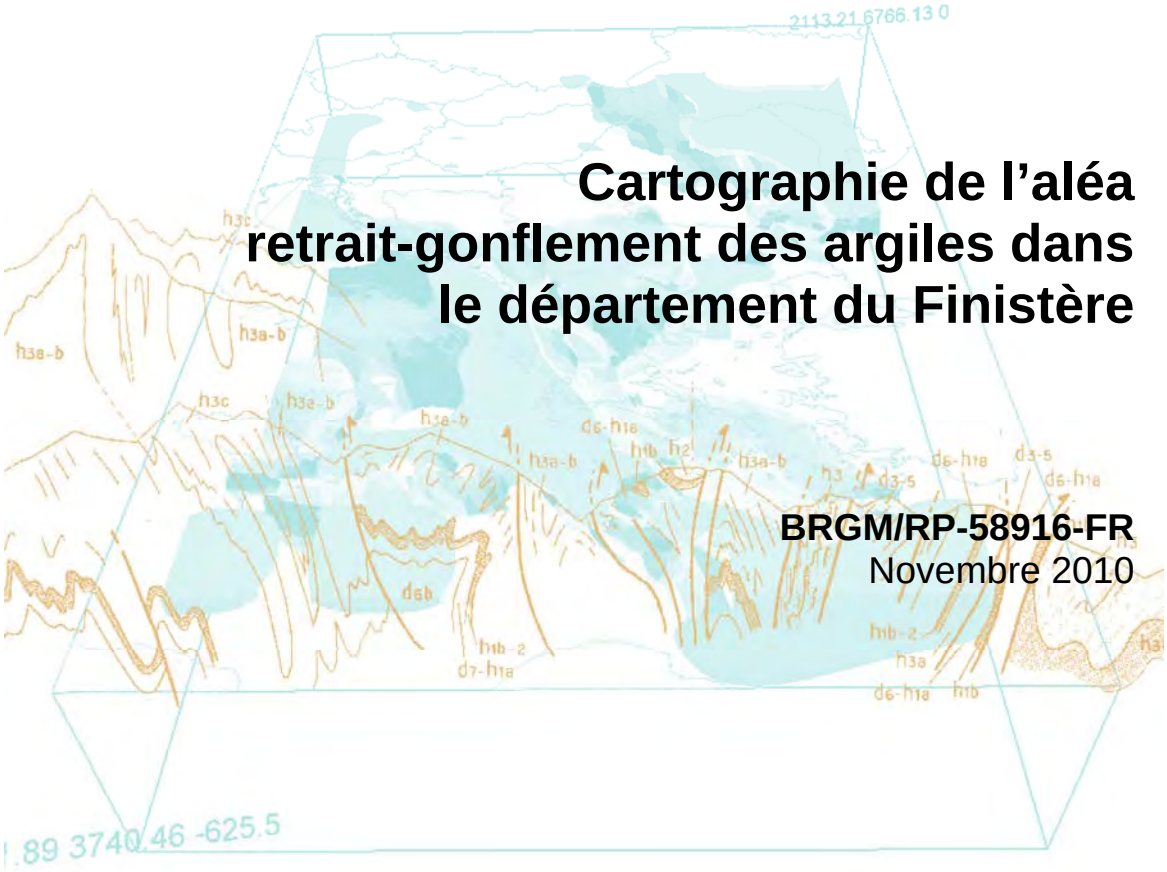


Document public



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

BRGM/RP-58916-FR
Novembre 2010

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PREFECTURE DU FINISTERE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Direction Départementale des Territoires et de la Mer du FINISTERE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

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

Novembre 2010

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public **08RISD04**

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

Vérificateur :	**Approbateur :**
Nom : Sylvestre Le Roy	Nom : Eric Palvadeau
Date : 22/11//2010	Date : 1/12/2010
Signature :	Signature **:**

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

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

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFECTURE DU FINISTÈRE

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Direction Départementale des Territoires et de la Mer du FINISTERE

Géosciences pour une Terre durable
brgm

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

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

Schroetter J.-M., avec la collaboration de Launay E., Desprez A., Imbault M., Le Roy S. et Plat E. (2010) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Finistère. Rapport BRGM/RP-58916-FR. 118 p., 35 ill., 3 ann., 3 cartes h.-t.

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

Synthèse

Les phénomènes de retrait-gonflement de certaines formations géologiques argileuses affleurantes provoquent des tassements différentiels qui se manifestent par des désordres affectant principalement le bâti individuel. En France métropolitaine, ces phénomènes, mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976, ont pris une réelle ampleur lors des périodes sèches des années 1989-91 et 1996-97, puis dernièrement au cours 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 Finistère, 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 Finistère est peu concerné par ce phénomène lié à la sécheresse en comparaison par exemple avec le département de l'Ille-et-Vilaine où 159 sinistres ont été recensés.

Bien qu'aucune commune du Finistère n'ait été reconnue en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène à ce jour, il n'est pas impossible que le phénomène ne se soit produit. Seulement **6** sinistres ont été recensés dans le cadre de la présente étude. La faible sinistralité constatée peut s'expliquer par le fait que la population finistérienne soit peu sensible à cet aléa, et ne se manifeste donc pas en cas de désordres.

L'analyse des données de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) n'a pas fourni de données, aucun sinistre n'ayant fait l'objet d'une indemnisation dans le département.

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 CO_2 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 Finistère.

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, au nombre de **10**, 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 Finistère 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 Armoricain, même s'il est constitué de roches magmatiques et originellement sédimentaires, a subi deux orogénies les ayant transformées en roches métamorphiques généralement non argileuses (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 ameublies 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 dans ce contexte géologique. Cependant, ces formations géologiques ne sont représentées sur les cartes géologiques que depuis un peu plus d'une dizaine d'années environ. Alors que pour les autres départements bretons, l'option avait été prise d'évaluer ces formations géologiques sur les cartes géologiques où elles n'étaient pas présentes, cela n'a pas été possible sur département du Finistère, car il s'est avéré que la géométrie des profils d'altération étaient trop complexes. Cette évaluation aurait pu être réalisée à partir de **2 446** sondages saisis pour cette étude et provenant d'études géotechniques, de **2 455** sondages avec coupes géologiques présentes, issus de la banque de données du sous sol (BSS), dont **470** avec des argiles dans la tranche 0-10m, de **2 353** autres issus de l'étude SILURE et de l'analyse géomorphologique.

La quasi-absence de sinistres ne permet pas une application stricte de la méthodologie nationale dans le sens où le critère de sinistralité ne peut être retenu comme discriminant pour hiérarchiser les formations argileuses du département ; une carte de la susceptibilité des formations argileuses du département du Finistère a été établie à partir de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses cartographiées, après hiérarchisation par des critères liés à la nature et au comportement des sols. En l'absence de critère de sinistralité, la carte d'aléa a donc été directement extrapolée de la carte de susceptibilité.

Sur cette carte, les zones d'affleurement des formations argileuses sont caractérisées par trois niveaux d'aléa (fort, moyen, faible). Dans le Finistère, aucune formation géologique n'a été identifiée comme étant exposée à un aléa moyen ou fort.

Sur l'ensemble du département,

- **25,8 %** en aléa faible

- **74,2 %** de la surface correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène (y compris le réseau hydrographique).

Il n'est toutefois pas exclu que, sur ces derniers secteurs considérés de susceptibilité a priori nulle, 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 de l’aléa au retrait-gonflement des terrains argileux du département du Finistère, dont l’échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l’échelle 1/150 000, pourra servir de base à des actions d’information préventive dans les communes susceptibles d’être touchées par le phénomène. Elle peut constituer 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 cet aléa, en fonction du niveau de celui-ci. S’il est mis en œuvre, 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 un 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 13

2. Méthodologie 15

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES 15
2.1.1. Facteurs de prédisposition 16
2.1.2. Facteurs de déclenchement 19

2.2. METHODOLOGIE 20
2.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses 21
2.2.2. Caractérisation lithologique, géotechnique et minéralogique des formations 21
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement ... 22
2.2.4. Carte de susceptibilité 23
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres 23
2.2.6. Détermination des densités de sinistres 23
2.2.7. Carte d'aléa 24

3. Présentation du département du Finistère 25

3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE 25

3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE 26

3.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL 29

3.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE 34

4. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses 35

4.1. DOCUMENTS ET METHODOLOGIE UTILISES 35
4.1.1. Méthode utilisée 35
4.1.2. Etablissement de la carte des formations argileuses et marneuses 37

5. Lithostratigraphie des formations argileuses et marneuses 41

5.1. LES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES QUATERNAIRES 41
5.1.1. Formation 1 – FLMz – Dépôts sablo-argileux littoraux – Holocène 42
5.1.2. Formation 2 – T-Mly - Dépôts tourbeux interstratifiés – Pléistocène - Holocène 44
5.1.3. Formation 3 – Fz - Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets – Holocène 45
5.1.4. Formation 4 – Fy-x - Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène 47
5.1.5. Formation 5 - CsGP - Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire 48

5.1.6. Formation 6 – OE_ind - Loess et limons des plateaux, pléniglaciaires - Quaternaire 50
5.1.7. Formation 7 – HT - Hautes terrasses (du galet aux argiles) - Tertiaire à Quaternaire 51

5.2. LES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES TERTIAIRES 53
Formation 8 - e - Argiles, sables, sables argileux, galets – Eocène 54

5.3. LES FORMATIONS ARGILEUSES D'ALTERATION (𝒜K ET 𝒜) 56
5.3.1. Généralités 56
5.3.2. Evaluation des altérites 59
5.3.3. Formation 9 – 𝒜K - Argiles et sables kaoliniques – Tertiaire 59
5.3.4. Formation 10 - 𝒜 - Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire 61

5.4. REMARQUES SUR LES FORMATIONS NON ARGILEUSES 62

6. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations argileuses et marneuses et élaboration de la carte de susceptibilité 63

6.1. GENERALITES SUR L'ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE 63
6.1.1. Critères retenus 63
6.1.2. Méthode de classification 63

6.2. CRITERE LITHOLOGIQUE 64
6.2.1. Définition du critère lithologique et barème 64
6.2.2. Caractérisation lithologique des formations argileuses et marneuses du département du Finistère 65

6.3. CARACTERISATION MINERALOGIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES 65
6.3.1. Définition du critère minéralogique et barème 65
6.3.2. Source des données 66
6.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département du Finistère 67

6.4. CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES 69
6.4.1. Définition du critère géotechnique et barème 69
6.4.2. Généralités sur les expertises de sinistres et les analyses géotechniques 70
6.4.3. Source des données 74
6.4.4. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département du Finistère 75

6.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE 78
6.5.1. Détermination du degré de susceptibilité 78
6.5.2. Susceptibilité des formations argileuses et marneuses 78
6.5.3. Carte de susceptibilité 80

7. Analyse de la sinistralité 83

7.1. PROCEDURE DE DEMANDE DE RECONNAISSANCE DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE 83

7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES 84

7.2.1. Localisation des communes sinistrées 84

7.2.2. Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle 85

7.3. COLLECTE DES DONNEES DE SINISTRES 85

7.4. REPARTITION DES SINISTRES PAR FORMATION GEOLOGIQUE ET DENSITES DE SINISTRES 85

7.5. FREQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTEE A LA SURFACE BATIE 86

7.5.1. Détermination du taux d'urbanisation par formation 86

7.5.2. Détermination du critère densité de sinistres 87

8. Carte d'aléa 89

8.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA 89

8.2. CARTE D'ALEA 90

8.3. COMPARAISON AVEC LES DEPARTEMENTS LIMITROPHES 91

8.4. SYNTHESE DE L'ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LES COTES D'ARMOR 93

9. Conclusion 95

10. Bibliographie 97

Liste des illustrations

Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche 15

Illustration 2 – Situation géographique du département du Finistère (CNA : Cisaillement Nord Armoricain ; CSA : Cisaillement Sud Armoricain) ; Tiré de la BDALTI, IGN.Carte de présentation du Finistère 26

Illustration 3 – Données météorologiques de l'année 2003, station de Brest (source Météo France) 29

Illustration 4 – Carte géologique du département du Finistère (extrait de la carte géologique au 1/250 000) 33

Illustration 5 – Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du Finistère 35

llustration 6 – Cartes du département du Finistère montrant l'ensemble des données receuillies et utilisées pour cette étude. 38

Illustration 7 – Carte géologique départementale des formations argileuses et marneuses du Finistère 39

Illustration 8 - Répartition départementale de la formation FLMz 44

Illustration 9 - Répartition départementale de la formation T-Mly 45
Illustration 10 - Répartition départementale de la formation Fz 46
Illustration 11 - Répartition départementale de la formation Fy-x 48
Illustration 12 - Répartition départementale de la formation CsGP 50
Illustration 13 - Répartition départementale de la formation OE ind 51
Illustration 14 - Répartition départementale de la formation HT 53
Illustration 15 - Répartition départementale de la formation e 56
Illustration 16 – Profils d'altération dans des roches de type granite, à gauche et dans des roches de type schiste, à droite (Thomas, 1999) 59
Illustration 17 - Répartition départementale de la formation $\mathscr{A}$K 60
Illustration 18 - Répartition départementale de la formation $\mathscr{A}$ 62
Illustration 19 – Hiérarchisation de la susceptibilité en fonction de la nature argileuse de la formation 64
Illustration 20 – Note lithologique des formations argileuses et marneuses 65
Illustration 21 – Hiérarchisation des formations en fonction du pourcentage de minéraux gonflants 66
Illustration 22 - Synthèse des données minéralogiques et note minéralogique 68
Illustration 23 - Classification des sols selon le guide GTR92 (source © LCPC) 70
Illustration 24 – Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de l'indice de plasticité de la formation 72
Illustration 25 - Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation 72
Illustration 26 - Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation 73
Illustration 27 - Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation 74
Illustration 28 - Note géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département du Finistère 77
Illustration 29 - Barême d'attribution d'un niveau de susceptibilité d'une formation argileuse 78
Illustration 30 - Degré de susceptibilité pour chaque formation argileuse ou marneuse du département du Finistère 79
Illustration 31- Tableau synthétique sur la susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement des formations argileuses du département du Finistère 80
Illustration 32 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des formations argileuses ou marneuses du département du Finistère 81
Illustration 33 – Surface batie par formations argileuses ou marneuses du département du Finistère 86
Illustration 34 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux du Finistère 91

Illustration 35 – Juxtaposition des cartes d'aléa limitrophes au Finistère.....92

Liste des annexes

Annexe 1 – Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles 107

Annexe 2 – Liste et coordonnées des entreprises, bureaux d'études et des maîtres d'ouvrages ayant fourni des données géotechniques.....111

Annexe 3 – Protocole analytique et résultats des analyses minéralogiques.....115

Liste des cartes hors-textes

Carte 1 – Carte départementale synthétique des formations argileuses et marneuses (échelle 1/150 000)

Carte 2 – Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des argiles (échelle 1/150 000)

Carte 3 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des argiles (échelle 1/150 000)

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 significatives) et peuvent se rétracter si leur teneur en eau diminue de façon notable. Dans ce contexte, les sinistres surviennent donc surtout lorsqu'une période de sécheresse intense ou prolongée provoque l'apparition de pressions interstitielles négatives dans la tranche superficielle du sol, soumise à évapotranspiration.

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle. Depuis l'année 1989 (début d'application de cette procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et la réhydratation des sols), environ 8 000 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont été reconnues en état de catastrophe naturelle à ce titre. En juin 2010, le coût des sinistres dus à la sécheresse depuis 1989 et indemnisés en France en application de la loi de 1982 et dans le cadre de la procédure exceptionnelle pour l'été 2003 a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 4,5 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 essentiellement deux des quatre départements pour des coûts cumulés d'indemnisation de 2 200 000 euros pour l'Ille-et-Vilaine (données CCR, septembre 2008), le classant en 58^{ième} position des départements français, et de 407 000 euros pour le Morbihan, le classant en 75ème position. Le département du **Finistère** (comme celui des Côtes d'Armor) n'a pas fait l'objet à ce jour d'arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle pour ce poste.

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 CO_2 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 Finistère.

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.

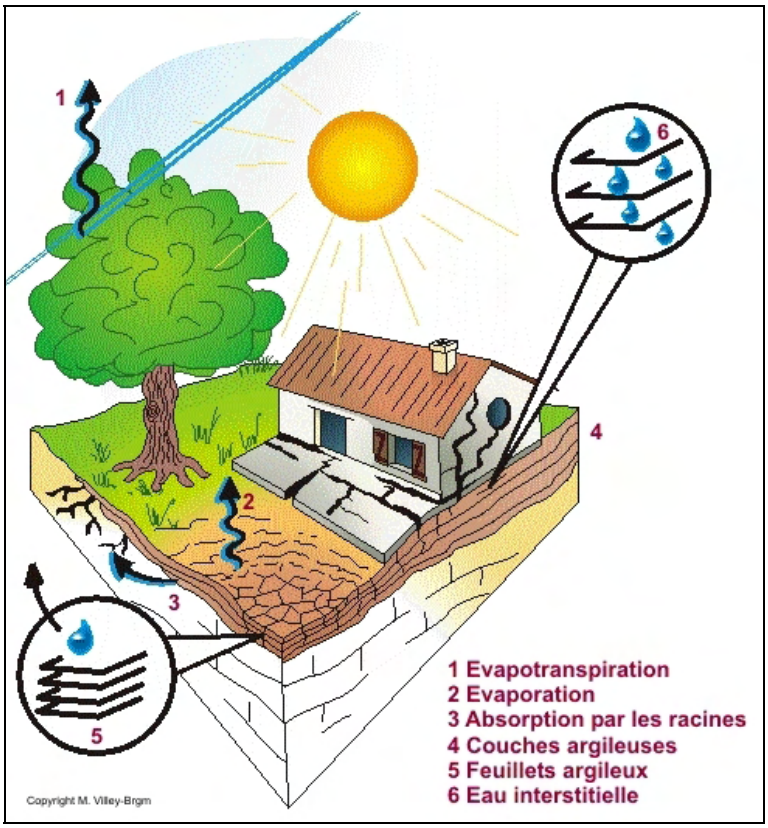


Illustration 1 – Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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).

2.1.1. Facteurs de prédisposition

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

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.

Géomorphologie

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

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

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

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.

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 80 cm).

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

2.1.2. Facteurs de déclenchement

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.

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.

2.2. 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 (Chassagneux et *al.*, 1995 ; 1996) et des Deux-Sèvres (Vincent et *al.*, 1998), puis dans l'Essonne (Prian et *al.*, 2000) et en Seine-Saint-Denis (Donsimoni et

al., 2001). Cette méthodologie a été validée par le ministère 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 : l'ensemble de la région Bretagne sera couvert d'ici fin 2010.

2.2.1. 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, 2008). 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 :

- **2 446** sondages saisis pour cette étude et provenant d'études géotechniques ;
- **2 455** sondages issus de la banque de données du sous sol (BSS) gérée par le BRGM, dont **470** contenant des argiles dans la tranche 0-10 m ;
- **2 353** sondages réinterprétés lors de l'étude SILURE (Mougin et *al.*, 2008), sur lesquels avait été interprétée et extraite la base des altérites ;
- données bibliographiques diverses (thèses, DEA, rapports miniers, publications scientifiques etc.)

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 1/150 000.

2.2.2. 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'entres-elles, essentiellement à partir de la description faîte 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 réalisées par différents bureaux d'études mais aussi et surtout par le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc (LRPC Saint-Brieuc).

Ces données, **2 446** au total, ont été récoltées lors de la consultation des **283** communes du département et lors de la visite des bureaux d'études bretons et du Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc. Enfin ces données ont été recoupées avec les données bibliographiques.

Pour la caractérisation minéralogique des formations, dans un souci d'homogénéité sur les données, ce sont en priorité les analyses de diffractométrie RX menées dans le cadre du programme de cartographie de l'aléa (dont 20 pour le Morbihan, 21 pour l'Ille-et-Vilaine, 17 pour les Côtes d'Armor, et enfin **7** pour le Finistère), 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.).

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

Les facteurs ponctuels de prédisposition ou de déclenchement que sont notamment la végétation arborée, les actions anthropiques ou les défauts de construction, 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, pour une revue). 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 n'a en revanche été pris en compte que pour la cartographie des secteurs d'altération susceptibles d'être argileux. La topographie, qui peut cependant constituer un élément susceptible de conditionner la survenance de sinistres car des défauts de réalisation et de conception de fondations peuvent être fréquents sur terrain en pente, auxquels s'ajoutent à de fortes variations de teneur en eau entre l'aval et l'amont de la construction, n'a pu être intégrée 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.

2.2.4. Carte de susceptibilité

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

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

Afin d'établir la cartographie de l'aléa retrait-gonflement (qui correspond, rappelons-le, à la probabilité d'occurrence du phénomène), la méthodologie nationale prévoit de corriger la carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement 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 sécheresses a été effectué auprès de **283** communes du département. Sur les **283** communes que compte le département, le taux de réponses pour l'inventaire des sinistres a été de **62,54 %** (177 réponses). Chaque commune a été sollicitée trois fois (un courrier postal contenant une carte de la commune pour la localisation des sinistres et un tableau pour leur « listing », puis deux relances électroniques à l'aide d'un message électronique).

Une enquête a également été menée directement auprès de la Caisse Centrale de Réassurance, des bureaux d'études, de compagnies et d'experts d'assurance.

Au final, **six** sinistres, dont **cinq** sur la commune de **Daoulas** et **un** sur la commune de **Gouenach**, ont été localisés sur les cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000, et ont été recensés.

Comme aucune commune n'a fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle le recensement peut être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département du Finistère.

2.2.6. Détermination des densités de sinistres

Pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée est déterminée par superposition avec la carte des formations argileuses et marneuses du département. Ceci permet 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 BDTopo (IGN) fournie par la DDTM du Finistère dans le cadre de cette étude.

Ainsi, une hiérarchisation des formations géologiques argileuses peut être réalisée en fonction du taux de sinistres ramené à 100 km^2 de formation géologique réellement bâtie.

2.2.7. Carte d'aléa

La carte départementale d'aléa est 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 est défini en croisant, pour chaque formation argileuse, la note de susceptibilité et la densité de sinistres ramenée à 100 km^2 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. La très faible sinistralité rencontrée dans le département du Finistère rendant ce critère peu discriminant, la prise en compte de la sinistralité n'a cependant pas pu être effectuée dans ce département. Pour chaque formation argileuse, il a donc été choisi de maintenir un niveau d'aléa équivalent au niveau de susceptibilité identifié. La carte d'aléa ainsi définie est présentée en carte hors-texte sur support papier à l'échelle du 1/150 000.

3. Présentation du département du Finistère

3.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE ET GEOMORPHOLOGIQUE

Le département du Finistère est, des quatre départements bretons, le plus occidental. Situé à la pointe de la péninsule armoricaine qui s'avance tel un éperon dans l'Atlantique, il domine par de hautes falaises se terminant par des caps accentués.

Bordé par la mer au nord, à l'ouest et au sud, respectivement par la Manche, la mer d'Iroise et l'océan Atlantique, c'est le premier département côtier de France, avec **118** communes littorales sur **283** recensées, soit plus d'un dixième des communes littorales françaises. Il totalise d'ailleurs une longueur de côtes de près de 1 400 km, soit près de 19 % du littoral métropolitain.

La Bretagne est caractérisée par trois grands domaines d'altitudes supérieures à 200 m : le Plateau Ouest Armoricain (alt. max. 380 m), le Bocage Normand (alt. max. 420 m) et la Gâtine (alt. max. 295 m).

