

Document public

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

Rapport final

BRGM/RP-56566-FR
septembre 2008



Document public

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

Rapport final

BRGM/RP-56566-FR
septembre 2008

Étude réalisée dans le cadre de l'opération
de service public 06RISD20 du BRGM

G. Karnay, avec la collaboration de **E. Pérouse**, **A. Fondin**, **M. Peter**,
M. Vincent et **M. Imbault**

Vérificateur :

Nom : Marc VINCENT

Date : 28 août 2008

Signature :



Approbateur :

Nom : Philippe DUTARTRE

Date :

Signature :



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



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

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

Karnay G., avec la collaboration de **Pérouse E., Fondin A., Peter M., Vincent M. et Imbault M.** (2008) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans le département des Pyrénées-Atlantiques. Rapport BRGM/RP- 56566 -FR, 121 p., 34 ill., 4 ann., 3 cartes h.-t.

Synthèse

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

Les Pyrénées-Atlantiques font partie des départements français touchés par le phénomène, puisque 839 sinistres imputés à la sécheresse y ont été recensés et localisés dans le cadre de la présente étude. A la date du 30 avril 2008, 91 communes sur les 547 que compte le département ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle pour ce phénomène, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2005, soit un taux de sinistralité de 16,6 %. La principale période de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse concerne le deuxième semestre 1989, au cours duquel 72 communes du département ont été concernées.

Afin d'établir un constat scientifique objectif et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, le Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) a demandé au BRGM de réaliser une cartographie de cet aléa à l'échelle de tout le département des Pyrénées-Atlantiques, dans le but de définir les zones les plus exposées au phénomène de retrait-gonflement des argiles. Cette étude, réalisée par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public sur les risques naturels, s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui devrait couvrir à terme l'ensemble du territoire métropolitain.

L'étude a été conduite par le Service Géologique Régional Aquitaine, en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 25 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fond national de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée le 27 juillet 2006 avec la Préfecture des Pyrénées-Atlantiques, le suivi technique étant assuré par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE).

La démarche de l'étude a d'abord consisté à établir une cartographie départementale synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000. Les trente-trois formations ainsi identifiées et cartographiées ont ensuite fait l'objet d'une hiérarchisation quant à leur susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a été établie sur la base de trois critères principaux : la caractérisation lithologique de la formation, la composition minéralogique de sa phase argileuse et son comportement géotechnique, ce qui a conduit à l'établissement d'une carte départementale de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

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

Sur cette carte, les zones d'affleurement des formations à dominante argileuse ou marneuse sont caractérisées par trois niveaux d'aléa (fort, moyen et faible).

- 1,54 % de la superficie départementale a été ainsi classée en aléa fort ;
- 13,62 % a été considéré en aléa moyen ;
- 58,10 % a été caractérisé par un niveau d'aléa faible ;
- 26,74 % de la surface correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

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

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département des Pyrénées-Atlantiques dont l'échelle de validité est le 1/50 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le préalable à l'élaboration éventuelle de Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa fort, moyen ou faible, notamment en raison de la forte hétérogénéité des formations du département. A défaut, il conviendra de mettre en œuvre des règles constructives type par zones d'aléa, visant à réduire le risque de survenance de sinistre.

Sommaire

1. INTRODUCTION.....	3
2. METHODOLOGIE.....	5
2.1. Facteurs intervenant dans le retrait-gonflement des sols argileux	5
2.1.1. Facteurs de prédisposition.....	6
2.1.2. Facteurs de déclenchement.....	9
2.2. Méthodologie	10
2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses	11
2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations	11
2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement.....	12
2.2.4. Carte de susceptibilité.....	12
2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres	12
2.2.6. Détermination des densités de sinistres	13
2.2.7. Carte d'aléa	13
3. PRESENTATION DU DEPARTEMENT DES PYRENEES-ATLANTIQUES.....	15
3.1. Contexte géographique et géomorphologique.....	15
3.2. Contexte climatique	17
4. IDENTIFICATION ET CARTOGRAPHIE DES FORMATIONS GEOLOGIQUES A DOMINANTE ARGILO-MARNEUSE.....	21
4.1. documents et méthodologie utilisés.....	21
4.1.1. <i>Méthode utilisée.....</i>	<i>21</i>
4.1.2. <i>Établissement de la carte des formations argileuses.....</i>	<i>22</i>
4.2. Contexte géologique régional	23
4.2.1. <i>Le domaine pyrénéen</i>	<i>23</i>
4.2.2. <i>L'avant pays.....</i>	<i>24</i>
4.3. Lithostratigraphie des formations argileuses et marneuses	26
4.3.1. <i>Formations du Quaternaire.....</i>	<i>28</i>
4.3.2. <i>Formations du Cénozoïque.....</i>	<i>30</i>
4.3.3. <i>Formations du Mésozoïque</i>	<i>34</i>
4.3.4. <i>Formations du Paléozoïque.....</i>	<i>40</i>
4.4. Contexte hydrogéologique : les différents aquifères des Pyrénées-Atlantiques	40
4.4.1. <i>Référentiel Hydrogéologique</i>	<i>41</i>
5. CARACTERISATIONS LITHOLOGIQUE, MINERALOGIQUE ET GEOTECHNIQUE DES FORMATIONS RETENUES	43
5.1. critères de hiérarchisation.....	43
5.1.1. <i>Critères retenus</i>	<i>43</i>
5.1.2. <i>Méthode de classification.....</i>	<i>43</i>
5.2. Critère lithologique.....	44
5.2.1. <i>Définition du critère lithologique et barème.....</i>	<i>44</i>
5.2.2. <i>Caractérisation lithologique.....</i>	<i>45</i>
5.3. Critère minéralogique	48
5.3.1. <i>Définition du critère minéralogique et barème</i>	<i>48</i>
5.3.2. <i>Sources des données</i>	<i>48</i>
5.3.3. <i>Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département des Pyrénées-Atlantiques</i>	<i>49</i>
5.4. Critère géotechnique	51
5.4.1. <i>Définition du critère géotechnique et barème</i>	<i>51</i>
5.4.2. <i>Source des données.....</i>	<i>54</i>

5.4.3.	<i>Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département des Pyrénées-Atlantiques</i>	56
6.	ÉLABORATION DE LA CARTE DE SUSCEPTIBILITE	59
6.1.	DÉtermination du degré de susceptibilité.....	59
6.2.	Susceptibilité des formations argileuses et marneuses du département des Pyrénées-Atlantiques.....	59
6.3.	Carte de susceptibilité.....	60
7.	ANALYSE DE LA SINISTRALITE	63
7.1.	Procédure de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle .	63
7.2.	Identification des communes sinistrées	64
7.2.1.	<i>Localisation des communes sinistrées</i>	64
7.2.2.	<i>Analyse des périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle</i> 66	
7.3.	Collecte des données de sinistres	68
7.4.	FrÉquence d'occurrence rapportée à la surface urbanisée	71
7.4.1.	<i>Détermination de la densité d'urbanisation par formation</i>	71
7.4.2.	<i>Détermination du critère densité de sinistres</i>	71
8.	CARTE D'ALEA	73
8.1.	Détermination du niveau d'aléa.....	73
8.2.	Carte d'aléa.....	73
9.	BIBLIOGRAPHIE	79

Liste des illustrations

Illustration 1 :	Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche ...	5
Illustration 2 :	Répartition de la population par classes d'âge et sexe.	15
Illustration 3 :	Carte de présentation du département des Pyrénées-Atlantiques.....	16
Illustration 4 :	Principales caractéristiques météorologiques relevées aux stations de Biarritz-Anglet (a) et Ciboure - Pointe de Socoa (b), données Météo France (2004).....	17
Illustration 5 :	Précipitations et températures moyennes mensuelles aux stations météorologiques de a) Biarritz (1956- 2004) et b) Socoa (1921-2004), données Météo-France, (2004).....	18
Illustration 6 :	Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 couvrant le département	22
Illustration 7 :	Extrait de la carte géologique de la France à 1/1 000 000 (région Aquitaine)	25
Illustration 8 :	Regroupements des formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques. .	26
Illustration 9 :	Carte départementale synthétique des formations argilo-marneuses	27
Illustration 10 :	Caractéristiques des systèmes aquifères (SA) du RHF dans les Pyrénées-Atlantiques.....	41
Illustration 11 :	Carte schématique des systèmes aquifères du RHF des Pyrénées-Atlantiques et leur codeSA.....	42
Illustration 12 :	Notes attribuées en fonction des caractéristiques lithologiques	44
Illustration 13 :	Répartition par note lithologique des formations argileuses dans le département.....	45
Illustration 14 :	Note lithologique des formations argileuses du département des Pyrénées-Atlantiques.....	46
Illustration 15 :	Seuils utilisés pour l'attribution des notes minéralogiques	48
Illustration 16 :	Note Minéralogique des formations argileuses et marneuses des Pyrénées-Atlantiques.....	50
Illustration 17 :	Note de susceptibilité par classe d'indice de plasticité	52

