formation et Document interne BRGM, 98p.

Cartes géologiques et Notices explicatives:

Audren C., Jégouzo P., Barbaroux L, Bouysse P., 1975, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **La RocheBernard (449)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec C. Audren, P. Jégouzo, L. Barbaroux, Ph. Bouysse, J. Barruol, 38 p.

Audren C., Jégouzo P., Barbaroux L, Bouysse P., Barruol J., 1975, Notice explicative, feuille **La RocheBernard (449)**, Orléans : BRGM, 38 p., Carte géologique par C. Audren, P. Jégouzo, L. Barbaroux, Ph. Bouysse, 1975.

Audren C., Hirbec Y., Plaine J., 1982, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Belle-Ile-en-Mer, Iles Houat et Hoedic (447477)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec C. Audren, J. Plaine, 38 p.

Audren C., Plaine J., 1982, Notice explicative, feuille **Belle-Ile-en-Mer, Iles Houat et Hoedic (447477)**, Orléans : BRGM, 38 p., Carte géologique par C. Audren, Y. Hirbec, J. Plaine, 1982.

Audren C., Triboulet C, avec la collaboration de Goyallon J., Lefort J.P., Jégouzo P., 1993, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Ile de Groix (415)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec C. Audren, C. Triboulet, L. Chauris, J.P. Lefort, J.L. Vignerresse, J. Audrain, D. Thiéblemont, J. Goyallon, P. Jégouzo, P. Guennoc, C. Augris, A. Carn, 101 p.

Audren C., Triboulet C., Chauris L., Lefort J.P., Vignerresse J.L., Audrain J., Thiéblemont D., Goyallon J., Jégouzo P., Guennoc P., Augris C., Carn A., 1993, Notice explicative, feuille **Ile de Groix (415)**, Orléans: BRGM. 101p. Carte géologique par Audren C., Triboulet C, avec la collaboration de Goyallon J., Lefort J.P., Jégouzo P., 1993.

Béchenec F., Hallégouët B., 2001, Carte géologique de la France (1/50 000), feuille **Rosporden (347)**, Orléans : BRGM, Notice explicative par Béchenec F., Hallégouët B., Thiéblemont D. avec la collaboration de Guerrot C., Cocherie A., Carn A., 121 p.

Béchenec F., Hallégouët B., Thiéblemont D. avec la collaboration de Guerrot C., Cocherie A., Carn A., 2001, Notice explicative, feuille **Rosporden (347)**, Orléans : BRGM, 121 p., Carte géologique par Béchenec F., Hallégouët B., 2001.

Bos P., Clément J.P., Castaing C., Cassard D., Martin P., 1997, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Rostrenen (312)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec P. Bos, J.P. Clément, Chantraine J., Lemeille et coll., 132 p.

Bos P., Clément J.P., Chantraine J., Lemeille, 1997, Notice explicative, feuille **Rostrenen (312)**, Orléans : BRGM, 132 p., Carte géologique par P. Bos, J.P. Clément, C. Castaing, D. Cassard, P. Martin 1997.

Dadet P., Sagon J.P., Bos P., Chantraine J., Laville P., 1986, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Pontivy (313)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec P. Dadet, P. Bos, J. Chantraine, J.P. Laville, J.P. Sagon, 77 p.

Dadet P., Sagon J.P., Bos P., Chantraine J., Laville P., 1986, Notice explicative, feuille **Pontivy (313)**, Orléans : BRGM, 77 p., Carte géologique par P. Dadet, P. Bos, J. Chantraine, J.P. Laville, J.P. Sagon, 1986.

Dadet P., Herrouin Y., Blanchet C., Bardy P., Colleau A., 1995, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Pipriac (387)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec P. Dadet, Y. Herrouin, P. Bardy, P. Lebret, F. Trautmann, A. Carn, 75 p.

Dadet P., Herrouin Y., Bardy P., Lebret P., Trautmann F., Carn A., 1995, Notice explicative, feuille **Pipriac (387)**, Orléans : BRGM, 75 p., Carte géologique par Dadet P., Herrouin Y., Blanchet C., Bardy P., Colleau A., 1995.

Delfour J., Trautmann F., Fourniguet J., Scanvic J.Y., Pivette B., Prian J.P., Militon C., Manigault B., 1984, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Redon (419)**, Orléans : BRGM, Notice explicative par J. Fourniguet, F. Trautmann, 69 p.

Fourniguet J., Trautmann F., 1984, Notice explicative, feuille **Redon (419)**, Orléans : BRGM, 69 p., Carte géologique par Delfour J., Trautmann F., Fourniguet J., Scanvic J.Y., Pivette B., Prian J.P., Militon C., Manigault B., 1984.