Ces trois grands domaines sont séparés par des zones d'altitudes plus basses, dont les bassins de Châteaulin et de Rennes font partie, limités par des zones de failles accompagnant ces signatures topographiques. Ces zones de failles, telles que le Cisaillement Nord Armoricain (CNA) ou le Faisceau de failles de Quessoy/Nort-sur-Erdre (FQN), définissent des variations du relief de grande longueur d'onde (> 100 km).

Le département du Finistère appartient à l'une de ces grandes structures géomorphologiques qu'est le Plateau Ouest Armoricain.

Malgré une altitude moyenne de 140 m, cette structure présente une dissymétrie Nord-Sud, marquée par des sommets plus élevés au Nord soulignés par la barre des grès armoricains des Monts d'Arrée, dans l'alignement de cette faille majeure qu'est le CNA. De part et d'autre de cette limite topographique, le Nord et le Sud du département du Finistère, sont eux aussi contrastés. La partie située au Nord du CNA est constituée d'un plateau (Trégor et Léon), d'altitude moyenne d'environ 90 m, profondément incisé par des vallées caractéristiques (les rias ou abers). En revanche, la partie sud du CNA est tripartite avec : (i) un plateau peu incisé d'altitude supérieure à 200 m, (ii) en contrebas de ce plateau, une topographie incisée, limitée au sud par le Cisaillement Sud Armoricain (CSA), d'orientation N110, enfin (iii), au sud du CSA, un domaine d'altitude avoisinant les 80 m, sans escarpement majeur avec l'océan (adapté de Bonnet, 1998).

La morphogenèse du massif armoricain s'explique par l'inégale résistance opposée par les différentes parties de la pénéplaine au travail de l'érosion. Au nord et au sud, les granites et les grès sont restés en relief sous forme de plateaux (Penthièvre, Léon, Trégor) dominés par la montagne d'Arrée et les Landes du Méné ; d'autre part, la

Cornouaille et le Vannetais sont dominés par la Montagne Noire et les Landes de Lanvaux.

Entre ces deux zones de hauteurs s'étendent, dans les schistes tendres, le bassin de Châteaulin (Illustration 2).

L'ensemble est d'une hauteur faible (moyenne : 104 m ; point culminant : 387 m au signal de Toussaines). Cette mollesse altimétrique est loin d'être monotone, car elle est l'œuvre de plusieurs orogenèses : les orogenèses cadomienne et hercynienne, l'ensemble ravivé par les deux orogénèses actuelles et contigües : les orogenèses pyrénéenne et alpine. Ainsi plusieurs cycles d'érosion ont bosselé et atténué la morphologie armoricaine.

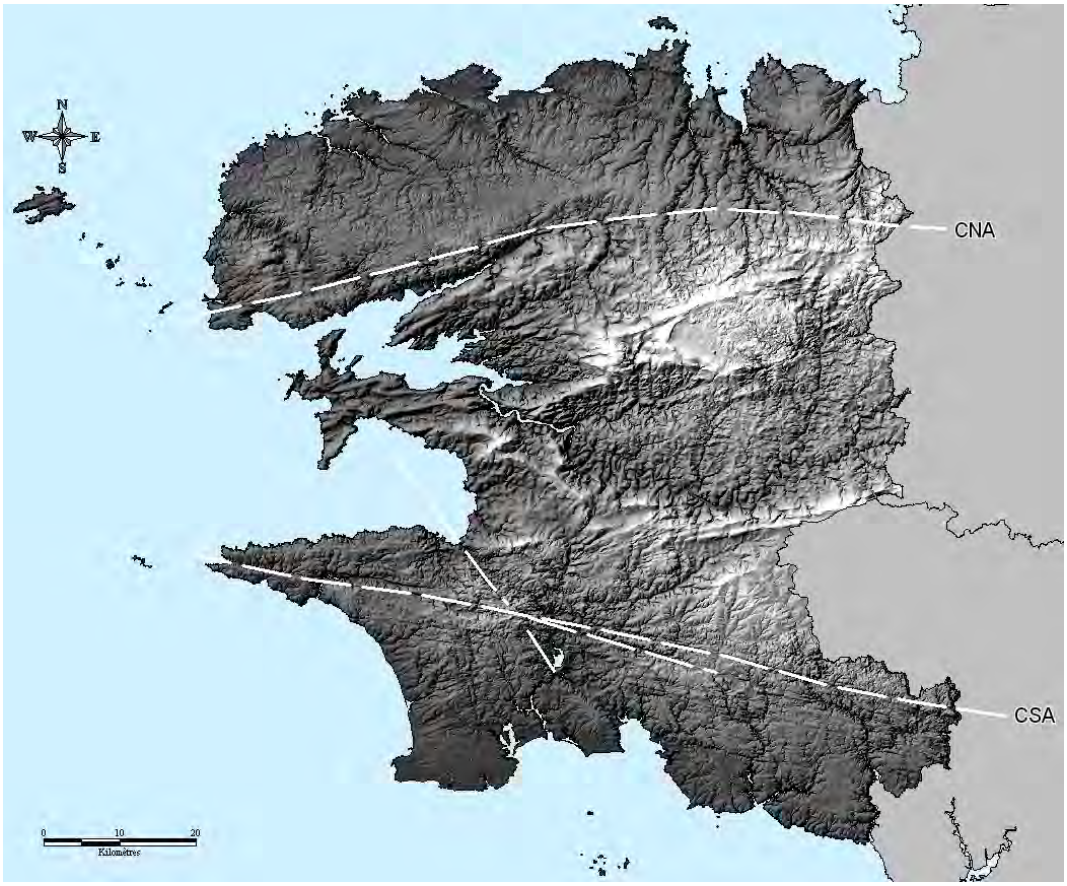


Illustration 2 – Situation géographique du département du Finistère (CNA : Cisaillement Nord Armoricain ; CSA : Cisaillement Sud Armoricain) ; Tiré de la BDALTI, IGN.

3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat du Finistère présente les caractéristiques d'un climat océanique, sous l'influence de vents d'ouest qui adoucissent les températures. Ces températures

clémentes, dans la partie nord-est, sont liées à la dérive nord-atlantique. Mais cette dérive d'ouest est aussi le siège de perturbations apportant des pluies régulières en toutes saisons.

Les hivers sont doux et les étés tempérés, les vagues de froid et de chaleur sont rares et souvent d'amplitude moindre que dans le reste de la France. Le vent est plus fort sur les côtes ouest et nord que sur la côte sud est.

Les précipitations sont étalées sur toute l'année avec un maximum en automne et en hiver. Les reliefs de l'intérieur des terres augmentent cependant sensiblement ces précipitations.

Le caractère maritime du Finistère fait qu'aucun point du département, n'est situé à plus de 50 km de la mer, ce qui implique une influence marine importante. Cependant à ces caractères communs s'opposent des caractères singuliers soulignés par l'existence de microclimats.

Des Côtes-d'Armor à Plouarzel, la côte basse, regardant le nord, offre une brise thermique qui se traduit en été par un vent du nord soutenu dans la journée et des nuits relativement calmes. Du Morbihan à Audierne, la côte basse toujours, cette fois-ci orientée plein sud, s'expose à une brise thermique qui se traduit en été par un vent modéré du sud pendant la journée et du nord pendant la nuit. D'Audierne à Plouarzel, c'est la rencontre entre des courants marins violents, qui amènent deux fois par jour, les eaux fraîches de la Manche et des eaux plus tièdes du Golfe de Gascogne, et des masses d'air saturées d'humidité, qui provoquent d'épais brouillards. Les hautes falaises qui arment les plateaux du Léon, de la presqu'île de Crozon et de la Cornouaille, accélèrent la vitesse du vent et accentuent la pluviométrie. Enfin, en arrière, des deux vastes échancrures que sont la rade de Brest et la baie de Douarnenez, la mer ne se prend pas trop au sérieux, n'exprimant pas la pleine force des tempêtes d'hiver.

Les ***températures*** moyennes minimales en janvier varient de 2 °C dans la montagne à 7 °C à Ouessant. Les températures moyennes maximales en juillet varient de 18 à 20 °C suivant les lieux, soit 4 à 5 °C en dessous de la moyenne française. Le nombre de jours avec gelées varie de plus de 30 dans la montagne à 3 à Ouessant, à comparer avec plus de 50 en Île-de-France ou à Tarbes et 80 à Strasbourg. Le nombre de jours où la température dépasse 25 °C varie de 0 à Ouessant à moins de 10 dans l'intérieur du Finistère, contre 15 dans la Somme et plus de 90 à Perpignan ou Marseille. Il y a en moyenne 1 jour par an où la température dépasse 30 °C dans l'intérieur, contre 3 dans la Somme et plus de 30 à Nîmes. Les températures extrêmes relevées à Brest (station de Brest-Guipavas) entre 1945 et 2001 sont respectivement de +35,2 °C le 12 juillet 1949 et -14 °C le 28 janvier 1947. On peut les comparer aux -11 °C de Biarritz et Perpignan (1963) et aux +34 °C de Boulogne-sur-Mer et Dieppe en 1955. À Ouessant l'écart n'est plus que de -6 °C à +29 °C.

Le nombre d'heures de soleil varie de 1 550 à proximité de la côte nord, à 1 800 sur la côte sud. Le pourcentage d'heures ensoleillées en juillet varie de moins de 45 % dans la montagne, chiffre qu'on ne retrouve que dans le Nord-Pas-de-Calais, à près de 55 %

sur la côte sud, chiffre supérieur à celui du Pays Basque et à une grande moitié nord de la France. Le pourcentage d'heures ensoleillées en décembre varie de 18 sur la côte nord à près de 25 sur la côte sud, conformément à l'ensemble de la France à cette latitude.

Le nombre de jours par an sans ***soleil*** varie de près de 60 sur la côte nord à moins de 50 sur la côte sud, à comparer avec 80 à Strasbourg, 66 à Paris, près de 60 à Limoges, Lyon ou Grenoble, et 21 à Marseille.

Il tombe plus de 140 cm d'eau par an dans la montagne, chiffre qui correspond aux autres reliefs français, contre moins de 70 sur la côte ouest, chiffre qui correspond à une grande partie de la France, côtes méditerranéenne et Corse comprises. Même à petite échelle la variabilité est très importante ; ainsi l'aéroport de Brest situé sur la commune limitrophe de Guipavas, mais à 98 m d'altitude, reçoit 116 cm d'eau contre 79 dans la ville, à quelques centaines de mètres de la mer et à une vingtaine de mètres d'altitude. Le nombre de jours par an de pluie varie de plus de 200 dans la montagne, ce qui est aussi un record national, à 160 sur la côte sud, comme à Dunkerque, Paris, Lyon ou Tarbes.

Le nombre de jours par an avec ***pluie*** importante (plus de 5 l/m^2) varie de plus de 80 dans la montagne, ce qui est un record national, à 50 sur la côte, comme à Cognac, Agen, Lyon ou Nancy. En été, les chiffres sont de moins de 20 dans la montagne (seul le massif du Jura est plus arrosé), et de moins de 10 sur la côte sud (seule la côte méditerranéenne est moins arrosée). Le nombre de jours de neige varie d'une dizaine dans la montagne, chiffre partout dépassé à l'est d'une ligne Cherbourg Carcassonne, à 3 sur les côtes, comme à l'île d'Yeu, Montpellier, Nice ou Perpignan. Le nombre de jours par an d'orage varie d'une quinzaine dans la montagne, chiffre analogue à celui de la Normandie et sensiblement inférieur à celui de la moitié nord de la France, à 3 sur la côte sud, chiffre qui n'est battu que par le Cap Corse. Le nombre de jour par an de brouillard varie de plus de 100 dans la montagne, chiffre qui n'est battu que par Château-Chinon (Ville) et Mont-de-Marsan, à plus de 50 sur la côte ouest, et moins de 30 sur les côtes nord et sud, ce qui est sensiblement inférieur à la moyenne française, seules les Alpes et la région méditerranéenne connaissant des chiffres nettement inférieurs.

Tant en vitesse moyenne qu'en pourcentage d'heures ventées (à plus de 23 km/h ou force 4) seul Toulon, avec 19 km/h et 37 %, est plus ***venté*** que Brest, avec 18 km/h et 32 %. De même seul le sémaphore du Cap de la Hague, avec 51 % d'heures ventées, l'est plus que celui d'Ouessant, avec 49 % et une vitesse moyenne de 26 km/h. Par contre le nombre de jours avec vent violent (plus de 57 km/h ou force 7) n'a rien d'exceptionnel, Brest, avec 76 jours, est loin derrière Toulon, avec 119 jours, et le couloir rhodanien, et même Cambrai (95) ou Château-Chinon (82).

En décembre 2007, dans le Finistère, poussées par des vents dépassant les 100 km/h, des vagues ont atteint des records : plus de 18 m de haut.

Pour l'année **2003**, la ***température*** la plus haute a été atteinte le 1 août, avec 35,1° C. La maximale connue pour le département était de 35,2° C, le 12 juillet 1949. Sur

l'année, la moyenne était pour 2003 de 15,8° C alors que le plus haute connue était de 16° C en 1989.

En ce qui concerne la ***pluviométrie*** moyenne annuelle, 2003 avait vu tomber 988,4 mm en 146 jours, contre le plus bas connu qui était de 712,1 mm en 115 jours en 1953 et le haut connu qui était de 1 603,6 mm en 199 jours en 1960. En comparaison avec des valeurs moyennes sur une période de 1971 à 2000 (1 144,5 mm en 156 jours), 2003 était en dessous.

Enfin en terme ***d'ensoleillement***, 2003 détient le record connu de durée d'ensoleillement avec 1 759 h contre 1 492 h pour la période de 1991-2000.

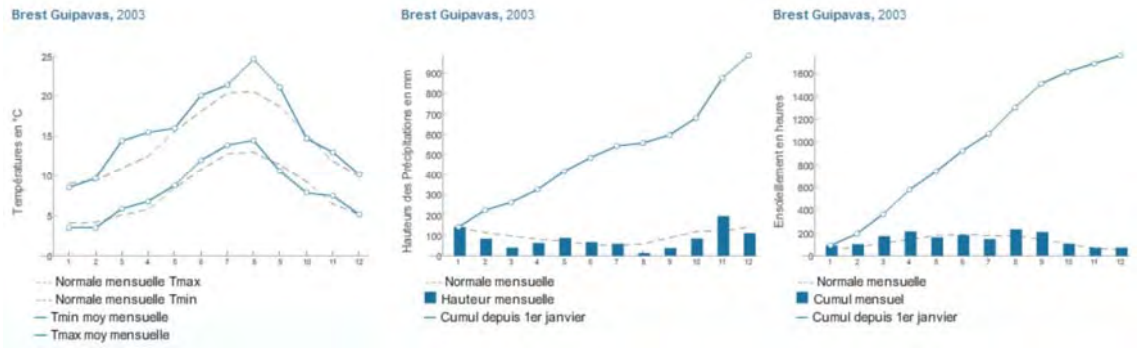


Illustration 3 – Données météorologiques de l'année 2003, station de Brest (source Météo France)

Bien que des arrêtés de catastrophes naturelles liés aux mouvements de terrain consécutifs à la sècheresse et la réhydratation des sols aient été pris en Bretagne pour les années 1989, 1995, 2003 et 2005 dans les départements de l'Ille-et-Vilaine et du Morbihan, les départements des Côtes-d'Armor et du Finistère n'ont fait l'objet à ce jour d'aucune procédure d'indemnisation.

3.3. CONTEXTE GEOLOGIQUE REGIONAL

La superposition de deux cycles orogéniques

Le Massif armoricain, même s'il persiste des points d'ombre de son histoire géologique, peut être divisé en deux grands cycles orogéniques (formation d'une chaîne de montagnes).

Le premier, le cycle cadomien (du nom latin de Caen : *Cadomium*), se situe entre 620 et 540 Ma (Ma : Million d'années). Il se restreint globalement à la partie nord de la région Bretagne (de Région de Guingamp à la Baie de St-Brieuc) et correspond à un évènement tectonique (failles inverses et décrochements), orienté N070, accompagné d'une production importante de volcanisme éruptif (Erquy) et plutonique (granites).

A ce premier cycle, va succéder à partir du Silurien (430 Ma), un second cycle : le cycle hercynien qui va structurer dans ces grands traits actuels du Massif armoricain, jusqu'à la fin du Carbonifère (290 Ma). Cet évènement tectonique, appelé aussi

« varisque », correspond à la fermeture d'un ancien océan (l'océan Rhéique), suivie de la collision de deux continents anciens (Laurussia au nord et Gondwana au sud). Cet événement sera accompagné : (1) de déformations métamorphiques (transformation des roches en roches métamorphiques : schistes, gneiss …) et (2) d'un magmatisme plutonique avec la mise en place de granitoïdes qui jalonnent les grands accidents. Les déformations compressives seront orientées N-S, provocant des plissements sub-Est/Ouest et de grands décrochements orientés N110 à N130 : les Cisaillements Sud et Nord Armoricains, CSA / CNA.

Finalement, fin Paléozoïque – début Mésozoïque (250 Ma), le Massif armoricain subira une ou plusieurs phases de fracturation. Le résultat de cette période tectonique donne naissance à une famille de failles orientées N140-160 délimitant de petits bassins plurikilométriques (le bassin de Rennes ou de Quimper…), de même orientation dans lesquels seront piégés/préservés des sédiments cénozoïques (Eocène à Pliocène) les plus récents.

Le Protérozoïque supérieur : Briovérien (610-540 Ma)

Les formations du Briovérien sont principalement constituées de roches sédimentaires et portent le nom gaulois de St-Lô : *Brioveria*. Elles se rencontrent en grande majorité dans les domaines nord et médio-armoricains. Elles sont constituées d'alternances de schistes noirs à gris, de cherts (phtanites), de grès et de conglomérats avec quelques rares niveaux carbonatés, déposés entre 570 et 540 Ma. L'organisation litho-stratigraphique de cet ensemble qui couvre presque 50% du Massif armoricain est mal contrainte. Ces séries sédimentaires sombres, déformées, seraient les produits de l'érosion des reliefs de la chaîne Cadomienne (située au nord), dans un bassin profond (séquences turbiditiques).
Entre 620 et 570 Ma, les intrusions magmatiques (Granite de Fougères, Granite de Hédé, diorite de St-Quay-Portrieux), dont l'origine est à relier à la phase orogénique cadomienne, se mettent en place dans ces séries sédimentaires, entrainant un métamorphisme de contact (transformant les sédiments en roches plus compétentes telles que des cornéennes, des quartzites ou des gneiss).

Le Paléozoïque (540 – 250 Ma)

Les premières formations sédimentaires paléozoïques en Bretagne se déposent (en discordance) sur le Briovérien à l'Ordovicien (Arénig), dans un contexte interprété comme extensif. Ce sont des conglomérats, des grès et siltstones connues régionalement sous le nom de "Séries rouges" (Cap de la Chèvre, schistes de Pont-Péan), suivi par les Grès armoricains (Monts d'Arrée, Crozon, Paimpont). Les dépôts qui suivront de Ordovicien au Dévonien, seront moins réguliers mais avec de nombreux fossiles (trilobites, bivalves, brachiopodes).
Dès la fin du Dévonien, ces sédiments seront impliqués dans l'orogenèse hercynienne, et ils sont plissés, déformés, pour décrire de grands synclinaux/anticlinaux. Les roches métamorphiques de haute pression dont il existe des reliques en Vendée, dans la Baie d'Audierne et sur l'île de Groix, appuient l'hypothèse d'un contexte de convergence avec après un épisode de subduction, la collision entre deux continents.
Au Carbonifère, entre ces grandes structures, s'ouvrent des bassins marins à lacustres (bassins de Châteaulin, de la Baie des Trépassés) où se déposent les sédiments issus de l'érosion des reliefs voisins. La création de ces bassins s'accompagne localement

d'émissions volcaniques et plutoniques associées à une production magmatique majeure avec la mise en place des grands massifs granitiques (Commana, Huelgoat, St Renan). La production magmatique se poursuivra jusque vers 290 Ma avec la mise en place d'autres plutons « tardifs » (Aber Ildut, Ploumanac'h, St Jean du Doigt) non déformés.

Le méso-cénozoïque méconnu (250 Ma à l'actuel)

Dans l'état actuel des connaissances, on pense que le Massif armoricain est un domaine émergé pendant cette période mais ceci est à considérer avec beaucoup de réserves.
Vers 205 Ma se développe un système de fracturation lié à l'ouverture de l'océan Atlantique Nord (faille Kerforne). L'histoire cénozoïque (à partir de 65 Ma : le Tertiaire et le Quaternaire) est un peu mieux connue. Le Massif armoricain, au début de cette période est un domaine émergé. Le climat, chaud et très humide favorise une altération massive des roches sur des épaisseurs pouvant avoisiner une cinquantaine de mètres. Accompagnant l'ouverture du rift Ouest-européen (Bassin de la Limagne, Rhénan et du sud de la France), Massif armoricain va subir par un jeu de soulèvements et d'affaissements localisés le long d'accidents N150, le décapage de ces altérites sur les parties hautes et des transgressions importantes apportant les sédiments carbonatés oligocènes. Au Miocène, la mer réinvestit les lieux et y déposent les fameux faluns (dépôts de mer chaudes et peu profonde formés essentiellement de coquilles brisées, riches en dents de requin et de raie et en os de cétacé).
Le Pliocène et le Quaternaire ancien vont se caractériser par le colmatage à travers des séries fluvio-estuariennes de sables rouges. Le quaternaire récent, rythmé par les grandes périodes glaciaires et interglaciaires, verra se développer la plus grande partie des terrasses et des dépôts alluviaux associés. Des études récentes œuvreraient pour un relief de la Bretagne relativement récent (Pléistocène). Ainsi l'incision des vallées actuelles serait une réponse à une tectonique de grande ampleur (du même style que celui éocène), liée à la Tectonique alpine.

L'histoire Mésozoïque et Cénozoïque

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, 1970) où des 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 des roches du substratum décrites ci-dessus, sous des climats chauds et humides, 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 caractéristique d'une subsidence lithosphérique pour l'Europe du nord. 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, avec pendant les périodes froides une ligne de rivage plus basse et, sur les parties continentales, un gel provoquant 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 ; Ters, 1973). 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).

Les analyses 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 Finistère 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 épicentrale 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 épicentrale 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, fissurations de murs, bris de vitres. Cependant, d'autres séismes peuvent être signalés, comme celui du 9 janvier 1959 en Cornouaille à Melgven (29), avec une intensité épicentrale de 7, ou encore celui du 16 janvier 1930 d'intensité épicentrale 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 12 km.