Illustration 18 : Note de susceptibilité par classe de valeur au bleu	53
Illustration 19 : Note de susceptibilité par classe de retrait linéaire.....	53
Illustration 20 : Note de susceptibilité par classe de coefficient de gonflement.....	54
Illustration 21 : Bureaux d'études ou organisme ayant réalisé les études géotechniques exploitées dans le cadre de l'étude	55
Illustration 22 : Localisation des 265 études géotechniques exploitées dans le département des Pyrénées-Atlantiques.....	55
Illustration 23 : Synthèse des données géotechniques et note géotechnique.....	56
Illustration 24 : Degré de susceptibilité par classe de note	59
Illustration 25 : Notes de susceptibilité des formations argileuses des Pyrénées- Atlantiques.....	60
Illustration 26 : Carte de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques.....	61
Illustration 27 : Arrêtés interministériels et occurrences	65
Illustration 28 : Communes concernées par un ou des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et localisation des sinistres recensés	65
Illustration 29 : Nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse pour la période 1989-2008	66
Illustration 30 : Durées de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse pour la période 1989-2005 (à la date du 30 avril 2008) ..	67
Illustration 31 : Nombre de sinistres recensés par commune.....	69
Illustration 32 : Répartition géologique des sinistres recensés et calcul des taux d'urbanisation et densités de sinistre par formation	70
Illustration 33 : Détermination de la note d'aléa	73
Illustration 34 : Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des Pyrénées- Atlantiques.....	74

Liste des cartes hors-textes (1/150 000)

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

Liste des annexes

Annexe 1 Liste des formations argileuses retenues.....	87
Annexe 2 Résultat des analyses par diffractométrie X de 30 échantillons.....	91
Annexe 3 Sources des données géotechniques	107
Annexe 4 Liste des sinistres.....	111

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 1989-90 et 1996-97 et, tout dernièrement, au cours de l'été 2003.

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

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

La prise en compte, par les compagnies d'assurance, des sinistres liés à la sécheresse a été rendue possible par l'application de la loi n° 82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophe naturelle. Depuis l'année 1989 (début d'application de cette procédure aux sinistres résultant de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et la réhydratation des sols), plus de 7 700 communes françaises, réparties dans 90 départements, ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle à ce titre. A fin 2002, le coût des sinistres dus à la sécheresse, indemnisés en France depuis 1989 au titre du régime des catastrophes naturelles, a été évalué par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) à environ 4,3 milliards d'euros, ce qui en fait la deuxième cause d'indemnisation, juste derrière les inondations.

La région Aquitaine a été particulièrement affectée par ce phénomène, notamment au cours des étés 1989 et 1990, de l'hiver 1990 et dans une moindre mesure au cours du printemps 2002 et de l'été 2003. Ce département, d'une superficie de 7 644 km² (7 712 km² à partir des données de la BD Carto© de l'IGN en coordonnées cartésiennes) compte 578 516 habitants. Au total, à la date du 30 avril 2008, 91 des 547 communes que comptent les Pyrénées-Atlantiques y ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle sécheresse, pour des périodes allant de mai 1989 à septembre 2005, soit un taux de sinistralité de 16,6 %.

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

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

La présente étude a été réalisée par le Service Géologique Régional Aquitaine en collaboration avec le Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM. Le financement en a été assuré à hauteur de 25 % par la dotation de service public du BRGM, le complément ayant été financé par le fonds national de prévention des risques naturels majeurs, dans le cadre d'une convention de cofinancement signée avec la Préfecture des Pyrénées-Atlantiques, le suivi technique étant assuré par la Direction Départementale de l'Équipement (DDE).

Cette étude s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui concernera à terme l'ensemble du territoire métropolitain, dont une moitié environ des départements, les plus touchés jusqu'à présent par le phénomène, est d'ores et déjà couverte.

2. Méthodologie

2.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT DES SOLS ARGILEUX

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

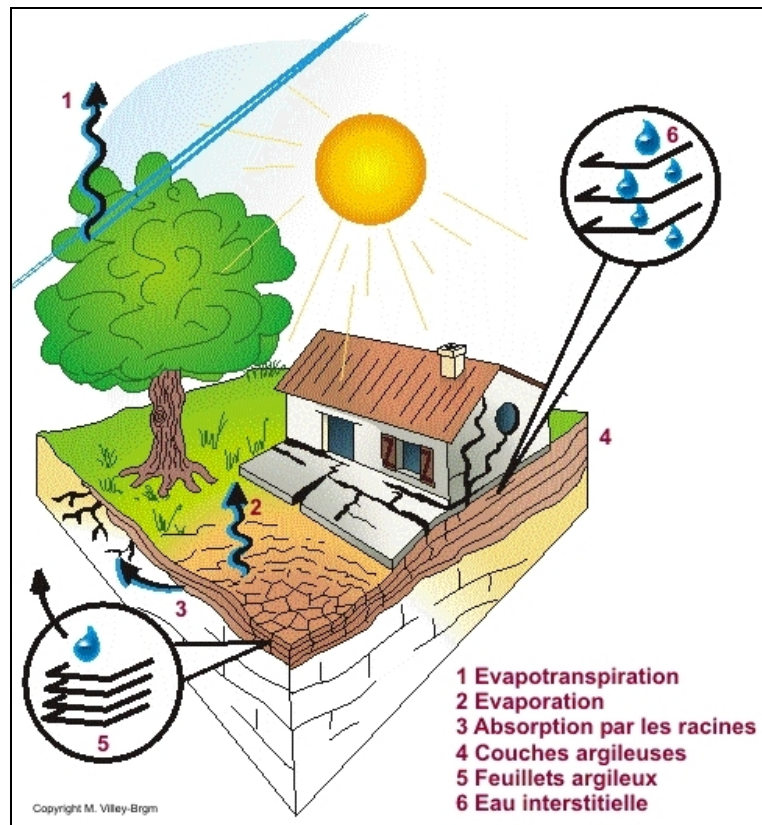


Illustration 1 : Schématisation de la dessiccation des sols argileux en période sèche

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

Les facteurs de prédisposition sont ceux dont la présence induit le phénomène de retrait-gonflement, mais ne suffit pas à elle seule à le déclencher. Ces facteurs sont fixes ou évoluent très lentement avec le temps. On distingue les facteurs internes, qui sont liés à la nature du sol, et des facteurs d'environnement qui caractérisent plutôt le

site. Les facteurs de prédisposition permanents conditionnent en fait la répartition spatiale du phénomène. Ils permettent de caractériser la susceptibilité du milieu vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Les facteurs de déclenchement sont ceux dont la présence provoque le phénomène de retrait-gonflement, mais qui n'ont d'effet significatif que s'il existe des facteurs de prédisposition préalables. La connaissance des facteurs déclenchants permet de déterminer l'occurrence du phénomène (autrement dit l'aléa et non plus seulement la susceptibilité).

2.1.1. Facteurs de prédisposition

2.1.1.1. *Nature du sol*

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

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

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

En particulier, dans le département des Pyrénées-Atlantiques, certaines formations calcaires ou de type flysch, peuvent subir des phénomènes d'altération, ce qui se traduit par la présence en surface, d'une couverture argileuses généralement pas représentées sur les cartes géologiques, mais dont la seule présence suffit à expliquer certains sinistres ponctuels.

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

En moindre proportion mais non négligeable, la géométrie de la formation argileuse influe sur la susceptibilité au retrait-gonflement. Les effets du phénomène seront d'autant plus importants que la formation sera en position superficielle et que les niveaux argileux en son sein seront épais et continus. Une alternance de niveaux

argileux et de lits plus perméables (sableux, par exemple), sièges de circulations d'eau temporaires, constitue également une configuration défavorable, car à l'origine de fréquentes variations de teneur en eau dans les parties argileuses.

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

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

2.1.1.2. Contexte hydrogéologique

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

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

2.1.1.3. Géomorphologie

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

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

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

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

2.1.1.4. Végétation

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

Il est à noter que les racines seront naturellement incitées à se développer en direction de la maison, puisque celle-ci s'oppose à l'évaporation et qu'elle maintient donc une zone de sol plus humide sous sa surface. Contrairement au processus d'évaporation, qui affecte surtout la tranche superficielle des deux premiers mètres, les racines d'arbres peuvent avoir une influence jusqu'à 4 voire 5 m de profondeur. Le phénomène sera d'autant plus important que l'arbre est en pleine croissance et qu'il a, de ce fait, davantage besoin d'eau.

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

2.1.1.5. Défauts de construction

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

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

2.1.2. Facteurs de déclenchement

2.1.2.1. Phénomènes climatiques

Les phénomènes météorologiques exceptionnels constituent le principal facteur de déclenchement du phénomène de retrait-gonflement. Les variations de teneur en eau du sol sont directement induites par des variations climatiques saisonnières. La profondeur de terrain affectée par les fluctuations 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 connu que de manière ponctuelle et l'état de son remplissage ne peut être estimé que moyennant certaines hypothèses (on considère généralement qu'elle est pleine en fin d'hiver), ce qui rend extrêmement délicate toute analyse de ce paramètre à une échelle départementale. Un autre paramètre difficile à estimer de façon systématique est le volume d'eau transféré de la zone non saturée à la nappe phréatique, ainsi que le rythme de ce transfert.

2.1.2.2. Facteurs anthropiques

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

Inversement, une fuite dans un réseau enterré ou une infiltration des eaux pluviales en pied de façade peut entraîner un mouvement consécutif à un gonflement des argiles. Ainsi, il convient de signaler que des fuites de canalisations enterrées, souvent consécutives à un défaut de conception et/ou de réalisation au niveau des raccordement avec le bâti, constituent une source fréquente de sinistre. Une étude statistique récente (Vincent *et al.*, 2006) conduite par le bureau d'études CEBTP-Solen à partir d'un échantillon de 994 maisons sinistrées a ainsi montré que ce facteur pouvait être mis en cause dans près d'un tiers des cas étudiés.