Horrenberger J.C., Morzadec M.T., Cogné J., 1972, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Lorient (383)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec J.C. Horrenberger, M.T. Morzadec, J. Cogné, 19 p.

Horrenberger J.C., Morzadec M.T., Cogné J., 1972, Notice explicative, feuille **Lorient (383)**, Orléans : BRGM, 19 p., Carte géologique par J.C. Horrenberger, M.T. Morzadec, J. Cogné, 1972.

Le Gall B., Garreau J., 1988, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Gourin (311)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec B. le Gall, M. Billa, P. Bos, J. Garreau, M. LeGoffic, S. Paradis, 81 p.

Le Gall B., Billa M., Bos P., Garreau J., LeGoffic M., Paradis S., 1988, Notice explicative, feuille **Gourin (311)**, Orléans : BRGM, 81 p., Carte géologique par B. le Gall, J. Garreau, 1988.

Plaine J., Pivette B., Jégouzo P, Guérin D., Hallégouët B., 1982, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Questembert (418)**, Orléans : BRGM, Notice explicative avec J. Plaine, B. Hallégouët, Y. Quété, 63 p.

Plaine J., Hallégouët B., Quété Y., 1982, Notice explicative, feuille **Questembert (418)**, Orléans : BRGM, 63 p., Carte géologique par Plaine J., Pivette B., Jégouzo P., Guérin D., Hallégouët B., 1982.

Pruvost P., Jérémme E., Le Maître D., Faure-Muret A., 1959, Carte géologique de la France à 1/80 000 et Notice explicative, feuille **Pontivy (74)**, 2^{ème} édition.

Quété Y., Plaine J., Hallégouët B., 1981, Carte géologique de la France à 1/50 000, feuille **Malestroit (386)**, Orléans: BRGM. Notice explicative avec J. Plaine, B. Hallégouët, Y.Quété, A. Bambier, 52 p.

Quété Y., Plaine J., Hallégouët B., 1981, Notice explicative, feuille **Malestroit (386)**, Orléans: BRGM, 52 p., Carte géologique par Y.Quété, J. Plaine, B. Hallégouët, 1981.

Sites internet :

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

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

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

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

<http://www.cadastre.gouv.fr>, <http://www.pagesjaunes.fr>, <http://www.mappy.fr>, <http://www.maporama.fr>, <http://www.claritas.fr> : sites internet utilisés pour la localisation des sinistres

<http://www.inondationsnappes.fr> : site internet du BRGM, sur les remontées de nappes phréatiques en France.

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 – Liste des sinistres “sécheresse” recensés et localisés dans le cadre de cette étude

En jaune, les communes avec arrêté de catastrophe naturelle.

N°	COMMUNE	X_LII Carto	Y_LII Carto	Form_arg
1	BEGANNE	256152	2298538	-
2	BILLIERS	236049	2290925	Fy ?
3	DAMGAN	230615	2291264	Fy ?
4	DAMGAN	226790	2291092	Fy ?
5	DAMGAN	229055	2291998	Fy ?
6	DAMGAN	228856	2291583	Fy
7	DAMGAN	226354	2290262	Fy ?
8	DAMGAN	229478	2291763	Fy ?
9	DAMGAN	229171	2291629	Fy
10	INGUINIEL	180589	2345267	Fz
11	LANGUIDIC	195610	2333272	Fz
12	LES FOUGERETS	258995	2314379	-
13	LOCMARIAQUER	202844	2298914	-
14	LOCMIQUELIC	174520	2318312	Fw
15	PENESTIN	236692	2285276	e-Fx
16	PENESTIN	236839	2285908	e-Fx
17	PENESTIN	236700	2285602	e-Fx
18	PENESTIN	236793	2285700	e-Fx
19	PENESTIN	236837	2286035	e-Fx
20	PENESTIN	236861	2285226	e-Fx
21	PENESTIN	236785	2285852	e-Fx
22	PENESTIN	236626	2285644	e-Fx
23	PENESTIN	236511	2285662	e-Fx
24	PENESTIN	236969	2285762	e-Fx
25	PENESTIN	236579	2285312	e-Fx
26	PENESTIN	238749	2286541	e-Fx
27	PENESTIN	236696	2285520	e-Fx
28	PENESTIN	239776	2287781	-
29	PENESTIN	236830	2285803	e-Fx
30	PLOEMEL	196866	2310065	LyL ?
31	PLOERMEL	246066	2337351	-
32	SAINT-JEAN-LA-POTERIE	265105	2302812	pA
33	SARZEAU	214624	2290079	C