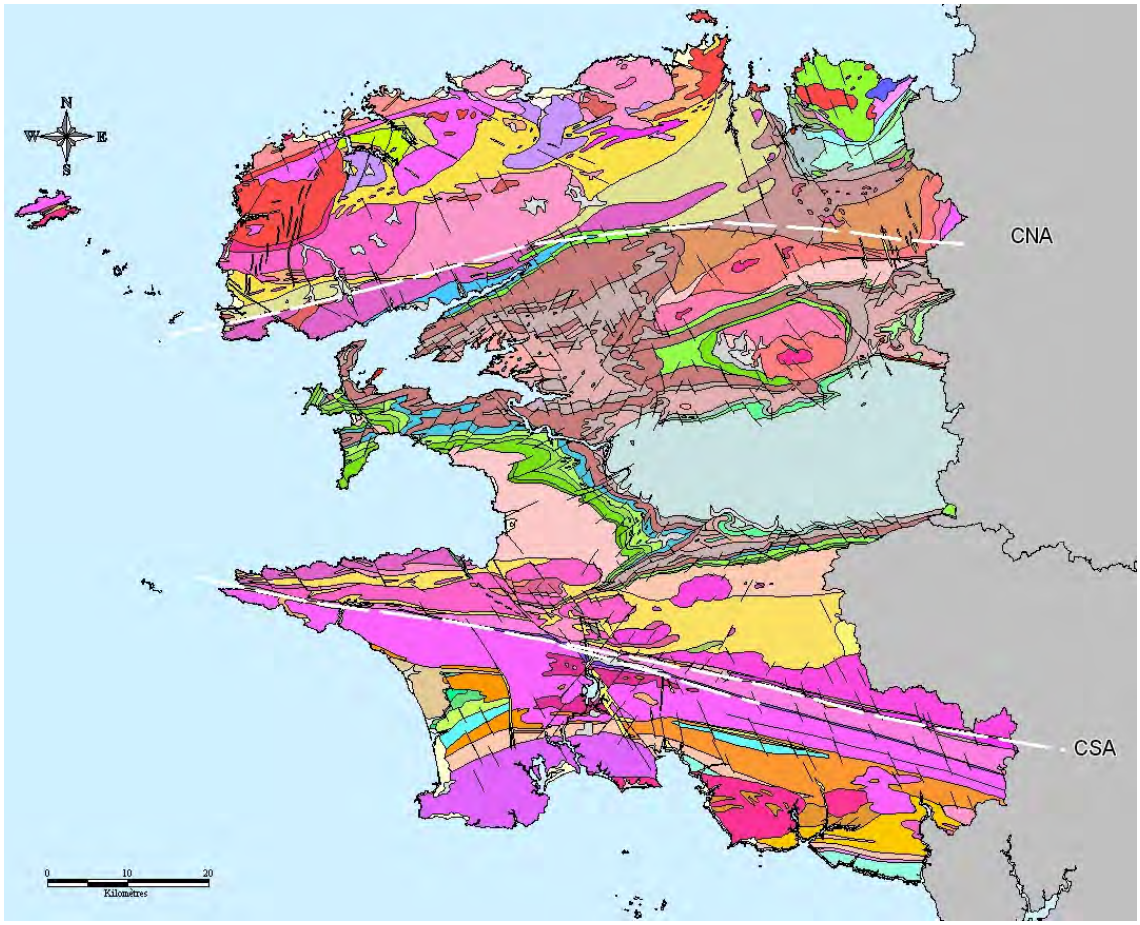


Illustration 4 – Carte géologique du département du Finistère (extrait de la carte géologique au 1/250 000)

3.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE

L'hydrogéologie est le reflet de la géologie. Ainsi la géométrie des aquifères du département du Finistère va être le reflet de la géométrie des formations géologiques qui les contiennent. On peut dénombrer environ 4 types d'aquifères pour le Massif Armoricain, 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 armoricain. 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 exposé dans le cadre géologique du département, a subi des évènements tectoniques transtensifs créant de petits bassins d'effondrements tertiaires. Ces bassins sédimentaires tels que celui de Quimper, et dont le plus important pour la région Bretagne est celui de Chartres-de-Bretagne (Ille-et-Vilaine), 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 consulter le site internet : http://www.inondationsnappes.fr.

4. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses

4.1. DOCUMENTS ET METHODOLOGIE UTILISES

4.1.1. Méthode utilisée

L'un des buts principaux de cette étude consiste en la construction d'une carte des formations géologiques argileuses et marneuses du département du Finistère, afin d'évaluer la susceptibilité de ces formations au retrait-gonflement.

Ce travail a été réalisé à partir des **29** cartes géologiques à 1/50 000 couvrant l'ensemble du département et réparties comme ci-dessous.

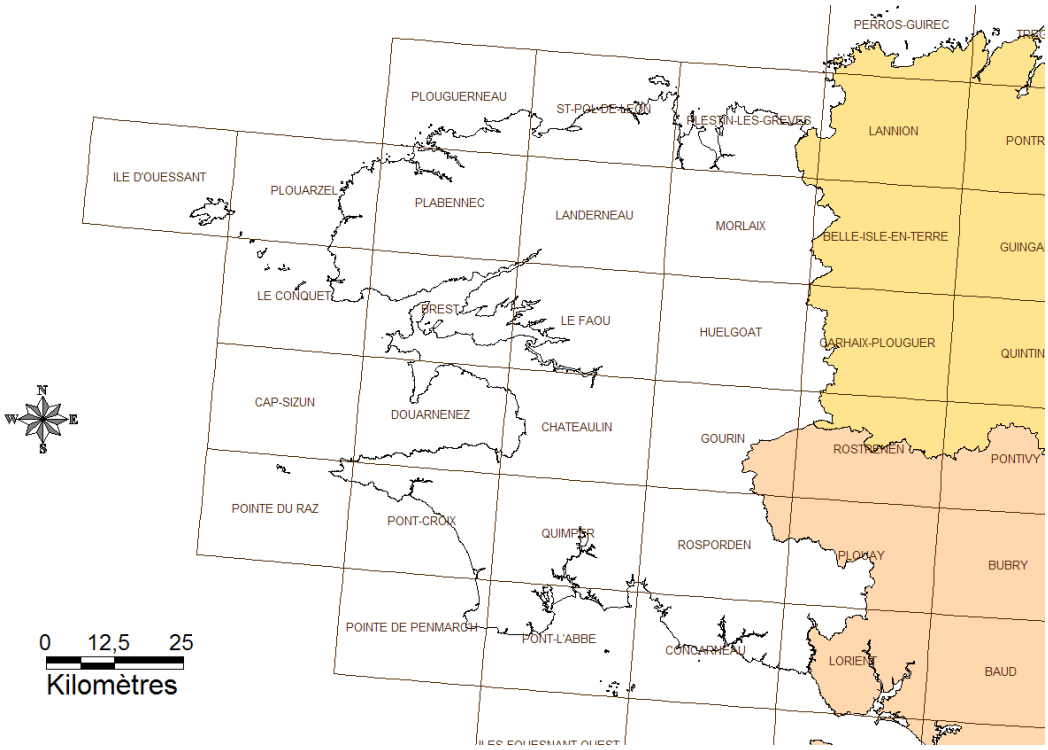


Illustration 5 – Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 du Finistère

La liste et les références complètes concernant les cartes géologiques du département du Finistère sont fournies 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 géoréférencées 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 **29** 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 la table attributaire de l'ensemble des formations géologiques achevée, 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 pas contrôlés par des visites de terrain à ce stade.

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'affleurement des roches. Malgré tout, le lever des cartes géologiques a pu être réalisé 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, faîte 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 Pont-l'Abbé et Landerneau ne sont pas disponibles à ce jour et c'est donc l'information géologique contenue dans les cartes voisines qui a été valorisée, complétée par celles des départements voisins.

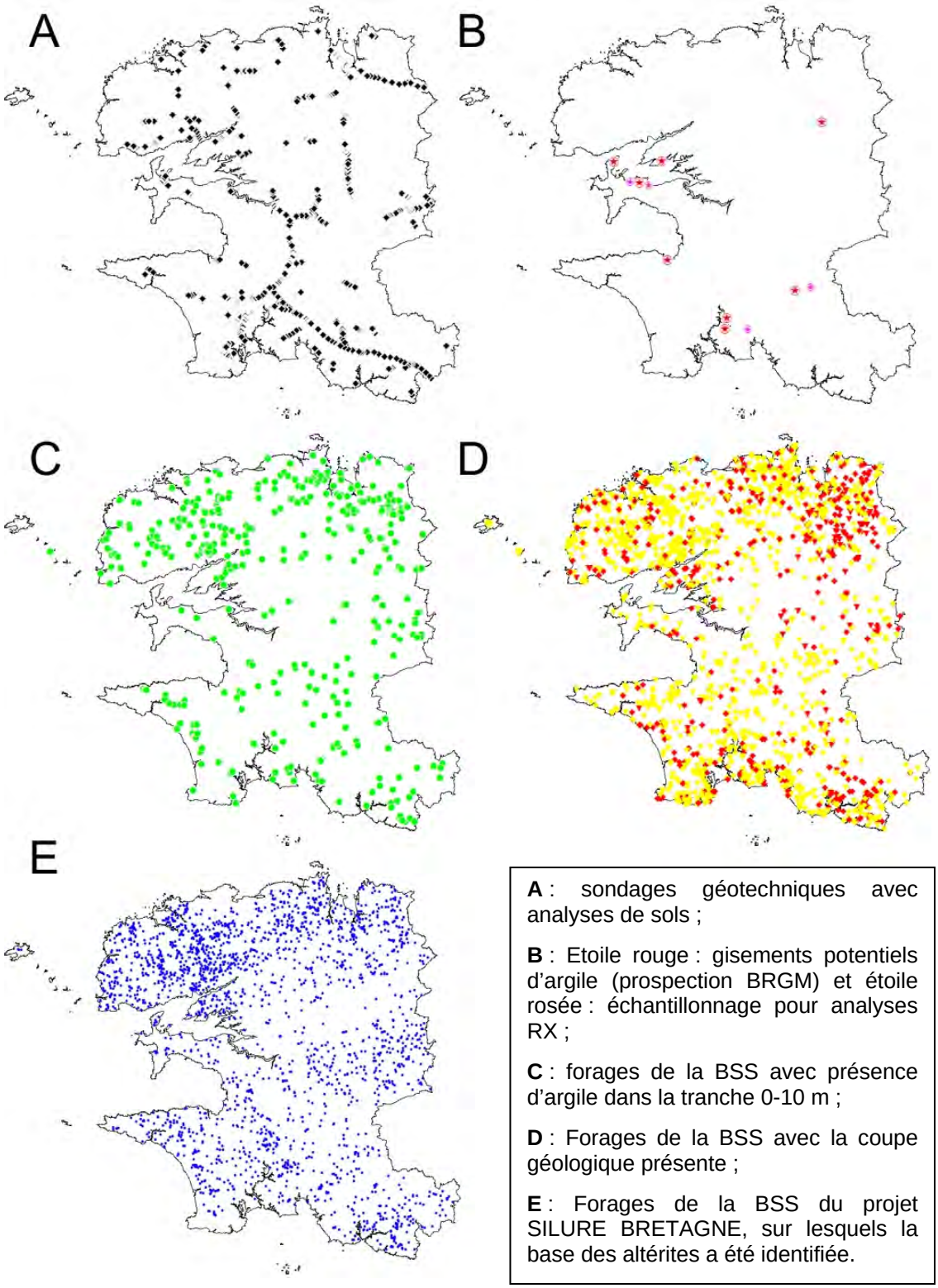
4.1.2. Etablissement de la carte des formations argileuses et marneuses

Une fois la carte géologique harmonisée à l'échelle du département, la sélection des formations géologiques parmi celles qui sont susceptibles d'être argileuses et marneuses, s'est faîte 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 Finistère, 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 », 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. Ainsi les formations argileuses et marneuses triées sur le volet dans la première approche ont été confrontées aux descriptions de ces formations dans les notices des cartes géologiques. Cependant, les cartes géologiques pouvant être 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 locale (rapports, études ponctuelles) et une digitalisation des surfaces géomorphologiques pouvant correspondre à des paléosurfaces d'altération. Cette opération s'est faîte en s'aidant des **2 446** sondages géotechniques saisis pour cette étude, des **2 455** sondages issus de la banque de données du sous sol (BSS) dont **470** contenant des argiles dans la tranche 0-10 m, et des **2 353** 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 3 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 6).

Les deux approches décrites ci-dessus permettent d'identifier pour le département du Finistère ***10 formations géologiques argileuses et marneuses*** (Illustration 7).



A : sondages géotechniques avec analyses de sols ;

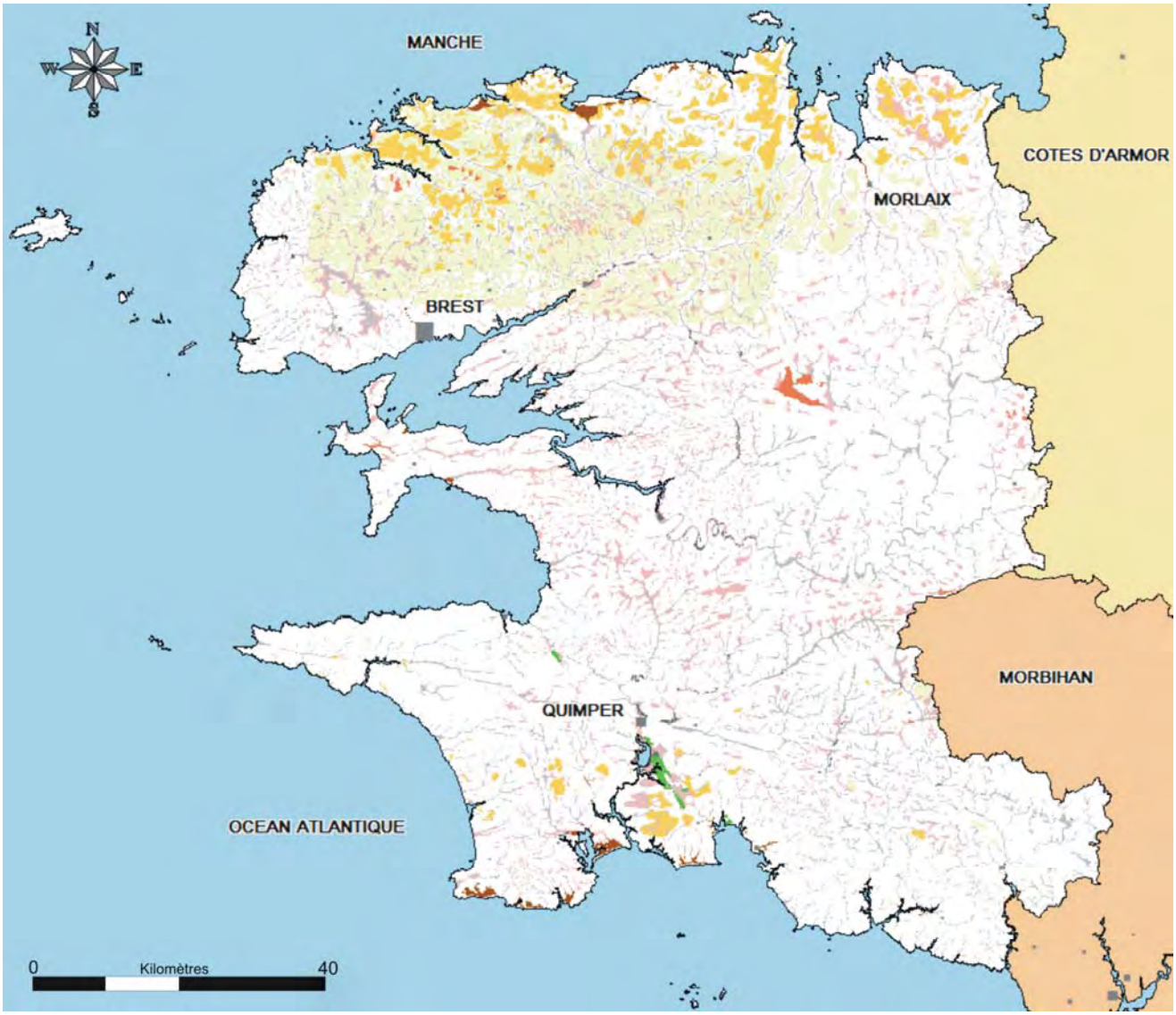
B : Etoile rouge : gisements potentiels d'argile (prospection BRGM) et étoile rosée : échantillonnage pour analyses RX ;

C : forages de la BSS avec présence d'argile dans la tranche 0-10 m ;

D : Forages de la BSS avec la coupe géologique présente ;

E : Forages de la BSS du projet SILURE BRETAGNE, sur lesquels la base des altérites a été identifiée.

Illustration 6 – Cartes du département du Finistère montrant l'ensemble des données recueillies et utilisées pour cette étude.



Légende des formations argileuses du Finistère

- Formation 1 - FLMz - Dépôts sablo-argileux littoraux - Holocène
- Formation 2 - T-Mly - Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène
- Formation 3 - Fz - Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène
- Formation 4 - Fy-x - Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène
- Formation 5 - CsGP - Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire
- Formation 6 - OE ind - Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire
- Fomation 7 - HT - Hautes terrasses (du galet aux argiles) - Tertiaire à Quaternaire
- Formation 8 - e - Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène
- Formation 9 - $\mathcal{A}$K - Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire
- Formation 10 - $\mathcal{A}$ - Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire

Illustration 7 – Carte départementale synthétique des formations argileuses et marneuses du Finistère

5. Lithostratigraphie des formations argileuses et marneuses

Ce chapitre dresse l'inventaire des formations argileuses et marneuses retenues pour le département du Finistère et l'illustration 7 correspond à la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département qui est aussi présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/150 000. Au total, ce sont **10** formations qui ont été retenues pour le département du Finistère comme argileuses ou marneuses et qui sont décrites dans les lignes ci-dessous.

5.1. LES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES QUATERNAIRES

Ce groupe rassemble l'ensemble des formations argileuses et marneuses, récentes à modernes, alluviales mais aussi marines, qui accompagnent les fleuves et les cours d'eau du département de l'entête de leur bassin versant jusqu'à leur exutoire maritime.

Les terrasses alluviales plus anciennes que l'on retrouve le long des cours d'eau mais aussi sur les interfluves, font aussi partie de ce groupe.

Pendant les périodes froides du Quaternaire, l'alluvionnement a été abondant et de vastes nappes constituées de sables et d'argiles, mais aussi de cailloutis, ont alors occupé les 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 étant les plus anciennes et les plus basses les plus récentes. La notation se fait de bas en haut (du plus récent au plus ancien) en **Fz**, **Fy**, **Fx**, **Fw ou Fv**, ici deux formations ont été créées : **Fz** et **Fy-x**.

Leur composition sera variable le long du cours d'eau et suivant la position par rapport à ce dernier, 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.

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).

Les autres formations qui ont été regroupées ici sont les formations marines littorales sous la nomination **FLMz**, dont la sédimentation est représentée par des sables calcaires, des sables très fins et des vases dans la zone littorale ou sous influence du marnage (Polders).

5.1.1. Formation 1 – FLMz – Dépôts sablo-argileux littoraux – Holocène

Cette formation géologique argileuse peut se rencontrer géographiquement à l’intérieur des terres. Elle est souvent intensément urbanisée.

Elle correspond à des dépôts vaseux, majoritairement fins (éléments inférieurs à 50 µm) qui occupent de vastes étendues découvrant à basse mer sur les rives des estuaires : rivière du Faou, anse de Kéroullé, rivière de l'Hôpital, rivière de Daoulas, Aulne. En zone abritée, leur partie supérieure est occupée par des prés salés ou des schorres qui s'étendent largement sur les rives de l'Aulne, au fond des estuaires (rivière du Faou, rivière de l'Hôpital-Camfrout) ou derrière les cordons littoraux (rivière de Daoulas, Troaon), sur les berges de l'estuaire de l'Aber-Ildut.

Dans la baie de Kerogan et dans la partie aval des anses de Combrit, Saint-Cadou et Toulven, les bas estrans sont occupés par des slikkes sablo-vaseuses, dans lesquelles la fraction fine inférieure à 0,035 mm ne dépasse guère 10 %. Par contre, vers le fond des anses et en amont de la baie de Kerogan, le pourcentage des particules fines augmente et peut dépasser 90 %. Ces dépôts vaseux estuariens peuvent également être observés dans les anses de La Forêt et de Penfoulic à l’abri du cordon dunaire du Cap Koz.

Ces sédiments se sont déposés par décantation dans des secteurs où les courants de marée sont plus faibles. La granulométrie est assez homogène mais il est possible d’avoir des niveaux grossiers avec des débris ligneux.

La composition minéralogique de la partie argileuse des slikkes est composée par l’association kaolinite-illite avec, le plus souvent, un peu de chlorite. Le spectre de minéraux lourds des vases actuelles de l’estuaire de l’Odet comporte les minéraux suivants : grenat, staurotide, andalousite, tourmaline, hornblende. Les sédiments des slikkes sont peu carbonatés (moins de 1 %).

Comme ceux des rias de la feuille Lorient, ces dépôts d'estuaire se sont déposés à l'Holocène (depuis la fin du Boréal, il y a 8 000 ans, jusqu'à l'actuel). Ce sont des dépôts argileux, vaseux, silteux et sablonneux dont l'épaisseur est variable en fonction de la géométrie de la baie ou de la ria. Ces trois lithologies s’organisent en une alternance de lits de faibles puissances, de quelques centimètres au maximum. Ces dépôts marins calcaires, vaseux et sableux étaient utilisés autrefois en amendement calcaire avec des teneurs de 35 à 45 % en carbonate sous la forme de débris de micro-organismes très fins (tests etc.). L'analyse de la fraction argileuse indique 30 % de kaolinite, 20 % d’argiles micacées, 30 % de vermiculite hydroxy-alumineuses (dont 10 % de vermiculite sensu stricto) et de 10 à 20 % de smectites (argiles gonflantes) et enfin 10 % de quartz et feldspath (Edeline et Kriegk, 1977 dans la notice de la carte géologique de la Baie du Mont-Saint-Michel).

Les analyses faîtes dans le cadre de la cartographie de l’aléa retrait-gonflement de l’Ille-et-Vilaine ont montré que dans ce département la partie argileuse était composée de : 11 à 15 % de kaolinite, 6 à 9 % de chlorite, 34 à 49 % d’illite, et 27 à 49 % de

minéraux gonflants (dont 19 à 49 % de smectites et moins de 8 % d’interstratifiés gonflants).

Ces dépôts argilo-sableux de fond d’étang se sont mis en place à l’Holocène, en arrière de la partie proximale de flèches littorales dunaires comme à Cap Koz par exemple, au fond de la baie de La Forêt–Concarneau, dans l'archipel de Molène, en arrière de la dune du Trez Hir ou encore dans la partie septentrionale d'Ouessant.

Des sédiments fins (argilo-limoneux), provenant d'apports éoliens et de la décomposition d'éléments organiques : algues et végétaux terrestres, correspondant à l’érosion des terres agricoles, qui se sont accumulés par décantation comme au nord de la digue de l’étang du Corroac’h, en amont de l’anse de Combrit.

La sédimentation lacustre importante s’est également développée en arrière du barrage barrant le ruisseau de Tréméoc à son débouché dans l’anse du Pouldon. Ces réservoirs, non curés et à l’abandon, ont été peu à peu envahis par la végétation et se sont ainsi peu à peu transformés en marais.

Les dépôts estuariens holocènes ont en règle générale une granulométrie sableuse grossière à sablo-silteuse. Les sédiments de couleur grise sont riches en matière organique.

L'analyse détaillée de leur répartition montre qu'ils forment des barres latérales ou au centre des rias, séparant alors souvent un chenal de flot et un de jusant. Ils sont souvent un peu carbonatés par apport de débris de coquilles vivant dans le sédiment ou apportées par le flot.

Une granulométrie fine (fractions silteuse et argileuse) est significative de dépôts de décantation. Ces silts sont un peu carbonatés vers l'aval (présence de débris de coquilles) tandis qu'ils sont siliceux à l'amont, quand les apports sont exclusivement terrigènes.