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

2.2. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie de cartographie de l'aléa développée par le BRGM a été mise au point à partir d'études similaires menées d'abord dans le département des Alpes de Haute-Provence (Chassagneux *et al.*, 1995 ; Chassagneux *et al.*, 1996) et des Deux-Sèvres (Vincent *et al.*, 1998), puis dans l'Essonne (Prian *et al.*, 2000) et en Seine-

Saint-Denis (Donsimoni *et al.*, 2001). Elle a été validée par le ministère en charge de l'environnement (actuel MEDDAT) et est désormais appliquée dans le cadre d'un programme qui concernera à terme la totalité du territoire métropolitain. Le département des Landes fait simultanément l'objet d'une étude similaire, réalisée avec la même méthodologie, ce qui permettra d'achever la couverture de l'ensemble de la région Aquitaine.

2.2.1. Cartographie des formations argileuses ou marneuses

La cartographie des formations argileuses et marneuses du département a été réalisée à partir des cartes géologiques du BRGM et des coupes de forage de la Banque des données du Sous-Sol (BSS) gérée par le BRGM, complétées et actualisées par quelques données ponctuelles issues des rapports d'expertise de sinistres. Cette cartographie a été réalisée à l'échelle 1/50 000 (qui correspond donc à l'échelle de validité de la donnée brute), numérisée, puis synthétisée et présentée hors texte à l'échelle 1/150 000.

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

2.2.2. Caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique des formations

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

L'analyse des notices des cartes géologiques, complétée par une revue bibliographique et quelques analyses supplémentaires effectuées sur des échantillons prélevés spécifiquement dans le cadre de l'étude, a permis de définir les caractéristiques minéralogiques des formations retenues, et en particulier de répertorier la présence et la proportion des minéraux gonflants (smectites, interstratifiés...) dans la fraction argileuse.

La caractérisation du comportement géotechnique des formations argileuses du département a été essentiellement établie sur la base du dépouillement et de la synthèse de nombreux rapports d'expertise de sinistres ou de reconnaissances avant aménagement réalisés par différents bureaux d'études et communiqués soit par ces mêmes bureaux d'étude, soit par les commanditaires de l'étude (sociétés d'autoroutes, mutuelles d'assurance, communes, etc.).

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

2.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition et de déclenchement

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

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

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

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

2.2.4. Carte de susceptibilité

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

2.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

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

Pour ce faire, un recensement des sinistres sécheresse a été effectué auprès de toutes les communes du département.

Ces données ont été complétées en premier lieu par l'ensemble des dossiers archivés en préfecture, au Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (SIDPC). De plus, les dossiers conservés par la Caisse Centrale de Réassurance et certains bureaux d'études ont pu être consultés et exploités. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou données identiques issues de sources différentes), ce sont 992 sites de sinistres qui ont été recensés dont 858 ont pu être localisés avec précision (sur cartes topographiques de l'IGN à l'échelle 1/25 000). Ils sont répartis dans 93 communes qui avaient fait l'objet d'une reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle à la date de l'enquête et l'échantillon peut donc être considéré comme représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène dans le département des Pyrénées-Atlantiques.

2.2.6. Détermination des densités de sinistres

Pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée a été déterminée par superposition avec la carte des formations argileuses et marneuses du département. Ceci a permis de déterminer le nombre de sinistres recensés pour chacune des formations géologiques susceptibles et, par suite, de calculer une densité de sinistres par formation (en pondérant par la surface d'affleurement de chacune des formations, afin d'obtenir des chiffres comparables entre eux).

Dans un souci de rigueur et étant donnée la grande diversité du taux d'urbanisation d'un point à un autre du département, il est apparu nécessaire, conformément à la méthodologie adoptée au niveau national, de pondérer ces densités de sinistres par le taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques. Ce taux a été calculé avec les contours numérisés des zones urbanisées du département (B.D. TOPO. Lambert 2 étendu Novembre 2006 de l'IGN).

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

2.2.7. Carte d'aléa

La carte départementale d'aléa a été établie à partir des contours de la carte de synthèse des formations argileuses ou marneuses : le niveau d'aléa vis à vis du phénomène de retrait-gonflement a été défini en croisant, pour chaque formation, la note de susceptibilité et la densité de sinistres ramenée à 100 km² de formation urbanisée, en donnant toutefois un poids deux fois plus important à la susceptibilité. La carte obtenue est numérisée et son échelle de validité est le 1/50 000.

3. Présentation du département des Pyrénées-Atlantiques

3.1. CONTEXTE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOMORPHOLOGIQUE

D'une superficie de 7 644 km² (donnée Dictionnaire des communes du 15 avril 1997), le département des Pyrénées-Atlantiques doit son nom au côté atlantique de la chaîne de montagne des Pyrénées. Nous prendrons en compte pour la suite de l'étude les données surfaciques de la BD Carto© de l'IGN de novembre 2006 calculées en coordonnées cartésiennes. Dans ce contexte, la surface du département est évaluée à 7 712 km².

Créé en 1806, ce département a depuis gardé sa configuration géographique originale, globalement une forme de triangle rectangle ayant son angle aigu à l'ouest et son angle droit au sud. Ses dimensions sont de 130 km du nord au sud et de 138 km d'est en ouest. Frontalier avec l'Espagne au sud, il est bordé au nord par le département des Landes et à l'est par celui des Hautes-Pyrénées.

En 1999, la population des Pyrénées-Atlantiques était de 578 516 habitants, soit une densité de 75 habitants au km². Elle est répartie en 3 arrondissements : Bayonne, Oloron-Sainte-Marie et Pau (préfecture), regroupant au total 547 communes.

En 1999 la répartition de la population était la suivante (Illustration 2) :

Age	Hommes	Femmes
0 à 19 ans	68 132	64 130
20 à 39 ans	78 376	77 556
40 à 59 ans	77 040	80 183
60 à 74 ans	44 460	51 936
75 ans ou plus	20 917	37 467
Total	288 925	311 272

Illustration 2 : Répartition de la population par classes d'âge et sexe.

Les Pyrénées-Atlantiques appartiennent à 3 entités géographiques (Illustration 3) :

les Landes : de la côte atlantique au phare de Biarritz et à la vallée de l'Adour, un replat sableux représente la pointe sud du "Triangle landais". Cette zone forme aujourd'hui une métropole de 131 540 habitants, regroupant les cantons de Bayonne, Anglet, Biarritz et Saint Pierre d'Irube. La côte atlantique y est sableuse et renferme l'embouchure artificielle de l'Adour (1578 puis 1816), qui n'a cessé de divaguer entre la pointe Saint Martin et Capbreton. Le paysage y est dominé par la présence d'une couverture sableuse dunaire et de vallées souvent remblayées par les sables et les argiles flandriennes constituant des zones originellement marécageuses ;

la Chalosse : elle constitue la partie septentrionale du département, en rive droite de l'Adour et du Gave de Pau. La population y est concentrée dans la vallée du Gave de Pau avec le secteur industriel de Lacq-Pau qui compte 140 620 habitants. Le paysage

y est constitué par des replats morphologiques profondément entaillés par les vallées provenant des Pyrénées ;