Annexe 3 – Liste et coordonnées des entreprises, bureaux d'études et des maîtres d'ouvrages ayant fourni des données géotechniques

Coordonnées de l'Union Syndicale de Géotechnique

Union Syndicale de Géotechnique

Maison de l'Ingénierie

NOM_BE	ADRESSE_BE
EG SOL	Le Boulais - 35690 Acigné
HYDROGEOTECHNIQUE	1 rue Jean-Marie Tulou ZA de la Teillais - 35740 Pacé
ECR ENVIRONNEMENT	2 bd Jean Monnet - 56260 Larmor-Plage
FONDASOL BREST	13 rue de Maupetuis - 29200 Brest
FONDASOL NANTES	-
ARCADIS	2 rue Félix le Dantec - 29200 Brest
URETEK	ZA La Marre, r Haut Chemin - 35780 La Richardais
LABOSPORT	Technopôle du circuit des 24H du Mans - Chemin aux bœufs - 72100 Le Mans

3, rue Léon Bonnat
75 016 Paris

Coordonnées des bureaux d'études ayant fourni des données :

CETE de l'Ouest / Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc

5, rue Jules Vallès

22015 Saint-Brieuc Cedex

Coordonnées des Maîtres d'ouvrages :

CONSEIL GENERAL DU MORBIHAN

Direction Générale des Infrastructures et de l'Aménagement

Direction des routes du Morbihan

Impasse Loth
56009 Vannes Cedex

Direction interdépartementale des Routes Ouest (DiR-Ouest)

8 rue Jean-Julien Lemordant
CS 63108
35031 Rennes Cedex

DRE Bretagne - Service de Maîtrise d'Ouvrage (SMO)

L'Armorique

10 rue Maurice Fabre

CS 96515

35065 Rennes Cedex

Annexe 4 – Protocole analytique et résultats des analyses minéralogiques

Protocole analytique :

La détermination, qualitative et semi-quantitative, de la fraction argileuse < 2 µm est basée sur l'utilisation de la diffraction des rayons X.

- Principe

Le principe est basé sur la diffraction d'un faisceau incident sur une structure cristalline selon la loi de Bragg : $\lambda = 2d \sin\theta$ où λ correspond à la longueur d'onde du faisceau incident, d représente la distance inter-réticulaire du réseau cristallin analysé et θ l'angle d'incidence du faisceau. 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 (001) caractéristiques des différents minéraux argileux (Holtzappfel, 1985).

- Appareillage

L'analyse a été réalisée à l'aide d'un diffractomètre Bruker D4 Endeavor, muni d'une anticathode de cuivre et d'un détecteur rapide Lynxeye. Les modalités expérimentales nécessitent une tension de 40 kV, une intensité de 25mA. Le balayage angulaire s'étend de 2,49 à 32,5 °2θ .

- Préparation des échantillons

La technique de préparation est décrite en détail par Holtzappfel (1985). Les échantillons sont mis à déliter dans de l'eau distillée. Ils sont ensuite décarbonatés par un traitement à l'acide chlorhydrique dilué à N/5. L'excès d'acide est éliminé par rinçages successifs à l'eau distillée jusqu'à défloculation du matériel. Les suspensions obtenues sont placées en piluliers. Les micro-agrégats sont éliminés par utilisation d'un micro-homogénéisateur. La séparation de la fraction granulométrique inférieure à 2 µm s'effectue en prélevant, à l'aide d'une seringue, la partie supérieure de la suspension (1,5 cm) après décantation pendant 1 h 15 min. Ces paramètres sont calculés d'après la loi de Stokes : $t = 190 \times d^2 / X$ où t représente le temps de décantation, d le diamètre moyen des particules et X la profondeur de chute des particules de diamètre d . La fraction ainsi prélevée est centrifugée à 3500 tours/min. pendant 45 min, le culot obtenu est étalé à l'aide d'une lamelle sur une lame de verre rainurée afin d'orienter les minéraux argileux selon le plan (001).

L'analyse diffractométrique est réalisée sur trois préparations : (1) essai Naturel : échantillon séché à l'air libre, (2) essai Glycolé : échantillon saturé à l'éthylène-glycol pendant 12 heures sous vide afin de provoquer le gonflement de certains minéraux argileux, (3) essai Chauffé :

échantillon chauffé à 490°C pendant 2 heures afin de provoquer la destruction de la kaolinite et la déshydratation des minéraux smectitiques (Holtzapffel, 1985).