Leur épaisseur varie de quelques décimètres à la limite d'influence des marées à l'amont, jusqu'à plusieurs mètres d'épaisseur (30 m maximum environ) au niveau du littoral. Ils forment « la slikke et le schorre » de ces estuaires dont les délimitations évoluent d'année en année en fonction du niveau de la mer.

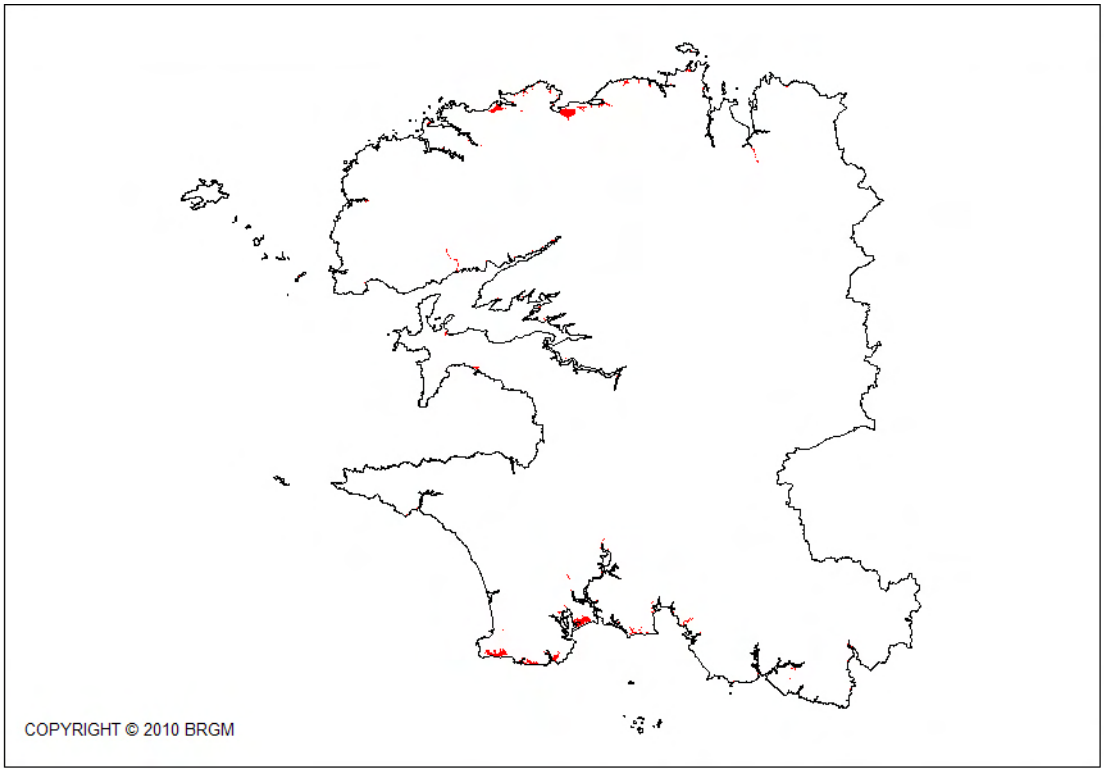


Illustration 8 - Répartition départementale de la formation FLMz

5.1.2. Formation 2 – T-Mly - Dépôts tourbeux interstratifiés – Pléistocène - Holocène

Cette formation géologique est surtout composée de sédiments fins (sables, limons et argiles) et de tourbes. On retrouve cette formation sur l'ensemble du territoire départemental avec une étendue très significative sur la feuille Huelgoat. Des zones bâties sont construites sur ou à cheval sur ces terrains à tourbières.

Ces dépôts occupent la tête des vallons comme à Kerdéniel, au Sud de Plouarzel ou les étangs littoraux mais apparaissent aussi sur les estrans. Il est possible de les observer à l'affleurement sur la plage de Port La Vigne au Sud de l'île Ségal, à Melon, au Mazou, au Nord d'Argenton et sur la rive droite de l'estuaire de Kersaint. On en retrouve au Sud de Pen ar Coat, à la source du ruisseau de Kermorvana, et épisodiquement sur la plage du Trez Hir, ou au pied de la dune, au centre de l'anse de Porsmoguer ou encore à l'Aber-lldut. Des niveaux tourbeux apparaissent parfois en bordure de la baie de Kerogan. Une tourbière à sphaignes se développe à l'Ouest de la butte de Kernoter.

Cette formation peut localement atteindre 2 m d'épaisseur et être composée de niveaux lacustres fins avec des lits de sables marins et éoliens interstratifiés. Sur la plage de Kervijen, la tourbe forme un banc massif de 1,60 m de puissance reposant sur un sable gris d'origine marine dont l'épaisseur dépasse 1 m. En amont, derrière le

cordon isolant le marais de la mer, les sondages effectués dans la roselière montrent une épaisseur de tourbe supérieure de 3,5 m (Notice de la feuille Brest). On retrouve cette formation dans les dépressions mal drainées de la région de Scaër, et à Stang Blanc, entre Pont Meur et Kerbasquiou, elle repose sur des sables fluviatiles et des formations arénacées.

L'évolution des flores locales a été enregistrée sur plus de 4 700 ans durant le Subboréal et le Subatlantique. À l'origine (4 260 ±140 B.P.), quelques traces d'invasion marine apparaissent dans un marais peu profond. Pendant la phase suivante, (3 900 ±70 B.P. et 3 460 ±70 B.P.), l'aulnaie colonise la dépression, tandis que les herbacées aquatiques se développent dans les zones ouvertes plus humides. Ensuite (2 800 ±80 B.P.), l'aulne régresse et l'arrivée massive de chénopodiacées est symptomatique d'une invasion marine. Par la suite (1 930 ±60 B.P), la mer se retire, le niveau d'eau s'élève et la végétation au cœur du marais est alors essentiellement herbacée (Notice de la feuille Châteaulin)

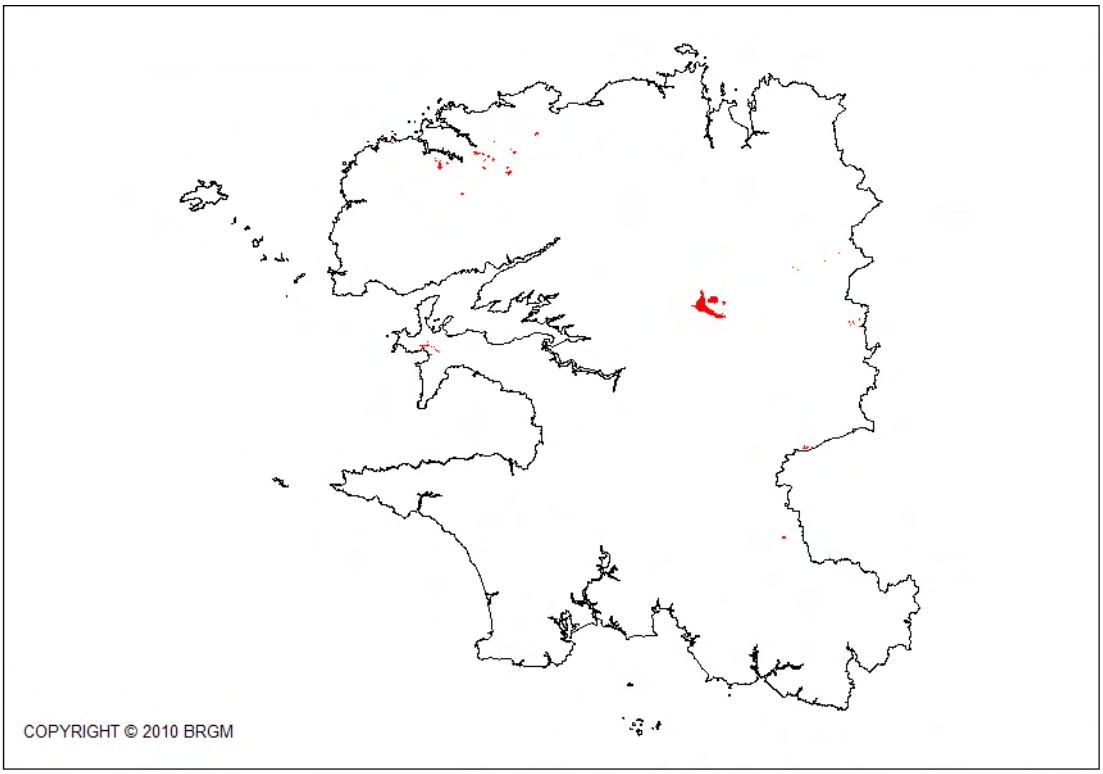


Illustration 9 - Répartition départementale de la formation T-Mly

5.1.3. Formation 3 – Fz - Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets – Holocène

Cette formation correspond aux sédiments des cours d'eau actuels. Ces dépôts continentaux occupent généralement les fonds de vallée, mais il est possible

d'observer des affleurements sur les versants. Latéralement, ils se raccordent aux colluvions de bas de versant.

Ces alluvions ont des épaisseurs variables et correspondent à des dépôts fins sablo-argileux, interrompus d'éléments anguleux. Elles proviennent du remaniement des coulées périglaciaires, des produits de l'altération des roches par les courants fluviatiles. Des sondages réalisés par la CoMiRen (COmpagnie MInière de saint-RENan), dans la plaine d'inondation de l'Aber-lldut, au Sud du granite stannifère de Saint-Renan, ont montré que l'épaisseur dans les alluvions atteignait parfois 4 mètres avec pour succession une alternance de niveaux sableux et argileux.

Lorsque la pente longitudinale des cours d'eau devient faible, en période de crue, elles remplissent la plaine alluviale de matériaux plus fins (limons, argiles) avec parfois des lentilles tourbeuses ou des niveaux pédologiques humifères et gélifiés de bas fonds.

Les parties fines de ces sédiments peuvent être constituées par des particules fines issues de la couverture limoneuse en provenance des plateaux ou par des éléments provenant des altérites du substrat (kaolinite, micas, quartz).

Sur le littoral, l'embouchure des ruisseaux a pour succession de l'aval vers l'amont : étang, phragmitaie, prairie marécageuse et tourbeuse. Les tourbes se développent dans la vallée jusqu'à 2 et 3 km de la ligne de rivage actuelle et atteignent 6 m d'altitude N.G.F.

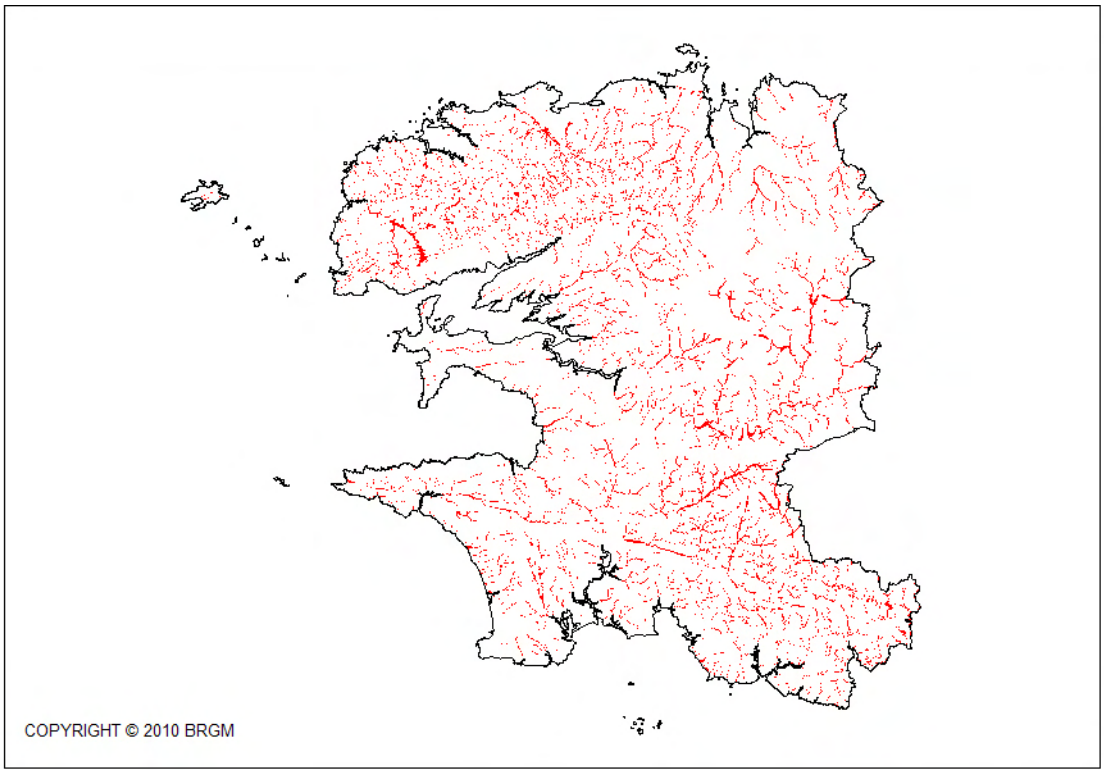


Illustration 10 - Répartition départementale de la formation Fz

L'âge de ces alluvions est holocène et correspond au relèvement du niveau de base des cours d'eau depuis le retour à des conditions climatiques tempérées, il y a 10 000 ans environ. Elles sont en continuité avec les dépôts fluvio-marins d'estuaires (rias). L'analyse des pollens dans la vallée de la Vilaine montre que l'homme a modifié notablement le paysage (défrichements, aménagements, cultures) dès le Subboréal, à partir de 5 000 ans B.P. (Morzadec-Kerfourn, 1974).

5.1.4. Formation 4 – Fy-x - Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène

Cette formation correspond aux nappes alluviales perchées dans les vallées actuelles des cours d'eau et correspondant à leurs paléo-réseaux hydrographiques quaternaires. Parce que les lithologies de ces terrasses sont souvent similaires, elles ont été regroupées dans cette formation.

Elles s'organisent altimétriquement depuis par exemple la basse vallée de l'Aber-Ildut, de 5 à 15 m au-dessus du lit actuel jusqu'à environ 20 à 30 m.

Ces nappes contiennent des galets (de quartz), plus ou moins émoussés, dans une matrice argilo-sableuse, plus ou moins rubéfiée. Parfois existent des blocs démesurés. Sur la feuille le Faou, les alluvions affleurant dans la vallée de l'Aulne peuvent être subdivisées en deux niveaux à 20 et 30 m, comme les placages de Kerancrach, de Kerbastard, de la Forêt, de Térénez et de Landévennec, entre la confluence de la Douffine et celle de la rivière du Faou. Dans les méandres de Landévennec, de Langast et de Trégarvan, ils affleurent parfois sur l'estran et sur le méandre de Gouézec.

Dans la vallée supérieure de l'Élorn, de rares dépôts sont conservés au Drennec à 20 m au-dessus du lit actuel de la rivière.

Sur l'Aulne encore, des terrasses occupent les méandres de Lesvréac'h, de Rossivi, du Quinquis, de Saint-Coulitz et de Campoulet, et contiennent de nombreux blocs glaciels parfois volumineux. Des blocs de quartz peuvent dépasser 0,5 m^3 et des dalles émoussées de grès psammitique peuvent atteindre plus de 2 m de longueur.

Les cours de l'Odet et du Steir sont, dans la zone de l'hippodrome vers la confluence de l'Odet et du Jet, affectés par ce type de dépôts, ainsi que dans la basse vallée du Steir au Nord de l'agglomération quimpéroise.

Dans les parties fines, la kaolinite, largement dominante, est associée à l'illite, comme dans les dépôts des terrasses de moyenne altitude.

Ces alluvions sont préservées sur les rives du cours du Belon et sur l'Aven au nord de Rosporden. Cette formation est ici représentée que par des galets résiduels (quartz), et des graviers de quartz ou parfois de granite, plus ou moins émoussés, dans une matrice de sable quartzeux grossier (1-2 mm). Leur granulométrie grossière souligne une dynamique sédimentaire de forte énergie.

Enfin, des lambeaux d'alluvions grossières existent toujours sur les vallées de l'Odet et du Steir. Les dépôts sont plus importants au sud qu'en amont de Quimper, de part et d'autre de l'estuaire, jusqu'à l'anse de Saint-Cadou. C'est une large terrasse dans la baie de Kerogan : Prat-Maria, Corniguel, Kergrenn, Lanroz. L'épaisseur et la stratigraphie entre Kernoter et Lanroz, n'est connue que sur les coupes en bordure de la route de Bénodet où elle constitue une alternance grossière à sableuse.

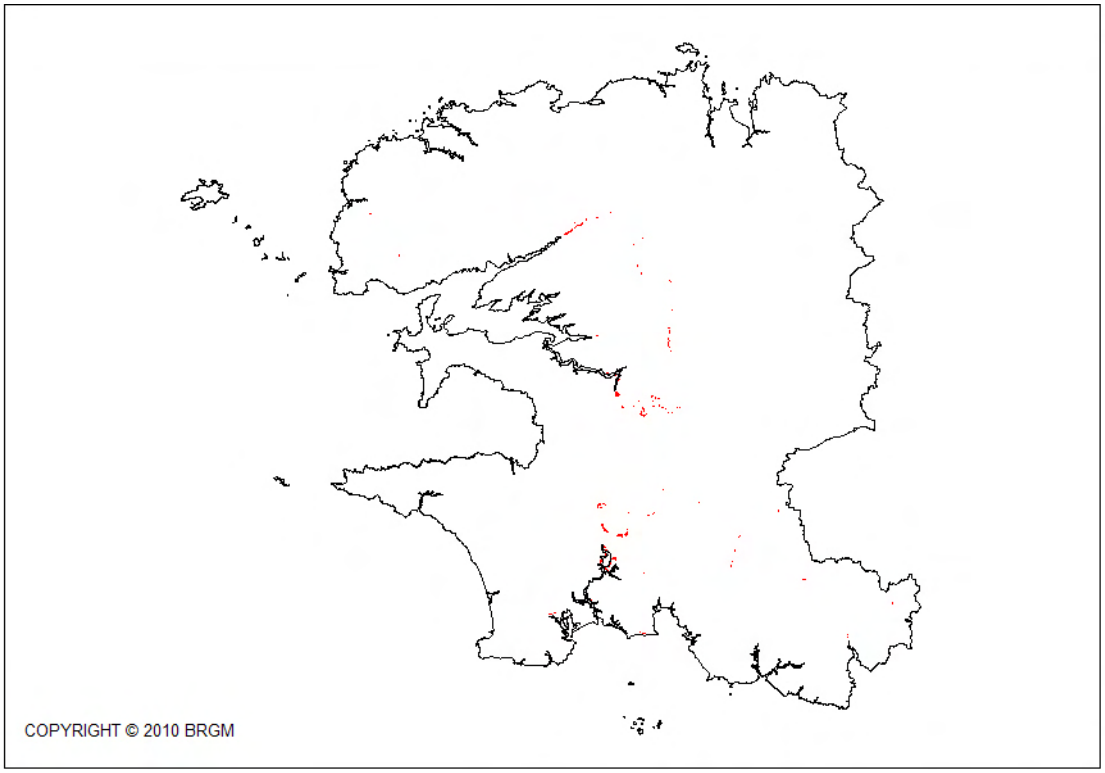


Illustration 11 - Répartition départementale de la formation Fy-x

5.1.5. Formation 5 - CsGP - Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire

Les reliefs sont empâtés par les matériaux de gélivation qui ont été entraînés par gélifluxion sur les versants, durant les périodes froides du Pléistocène. Ces dépôts constituent une formation composée d'éléments dans une matrice limoneuse, accumulée au bas des versants.

Ces sédiments sont apportés par le ruissellement qui érode les versants (champs cultivés notamment) et sont concentrés dans les points bas. Ils sont constitués principalement de particules issues des altérites du substrat (kaolinite, quartz, mica), et correspondent à des zones hydromorphes en l'absence d'écoulement de surface. En bas de versant, elles se caractérisent par un épaississement des horizons humifères des sols. Mal connue, leur épaisseur est généralement inférieure à 0,50 m mais peut vraisemblablement atteindre 1 m localement, l'épaisseur étant croissante vers l'aval.

D'âge holocène, leur mise en place correspond aux conditions climatiques tempérées de l'interglaciaire actuel.

Leur base peut admettre des niveaux de cailloux peu émoussés, englobés dans une matrice sableuse ou argileuse. En surface, les cailloux sont moins abondants alors que les apports fins argilo-limoneux sont dominants.

Le matériel, dans les granités de la côte ouest, est souvent arénacé. Au Nord de Porspoder, dans les migmatites de Plouguerneau, ces coulées gravitaires admettent plus d'éléments grossiers et de charge limoneuse matricielle.

Certaines formations géologiques comme les Schistes et Quartzites de Plougastel (Groupe de Troaon) ou les schistes et un certain faciès du Gedinnien en particulier, se débitant en plaquettes, se révèlent être propices à la formation de grèzes litées (Loc'h en Landévennec, côte de Lanvéoc, Treuzelom, Stang Éol ou Kervénec). La formation prend alors l'allure d'alternances de lits à plaquettes très anguleuses, pratiquement sans matrice et de lits plus fins dans lesquels la matrice est présente en plus ou moins grande abondance (A. Guilcher et A. Moigné, 1973, dans la notice de la feuille Brest).

Comme pour la formation précédente, les reliefs sont empâtés par les matériaux issus de la gélivation (pléistocène). Ce sont des limons et argiles à blocs qui peuvent atteindre plus de 10 mètres d'épaisseur (anse de Kerdreïn, côte de Lanvéoc). De nombreuses dépressions se sont remblayées par des argiles à blocs, des arènes gélifluées ou des limons. La nature et l'importance des coulées périglaciaires dépendent beaucoup de la composition du substratum. Les granites de Saint-Renan et de Kersaint fournissent par exemple des formations limono-sableuses parfois litées où les blocs anguleux sont en général peu abondants (Keraliou en Plouzané). Dans les gneiss et les micaschistes fournissent plus de limons et les coulées périglaciaires sont habituellement peu épaisses. Enfin les grès et les quartzites du Paléozoïque fournissent d'épaisses coulées dans lesquelles des blocs de plusieurs tonnes sont fréquents : versant nord de la vallée de l'Elorn. Les schistes, eux, fournissent des coulées peu épaisses.

Ces limons sont essentiellement composés de quartz provenant du remaniement, par l'action du froid, du substratum ou des lœss déposés par les vents.

L'analyse granulométrique de limons montre clairement qu'il s'agit d'un matériau limono-argileux.

Localisation	< 2 μm	< 20 μm	< 40 μm
Cloastr-Guipavas	15,4 %	40,15 %	78 %
Kermeur-Guipavas	16,6 %	42,9 %	80 %
Kerdreïn-Plougastel	21 %	48,5 %	82,5 %

Kermoign-Brest	17,5 %	41,5 %	80 %

Mais la granulométrie et la puissance de telles coulées dépendent toutefois de la topographie et de la nature du substrat.