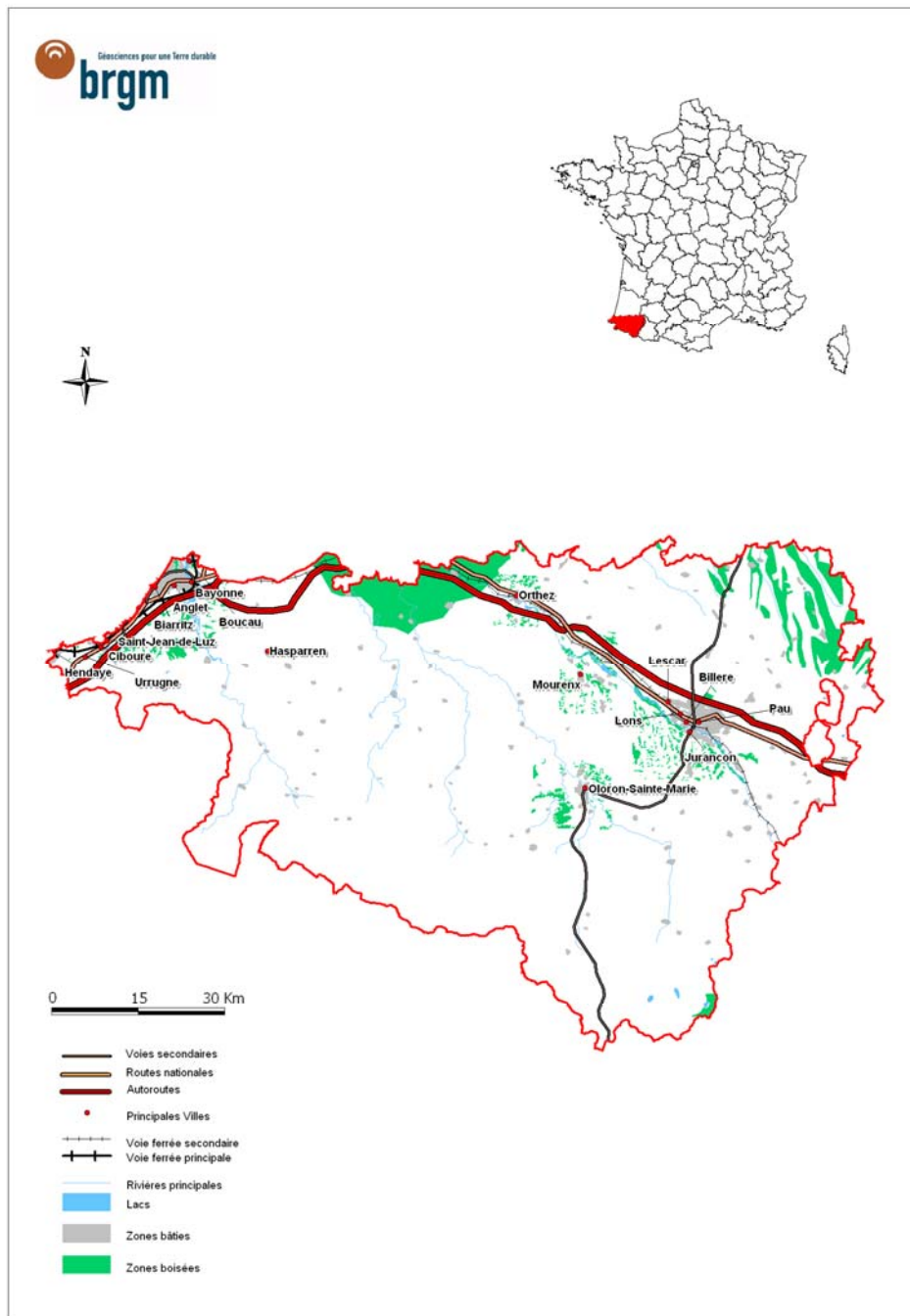


Illustration 3 : Carte de présentation du département des Pyrénées-Atlantiques

les Pyrénées : c'est une zone montagneuse avec une évolution nette du paysage vers le Sud, passant d'une zone de collines à une morphologie de couverture sédimentaire plissée, puis à un socle paléozoïque et métamorphique à relief escarpé. Dans ce

secteur, la population des agglomérations ne dépasse que très rarement les 15 000 habitants, comme à Oloron-Sainte-Marie (23 264 hab).

3.2. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le département des Pyrénées-Atlantiques, de par sa position géographique et sa morphologie, subit des influences océaniques assez marquées et est soumis à un climat caractérisé par la présence des reliefs de haute montagne, ce qui se traduit par des hivers rudes, des gelées tardives, des étés chauds et orageux, et des précipitations abondantes. Les brouillards sont fréquents dans les vallées de montagne et les vents forts peuvent balayer les premiers reliefs et les zones de haute montagne.

A Pau, situé à 183 m d'altitude, pour la période 1960-1990, la température minimale est descendue à $-14,8^{\circ}\text{C}$, la température maximale à $+39,2^{\circ}\text{C}$. Le cumul annuel de précipitations s'est élevé en moyenne à 1120,8 mm et l'insolation à 1850 heures.

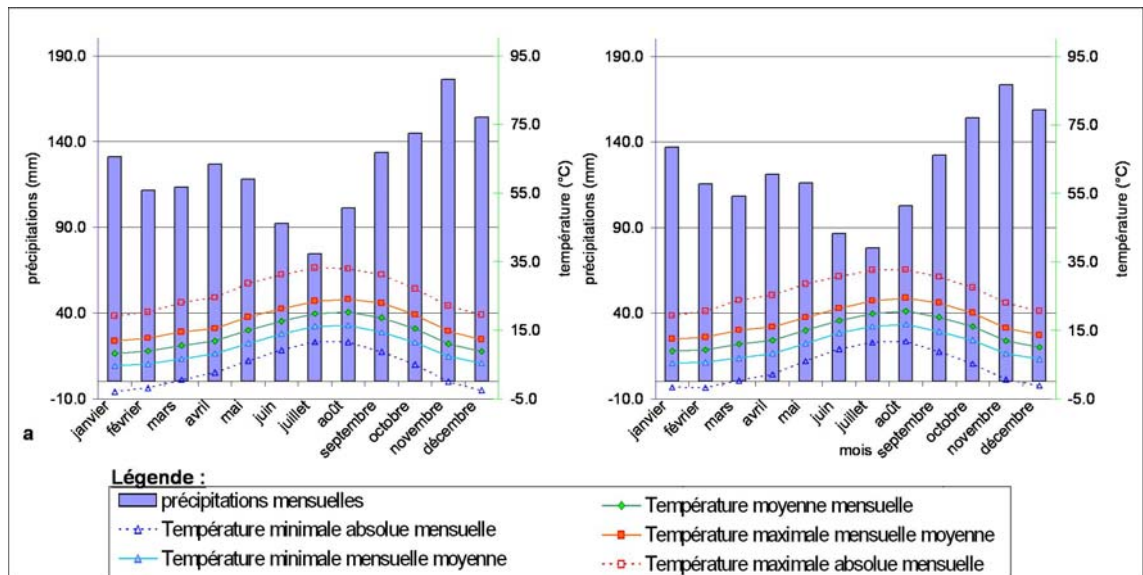


Illustration 4 : Principales caractéristiques météorologiques relevées aux stations de Biarritz-Anglet (a) et Ciboure - Pointe de Socoa (b), données Météo France (2004)

Les précipitations moyennes mensuelles (Illustration 4) se répartissent en moyenne, à Biarritz, entre un minimum moyen en juillet de 74,4 mm et un maximum moyen en novembre de 176,2 mm. A Socoa, elles évoluent de façon quasi identique, entre 77,9 mm en juillet et 173,2 mm en novembre. Les précipitations totales annuelles moyennes sur ces périodes sont de 1477 mm à Biarritz et de 1482 mm à Socoa.

L'illustration 5, qui représente les précipitations mensuelles de 1956 à 2004 à Biarritz (a) et de 1921 à 2004 à Socoa (b), permet de mettre en évidence les années atypiques pour lesquelles les précipitations ont atteint des extrema. A Socoa, les années 1921 et 1948 ont été particulièrement sèches, caractérisées par des précipitations annuelles inférieures à 1 mètre, avec respectivement, 830,8 mm et 519 mm. Au contraire, les années 1923, 1927, 1930, 1960 et 1979 ont été particulièrement arrosées avec plus de 1900 mm d'eau tombés dans l'année.

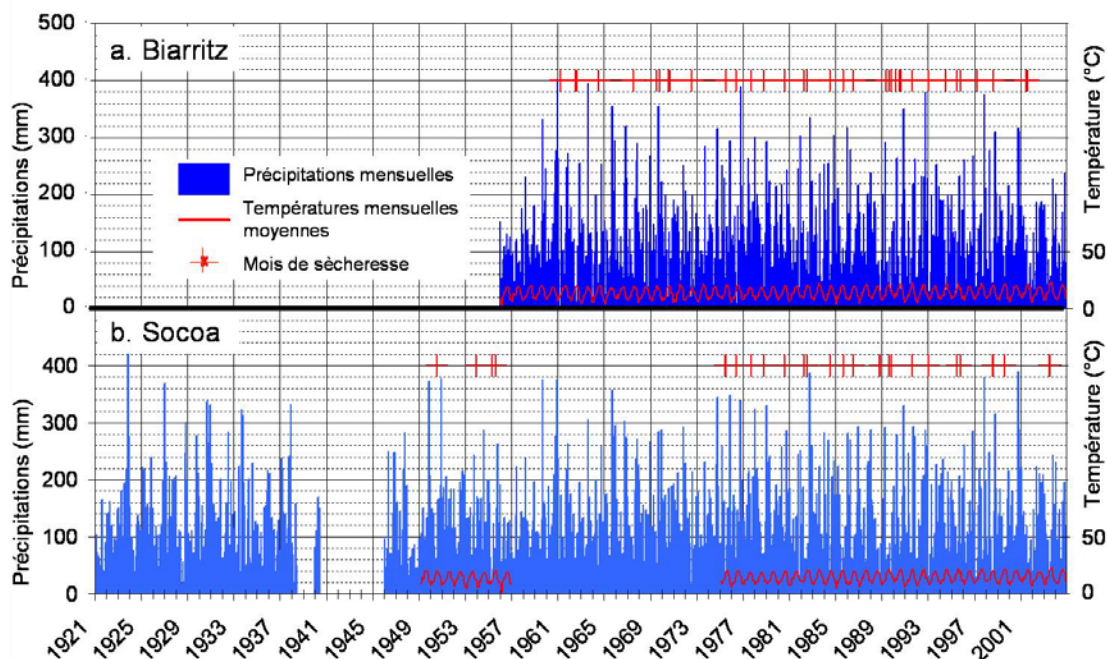


Illustration 5 : Précipitations et températures moyennes mensuelles aux stations météorologiques de a) Biarritz (1956- 2004) et b) Socoa (1921-2004), données Météo-France, (2004)

Les températures moyennes mensuelles à Socoa fluctuent entre 8,9°C lors du minimum hivernal, en janvier, et 20,6°C en août. A Biarritz, l'écart entre extrema moyens est similaire, avec 8,2°C en janvier et 20,2°C en août. Les hivers sont doux alors que les étés sont relativement frais. Les températures moyennes annuelles sont de 13,8°C à Biarritz et de 14,3°C à Socoa.