- **Analyse semi-quantitative**

L'identification des minéraux argileux est réalisée en confrontant la position des raies principales et des harmoniques sur les trois essais réalisés (Brindley & Brown, 1980). L'analyse semi-quantitative (Biscaye, 1965 ; Holtzapffel, 1985) est basée sur l'intégration du signal des pics principaux ($I/I_0 = 100$) caractéristiques de chacun des minéraux argileux en présence à l'aide du logiciel MacDiff (Petschick, 2000). Les minéraux smectitiques sont caractérisés par un pic à 14Å sur l'essai naturel, qui gonfle à 17Å lors de l'essai glycolé et se rétracte à 10Å pour l'essai chauffé. L'illite est caractérisée par un pic basal à 10Å pour les trois essais (naturel, glycolé et chauffé). La chlorite est déterminée par la présence de 4 pics situés à 14Å, 7.1Å, 4.75Å et 3.54Å sur les trois essais. La kaolinite est caractérisée par deux pics à 7.2Å et 3.58Å sur les essais naturel et glycolé, qui disparaissent au chauffage. La reproductibilité de l'analyse, basée sur 3 mesures par diffraction des rayons X à partir de 5 aliquotes d'une même préparation, est de 5% (Bout-Roumazeilles, 1995).

Biscaye, P.E., 1965, Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans: Geological Society of America Bulletin, v. 76, p. 803-832.

Brindley, G.W., and Brown, G., 1980, Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-ray Identification: London, Mineralogical Society, p. 495.

Holtzapffel, T., 1985, Les minéraux argileux. préparation, analyse diffractométrique et détermination: Lille, Société Géologique du Nord, 136 p.

Petschick, 2000, MacDiff, Freeware.

- **Prélèvement sur le terrain**

Les prélèvements des échantillons sur le terrain ont été réalisés à l'été et poursuivis à l'automne 2009, sur les départements du Morbihan (56) et de l'Ille-et-Vilaine (35), à l'aide d'une tarière à main.

La profondeur d'investigation a été toujours supérieure au mètre afin de s'assurer que l'échantillon était représentatif de la lithologie recherchée. Ainsi des fonds de fossés rafraîchis, des travaux en cours ou la connaissance du terrain du géologue régional ont permis d'atteindre ces objectifs.

Résultats des analyses minéralogiques :