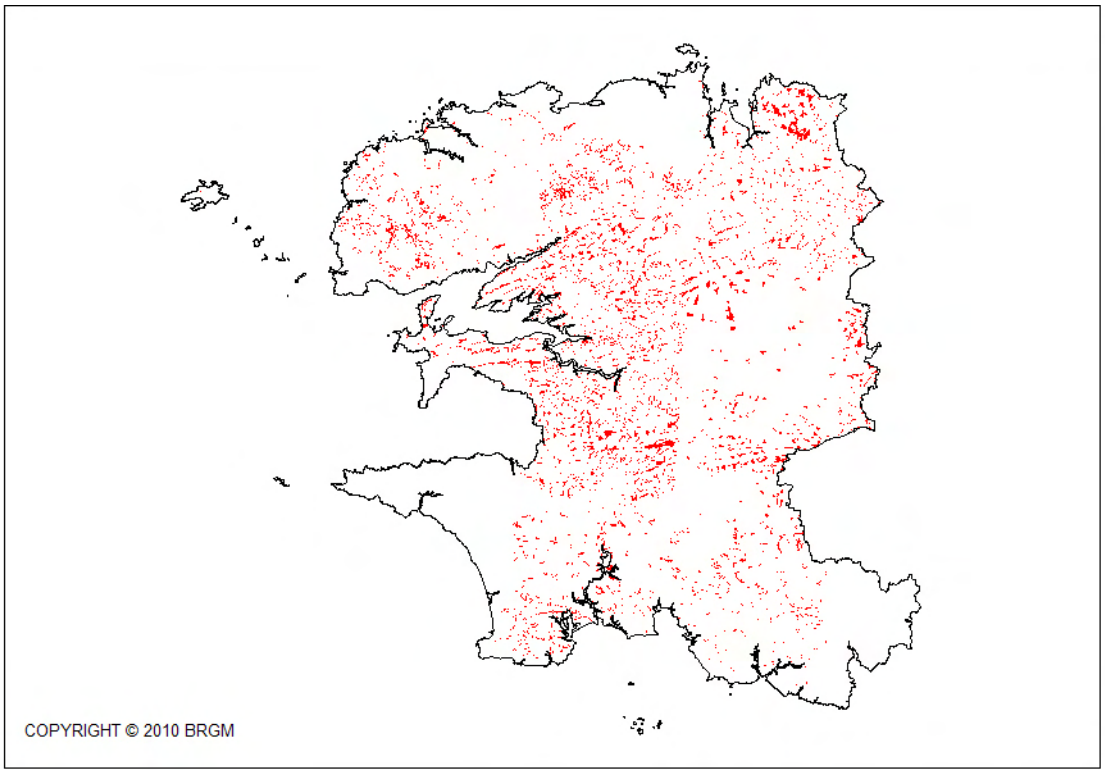


Illustration 12 - Répartition départementale de la formation CsGP

5.1.6. Formation 6 – OE_ind - Loess et limons des plateaux, pléniglaciaires - Quaternaire

On retrouve cette formation géologique à la surface des plateaux et dans les dépressions, en particulier dans la région de Landunvez par exemple. Elle est présente plus largement sur la côte nord du Finistère, et sur les îles de l'archipel de Molène.

Cette formation peut dépasser un mètre de puissance et atteindre 3 à 4 m d'épaisseur. Ces loess et limons, ont habituellement une teinte jaune-ocre, mais ils peuvent prendre une coloration gris-bleu dans les zones à caractère hydromorphe.

Sur la plate-forme littorale au Nord de Portsall, leur épaisseur peut dépasser deux mètres. Les limons supérieurs sont typiquement éoliens, avec 60 % des particules comprises entre 5 et 50 µm, tandis que ceux des niveaux inférieurs ont une granulométrie avec une fraction sableuse beaucoup plus importante.

Elle est aussi observée sur les plateaux, à l'Est du Conquet, possédant de nombreux quartz éolisés. Leur présence témoigne de l'importance des phénomènes de déflation éolienne sur les hauteurs durant les périodes froides du Pléistocène.

Sur Ouessant, des limons résiduels mêlés de graviers, affleurent localement, en particulier dans la lande de Lann Vras où ils ont été autrefois exploités par les îliens pour monter les murs des maisons et couvrir les toits. À proximité, non loin de la butte du fort Saint-Michel, ils occupent une dépression, et sous les limons lœssiques beiges, des limons gris argileux ont été observés.

Enfin à la surface des plateaux entre les Montagnes Noires et la baie de Concarneau, on observe localement au-dessus des arènes ou des substrats rocheux, des formations limoneuses de très faibles épaisseurs. Ces formations résiduelles peuvent occasionnellement, englober des galets d'origine marine et fluviatile ou des galets remaniés de leur substratum.

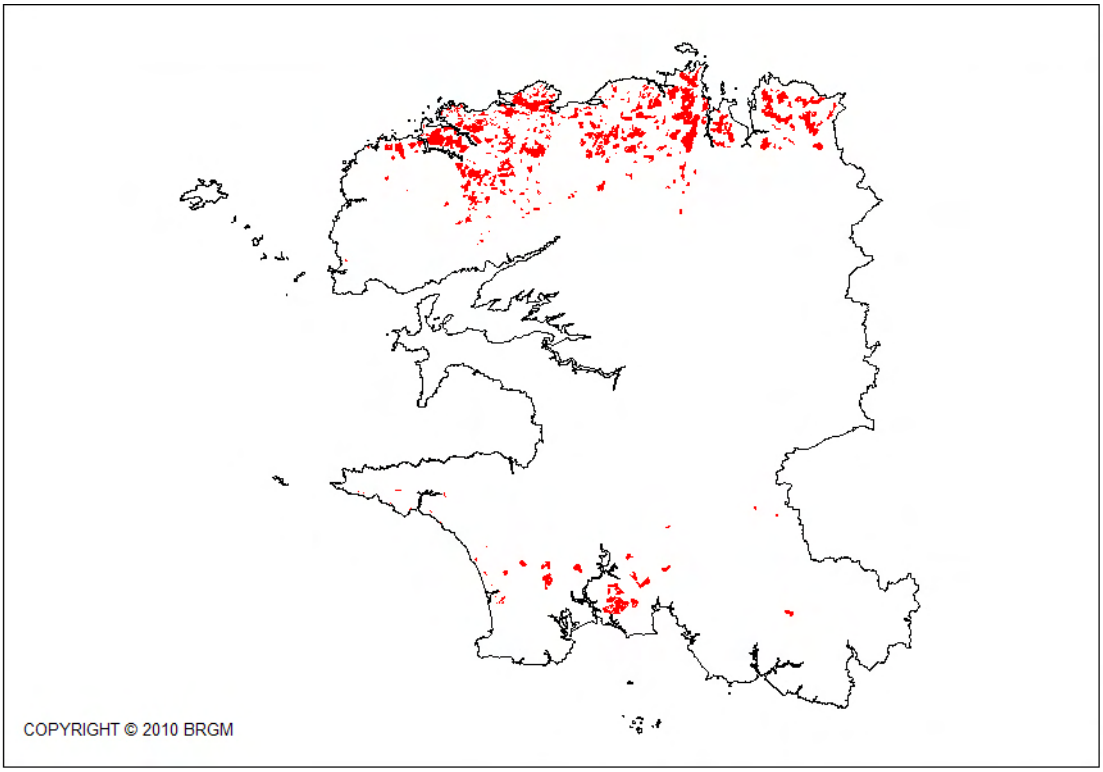


Illustration 13 - Répartition départementale de la formation OE ind

5.1.7. Formation 7 – HT - Hautes terrasses (du galet aux argiles) - Tertiaire à Quaternaire

Cette formation correspond à une formation particulière du sud Finistère qui constitue des terrasses ou nappes alluviales anciennes à des altitudes parfois très hautes.

Au Nord de la chapelle Saint-Sébastien, vers Rospiriou, un placage de galets de faible épaisseur est décrit et se tient dans des altitudes comprises entre 45 et 55 m NGF au-dessus de l'estuaire de l'Aulne. Les matériaux peu émoussés comportent des éléments pouvant atteindre la taille de blocs d’origine locale (grès, schistes gréseux, quartzites).

D’autres dépôts, au-dessus du cours actuel de l’Odet, sont situés à des altitudes comprises entre 50 et 60 m NGF, sur le plateau entre l’Odet et le Steir, entre 110 et 125 m NGF et localement jusqu’à plus de 200 m NGF sur la feuille Rosporden, entre Coray et Guiscriff. Cette formation alluviale ancienne n’admet que de rares éléments bien émoussés d’origine marine, de la taille du galet, mêlés aux limons des plateaux. L’étude des formes des galets par A. Cailleux avait mené A. Guilcher (1948) à leur attribuer une origine marine.

Cette formation fluviatile résiduelle a été également notée sur le plateau de Ergué Armel entre le Braden et Saint-Laurent, à des altitudes proche de 65 m NGF (au Sud du stade de Kroaz ar Plouz). Le plateau de Gouesnac’h est aussi coiffé par cette formation vers 45 m NGF d’altitude (entre Saint-Cadou et Kroaz Hent Nenez), au Sud du creux de Toulven. Des galets de quartz jaunis, émoussés et parfois éolisés, remaniés dans les arènes et les formations périglaciaires sont présents au Sud-Est de Ploumoguer, entre Kerbrat et Traon Morvan et au Sud de Traon Brouen, vers 75 m NGF d'altitude pouvant atteindre 90 m NGF, près de La Madeleine.

Au-dessus des argiles éocènes, cette formation remanie les argiles sous-jacentes, des dalles de grès ladères et des cailloux de quartz plus ou moins roulés. Ces épandages sont complexes, et couvrent de grandes étendues sur des épaisseurs conséquentes.

Au Sud du Cleuziou, la formation est située entre 160 et 170 m NGF d'altitude. Les formations de la région de Guiscriff correspondent en grande partie à des nappes fluviatiles remaniant des dépôts marins, sans doute contemporains de ceux de Kerveur. Autour de Guiscriff, on peut voir des altérites et des limons résiduels des plateaux. Ces éléments résiduels ont été aussi notés dans les sols sur les altérites de micaschistes à l'Ouest de Coray, en particulier sur les plateaux entre l'Odet et le Jet.

A Kerveur, entre Coray et Coadry, l’altitude atteint des sommets avec 215 m NGF d'altitude. Les galets sont émoussés et la matrice est composée d’altérites.

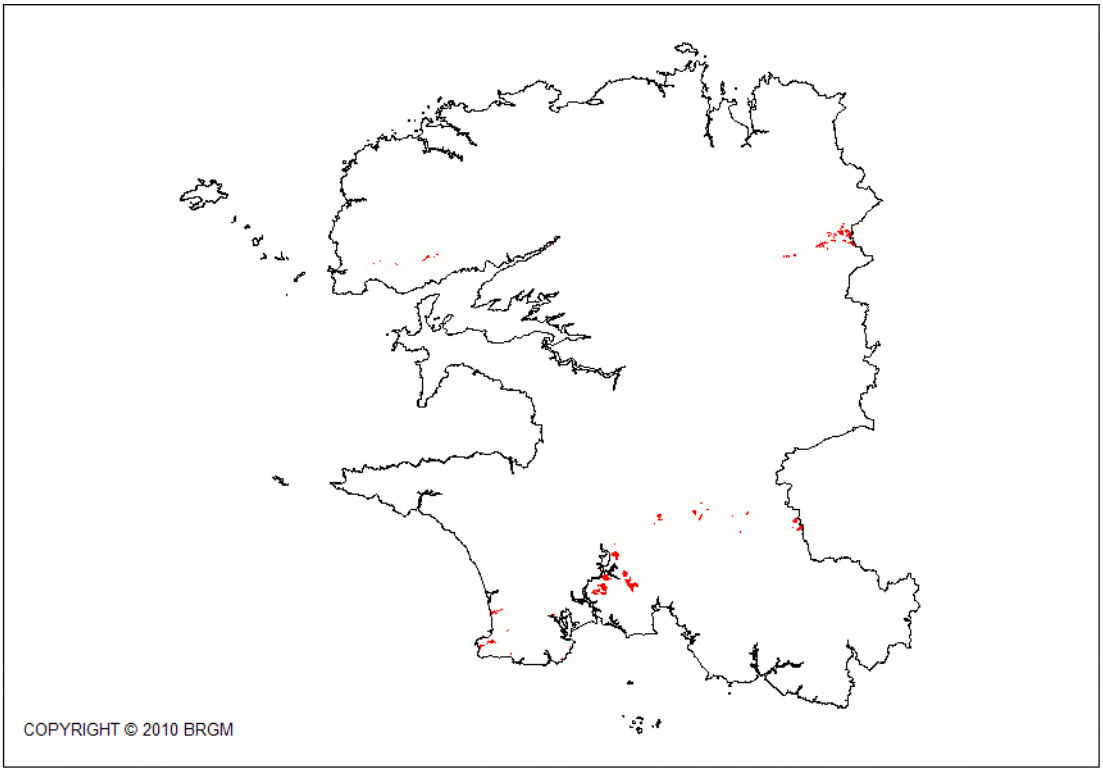


Illustration 14 - Répartition départementale de la formation HT

5.2. LES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES TERTIAIRES

Entre la fin du Crétacé et l'Éocène moyen, le substratum rocheux du Massif Armoricain a été altéré sur une centaine de mètres d'épaisseur (voire § sur les profils d'altération ci-dessous), par l'action météorique supergène en climat « chaud et humide ». L'hydrolyse de la roche-mère a abouti à la néoformation d'argiles, et notamment d'argiles kaoliniques. Cette altération a été suivie par la précipitation de silice dans les niveaux bas créés par le début d'une tectonique extensive à transtensive de direction E-W. Cet évènement tectonique est à l'origine de bassins d'effondrement (graben) comme celui de Rennes, le long de la faille de Pont-Péan ou de Saint-Jacut-du-Méné, le long de l'accident tectonique Quessoy-Nort-sur-Erdre, ou encore de Quimper, le long de l'accident tectonique de Kerforn. L'érosion des profils intervient dès l'Éocène supérieur, accompagnée par une sédimentation palustre jusqu'au Stampien inférieur. Une transgression marine envahit progressivement les zones marécageuses et à la fin du Stampien, la région redevient lacustre sous un climat plus aride avec arrêt de la sédimentation. Au Miocène (Serravallien), la mer des faluns, peu profonde, envahit partiellement le plateau armoricain et sa trace restera préservée dans les dépressions héritées de l'Éo-Oligocène. Au Pliocène, c'est une sédimentation littorale qui prend le relais, par un remplissage fluvio-deltaïque, indépendamment du fait que l'espace disponible soit étroit (rias) ou plus élargi. La montmorillonite, minéral argileux cardinal du Miocène, est remplacée par l'assemblage illite-kaolinite, caractéristique du

Pliocène. À la faune « chaude » du Pliocène succède la faune froide du Quaternaire ancien. C'est le début des périodes glacières.

Formation 8 - e - Argiles, sables, sables argileux, galets – Eocène

Cette formation géologique à argiles, sables et galets d'origine marine, a pu être caractérisée suite à la réalisation de sondages par le BRGM car elle était généralement masquée par 2 à 4 m d'alluvions quaternaires.

Les sondages menés lors du lever de la feuille Quimper ont permis de confirmer que la zone sablo-argileuse de Menez Bily correspond bien à un bassin sédimentaire, bordé par des accidents tectoniques sub méridiens (NW-SE), depuis Locmaria au Nord, jusqu'à Pleuven au Sud.

Trois autres bassins d'âge tertiaire ont été également mis en évidence au Juc'h à la jonction avec la feuille Châteaulin, au Sud-Ouest de Saint-Evarzec près de Dour Meur et à Kerleven, au fond de la baie de La Forêt, à la limite de la feuille Rosporden. Ces bassins tectoniques s'alignent sur des accidents orientés NW-SE – correspondant au couloir de failles du système Kerforn – qui se prolongent sur le plateau continental dans la baie de La Forêt – Concarneau et au large de Belle-Isle.

Dans la dépression du Juc'h, un sondage implanté près de l'abrupt dominant la ferme de Lanalen a traversé des sédiments argileux, avec des intercalations de graviers et de sables. Entre 35 et 40 m, des niveaux de lignite ont été traversés, et à 55 m, le socle granitique n'était pas encore atteint. Les argiles du Juch sont de même nature que celles qui ont été autrefois exploitées pour la céramique dans le bassin de Toulven. Au Moulin de Kervouster, au pied du versant oriental de la vallée, les formations tertiaires sont représentées à partir de 4-5 m de profondeur par des sables blancs et beiges, puis des graviers. De 9 à 25 m, ce sondage a traversé des argiles grises avec quelques concrétions silicifiées et des nodules pyriteux. Les derniers mètres du forage ont rencontré des sables grossiers arénacés, et les arènes granitiques ont été atteintes à 28 m.

À Quimper, le sondage de Stang Zu en bordure de la plage des Gueux, a été arrêté à 53 m de profondeur sans avoir atteint le substratum. Les trois premiers mètres ont traversé les sables et galets de la terrasse inférieure de l'Odet, puis, jusqu'à 11,50 m il a recoupé des niveaux de sable, d'argile, de graviers et d'arènes fluées avant d'atteindre des argiles grises compactes correspondant aux argiles à poterie de la carrière de Menez Bily. Ces argiles admettent des niveaux organiques, des couches de sables et de graviers. Un banc de galets a été aussi rencontré entre 28 et 30 m, et un important niveau de lignite a été traversé vers 34 m. La partie inférieure du sondage a traversé des sables avec des niveaux noirs très organiques avant de s'arrêter sur un niveau très résistant (banc silicifié ?).

Au Nord du Moulin du Pont, le sondage de Guiniel, implanté à une centaine de mètres du versant granitique, a d'abord rencontré des argiles kaoliniques avec des cailloux de quartz à peine émoussés, puis, jusqu'à 17 m, plusieurs niveaux de sédiments arénacés souvent très micacés avec des concrétions pyriteuses. La partie inférieure du

sondage a, ensuite, traversé des sables plus ou moins argileux avec quelques lits plus grossiers. Au fond du forage, à 48 m, les sables étaient chargés de graviers et de pyrite, et la tarière a bloqué sur un caillou ou un niveau silicifié. Au Nord de Pleuven, les sondages ont atteint le socle de micaschiste entre 8,5 et 35 m suivant les endroits, après avoir traversé des séries à sables et argiles comportant parfois de la matière organique et des nodules pyriteux.

À Saint-Evarzec, le sondage a été arrêté à 22,5 m de profondeur sans avoir atteint le socle ; il a traversé principalement des argiles gris-clair à blanches, assez riches en paillette de micas blancs, parfois en grains plurimillimétriques de quartz roulé et, localement, en nodules de pyrite. Le sondage implanté en bordure de la plage de Kerleven a traversé des argiles blanches avec quelques intercalations de lits de sable ou de cailloux de quartz peu émoussés. À 20 m, des traces de débris végétaux ont été observées, et à 28 m, le forage a été arrêté dans des argiles gris-blanc très compactes.

Les argiles de Toulven, qui n'ont pas fourni de fossiles, étaient attribuées sur les cartes géologiques à 1/80 000 (Châteaulin et Quimper, 2e éd.) au Pliocène inférieur, bien que Ch. A. Picquenard (1922) ait montré que ces argiles ne pouvaient être que plus anciennes que les dalles de grès éocènes observables en surface tout autour de la dépression de Toulven. Cette opinion a été confirmée par la découverte de spores et de grains de pollens dans les niveaux d'argile noire de la carrière de Menez Bily. Ces éléments végétaux, apportés par le vent et entraînés par les eaux, ont été fournis par des arbres et arbustes associés à des fougères se développant sous un climat tropical ou subtropical. Les associations polliniques ont permis à S. Durand (1960) de situer la partie supérieure des dépôts à la fin de l'Éocène ou à la base de l'Oligocène inférieur (Notice de la feuille Quimper).

Les sondages menés récemment ont également rencontré des dépôts organiques avec des bois fossiles au Nord du bassin de Toulven, ainsi que dans le fossé du Juc'h. Ces niveaux profonds sont vraisemblablement plus anciens que les argiles de Toulven. Le petit bassin de Kerleven, qui s'inscrit entre celui de Toulven et celui de la baie de Concarneau, ne montre pas de sédiments marins et s'apparente au bassin continental éocène de Toulven.

Les minéraux constituant ces argiles éocènes à Toulven appartiennent au groupe des kaolinites. La kaolinite y est associée à l'halloysite qui s'est déposée suivant des zones lenticulaires (Estéoule-Choux, 1970, notice de la feuille Quimper). La kaolinite est prépondérante par rapport à l'illite, et on note la présence de pyrophyllite. Deux échantillons ont été prélevés dans le cadre de cette étude afin d'avoir un spectre minéralogique clair des ces argiles tertiaires. Ces deux analyses confirment et montrent la large dominance de la kaolinite sur l'illite avec : 91 / 87 % de kaolinite, 9 / 13 % d'illite et/ou micas.

Le spectre des minéraux lourds associés se caractérise par l'abondance de la staurotide et de l'andalousite qui sont associées à la tourmaline ainsi qu'au zircon en faible proportion.

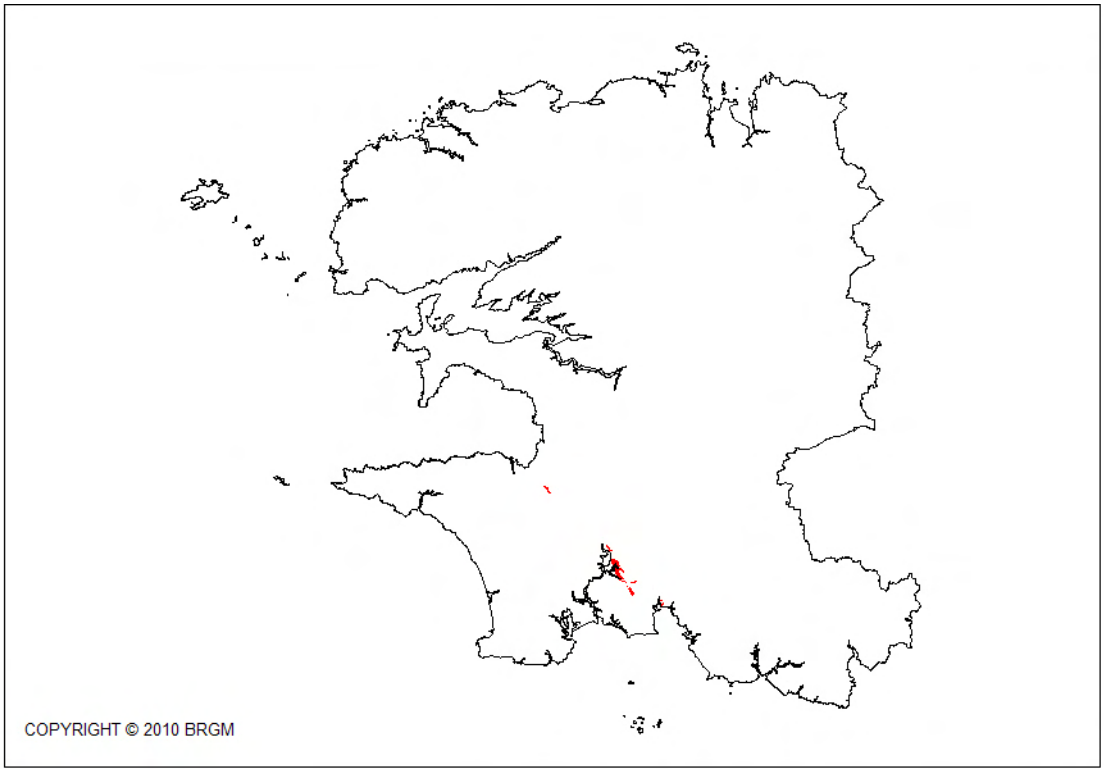


Illustration 15 - Répartition départementale de la formation e

5.3. LES FORMATIONS ARGILEUSES D'ALTERATION (𝒜K et 𝒜)

5.3.1. Généralités

Les formations d'altération dérivent des modifications in situ des propriétés physiques et chimiques de leurs roches mères métasédimentaires 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 recombinent 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 non 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 « hydrolysant » (Wyns, 1991 ; Thomas, 1999 ; Wyns et Guillocheau, 1999).