L'étude des extrema mensuels des températures permet de mettre en évidence la présence de températures d'une part, supérieure de 10°C à la moyenne saisonnière en période estivale et, d'autre part, de périodes de gel en hiver. Les maxima absolus estivaux sont les plus élevés, en moyenne, en juillet à Biarritz (33,1°C) et en août à Socoa (32,7°C). Les records de températures sur les périodes étudiées sont de 40,6°C à Biarritz et de 40,2°C, enregistrés en août 2003 (période caniculaire sur toute la France). Les minima absolus sont les plus bas à Biarritz avec, en moyenne, -2,9°C en janvier et différent de 1°C par rapport à Socoa, avec -1,8°C en février. Les records de températures minimales sur les périodes étudiées sont de -12,7°C à Biarritz enregistré en janvier 1985, et de -12°C en février 1956 à Socoa.

La proximité de la station de Socoa à la mer peut expliquer les différences de températures extrêmes et moyennes entre Socoa et Biarritz, notamment grâce à l'effet tampon de la masse d'eau océanique.

Sur l'illustration 5, les mois de sécheresse, pour lesquels la valeur des précipitations est inférieure à deux fois la valeur de la température, sont représentés par une croix rouge. Les périodes de sécheresses sont assez rares, avec 22 mois de sécheresse à Biarritz et/ou Socoa sur une période comptant 671 mois, et ne dépassent jamais 2 mois consécutifs.

Les saisons sont assez bien marquées, les contrastes de températures de plus de 10°C dissocient hiver et été, et les précipitations abondantes caractérisent l'automne. Avec ses étés humides et ses hivers doux, le littoral basque bénéficie d'un climat tempéré océanique. Les précipitations annuelles sont abondantes, supérieures à 1,4 m au cours d'une année, et les températures moyennes sont élevées, supérieures à 13°C.

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

4.1. DOCUMENTS ET MÉTHODOLOGIE UTILISÉS

4.1.1. Méthode utilisée

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

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

Cette cartographie a été réalisée à partir des cartes géologiques du BRGM à l'échelle 1/50 000, qui constituent la partie prépondérante des données de base prises en compte pour la réalisation de cette synthèse cartographique, et la carte départementale géologique harmonisée (Genna, 2007), établie dans le cadre de la présente étude comme préalable indispensable à la réalisation de la carte d'aléa. Les cartes à 1/50 000, réalisées pour la plupart entre les années soixante et soixante-dix, avec une représentation répondant aux objectifs de l'époque, peuvent présenter localement des lacunes en ce qui concerne notamment les formations superficielles, et leur fiabilité ponctuelle est souvent limitée. Ces cartes ont été partiellement complétées par la consultation de la Banque des données du Sous-Sol (BSS) du Service Géologique Régional ainsi que d'études effectuées dans le cadre de diagnostics de sinistres retrait-gonflement ou de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle, mais toutes les données disponibles n'ont pu être intégrées en raison de leur nombre très élevé. Par ailleurs, l'analyse des publications scientifiques portant sur la zone d'étude a aussi permis d'améliorer la connaissance de la lithologie et de la minéralogie des formations. 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.

L'assemblage (Illustration 6) des cartes géologiques comporte tout ou partie des 23 coupures suivantes : **Dax** (coupure n° 977, publiée en 1977), **Hagetmau** (coupure n° 978, publiée en 1997), **Aire sur l'Adour** (coupure n° 979, publiée en 1998), **Bayonne** (coupure n° 1001, publiée en 1963), **Hasparren** (coupure n° 1002, publiée en 1972), **Orthez** (coupure n° 1003, publiée en 1967), **Arthez de Béarn** (coupure n° 1004, publiée en 1997), **Lembeye** (coupure n° 1005, publiée en 1998), **Vic en**

Bigorre (coupure n° 1006, publiée en 1978), **Espelette** (coupure n° 1026, publiée en 1964), **Iholdy** (coupure n° 1027, publiée en 1974), **Mauléon-Licharre** (coupure n° 1028, publiée en 1976), **Pau** (coupure n° 1029, publiée en 1963), **Morlaas** (coupure n° 1030, publiée en 1962), **Tarbes** (coupure n° 1031, publiée en 1972), **Saint-Jean-Pied-de-Port** (coupure n° 1049, publiée en 1978), **Tardets-Sorholus** (coupure n° 1050, publiée en 1971), **Oloron-Sainte Marie** (coupure n° 1051, publiée en 1970), **Lourdes** (coupure n° 1052, publiée en 1970), **Larrau** (coupure n° 1068, publiée en 1970), **Laruns-Somport** (coupure n° 1069, publiée en 2002), **Argelès-Gazost** (coupure n° 1070, publiée en 1980) et **Gavarnie** (coupure n° 1082, publiée en 1999). La référence de ces cartes est présentée en fin de bibliographie.



Illustration 6 : Assemblage des cartes géologiques à 1/50 000 couvrant le département

A partir des cartes géologiques à 1/50 000, nous avons identifié les formations argileuses et marneuses ainsi que toute formation pouvant renfermer des intercalations ou des lentilles argileuses ou marneuses.

Une carte de ces différentes formations a été établie en homogénéisant et raccordant entre elles les 23 coupures géologiques à l'échelle 1/50 000. Elle servira de support à l'élaboration de la carte finale de l'aléa retrait-gonflement.

4.1.2. Établissement de la carte des formations argileuses

Dans certains cas, les argiles ou marnes constituent la majeure partie de la formation retenue. C'est par exemple le cas des *Glaises bigarrées* qui présentent un faciès argilo-marneux sur la quasi-totalité de leur épaisseur. Mais, dans la majorité des cas,

les formations géologiques argileuses ou marneuses du département des Pyrénées-Atlantiques sont très hétérogènes ; il peut s'agir :

- soit de formations intrinsèquement hétérogènes, qui sont constituées d'un mélange de différents matériaux dont des argiles ou des marnes, mais également des éléments non argileux (calcaire, sables, conglomérat...). L'argile est soit mélangée avec les autres constituants, soit présente sous forme de niveaux individualisés, séparés les uns des autres par des lits intercalaires non argileux, répartis selon une séquence complexe et qui peut présenter des variations spatiales. Dans ces conditions, il n'est pas possible, à l'échelle départementale, de distinguer précisément les zones contenant de l'argile de celles où elle est totalement absente, et l'ensemble de ces formations par nature hétérogènes a été considéré comme argileux ;
- soit de formations à la base très peu argileuses, mais qui, du fait de leur altération, présentent en de nombreux secteurs des faciès argileux, notamment dans les premiers mètres de sol (c'est le cas en particulier des *Flyschs crétacés*). Aussi, il a été décidé de considérer l'ensemble de ces formations comme argileuses, d'autant plus qu'elles ont occasionné un nombre de sinistres non négligeable.

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

La carte des formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques établie dans le cadre de l'étude constitue finalement une représentation interprétée des zones susceptibles au phénomène de retrait-gonflement, en fonction des données actuellement disponibles au travers de la représentation cartographique des formations superficielles du département. Trente trois formations ont ainsi été retenues sur cette carte.

4.2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE RÉGIONAL

Une carte géologique très simplifiée, tirée de la carte de France à l'échelle 1/1 000 000, résume cette présentation (Illustration 7). L'histoire géologique de la région correspond à celle de la partie occidentale des Pyrénées.

Le département des Pyrénées-Atlantiques doit la typicité de son paysage à une histoire géologique complexe. La morphologie variée des réseaux hydrographiques est aussi le reflet de la diversité lithologique et structurale du département.

4.2.1. Le domaine pyrénéen

Les Pyrénées, chaîne montagneuse rectiligne de direction WNW-ESE, séparent la France de la péninsule ibérique. Elles appartiennent au système pyrénéen, un domaine plissé du système alpin, qui s'étend de la Galice jusqu'à la Provence.

Les Pyrénées sont composées de trois structures majeures, disposées en éventail :

- La zone Nord-Pyrénéenne (ZNP), qui chevauche, l'avant-pays molassique le long du chevauchement frontal nord-pyrénéen (CFNP) à vergence nord ;

- La zone axiale (ZA) ou haute chaîne primaire, dont le matériel paléozoïque, parfois recouvert de lambeaux crétacés, est impliqué dans une succession de chevauchements à vergence sud ;
- La zone Sud-Pyrénéenne (ZSP), unité tectonique composite chevauchant l'avant-pays molassique le long du chevauchement frontal sud-pyrénéen (CFSP) à vergence sud.

La structuration du domaine pyrénéen résulte des mouvements relatifs des plaques ibérique et européenne. Après une subsidence généralisée au Trias qui conduit au dépôt d'évaporites, suivie d'un calme relatif au Jurassique, la rotation antihoraire crétacée de la plaque ibérique par rapport à la plaque européenne engendre l'ouverture du Golfe de Gascogne (Mattauer, 1968 ; Biteau et Canérot, 2007). Dans le domaine pyrénéen occidental, ce mouvement ouvre au Crétacé supérieur des bassins en *pull-apart* à sédimentation turbiditique carbonatée. Dès le Crétacé terminal et jusqu'à l'Oligocène, les plaques convergent pour aboutir à l'édification d'une chaîne intracontinentale, la période orogénique majeure étant attribuée à l'Éocène (Mattauer, 1968 ; Razin, 1989).