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

ID	XLAMB2E	YLAMB2E	Obs_Terrain	Mrx gonflants % (sm + inter ill-sm)	ill %	Inter non-gonflants / verm %	Chl %	Kao %	Mrx accessoires	Ref. carte harmo	Ref. carte arg	Dept.
56BUL-1	225761.74	2336629.15	Argile d'altération limoneuse	Traces (ill-sm)	24%	14% (ill-chl)	-	62%	Quartz	R111	R111	56
56CH-3	237432.38	2342485.5	Limon d'altération faiblement argileux	-	39%	5% (ill-verm), 12% (verm)	12%	32%	Quartz, FeO(OH)	b2S	AbS	
56DAM-1	229029.21	2291671.85	Argile d'altération, allotérite	-	55%	12% (ill-chl)	4%	29%	FeO(OH), quartz	Fy	Fy	
56DAM-2	232814.63	2293576.65	Argile limoneuse	-	24%	0,12	4%	60%	FeO(OH), quartz	Mq(1)	Acz	
56GUI-1	154461.49	2354433.62	Allotérite	-	12%	-	4%	84%	FeO(OH), quartz	R111	R111	
56JEAN-1	265066.28	2302704.81	Argile gris vert	87% (87+0)	5%	-	-	8%	Quartz, FeO(OH)	pA	pA	
56LAN-1	232720.23	2348561.01	Limon argileux gris soyeux d'altération	-	1%	5% (ill-verm)	5%	80%	Quartz	R111	R111	
56MAL-1	247175.66	2307691.36	Isaltérite de granite, kaolin	-	6%	2% (chl-verm)	-	92%	-	γ1-2	γL	
56MOH-3	237569.52	2352640.3	Argile grise	-	14%	-	-	86%	-	p	p	
56PEN-1	236500.26	2285913.69	Allotérite, kaolin	-	6%	-	-	94%	-	e-Fx	e-Fx	
56PEN-2	236271.36	2286611.41	Allotérite argilo-limoneuse rouge, violet	-	2%	-	-	98%	FeO(OH)	e-Fx	e-Fx	
56PLU-1	201885.31	2340194.72	Limon d'altération	Traces (ill-sm)	16%	11% (ill-chl)	-	73%	FeO(OH)	bS1-2	AbS	
56PLU-2	201943.74	2340257.62	Limon d'altération argileux	Traces (ill-sm)	16%	15% (ill-chl)	-	69%	FeO(OH)	bS1-2	AbS	
56PLU-4	201121.6	2340900.11	Allotérite	-	7%	-	3%	90%	FeO(OH)	bS1-2	AbS	
56PON-2	208492.76	2352472.57	Allotérite limoneuse	-	4%	5% (ill-chl), 12% (verm)	22%	21%	FeO(OH)	bS1-2	AbS	
56PON-5	202223.06	2353288.86	Limon argileux	-	32%	10% (ill-chl), 20% (verm)	18%	20%	FeO(OH), quartz	γ2	γL	
56REM-1	259094.11	2328717.81	Argile d'altération ocre grise	44% (44+0)	41%	5% (chl-verm)	-	10%	FeO(OH)	o2c-5a	Ac-d	
56RIAN-2	178306.07	2314994.58	Argile verte	69% (69+0)	15%	-	-	16%	-	e4	e4	
56RU-2	255012.65	2324571.84	Limon argileux	-	45%	2% (ill-verm)	5%	48%	-	b3S	AbS	
56STB-2	191954.95	2362793.95	Limon argileux orangé	18% (0+18)	18%	-	4%	60%	-	o2	Ac-d	
35AU-1	308455.61	2370224.23	Marne noire	-	42%	-	-	58%	-	d1a	Ac-d	35
35BOU-1	294942.27	2333359.4	Sables argileux	-	44%	8% (ill-verm)	-	48%	FeO(OH), goethite	o5b-6	Ac-d	
35BOU-4	296191.51	2333679.27	Argiles d'altération	-	62%	2% (chl-verm)	14%	22%	-	o5b-6	Ac-d	
35CHAR-2	299641.83	2345500.68	Argile d'altération	-	30%	-	-	70%	-	e	e	
35COU-1	314392.39	2325823.49	Isaltérite	-	81%	-	-	19%	-	o5a	Ac-d	
35GAH-2	314002.63	2373603.28	Sable argileux	-	12%	14% (ill-verm)	-	74%	Quartz traces	d1a	Ac-d	
35GAH-3	315268.83	2372539.63	Allotérite	-	80%	5% (ill-verm)	5%	10%	FeO(OH)	o2	Ac-d	
35GLAN-2	293071.5	2390269.18	Argile barriolée	64% (64+0)	3%	-	6%	27%	Quartz	RS9	γL	
35GUER-1	270031.41	2342655.63	Argile limoneuse ocre	-	38%	9% (ill-verm)	-	53%	-	o2a	Ac-d	
35LIF-1	312888.57	2363109.01	Argile grise claire argentée	-	46%	-	-	54%	Quartz	Ac	Ac	
35LIF-2	314196.7	2364597.7	Argile rouge	-	27%	10% (ill-verm), 3% (verm)	-	60%	FeO(OH)	o2b-5a	Ac-d	
35LIL-1	290072.58	2406478.75	Argile grise	49% (0+49)	34%	-	6%	11%	Quartz	FMzL	MzP-MzV	
35LIL-2	294816.24	2407244.64	Argile grise	27% (19+8)	49%	-	9%	15%	Quartz	FMzL	MzP-MzV	
35LOU-1	269298.52	2335595.98	Argile verte	1% (0+1)	67%	-	4%	28%	Quartz	Fy	Fy	
35LOU-2	270122.26	2335139.2	Argile sombre	10% (2+8)	38%	35% (verm)	5%	12%	Quartz	Fy	Fy	
35MED-3	302727.81	2371488.02	Argile rouge	24% (0+24)	45%	-	7%	24%	FeO(OH)	p-IV	p-IV	
35MED-5	298033.99	2370097.06	Argile barriolée	41% (0+41)	21%	-	6%	32%	FeO(OH), quartz	OE	OE	
35PON-1	299044.13	2342027.92	Argile noire pourprée	7% (sm-chl)	7%	-	-	86%	Quartz	e7-g1	e s.l.	
35PON-2	299117.91	2342044.18	Argile noire pourprée	7% (sm-chl)	5%	-	-	88%	Quartz	e7-g1	e s.l.	
35XLAN-3	290876.04	2389328.58	Argile barriolée verdâtre	-	15%	-	-	85%	Traces de quartz	RS9	AbK	
35PON-3	299204.41	2342002.71	Argile d'altération colluvionnée	57% (57+0)	4%	-	-	39%	FeO(OH)	e7-g1	e s.l.	



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

Service géologique régional Bretagne
RENNES Atalante Beaulieu
2, rue Jouanet
35 700-Rennes
Tél. : 02 99 84 26 70 / Fax : 02 99 84 26 79