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 » et 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 Ferricrêtes).

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 entrainant 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 et, d'autre part, le saprolite constitue l'horizon à dominante potentiellement argileuse.

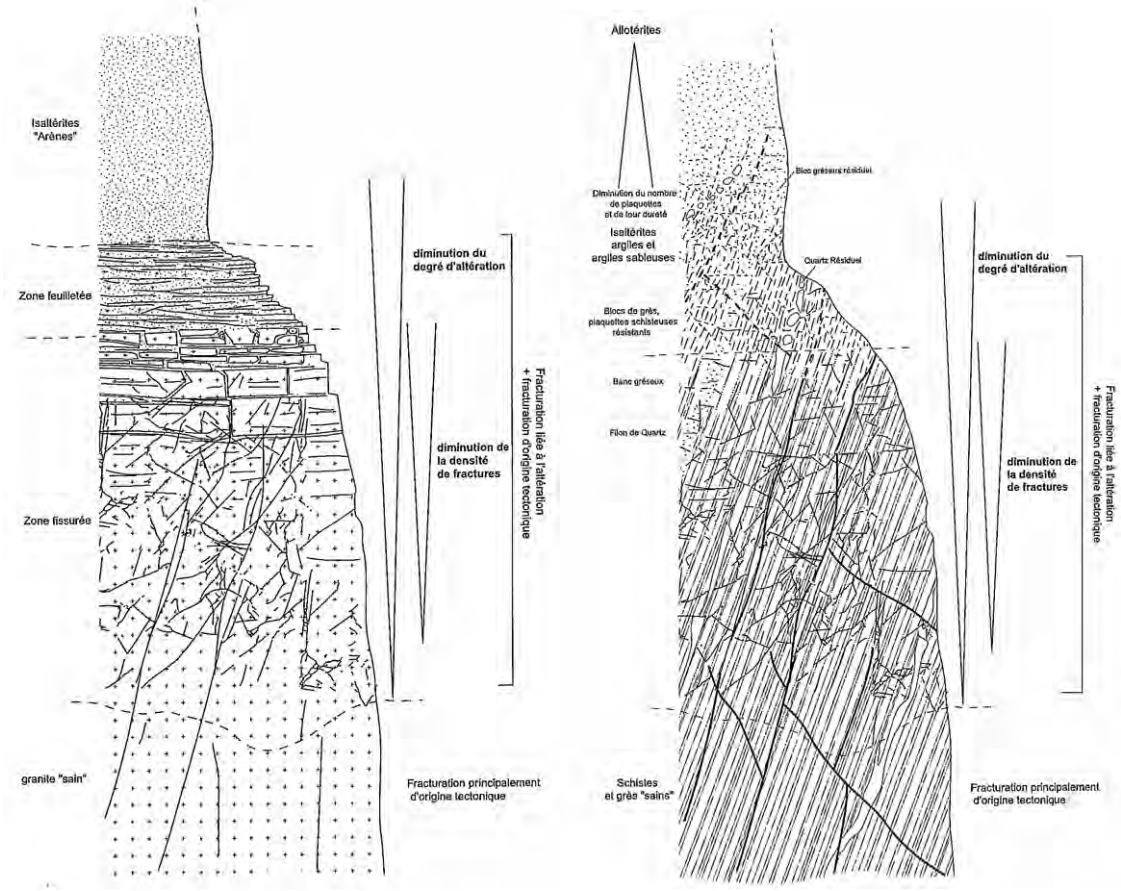


Illustration 16 – Profils d'altération dans des roches de type granite, à gauche et dans des roches de type schiste, à droite (Thomas, 1999)

5.3.2. Evaluation des altérites

A travers la cartographie de l'aléa au retrait-gonflement des sols argileux des autres départements bretons, il a été possible de proposer une évaluation des zones d'altération sur les secteurs où les altérites n'avaient pas été cartographiées : (1) en utilisant l'organisation verticale des roches d'altération, décrite ci-dessus et proposée par R. Wyns, (2) en la combinant avec une analyse géomorphologique et enfin (3) en validant cette interprétation par plusieurs données de sondages (§ 4.1.2).

Cette évaluation n'a cependant pas été réalisée pour le département du Finistère, car il n'existait que seulement deux cartes géologiques sur lesquelles il était possible de s'appuyer.

5.3.3. Formation 9 – $\mathscr{A}$K - Argiles et sables kaoliniques – Tertiaire

Ces argiles d'altération apparaissent à Riec-sur-Belon et sur le granite de Cacasdec. Sur le granite de Riec-sur-Belon, il existe une zone fortement kaolinisée, développée

aux dépens du granite à muscovite (biotite). A proximité de filons de quartz postérieurs à la mise en place du pluton, cette formation géologique communément appelée « kaolins », se présentent sous la forme d'une argile beige à blanche contenant plus ou moins de grains de quartz résiduels.

Sur le Granité de Cascadec, les zones d'altération profondes forment des couloirs à travers le massif ou des alvéoles. Les saprolites au fond de ces dépressions sont souvent riches en kaolin (Miné Saint-Jean). Sur la face septentrionale du massif de Cascadec, au contact des micaschistes briovériens, se développent également des cuvettes correspondant à une altération kaolinique (Stang Blanc au Sud-Ouest de Scaër).

Deux hypothèses sont émises sur la mise en place de ces « kaolins ». La première, proposée par de nombreux auteurs (Nicolas, 1956 ; Chauris, 1965; Charoy, 1975 dans la notice de la feuille Concarneau), considère que l'origine des « kaolins » est strictement hydrothermale. Ces auteurs s'appuient sur le fait que les « kaolins » accompagnent des veines de quartz dans le granite de Ploemeur, sur la minéralogie hydrothermale (tourmaline et cassitérite) et la température de 150 °C des inclusions fluides dans ces mêmes veines de quartz (Nicolas, 1956; Charoy, 1975). La seconde hypothèse (Estéoule et Estéoule-Choux, 1978, 1979) considère que ces « kaolins » se sont développés par altération ménagée (hydrolyse douce; Estéoule-Choux, 1970) à partir d'une lithologie particulière (proche d'un leucogranite) et fortement tectonisée (fracturation et broyage du substrat).

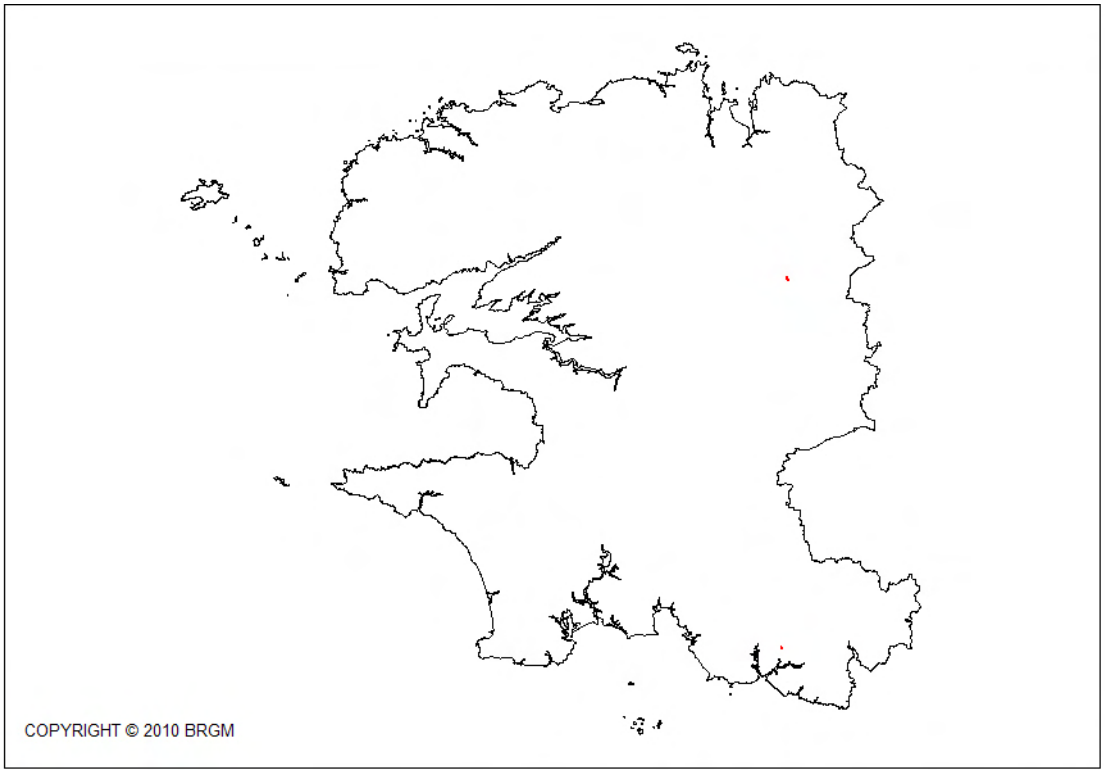


Illustration 17 - Répartition départementale de la formation $\mathcal{A}K$

L'âge exact de ces allotérites reste inconnu. Cependant, des dalles de grès ladères interprétées comme tertiaires, ont été observées au-dessus des « kaolins » de Ploemeur (feuille Lorient).

5.3.4. Formation 10 - $\mathscr{A}$ - Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire

Cette formation englobe les matériaux ameublis issus de l'altération des roches du substrat, sans qu'il n'y ait eu de transport notable des éléments issus de cette transformation. Lorsque les structures de la roche mère sont conservées, on parlera d'isaltérites et seule la partie sommitale des profils d'altération pourra être déplacée par fauchage. Pour les parties les plus argileuses situées au dessus des isaltérites, on parlera alors d'allotérites.

Isaltérites. Les altérites ont souvent conservé l'aspect de la roche originelle. Le grain, les strates, la schistosité et la fissuration sont encore visibles malgré la décomposition des minéraux phyllosilicatés en minéraux argileux. L'altération ait que ces roches présentent peu de résistance mécanique.

Allotérites. Les transformations texturales conséquence de la météorisation sont plus actives sur les parties sommitales de profil où l'argilisation est plus importante. Les roches sont transformées en totalité en argiles d'altération souvent soyeuse, dans lesquelles il est possible d'observer de paillettes de phyllosilicates étincelantes et caractéristiques.

Les formations paléozoïques sont parfois profondément altérées, en particulier dans le pli se développant au Nord de Briec, entre le Karrec an Tan, le Ménez Roc'h Meur et le méandre de Saint-Coulitz. Les altérites sont observables dans les tranchées de la RN164 sur plusieurs mètres d'épaisseur, en particulier dans la vallée affluente à l'Aulne au Nord du pont du Quinquis. La Formation des Grès de Landévennec est souvent réduite à l'état d'argiles et de sables parfois ferrugineux dans l'Unité de Briec à l'Ouest de Gouézec.

Localement, les granites sont généralement arénisés mais cette altération peut être irrégulière comme il est possible de l'observer dans les carrières du massif de Locronan. Cette géométrie est caractéristique des formations magmatiques où l'on observe une succession de cuvettes, occupées par des arènes et des ilots de roche saine formant parfois des « tors » comme celui de Miné Bidon, entre Guiscriff et Saint-Thurien.

Les roches métamorphiques sont habituellement profondément altérées et il est assez rare de trouver des affleurements de schistes résistants. Les schistes métamorphiques fournissent des sables fins micacés souvent fortement argileux, tandis que les granités donnent des sables de granulométrie variable avec une fraction argileuse plus ou moins importante.

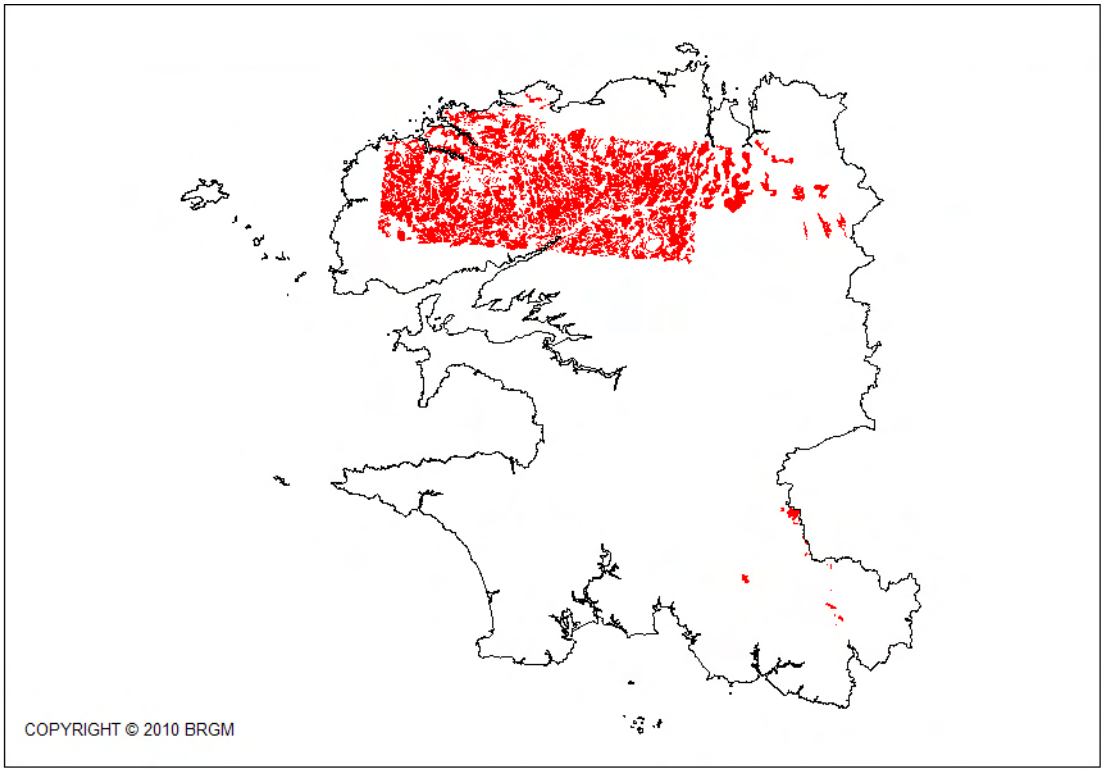


Illustration 18 - Répartition départementale de la formation $\mathscr{A}$ (les altérites apparaissent uniquement sur les cartes où elles ont été cartographiées ce qui explique cette représentation cartographique)

5.4. 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 pris 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 **10** 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 **10** 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 Finistère. 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 19 – 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 le suivant :

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

Les principaux éléments ayant permis la caractérisation lithologique des formations ont été détaillés lors de la description de ces formations dans le chapitre 5. Les notes lithologiques attribuées à chacune des formations sont présentées dans le tableau ci-dessous (Illustration 20).

La classification suivant la note lithologique met en évidence le fait que, parmi les **10** formations géologiques argileuses ou marneuses du département :

I) 2 formations obtiennent **une note de 3**, ce qui signifie que leur composante argileuse est dominante dans la formation.

II) 5 formations obtiennent **une note de 2**, ce qui signifie que le terme argileux n'est pas prédominant. Il s'agit notamment :

et **III) 3** 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).

Num	Code_Formation	Nom_Formation	Surface km²	% départ.	Not_LITHO
1	FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Quaternaire	27,48	0,41	2
2	T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène	15,26	0,23	3
3	Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène	403,55	6,00	1
4	Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène	11,00	0,16	1
5	CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire	322,63	4,79	1
6	OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire	241,63	3,59	2
7	HT	Hautes Terrasses (du galet aux argiles) - Tertaire à Quaternaire	19,02	0,28	2
8	e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène	6,25	0,09	2
9	AK	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire	0,70	0,01	3
10	A	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire	685,81	10,19	2

Illustration 20 – 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 21 – 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 Finistère proviennent :

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

- de données bibliographiques, notamment issues de la thèse de Janine Estéoule-Choux (1967), de rapports de prospection et de caractérisation de gisements d'argile en Bretagne du BRGM (Le Berre, 1982) et d'études spécifiques concernant les argiles de la région Bretagne (BRGM, 1989);

- de 7 analyses réalisées dans le cadre de la présente étude.

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. Cependant, la réalisation des cartes d'aléa des 4 départements bretons ayant été simultanée, les choix concernant l'échantillonnage et la comparaison des résultats d'un département à l'autre ont pu être optimisés.

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 Finistère

La caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département est synthétisée par le tableau ci-dessous (Illustration 22)

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

Les analyses réalisées sur le département ont été privilégiées de part leur homogénéité et malgré le fait qu'elles ne soient qu'au nombre de **7**. Cependant, **48** analyses supplémentaires réalisées dans les autres départements bretons permettent d'avoir une meilleure répartition géographique et une meilleure représentativité dans le calcul de la note minéralogique. Au final, 25 analyses quantitatives et qualitatives, issues de cette étude mais aussi de l'analyse des notices des cartes géologiques, ont été utilisées pour le département du Finistère :

La formation géologique alluviale notée Fz n'a pas reçu de note minéralogique en raison du manque de données et de représentativité à l'échelle régionale. Il a été noté « - » dans les cases correspondantes du tableau de la caractérisation minéralogique.

I) 1 formation n'a pas pu être caractérisée.

II) 2 formations ont reçu **une note minéralogique de 2**.

Enfin **III) 7** formations ont reçu **une note minéralogique de 1**, correspondant à une susceptibilité faible vis-à-vis de la minéralogie.

Les sources des analyses aux rayons X sont résumées ci-dessous. Lorsque les analyses ont été réalisées pour une étude départementale des sols argileux, il est noté dans le tableau ARG XX (pour aléa retrait-gonflement du 35, du 56 ou du 22), BRGM si il s'agit d'un rapport BRGM ou encore un nombre à trois chiffres correspondant au numéro de la notice de carte géologique dans laquelle la donnée figurait.

Dans les notices des cartes géologiques, la minéralogie des argiles est souvent qualitative plus que quantitative. Cette minéralogie qualitative a été interprétée en minéralogie quantitative suivant la grille ci-dessous.

Num	ode_Formatio	Nom_Formation	Nbre_RX	Interstr. Smect./clh. ou illite (%)	illite et/ou mica (%)	Kaolinite (%)	Chlorite, talc, vermiculite (%)	Source_MIN	Not_MINERALO
1	FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Quaternaire	3	49/27/20	34/49/20	11/15/30	-/-/30	ARG35/449/208	2
2	T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène	3	49/27/20	34/49/20	11/15/30	-/-/30	ARG35/449/208	2
3	Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène	-	-	-	-	-	-	-
4	Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène	1	10(2+8)	38 + 5	12	35 *(non gonflant)*	ARG35	1
5	CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire	4	- / - / + / +++	81% / - / - / -	19% / + / + / +	- / + / - / -	ARG35/389	1
6	OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire	3	- / - / -	++/++/24%	++/++/45%	- / - / 2%	247/246/354	1
7	HT	Hautes Terrasses (du galet aux argiles) - Tertaire à Quaternaire	2	17/2	16/10	60/80	12/5	ARG56	1
8	e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène	3	-	14/9/13	86/91/87	-	ARG56/2ARG29	1
9	$\mathcal{A}$eK	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire	4	-/-/-/-	1/+/21/-	99/+++/79/++++	-	ARG22/312/ARG29/317	1
10	$\mathcal{A}$e	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire	3		-/7/11	++++/90/89	-/3/-	ARG35/ARG56/ARG29	1

*SOURCE DES ANALYSES RX = *les trois chiffres = n° de carte géologique ; ARG29 =*		
++++	très dominant	60-80 %
+++	dominant	<50%
++	à parité	>50%
+	présent	~10%
-	non présent	0%

Illustration 22 - 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 23 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 se fait de façon dichotomique à partir de la granulométrie du « plus gros au plus petit » : R : matériaux rocheux > C : matériaux rocheux mais avec matrice fine > La matrice fine qui est ensuite elle aussi subdivisée en deux parties avec : B : sols avec Dmax > 50 mm > A : Sols avec Dmax < 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.

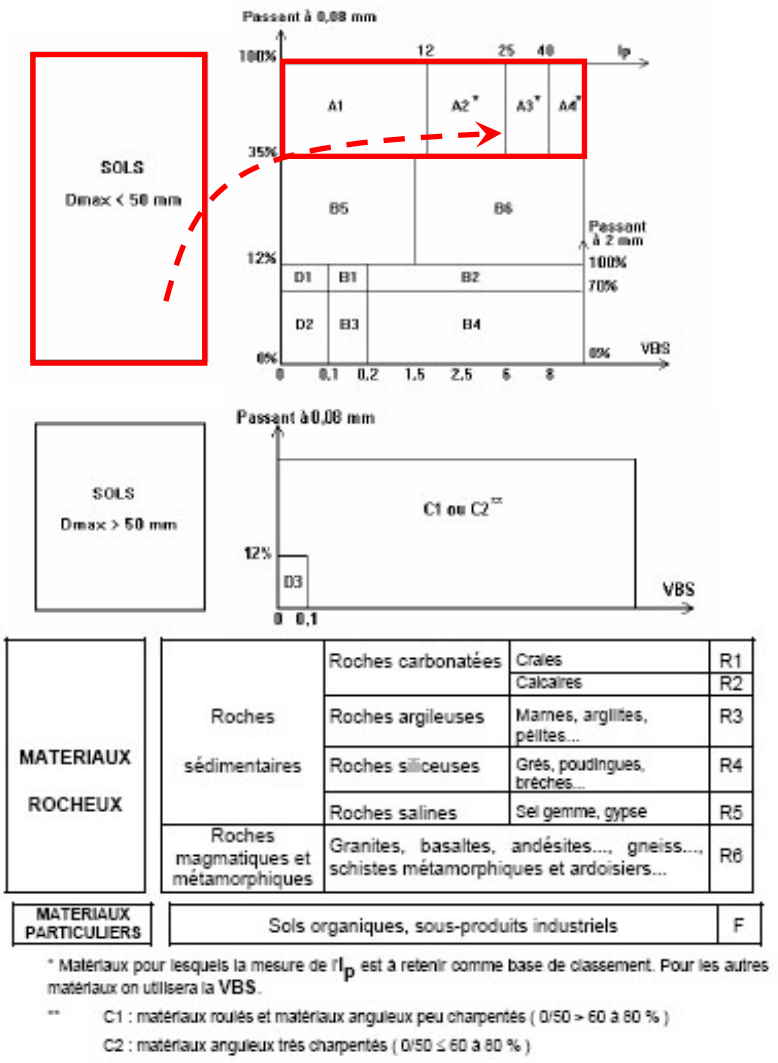


Illustration 23 - Classification des sols selon le guide GTR92 (source © LCPC)

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 couteuses ;

- **(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 succeptibles au retrait-gonflement, seules sont prises en compte les caractéristiques intrinsèques du sol car **(1)** elles sont indépendantes 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 pressiométre 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 Finistère, ce sont essentiellement les indices de plasticité Ip, les valeurs au bleu Vb ou VBS qui ont été utilisés, les autres essais restant trop rares pour être exploités.

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 24 – Barême 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, voire 20 et 30.