4.2.2. L'avant pays

Il est composé par le domaine molassique et le remplissage plio-quadernaire du "Triangle landais". Il correspond à la Chalosse, à une partie du cône du Lannemezan et des Landes sableuses.

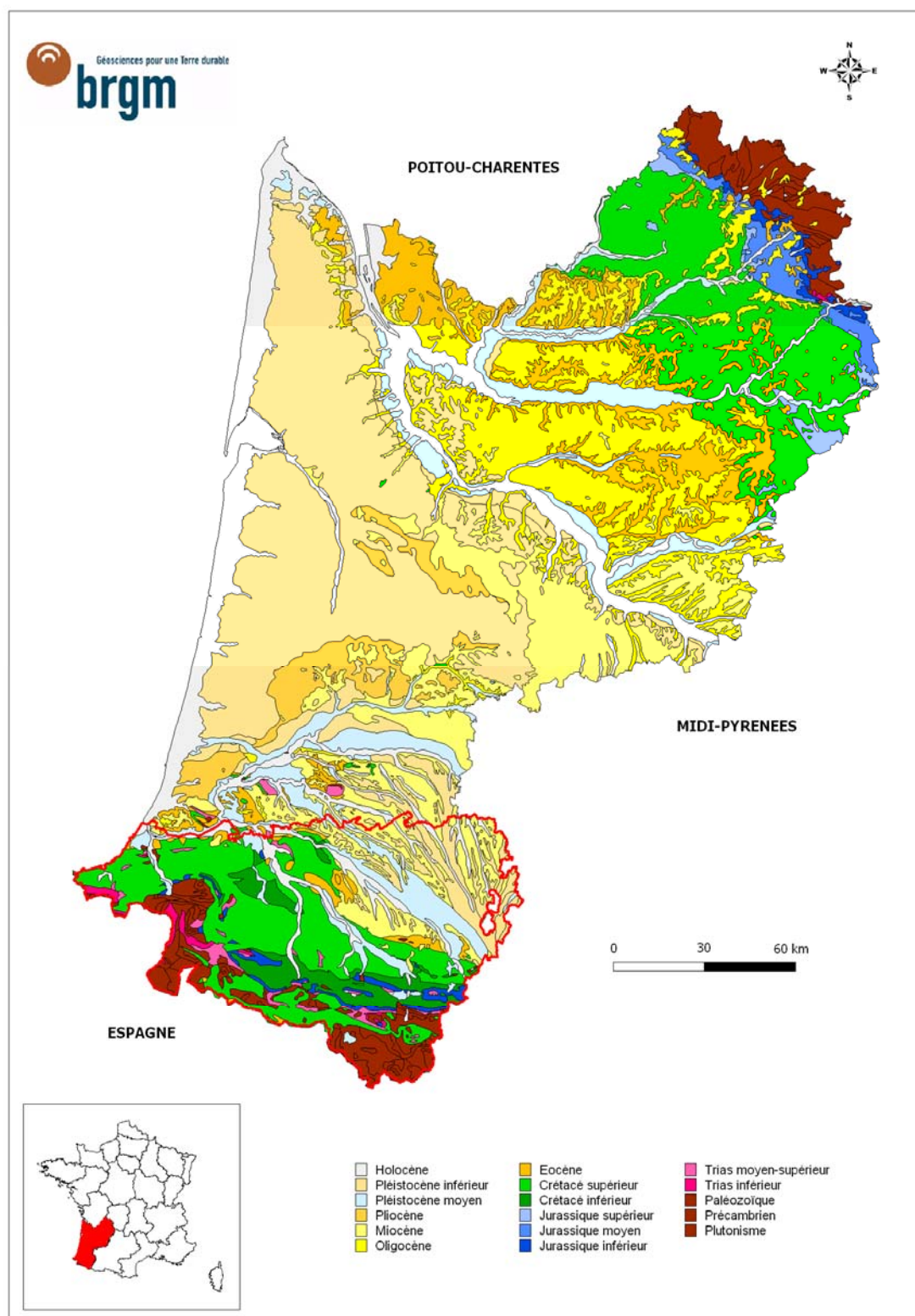


Illustration 7 : Extrait de la carte géologique de la France à 1/1 000 000 (région Aquitaine)

4.3. LITHOSTRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES

Le tableau de l'illustration 8 présente la synthèse des 33 formations argileuses ou marneuses retenues dans le département des Pyrénées-Atlantiques. Ce sont en réalité des regroupements de formations géologiques ayant les mêmes caractéristiques lithologiques. Le tableau de l'annexe 2 montre le détail des formations géologiques associées à chaque regroupement.

Age	N°	Nom des formations argileuses	Superficie (km2)	% surface départ.	
QUATERNAIRE	1	Déblais anthropiques	0,21	0,00%	
	2	Éboulis actuels ou récents	171,60	2,22%	
	3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	171,89	2,23%	
	4	Colluvions et dépôts de pente	78,29	1,02%	
	5	Limons des plateaux	5,26	0,07%	
	6	Alluvions récentes	619,56	8,03%	
	7	Alluvions - Würm	293,38	3,80%	
	8	Moraines glaciaires	109,17	1,42%	
	9	Terrasse alluviale - Riss	154,24	2,00%	
	10	Terrasse alluviale - Mindel	324,83	4,21%	
	11	Terrasse alluviale - Günz	249,08	3,23%	
CENOZOIQUE	12	Nappes fluviatiles - Donau	0,19	0,00%	
	13	Nappes fluviatiles - Pliocène	343,92	4,46%	
	14	Glaïses bigarrées - Tortonien	61,65	0,80%	
	15	Sables fauves - Serravallien	76,05	0,99%	
	16	Mio-pliocène indifférencié	33,58	0,44%	
	17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	391,54	5,08%	
	18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	16,34	0,21%	
	19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	59,40	0,77%	
	20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	57,88	0,75%	
CRETACE	sup.	21	Altérites des flyschs du Crétacé	119,02	1,54%
		22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	313,65	4,07%
		23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur	634,80	8,23%
		24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	273,88	3,55%
	inf.	25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	453,24	5,88%
		26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	424,62	5,51%
JURASSIQUE	27	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	12,06	0,16%	
	28	Marnes et calcaires jurassiques	23,15	0,30%	
	29	Marnes toarciennes	0,06	0,00%	
TRIAS	30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	71,54	0,93%	
	31	Ophites	59,97	0,78%	
DEVONIEN	32	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	4,38	0,06%	
PRE-CAMBRIEN	33	Gneiss du Labourd - Précambrien	42,11	0,55%	
total formations argileuses			5 650,54	73,26%	
998	Formations a priori non argileuses		2 017,37	26,16%	
999	Réseau hydrographique		44,57	0,58%	
total département			7 712,48	100,00%	

Illustration 8 : Regroupements des formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques.

La carte montrant l'extension géographique de ces 33 formations synthétiques à composante argileuse est présentée sur l'illustration 9, ainsi qu'en carte hors texte, à l'échelle 1 / 150 000.

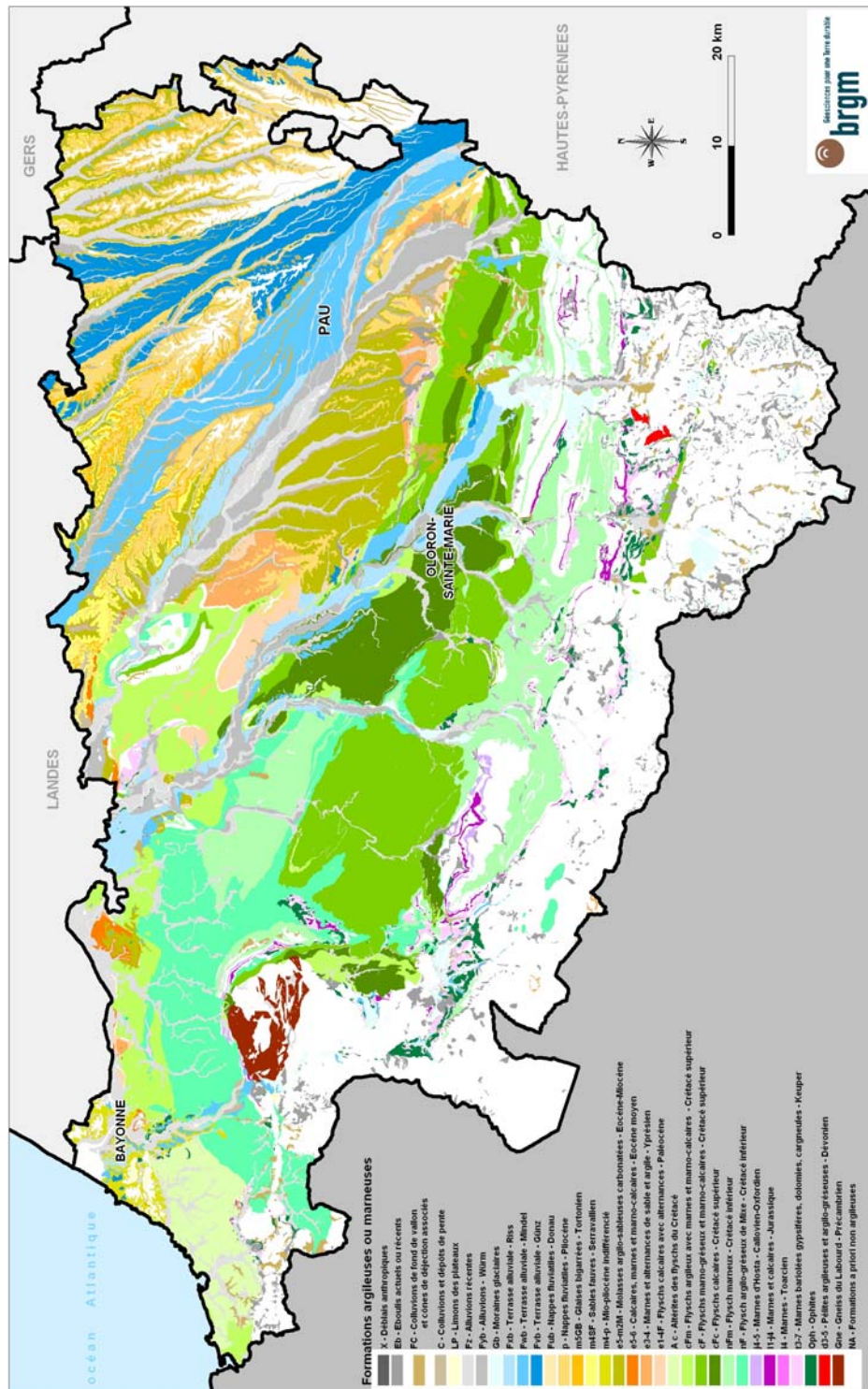


Illustration 9 : Carte départementale synthétique des formations argilo-marneuses

4.3.1. Formations du Quaternaire

Les formations du Quaternaire ayant une composante argileuses sont essentiellement des alluvions (récentes ou anciennes), des colluvions et des formations glacières. Certaines de ces formations, bien qu'ayant une superficie très réduite, ont tout de même été représentées dans un souci d'exhaustivité.

4.3.1.1. Déblais anthropiques (n°1)

Cette formation fait référence aux déblais des tunnels ferroviaire et routier du Somport, situé dans les Pyrénées, à environ 3 km au nord de la frontière espagnole.

Ces déblais anthropiques se composent d'éléments grossiers englobés dans une matrice plus ou moins argileuse. La superficie de ces dépôts est très réduite, cependant la présence de constructions sur son emprise a déterminé sa prise en compte.

4.3.1.2. Éboulis actuels ou récents (n°2)



Les éboulis actuels ou récents regroupent des formations superficielles variées, de type cône d'éboulis, limons et loess, masquant parfois les terrasses et remaniant des moraines. La lithologie principale est celle d'alluvions et de brèches non indurées.

4.3.1.3. Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés (n°3)



Les colluvions de fond de vallon et leurs cônes de déjections associés sont des formations superficielles liées à des torrents parfois temporaires où s'accumulent des blocs et graviers empâtés par une matrice sablo-limoneuse, parfois argileuse, dont la nature dépend directement du substrat sur lequel ils se sont déposés.

4.3.1.4. Colluvions et dépôts de pentes (n°4)



Comme la formation précédente, ces formations superficielles sont très dépendantes du substrat sur lequel elles reposent. Les colluvions et dépôts de pente mis en place par ruissellement, coulée boueuse ou par gravité sont des dépôts lithologiquement très hétérogènes et variables en épaisseur.

4.3.1.5. Limons des plateaux (n°5)



Les limons sont des dépôts fins, sableux, silteux et peu argileux, formants de vaste replats dans la morphologie en couverture de la nappe fluviatile supérieure du Pliocène (secteur de l'aéroport de Bayonne). Ils sont peu présents dans le département car le plus souvent disséqués par l'érosion quaternaire.

4.3.1.6. Alluvions récentes (n°6)



Ce sont des alluvions classiques, à cailloutis, graviers, sables à lentilles argileuses. Elles sont peu épaisses (0 à 3 m) et hétérogènes. À proximité de l'océan, elles sont enrichies en débris de coquilles et peuvent présenter de nombreuses intercalations argileuses à coquilles caractéristiques du "Flandrien" marin.

4.3.1.7. Alluvions - Würm (n°7)



Les alluvions wurmiennes sont caractérisées par des galets qui peuvent atteindre 20 cm, et une matrice sableuse plus ou moins argileuse. Dans le cours inférieur de l'Adour et de ses affluents, les alluvions sont recouvertes par les dépôts argilo-sableux flandriens. Avec les alluvions plus récentes elles constituent le plus souvent le lit majeur des cours d'eau.

4.3.1.8. Moraines glaciaires (n°8)



Les moraines sont des dépôts caractéristiques des phases glaciaires du Quaternaire. Elles sont constituées par un amoncellement de blocs striés, empâtés par une matrice sablo-argileuse. Elles constituent des édifices caractéristiques : arcs morainiques, drumlins, kame-terrasse ou des eskers, figures bien connues dans les pays septentrionaux.

4.3.1.9. Terrasse alluviale – Riss (n°9)



La terrasse alluvionnaire attribuée au Riss constitue la basse terrasse du réseau hydrographique. Elle est constituée par des galets et graviers emballés dans une matrice sableuse propre vers la base. La partie supérieure de ces terrasses est constituée parfois par des argiles interstadias à la base, puis par des graviers et galets à matrice sablo-argileuse.

4.3.1.10. Terrasse alluviale – Mindel (n°10)



La terrasse d'âge Mindel est constituée par des galets souvent allongés et des graviers emballés dans une matrice sablo-argileuse rubéfiée.

4.3.1.11. Terrasse alluviale – Günz (n°11)



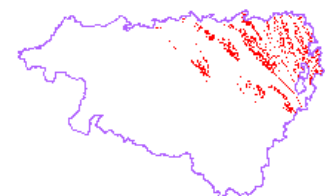
C'est une terrasse constituée de gros galets (20 cm) arrondis, presque jointifs, où la matrice sablo-argileuse est peu altérée. Ces alluvions sont le témoin du premier stade de creusement important des vallées qui a eu lieu à la fin du Pléistocène inférieur dans nos régions.

4.3.2. Formations du Cénozoïque

4.3.2.1. Nappes fluviales – Donau (n°12)

Quelques rares lambeaux sont présent dans le secteur de Saint-Jean-Pied-de-Port, sous forme de galets très altérés de grès, quartz et quartzite dans une gangue sableuse à sablo-argileuse lorsque le substrat est constitué d'ophite altérée.

4.3.2.2. Nappes fluviales – Pliocène (n°13)



Les nappes fluviales inférieure et moyenne d'âge Pliocène sont à rattacher au vaste cône détritique du Lannemezan. La nappe inférieure est surtout composée d'argiles blanchâtres à grandes marbrures rouges foncé à graviers (3 cm). La nappe moyenne présente deux séquences identiques avec à la base un cailloutis rubéfié (4 à 5 cm),

emballé dans une matrice sablo-graveleuse devenant de plus en plus fine vers le haut et passant à des argiles silteuses vers le sommet.

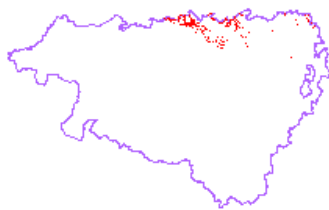
4.3.2.3. Glaises bigarrées – Tortonien (n°14)



Les Glaises bigarrées forment une pellicule parfois discontinue au toit des Sables fauves, localement érodée par les nappes fluviales du Pliocène. Ce sont des argiles plus ou moins plastiques de couleur jaunâtre mêlée de passées vertes, bleues et grises.

Le toit des Glaises est généralement affecté par une rubéfaction intense, matérialisée par des liserés de couleur vermillon, carmin, alternés de bandes blanchâtre kaoliniques.

4.3.2.4. Sables Fauves – Serravalien (n°15)



La formation des Sables fauves est constituée de sables fins à grossiers, souvent argileux dans la partie supérieure, jaunes, blancs, vieux rose ou ocre, avec de petits gravillons. Très souvent rubéfiés, les sables contiennent de petites plaquettes ferrugineuses et des cailloutis gréseux altérés. Vers l'ouest, des passées marines (faluns) s'intercalent à la base de la série. L'épaisseur de la formation varie de 0 à 35 mètres.

Cette formation est bien développée au nord du Gave de Pau où elle a nappé les reliefs. Disséquée par l'érosion quaternaire, elle se localise actuellement sur les hauteurs par inversion de relief, au dessus des molasses éo-miocènes qu'elle surmonte. On retrouve donc cette formation en fines bandes sur la carte d'**Arthez-de-Bearn**, de Sault-de-Navailles jusqu'au SE de Mazerolles, et au nord du Gave de Pau depuis le nord d'Orthez (carte d'**Orthez**) où il est bien représenté à Serres Sainte Marie. Il occupe aussi quelques bandes fines sur la carte de **Lembeye**.

Le matériel argileux est important (20 % à 40 %), ce qui les différencie des sables des Landes. Dans les sables et les argilites, la kaolinite est le principal minéral argileux : kaolinite de type hydraté, voisine des métahalloysites (c'est la lenzinite ou sévérinite de L. Dufour, 1824). Elle est associée à fort peu d'illite et de montmorillonite.

4.3.2.5. Mio-pliocène indifférencié (n°16)

Ce terme regroupe des faciès mal définis en Pays Basque correspondant probablement aux équivalents des séries molassiques et continentales définies en Chalosse et dans les Landes. Elles reprennent les molasses, les Sables fauves et les dépôts continentaux du Pliocène.