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 25 - Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction de la valeur au bleu de méthylène de la formation

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 26 - Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du retrait linéaire de la formation

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

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 27 - Barême d'évaluation de la susceptibilité au retrait-gonflement en fonction du coefficient de gonflement de la formation

Dans le département du Finistère, 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 consultation directe 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 **2 446**.

Les coordonnées complètes des entreprises et bureaux d'étude ayant fourni des données géotechniques sont présentées en annexe 2.

Les données proviennent des bureaux d'études dont les noms suivent et qui ont accepté d'accueillir un agent du BRGM pour exploiter et extraire des analyses de sol de leurs archives : Arcadis (29), Fondasol (29 et 44), Géotec (44) et Hydrogéotechnique (35).

Nous souhaitons les remercier pour leur précieuse collaboration, ainsi que le Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc (CETE de l'Ouest), la Direction Interdépartementale des Routes de l'Ouest (DIROuest – Agence de Gipavas) et le Conseil Général du Finistère / Direction des déplacements (Agences de Quimper et Brest).

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

SOURCE	NBRE
CG29	558
DIROuest	561
CETE Ouest	1327
Total	**2446**

La répartition par bureau d'étude ayant réalisé les analyses de sol est la suivante :

BE	NBRE
Arcadis	6
Arcadis-Simecsol	5
CETE Rouen	10
Fondasol	199
Gaudriot	28
Geotec	173
Hydrogéotechnique	52
Laboratoire DDE29	44
LRPC Saint-Brieuc	1885
Solen	39
Autres	5
Total	**2446**

Les analyses de sol récoltées dans la cadre de cette étude pour la caractérisation géotechnique des formations argileuses ou marneuses du Finistère, sont au nombre de **2 446**, réparties comme ceci : **1 991** indices de plasticité **IP** (dont **250** ont pu être attribués aux formations identifiées comme argileuses), **476** valeurs au bleu de méthylène **Vb ou VBS** (dont **130** ont pu être attribuées aux formations identifiées comme argileuses). Une majorité d'analyses n'a effectivement pas pu être attribuée aux formations argileuses identifiées, compte tenu de leur faible surface d'affleurement dans le département.

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

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.

Les notes géotechniques ont été attribuées de manière pondérée, en tenant compte des nombres relatifs d'échantillons et des types d'essai par formation argileuse ou marneuse, 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 sur les **10** formations argileuses :

I) 2 formations argileuses reçoivent **une note géotechnique de 2**,

II) 7 formations argileuses ont obtenu une **note géotechnique de 1**,

III) 2 formations n’ont pu être caractérisées du fait d’une faible surface d’affleurement expliquant l’absence d’analyses les concernant.

Num	Code_Formation	Nom_Formation	Nbre_Ip	Ip_max	Ip_min	Ip_som	Ip_moy	Nbre_VBS	VBS_max	VBS_min	VBS_som	VBS_moy	Not_GEOTECH
1	FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Quaternaire	5	9	2,5	29,5	**5,90**	-	-	-	-	-	**1**
2	T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène	3	18	10,7	42,6	**14,20**	1	0,53	0,53	0,53	**0,53**	**1**
3	Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène	36	30	3	440,25	**12,23**	19	1,85	0,06	12,96	**0,68**	**1**
4	Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène	7	15	7	76,2	**10,89**	1	0,37	0,37	0,37	**0,37**	**1**
5	CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire	37	23	5	445,3	**12,04**	18	4,28	0,06	17,33	**0,96**	**1**
6	OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire	49	19,5	3,5	467,85	**9,55**	17	1,26	0,22	11,88	**0,70**	**1**
7	HT	Hautes Terrasses (du galet aux argiles) - Tertaire à Quaternaire	1	22	22	22	**22,00**	-	-	-	-	-	**2**
8	e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	∠6K	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	∠6	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire	112	23	5	1213,68	**10,84**	74	4,5	0,06	62,26	**0,84**	**1**
		Nbre d'analyses utilisées	*250*					*130*					

Illustration 28 - Note géotechnique des formations argileuses ou marneuses du département du Finistère

6.5. ELABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE

6.5.1. Détermination du degré de susceptibilité

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
$2 <$ valeur ≤ 3	moyen
valeur > 3	fort

Illustration 29 - Barême d'attribution d'un niveau de susceptibilité d'une formation argileuse

6.5.2. Susceptibilité des formations argileuses et marneuses

Le degré de susceptibilité des **10** formations argileuses et marneuses identifiées dans le département du Finistère est présenté dans l'illustration ci-dessous.

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

Cette susceptibilité est faible pour l'ensemble des formations argileuses ou marneuses du département du Finistère.

Num	Code_Formation	Nom_Formation	Not_LITHO	Not_MINERALO	Not_GEOTECH	Indice de susceptibilité	Degrés de susceptibilité
1	FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Quaternaire	2	2	1	1,67	faible
2	T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène	3	2	1	2,00	faible
3	Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène	1	-	1	1,00	faible
4	Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène	1	1	1	1,00	faible
5	CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire	1	1	1	1,00	faible
6	OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire	2	1	1	1,33	faible
7	HT	Hautes Terrasses (du galet aux argiles) - Tertaire à Quaternaire	2	1	2	1,67	faible
8	e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène	2	1	-	1,50	faible
9	∽K	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire	3	1	-	2,00	faible
10	∽	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire	2	1	1	1,33	faible

Illustration 30 - Degré de susceptibilité pour chaque formation argileuse ou marneuse du département du Finistère

6.5.3. Carte de susceptibilité

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 32 et en carte hors-texte à l'échelle 1/150 000.

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 (absent dans le département).

Num	Code_Formation	Nom_Formation	Surface km²	% départ.	Degrés de susceptibilité
1	FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Quaternaire	27,48	0,41	faible
2	T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène	15,26	0,23	faible
3	Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène	403,55	6,00	faible
4	Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène	11,00	0,16	faible
5	CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire	322,63	4,79	faible
6	OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire	241,63	3,59	faible
7	HT	Hautes Terrasses (du galet aux argiles) - Tertaire à Quaternaire	19,02	0,28	faible
8	e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène	6,25	0,09	faible
9	AεK	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire	0,70	0,01	faible
10	Aε	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire	685,81	10,19	faible
		Totaux	**1733,3**	**25,8**	faible

Illustration 31- Tableau synthétique sur la susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement des formations argileuses du département du Finistère

La superficie du département du Finistère est finalement caractérisée par :

- un degré de susceptibilité faible sur de **25,8 %** de la superficie totale du territoire départemental, soit **1733,3** km² environ ;

74,2 % du département du Finistère n'est dans l'état actuel des connaissances de la géologie du département, a priori, pas susceptible au retrait-gonflement des argiles. Ceci correspond les formations considérées comme non argileuses et au réseau hydrographique. Cette proportion est à l'image de la faible sinistralité du département.

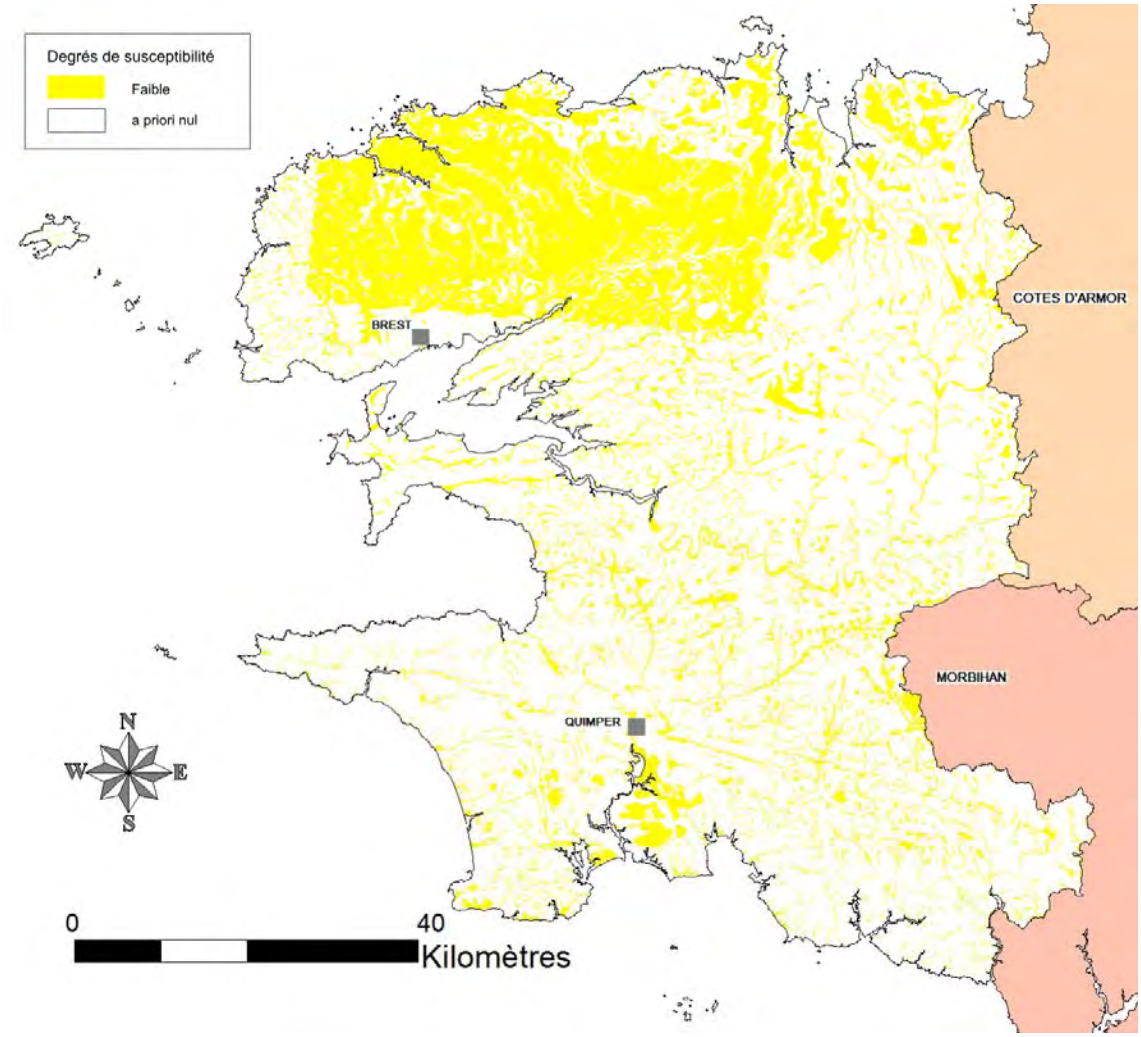


Illustration 32 - Carte de susceptibilité au retrait-gonflement des formations argileuses ou marneuses du département du Finistère

7. Analyse de la sinistralité

7.1. 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.

7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTREES

7.2.1. Localisation des communes sinistrées

Au 20 juillet 2010, aucune commune du département du Finistère n'a été reconnue en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols. Le département du Finistère fait parti des six départements à n'avoir pas fait l'objet de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, avec les départements de Corse du Sud et Haute-Corse, des Côtes d'Armor, de la Creuse et de la Manche.

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

7.3. 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 (0 sinistres);
- une enquête auprès de l'ensemble des communes du département (5 sinistres);
- la consultation de dossiers communiqués par des bureaux d'études (0 sinistres).

La principale source d'informations provient généralement d'une enquête effectuée auprès des communes du département. Cette enquête a été réalisée par l'envoi d'un courrier adressé aux maires des **283** communes.

Le courrier a été envoyé par l'intermédiaire de la préfecture, en date du **24 octobre 2008**. Une relance a été effectuée par courrier électronique par le BRGM aux communes n'ayant pas répondu le **11 mai 2010**. Enfin une dernière relance toujours par courrier électronique a été faîte le **08 juillet 2010** sur les communes restantes.

Le taux de réponse aux différents courriers envoyés a été très satisfaisant puisque **62,5 %** des communes contactées ont répondu soit **177** communes sur les **283** du département. Ce taux de réponse peut être considéré comme représentatif, compte-tenu de la sinistralité très limitée du département.

L'ensemble de ces démarches a permis de recenser **6** sinistres dans le département du Finistère, dont **5** sur la commune de **Daoulas** et **1** sur la commune de **Gouesnach**.

Id	Commune	Source	X L2E	Y L2E	Date
1	DAOULAS	MAIRIE	111763.11	2394071.88	1993
2	DAOULAS	MAIRIE	111704.68	2393961.67	1997
3	DAOULAS	MAIRIE	111736.42	2393758.31	1995
4	DAOULAS	MAIRIE	111833.23	2393691.17	2006
5	DAOULAS	MAIRIE	111624.49	2393870.36	2008
6	GOUESNACH	MAIRIE	118601.19	2343240.48	-

7.4. 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 dans le cadre de la méthodologie conduit à étudier la répartition des sinistres par formation géologique.

Ces six sinistres se situent dans l'une des formations argileuses ou marneuse : la formation 5, notée CsGP et correspondant à des dépôts sablo-argileux de pente. Cette formation 5 a obtenu des notes lithologique, géotechnique et minéralogique, faibles.

7.5. 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 km^2 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 km^2 de surface effectivement bâtie.

7.5.1. Détermination du taux d'urbanisation par formation

La détermination du taux d'urbanisation par formation argileuse est réalisée grâce à la couche « bâti » de la BD TOPO de l'IGN, fournie dans le cadre de la présente étude par la DDTM du Finistère. Cette opération permet de calculer, pour chaque formation argileuse sa surface bâtie.

Les surfaces bâties et les nombres de sinistres recensés permettent habituellement de calculer des densités de sinistres par formation argileuse. Les résultats acquis au cours des études de ce type montrent que la prise en compte du taux d'urbanisation modifie sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques argileuses en termes de densité de sinistres, dans la mesure où le taux d'urbanisation varie d'une formation à l'autre.

Num	Code_Formation	Nom_Formation	Surface km²	Surface batie km²
1	FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Quaternaire	27,48	0,33
2	T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène	15,26	0,02
3	Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène	403,55	1,46
4	Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène	11,00	0,41
5	CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire	322,63	2,16
6	OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire	241,63	4,54
7	HT	Hautes Terrasses (du galet aux argiles) - Tertaire à Quaternaire	19,02	0,19
8	e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène	6,25	0,12
9	AK	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire	0,70	0,01
10	A	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire	685,81	10,99

Illustration 33 – Surface batie par formations argileuses ou marneuses du département du Finistère

7.5.2. Détermination du critère densité de sinistres

Afin de pouvoir comparer les formations argileuses entre-elles, il est habituellement calculé pour chaque formation argileuse une densité de sinistres pour 100 km^2 bâtis. Un critère « densité de sinistres » est alors établi par rapport à la densité moyenne de sinistres pour 100 km^2 bâtis sur l'ensemble des formations argileuses du département (typiquement, on attribue une note de sinistralité de 1 aux formations moins sinistrées que la moyenne, de 2 aux formations dont la densité de sinistres pour 100 km^2 bâtis est comprise entre la moyenne et le double de la moyenne, et une note de 3 aux formations dont la densité de sinistres est supérieure au double de la moyenne).

Cependant, compte-tenu du très faible nombre de sinistres localisés dans le département du Finistère, ce critère de sinistralité ne peut être considéré comme représentatif et significatif, une seule formation apparaissant comme sinistrée. Ce critère n'a donc finalement pas pu être retenu lors de cette étude.

8. Carte d'aléa

8.1. DETERMINATION DU NIVEAU D'ALEA

L'aléa retrait-gonflement des argiles est, par définition, la probabilité d'occurrence du phénomène. Dans la méthodologie appliquée au niveau national, le niveau d'aléa est évalué, de manière purement qualitative, pour chaque formation argileuse et marneuse, en combinant la susceptibilité et la densité de sinistres.

La susceptibilité des formations argileuses et marneuses identifiées a été caractérisée à partir de la moyenne des notes attribuées pour chacun des critères lithologique, minéralogique et géotechnique, comme indiqué au chapitre 6. L'indice de susceptibilité ainsi obtenu a été décliné en trois classes, qualifiées respectivement par une susceptibilité faible, moyenne et forte, et prend les valeurs de 1, 2 ou 3.

Pour le facteur densité de sinistres, le critère habituellement utilisé est la densité de sinistres rapportée à 100 km^2 d'affleurement réellement 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.

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

- aléa faible : note d'aléa égale à 3, 4 ou 5

- aléa moyen : note d'aléa égale à 6 ou 7

- aléa fort : note d'aléa égale à 8 ou 9

Dans le Finistère, comme dans les Côtes d'Armor, l'absence de sinistres a rendu impossible la prise en compte de ce critère de sinistralité. Comme c'est le cas dans d'autres départements pour des formations peu urbanisées et de ce fait une sinistralité non évaluable, un niveau d'aléa équivalent au niveau de susceptibilité identifié dans le chapitre 6 a été attribué à chaque formation argileuse ou marneuse.

Cette carte d'aléa pour le département du Finistère n'intègre pas de critère de sinistralité.

En tout état de cause, ces résultats semblent cependant être confirmés par les résultats déjà acquis sur les autres départements.

8.2. CARTE D’ALEA

La carte départementale d’aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d’aléa définie ci-dessus, définie directement à partir des niveaux de susceptibilité. Elle est présentée sur l’illustration 34 et en carte hors-texte à l’échelle 1/150 000 (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 formations retenues sont représentées par la couleur jaune, correspondant au niveau d'aléa retrait-gonflement faible.

Les zones blanches de la carte correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles couvrent près de **74,2** % de la superficie départementale.

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

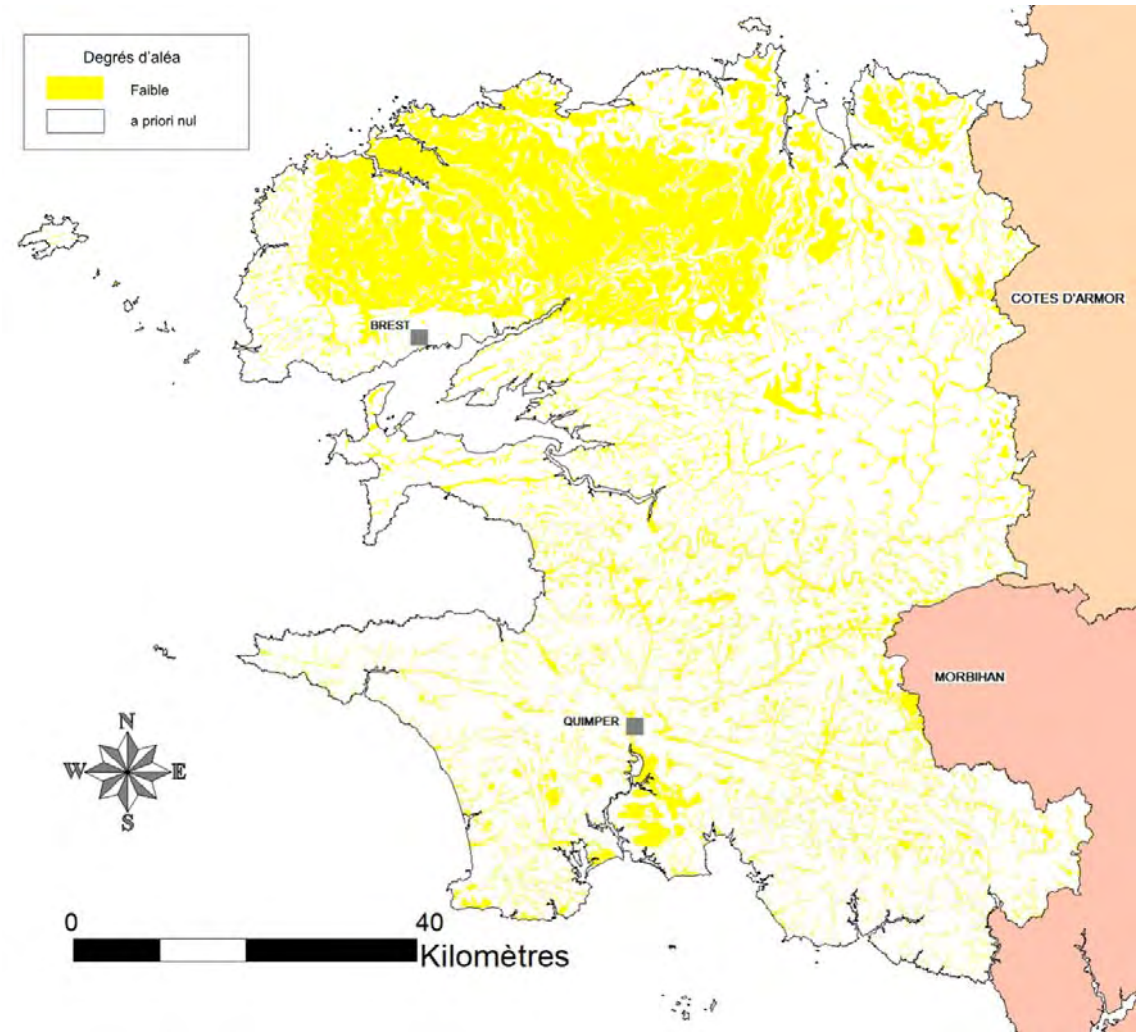


Illustration 34 – Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux du Finistère

8.3. COMPARAISON AVEC LES DEPARTEMENTS LIMITROPHES

Les départements limitrophes du Finistère, Morbihan (56) et Côtes d'Armor (22), disposent déjà d'une carte d'aléa (Schroetter et al., 2010c, 2010b).

On retrouve dans le département du Finistère, la totalité des formations géologiques argileuses, déjà rencontrées dans les départements voisins, notamment, les formations argileuses d'altération et sédimentaires tertiaires, auxquelles viennent s'ajouter, les formations quaternaires alluvionnaires, colluvionnaires et de pentes.

Les formations tertiaires sont cependant ici nettement plus sableuses qu'argileuses et les altérites ne semblent pas avoir été préservées dans la partie centrale du département.

En résumé, pour ces trois départements bretons et ce fut le cas aussi pour le département de la Loire Atlantique, les formations argileuses ou marneuses d'origine essentiellement 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 divergences de niveau d'aléa s'expliquent par :

- le niveau de cartographie des altérites qui même évalué, ne permet pas de gommer les disparités cartographiques ;
- les variations d'argilosité, au sein d'une même formation;
- et la prise en compte ou pas de la sinistralité.

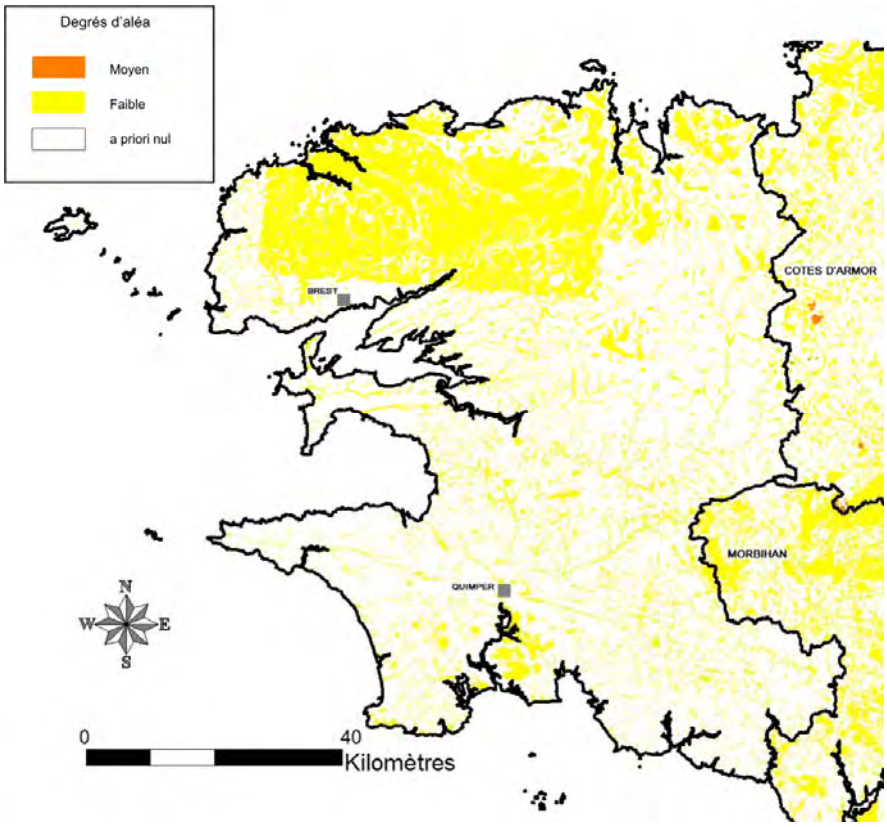


Illustration 35 – Juxtaposition des cartes d'aléa limitrophes au Finistère

8.4. SYNTHESE DE L'ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DANS LES COTES D'ARMOR

Dans le département du Finistère, il n'a pas été possible de déterminer une cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles telle que définie par ce type d'étude. Cependant il est possible de caractérise une cartographie des formations argileuses susceptibles d'exprimer le phénomène en cas d'épisode climatique extrême comme ce fut le cas en 2003 et 2005.

La **superficie de l'aléa faible** ne représente que **25,8 %** de la superficie totale du département. Enfin **la superficie de l'aléa a priori nulle** est de **74,2 %** de la superficie totale du département.

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 degré d'aléa correspond aux prédispositions qu'on les terrains sous jacents** 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.

9. Conclusion

L'objectif de cette étude était d'établir une carte de l'aléa lié au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux dans le département du Finistère, 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 **10 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, en se basant uniquement sur la hiérarchisation en termes de susceptibilité. En effet, le critère de sinistralité

habituellement utilisé n’a pas pu être pris en compte du fait d’un trop faible nombre de sinistres localisés dans le Finistère (ce critère est basé sur la densité de sinistres rapportée à la surface d’affleurement réellement bâtie de chaque formation, la hiérarchisation étant déterminée par rapport à la sinistralité moyenne dans le département).

La carte d’aléa ainsi établie n’a pas permis d’identifier d’aléa fort ou moyen dans le Finistère. **Seul un niveau d’aléa faible est distingué**. Sur les **6 729 km^2** de superficie du département,

- **25,8 %** est classé en aléa faible ;

- **74,2 %** est a priori classé en susceptibilité nulle.

Il n'est toutefois pas exclu que sur ces derniers secteurs se trouvent localement des zones argileuses d’extension limitée, notamment dues à l’hétérogénéité de certaines formations essentiellement sableuses 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 Finistère, dont l’échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier à l’échelle 1/150 000, pourra servir de base à des actions d’information préventive dans les communes touchées ou susceptibles de l’être par le phénomène. Elle peut constituer 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. S’il est mis en œuvre, 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 un aléa faible, notamment en raison de la forte hétérogénéité des formations du département. A défaut, il conviendra de mettre en œuvre des règles constructives type par zones d’aléa, visant à réduire le risque de survenance de sinistres.

10. Bibliographie

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 Armoricain) – 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 Saffré-Nort-sur-Erdre (Loire-Atlantique, France), Bulletin de la Société géologique de France, t. 162, n°4, pp. 739-751.

Brault, 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., 2008, Carte géologique harmonisée du département du Finistère. Notice technique, Rapport final, BRGM/RP-56273-FR, 435 p., 12 fig., 2 tab., 3 ph. ht.

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.

Estéoule-Choux J., (1967), Contribution à l'étude des Argiles du Massif Armoricain. 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.

Esteoule-Choux J., Margerel J.-P., Guernet C. et Rivoalland H., (1986), Données nouvelles sur le bassin stampien de Quessoy (Massif Armoricain); étude 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 J., Estéoule-Choux J., et Perret P., (1972), Etude des formations superficielles du Massif Armoricain : 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.

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

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'attapulgite 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 attapulgites (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.

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.

Schroetter J.-M., Launay E., Quinton A., Imbault M., Le Roy S.et Plat E., (2010a), Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Ille-et-Vilaine. BRGM/RP-58120-FR, 162 p., 60 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

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

Schroetter J.-M., Poilvet J.-C., Launay E., Imbault M., Le Roy S. et Plat E. (2010c) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Côtes d'Armor. Rapport BRGM/RP-58917-FR. 132 p., 47 ill., 3 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, Université de Rennes 1, Rennes, FRANCE, 2 vol., 250 p.

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

Van 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, 4ème 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, Norois, n°31, p. 273-292.

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

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

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

Wyns. R., Guillocheau. F., (1999), Géomorphologie grande longieur d'onde, altération, érosion et bassins épicontinentaux., in Résultats et perspectives, LEDRU.P. (Ed), GéoFrance 3D - résultats et perspectives - ENS - Lyon - France - 23-24/11/1999, Documents BRGM, Orléans : Editions BRGM, N° 293, pp.103-108.

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.

Cartes et notices explicatives géologiques du Finistère

Babin C., Garreau J., Melou M., Plusquellec Y., Morzadec P., Pelhâte A., Chauris L., Thonon P., Darboux J.-R., Hallegouët B., Guigues J. (1982) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Le Faou (202). Orléans : BRGM, 46 p. Carte géologique par Babin M., Darboux J.-R., Hallegouët B., Chauris L., Melou M., Plusquellec Y., Morzadec P., Pelhâte A., Thonon P. (1982).

Babin M., Darboux J.-R., Hallegouët B., Chauris L., Melou M., Plusquellec Y., Morzadec P., Pelhâte A., Thonon P. (1982) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Le Faou (275). Orléans : BRGM. Notice explicative par Babin C., Garreau J., Melou M., Plusquellec Y., Morzadec P., Pelhâte A., Chauris L., Thonon P., Darboux J.-R., Hallegouët B., Guigues J. (1982) 46 p.

Barrière M., Cabanis B., Chantraine J., Chauris L., Herrouin Y., Rabu D., Weecksteen G., Chauris M.-M., Larsonneur C. (1985) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Plestin-les-Grèves (202). Orléans : BRGM. Notice explicative par Chantraine J., Chauris L., Cabanis B., Chauris M.-M., Larsonneur C., Herrouin Y., Rabu D., Lulzac Y., Bos P. (1986) 84 p.

Barrière M., Chauris L., Chauvel J.J., Darboux J.R., Gareau J., Le Corre C., Mélou M., Mulot B., Plusquellec Y., Thonon P. (1975) Carte et Notice géologiques de la France (1/50.000), feuille Douarnenez (309). Orléans : BRGM. 25 p.

Barrière M., Chauris L., Foulquet Y. Guilcher A., Lefort J.P., Pelhate A. (1985) Notice explicative : Carte géologique France (1/50.000), feuille Pointe-du-Raz (344). Carte géologique par Barrière M., Chauris L., Foulquet Y. Guilcher A., Lefort J.P., Pelhate A. (1985), 41 p.

Béchennec F., Guennoc P., Delaoë Y., Lebret P., Hallegouët B., Le Meur S. (1997) Carte géologique de la France (1/50.000), feuille Concarneau (382), Orléans : Editions BRGM, Notice explcative par Béchennec F., Guénnoc P., Lebret P., Hallegouët B., Le Meur S., Carn A., Thiéblemont D., Monnier J.-L., Morzadec H., Giot P.-R. (1997)

Béchennec F., Guénnoc P., Lebret P., Hallegouët B., Le Meur S., Carn A., Thiéblemont D., Monnier J.-L., Morzadec H., Giot P.-R. (1997) - Notice explicative : carte géologique de la France (1/50.000), feuille Concarneau (382), Orléans : Editions BRGM, 132 p., Carte géologique par Béchennec F., Guennoc P., Delaoë Y., Lebret P., Hallegouët B., Le Meur S. (1997)

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

Béchennec F., Hallégouët B. (1999) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Quimper (346). Orléans : BRGM. Notice explicative par F. Béchennec et *al.* (1999), 161 p.

Béchennec F., Hallégouët B., Thiéblemont D. avec la collaboration de Guerrot C., Cocherie A., Carn A., (1999) – Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Quimper (346). Orléans : BRGM, 161 p. Carte géologique par F. Béchennec et B. Hallégouët (1999).

Béchennec 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 Béchennec 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.

Cabanis B., Chantraine J., Dadet P., Herrouin Y. (1981) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Morlaix (240). Orléans : BRGM, 46 p. Carte géologique par Cabanis B., Chantraine J., Jebrak M., Dadet P., Herrouin Y., Huber P., Chauris L., Garreau J., Beaujou A., Duhamel M. (1981)

Cabanis B., Chantraine J., Jebrak M., Dadet P., Herrouin Y., Huber P., Chauris L., Garreau J., Beaujou A., Duhamel M. (1981) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Morlaix (240). Orléans : BRGM. Notice explicative par Cabanis B., Chantraine J., Dadet P., Herrouin Y. (1981) 46 p.

Castaing C., Beurrier M., Calvez J.-Y., Chèvrement P., Clozier L., Darboux J.-R., Garreau J., Guiges J., Herrouin Y., Le Goffic M., Monot B., Pelhâte A., Rolet J., Thonon P. (1988) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Huelgoat (276). Orléans : BRGM, 62 p. Carte géologique par Castaing C., Beurrier M., Herrouin Y., Rolet J., Thonon P., Garreau J. (1988).

Castaing C., Beurrier M., Herrouin Y., Rolet J., Thonon P., Garreau J. (1988) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Huelgoat (276). Orléans : BRGM. Notice explicative par Castaing C., Beurrier M., Calvez J.-Y., Chèvrement P., Clozier L., Darboux J.-R., Garreau J., Guiges J., Herrouin Y., Le Goffic M., Monot B., Pelhâte A., Rolet J., Thonon P. (1988) 62 p.

Chantraine J., Chauris L., Cabanis B., Chauris M.-M., Larsonneur C., Herrouin Y., Rabu D., Lulzac Y., Bos P. (1986) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Plestin-les-Grèves (202). Orléans : BRGM, 84 p. Carte géologique par Barrière M., Cabanis B., Chantraine J., Chauris L., Herrouin Y., Rabu D., Weecksteen G., Chauris M.-M., Larsonneur C. (1985).

Chantraine J., Chauris L., Herrouin Y., Hirbec Y., Beurrier M., Castaing C., Pinna P., Bos P. (1984) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Belle-Isle-en-Terre (241), Orléans, BRGM. Notice explicative par Bambier *et al.*, (1984), 64 p.

Chauris L., Hallégouët B. (1994). Carte géol. France (1/50000), feuille Plouarzel—île d'Ouessant (237). Orléans : BRGM. Notice explicative par L. Chauris, avec la collaboration de B. Hallégouët (1994), 132 p.

Chauris L., avec la collaboration de Hallégouët B. (1994) — Notice explicative, Carte géol. France (1/50000), feuille Plouarzel—île d'Ouessant (237). Orléans : BRGM, 132 p. Carte géologique par L. Chauris, B. Hallégouët (1994)

Chauris L., Hallégouët B. (1989) - Carte géol. France (1/50 000), feuille LE CONQUET (273) - Orléans : BRGM. Notice explicative par L. Chauris, B. Hallégouët (1989), 69 p.

Chauris L., Hallégouët B. (1989)- Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille LE CONQUET (273) - Orléans : BRGM, 69 p. Carte géologique par Chauris L., Hallégouët B. (1989).

Chauris L., Marcoux E., Hallegouët B., Bouysse P. (1998) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Saint-Pol-de-Léon (201). Orléans : BRGM. Notice explicative par Chauris L., Marcoux E., Le Goff E., Thiéblemont D., Carn A., Bouysse P., Egal E., Hallégouët B., Johan V. (2004) 167 p.

Chauris L., Marcoux E., Le Goff E., Thiéblemont D., Carn A., Bouysse P., Egal E., Hallégouët B., Johan V. (1998) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Saint-Pol-de-Léon (201). Orléans : BRGM, 144 p. Carte géologique par Chauris L., Marcoux E., Hallegouët B., Bouysse P. (1998)

Chauris L., Plusquellec Y., Hallegouët B., Darboux J.-R., Melou M., Chauvel J.-J., Le Corre C., Babin C., Morzadec P., Thonon P., Ollivier-Pierre M.-F., Mulot B. (1980) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Brest (274). Orléans : BRGM, 52 p. Carte géologique par Chauris L., Plusquellec Y., Hallegouët B., Darboux J.-R., Melou M., Chauvel J.-J., Le Corre C., Babin C., Morzadec P., Thonon P. (1980).

Chauris L., Plusquellec Y., Hallegouët B., Darboux J.-R., Melou M., Chauvel J.-J., Le Corre C., Babin C., Morzadec P., Thonon P. (1982) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Brest (274). Orléans : BRGM. Notice explicative par Chauris L., Plusquellec Y., Hallegouët B., Darboux J.-R., Melou M., Chauvel J.-J., Le Corre C., Babin C., Morzadec P., Thonon P., Ollivier-Pierre M.-F., Mulot B. (1982) 52p.

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.

Marcoux E., Chauris L., Hallégouët B., Guennoc P., Marteau P., Thomas E. (2004) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Plouguerneau (200). Orléans : BRGM. Notice explicative par Marcoux E., Chauris L., Hallégouët B., Guennoc P., Thiéblemont D., Guerrot C., Cocherie A., Marec A., Marteau P. (2004) 144 p.

Marcoux E., Chauris L., Hallégouët B., Guennoc P., Thiéblemont D., Guerrot C., Cocherie A., Marec A., Marteau P. (2004) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Plouguerneau (200). Orléans : BRGM, 144 p. Carte géologique par Marcoux E., Chauris L., Hallégouët B., Guennoc P., Marteau P., Thomas E. (2004)

Outin J.-M., Thomas E., Hallegouët B., Queté Y., Le Goffic M., Rivière J.-M., Ballèvre M. (2000) – Notice explicative, Carte géologique France (1/50 000), feuille Plabennec (238). Orléans : BRGM, 109 p. Carte géologique par Thomas E., Outin J.-M., Hallégouët B. (2000)

Peucat J.-J., Jégouzo P., Plaine J., Morzadec-Kerfourn M.-Th., Hanmer S.-K. (1981) Notice explicative : Carte géologique France (1/50.000), feuille Pont-Croix (345), 49 p., Carte géologique par Peucat J.-J., Jégouzo P., Plaine J., Morzadec-Kerfourn M.-Th., Hanmer S.-K. (1981)

Plusquellec Y., Rolet J., Darboux J.R., (1999), Notice explicative, Carte géologique France (1/50.000), feuille Châteaulin (310). Orléans : BRGM. Carte géologique par Plusquellec Y., Rolet J., Darboux J.R. (1999), 165 p.

Thomas E., Outin J.-M., Hallégouët B. (2000) – Carte géologique France (1/50 000), feuille Plabennec (238). Orléans : BRGM. Notice explicative par Outin J.-M., Thomas E., Hallegouët B., Queté Y., Le Goffic M., Rivière J.-M., Ballèvre M. (2000), 109 p.

Villey M., Marot A., Castaing C., Beurrier M., Dadet P., Herrouin Y., Sagon K.-P., Weecksteen G., Biés J.-L., Lozes J., Gros Y. (1982) – Carte géologique de la France (1/50 000), feuille Carhaix–Plouger (277), Orléans, BRGM. Notice explicative par Villey *et al.* (1982), 52 p.

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.

http://www.alertes-météo.com: site internet d'un passionné de météorologie.

Annexe 1 – Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

Le terme argile désigne à la fois une classe granulométrique (< 2 µm) 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 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
3, rue Léon Bonnat
75 016 Paris

Coordonnées des bureaux d'études et organismes ayant fourni des données :

NOM_BE	ADRESSE_BE
Geotec	Clair de Lune - 44360 Saint-Etienne-de-Montluc
HYDROGEOTECHNIQUE	1 rue Jean-Marie Tulou ZA de la Teillais - 35740 Pacé
FONDASOL BREST	13 rue de Maupetuis - 29200 Brest
FONDASOL NANTES	-
ARCADIS	2 rue Félix le Dantec - 29200 Brest

CETE de l'Ouest / Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Saint-Brieuc
5, rue Jules Vallès
22015 Saint-Brieuc Cedex

DIR Ouest – Direction Interdépartementale des Routes de l'Ouest
9, rue Eugène Bourdon
29490 GUIPAVAS

Conseil Général du Finistère / Direction des déplacements – Agence de Quimper
8, rue de Kerhuel / ZI de l'hippodrome
29000 QUIMPER

Conseil Général du Finistère / Direction des déplacements – Agence de Brest
67, rue de Lyon
29200 BREST

Annexe 3 – Protocole analytique et résultats des analyses minéralogiques

Protocole analytique :

1. **Nature de l'essai :**

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

2. **Appareillage et conditions expérimentales :**

Appareillage : Diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé

Conditions expérimentales :

- Balayage de 2 à 36°2θ pour les lames orientées
- Vitesse de balayage de 0,02°2θ/seconde
- Temps de comptage : 1 seconde par pas
- Echantillon fixe pour les argiles
- Tube au Cobalt (λ Kα1 ≈ 1,789 Å)

Traitement des diagrammes : Logiciel DIFFRAC^{plus}

Résultats des analyses minéralogiques :

ID	NUM_TARRIERE	X_L2E	Y_L2E	PROF_ECH	LITHOLOGIE	Form_Harmo	Form_C50	Département	Commune	Smectite	Vermiculite	Divers (pyrophyllite)	Illite_micas	Kaolinite
1	29E2	120683.45	2347104.06	0.8	argile grise avec trace d'hydromorphie (ocre) sous niveau tourbeux	e	346	29	QUIMPER	-	-	-	9	91
2	29E3	120717.25	2347193.07	0.3	argile grise ocre sous niveau de sable orange (plio ou IV)+ galets arrondis	e	346	29	QUIMPER	-	-	-	13	87
3	29PLE1	126584.59	2344687.37	0.3	argile d'altération orangée ocre (allotérites) sur niveau plus sableux (isalt.)	OE	346	29	SAINT-EVARZEC	-	6	-	24	70
4	29CO1	143758.37	2356713.63	1.2	allotérites de schiste du Briovérien, argileux limoneux argenté	III	347	29	SCAER	-	-	-	21	79
5	29CO2	144045.7	2356557.13	0.8	allotérites de schiste dorées	S$\bar{\varepsilon}$2	347	29	SCAER	-	-	-	11	89
6	29CRO1	94342.22	2386447.67	0.2	argile bariollé orangé rouge de faible épaisseur	s4-d1	274	29	LANVEOC	-	-	16	33	51
7	29CRO2	99405.64	2385401.78	0.3	argile d'altération	d1(3)	274	29	LANVEOC	-	-	-	22	78

ATTENTION : Les échantillons ont fait l’objet d’une interprétation par le géologue régional. Ainsi les analyses peuvent correspondre ou non aux formations géologiques mises en face automatiquement avec le logiciel SIG des colonnes Form_Harmo.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
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

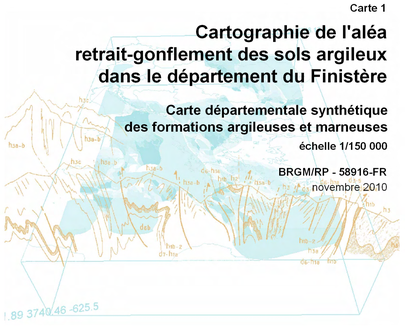
Carte 1

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

Carte départementale synthétique des formations argileuses et marneuses

échelle 1/150 000

BRGM/RP - 58916-FR
novembre 2010



Formations argileuses et marneuses

FLMz	Dépôts sablo-argileux littoraux - Holocène
T-Mly	Dépôts tourbeux interstratifiés ou pas - Pléistocène sup. - Holocène
Fz	Alluvions récentes : argiles, sables, graviers et galets - Holocène
Fy-x	Alluvions anciennes : argiles, sables, graviers et galets - Pléistocène
CsGP	Dépôts sablo-argileux des versants - Quaternaire
OE_ind	Loess et limons des plateaux, périglaciaires - Quaternaire
HT	Hautes terrasses (du galet aux argiles) - Tertiaire à Quaternaire
e	Argiles, sables, sables argileux, galets - Eocène
.4K	Argiles et sables kaoliniques - Tertiaire
.4	Altérites indifférenciées - Isaltérites et Allotérites - Tertiaire

Limite de commune

Manche

MORLAIX

BREST

COTES-D'ARMOR

CHATEAULIN

MORBIHAN

QUIMPER

N
W
E
S

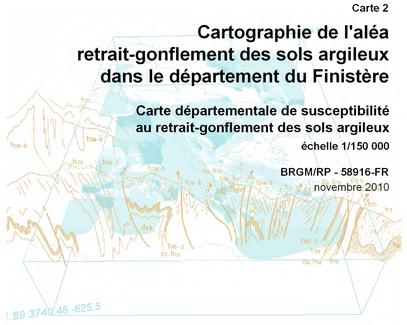
0 5 10 km

Ocean Atlantique



Carte 2

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



Carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement des sols argileux

échelle 1/150 000

BRGM/RP - 58916-FR
novembre 2010

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer
Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
PRÉFET DE LA RÉGION BRETAGNE
Préfet du Finistère
Direction Départementale des Territoires et de la Mer
FINISTÈRE

brgm
Géosciences pour une Terre durable

LÉGENDE

Zone de susceptibilité au retrait-gonflement :

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

Manche

BREST

MORLAIX

CHATEAULIN

QUIMPER

COTES-D'ARMOR

MORBIHAN

Ocean Atlantique

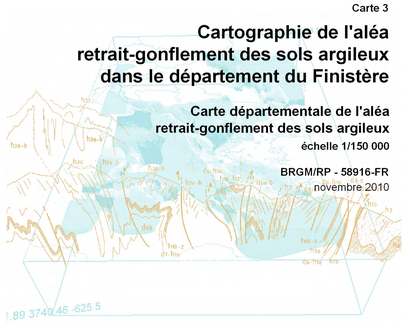
N
W
E
S

0 5 10 km



Carte 3

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



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

échelle 1/150 000

BRGM/RP - 58916-FR
novembre 2010

Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer
Liberté • Égalité • Fraternité RÉPUBLIQUE FRANÇAISE PRÉFET DE LA RÉGION BRETAGNE
Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer
Direction Départementale des Territoires et de la Mer FINISTÈRE
Géosciences pour une Terre durable brgm

LÉGENDE

Zone d'aléa retrait-gonflement :

- **Aléa faible**
- **Zone a priori non argileuse, non sujette au phénomène de retrait-gonflement sauf en cas de lentille ou de placage argileux local non repéré sur les cartes géologiques actuelles**
- **Sinistre attribué au retrait-gonflement des argiles**
- **Zones urbanisées**
- **Limite de commune**

Manche

BREST

MORLAIX

CHATEAULIN

QUIMPER

COTES-D'ARMOR

MORBIHAN

Ocean Atlantique

N
W E
S

0 5 10 km