Elles sont peu représentées en surface et sont localisées près de l'agglomération de Bayonne.

4.3.2.6. *Molasses argilo-sableuses carbonatées – Éocène-Miocène (n°17)*



Les dépôts molassiques de l'Éo-miocène occupent une large surface dans le nord-est du département. Ils constituent les reliefs en lambeaux allongés entre les nombreuses vallées du nord-est du département.

Ces dépôts constituent les reliefs en lambeaux allongés, tailladés par l'érosion quaternaire. Cette formation affleure le long des cours d'eau, au niveau des flancs des vallées sur la carte de **Lembeye**, d'**Arthez de Béarn**, d'**Orthez** et en moindre quantité sur la carte de **Morlàas**. Il occupe une large surface à l'est d'Orthez (carte d'**Orthez**) qui se prolonge le long du gave de Pau sur la carte d'**Arthez-de-Béarn**, notamment au sud d'Arthez de Béarn et à Lagor. Ces dépôts sont très présents au sud du Gave de Pau et constituent ainsi la majeure partie de la carte de **Pau**.

L'âge de ces dépôts serait compris entre la fin du Lutétien et la fin du Burdigalien.

Enfin, cette formation se retrouve au nord de la carte d'**Hasparren**, entre Guiche et Bardos, où les dépôts sont datés plutôt du Miocène inférieur.

Le faciès dominant est une argile carbonatée souvent silteuse à sableuse, jaune, grise, verdâtre ou saumon à rougeâtre, à grumeaux ou poupées de calcaire. Viennent s'intercaler dans ce faciès des lits d'argile rousse à brun-sombre d'origine probablement pédogénétique, des sables moyens à grossiers, des graviers et des cailloutis, parfois en conglomérats dont l'épaisseur peut atteindre le mètre.

L'épaisseur de cette formation varie généralement entre 30 et 100 m et peut atteindre 1500 m au cœur du bassin d'Arzacq (carte d'**Arthez-de-Béarn**).

Les assises argilo-silteuses sont faiblement carbonatées (0 à 30 %) et riches en silts quartzeux (25 %). La phase argileuse présente un spectre minéralogique dominé par les smectites et les interstratifiés (50 à 70 %) devant l'illite et la kaolinite en parts égales (15 %).

4.3.2.7. *Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen (n°18)*



L'Éocène moyen affleure au nord des cartes d'**Hasparren** et d'**Orthez**. La succession comporte des marnes blanches détritiques, puis des alternances de puissantes barres calcaires et d'argiles sableuses avec des intercalations de conglomérats polygéniques.

4.3.2.8. *Marnes et alternance de sable et argile – Yprésien (n°19)*



Les formations d'âge Cuisien, contiennent de minces niveaux de calcaire gréseux et une série marneuse gris bleu, micacée, d'environ 300 m d'épaisseur.

Sur la carte de **Pau**, le sommet de la formation est une alternance de grès ferrugineux , de sables et d'argiles bariolées gypsifères à lignite.

On retrouve ces formations sur la carte d'**Orthez**, entre Salies-de-Béarn et Sauveterre, au SW d'Escos et elles forment une bande au cœur du synclinal d'Orriule qui se prolonge au NE de la carte de **Mauléon-Licharre**. Les flysch cuisien forment aussi le cœur de l'anticlinal de Sauvelade qui s'étend sur les cartes d'**Orthez**, d'**Arthez-de-Béarn** et de **Pau**, jusqu'au SE de Vieilleségure et dans la région de Gan. Ces formations occupent aussi de petites surfaces au nord de la carte d'**Hasparren** et **Morlàas**.

4.3.2.9. *Flyschs calcaires avec alternances – Paléocène (n°20)*



La formation du Paléocène supérieur est représentée par des intercalations argilo-marneuses à passées de calcaires à discocyclines et operculines.

L'épaisseur de cette formation avoisine les 300 mètres.

Les faciès les plus fréquents sont des marnes et des argiles carbonatées gris foncé à verdâtres, à passées de grès calcaire gris foncé et de calcaire argilo-sableux, grisâtre ou de calcaire argileux gris-beige.

La formation se retrouve sur la carte d'**Orthez**, entre Salies-de-Béarn et Sauveterre, au SW d'Escos et forme une bande au cœur du synclinal d'Orriule qui se prolonge au NE de la carte de **Mauléon-Licharre**. Les flysch paléocènes forment aussi le cœur de l'anticlinal de Sauvelade qui s'étend sur les cartes d'**Orthez**, d'**Arthez-de-Béarn** et de **Pau**, jusqu'au SE de Vieilleségure et dans la région de Gan. Cette formation occupe aussi de petites surfaces au nord de la carte d'**Hasparren** et **Morlàas**.

4.3.3. Formations du Mésozoïque

4.3.3.1. *Altérites des flyschs du Crétacé (n°21)*



Seules les altérites des flysch du Pays Basque ont fait l'objet d'une cartographie détaillée (thèse de M. Peter-Borie en cours). Les cartes géologiques faisaient abstraction du phénomène d'altération à l'époque de leur réalisation. Cependant une cartographie de ces altérites a été réalisée dans le secteur d'Orthez.

4.3.3.2. *Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur (n°22)*



Ce groupe de formations comprend principalement les "Marnes claires", les "Calcaires et marnes de Bidache" et les "Marnes de Nay".

"Marnes claires" : Cénomanién terminal à Coniacien (c_{1-3})

Les "Marnes claires" affleurent dans le synclinal d'Espiute, sur la carte de **Mauléon-Licharre**, et dans le quart sud-ouest de la carte de **Pau**. La base de cette formation correspond à des marno-calcaires gris beiges et des marnes grises, et le sommet à des marnes et des calcaires marneux irrégulièrement lités. Leur épaisseur varie entre 20 et 40 m.

"Calcaire et marnes de Bidache" et flyschs supérieurs indifférenciés : Turonien à Santonien (c_{2-4})

Sur la carte d'**Hasparren**, le calcaire de Bidache se présente en bancs bien rythmés, de 5 à 25 cm, souvent microbréchiques à la base. Ces bancs de calcaire à silex alternent avec des marnes grises. Entre Briscous et Bardos, les calcaires de Bidache sont remplacés par des marnes et des marno-calcaires rougeâtres à blocs et brèches de calcaire argileux.

Sur la carte d'**Orthez**, les calcaires et marnes de Bidache se présentent sous forme d'alternances rythmiques très régulières de bancs métriques de calcarénites, parfois microbréchiques, granoclassées, à rognons, rubans ou strates entièrement silicifiées, et de marnes grises feuilletées en lits généralement minces.

Sur les cartes de **Bayonne** et d'**Espelette**, les dépôts d'âge Turonien sont représentés par les "flyschs supérieurs indifférenciés". Ils sont constitués de schistes marneux, marnes conchoïdes et de calcaires en plaquettes ou en bancs minces.

Flyschs marno-calcaires et "Marnes de Nay" : Maastrichtien (c_{6L})

Sur les cartes d'**Orthez**, de **Mauléon-Licharre** et de **Pau**, le flysch maastrichtien est constitué d'une alternance de marnes et de calcaires marneux en bancs de 5 à 10 centimètres. On trouve localement des niveaux gréseux micro-bréchiques et grano-classés. Son épaisseur globale varie entre 150 et 250 m. Par disparition progressive des bancs détritiques, le flysch passe peu à peu à une formation de marnes grises, verdâtres ou rosées, de 100 à 250 m d'épaisseur : les "Marnes de Nay". Cette masse marneuse relativement homogène comporte de rares niveaux détritiques et quelques bancs calcaires, esquilleux, gris à crème.

Sur la carte de **Lourdes**, les flyschs du Maastrichtien et les Marnes de Nay atteignent respectivement 800 mètres et 300 mètres d'épaisseur.

4.3.3.3. *Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur (n°23)*



Ce groupe de formations comprend principalement les "Flyschs à silex inférieurs", les "Flysch bleu et Flysch des petites barres calcaires" et les "Flyschs marno-gréseux du Campanien".

"Flysch à silex inférieur" : Cénomanien moyen (c_{1b} F)

C'est une variation latérale du Flysch de Mixe. C'est un flysch où alternent argiles, silts, grès et conglomérats. Il s'y intercale des lentilles de calcaires à silex pouvant devenir très abondantes et occuper toute la formation. Les calcaires sont micritiques à bioclastes et intraclastes et riches en quartz clastiques.

Il s'étend largement dans les dépressions synclinales de Beyrie et de Larceveau, sur les cartes d'**Iholdy** et **Mauléon-Licharre**.

"Flysch bleu" et "Flysch des petites barres calcaires" : Cénomanien à Turonien (c₁₋₂, c₂)

Le flysch bleu occupe une large surface, formés par des alternances décimétriques à localement métriques, de marnes gris-bleutés et de bancs calcaires gris, parfois gréseux, à grano-classement très apparent.

Ce sont des calcaires argilo-micritiques à bioclastes et intraclastes pouvant devenir microconglomératique ; le ciment est alors micritique et les éléments sont des roches métamorphiques, des schistes et quartzites paléozoïque, des ophites.

Cette formation, dont l'épaisseur maximale est comprise entre 700 et 1000 m, forme une grande bande de direction NW-SE qui traverse plusieurs cartes du département : celles d'**Iholdy**, **Mauléon-Licharre** où elle occupe la moitié SW de la carte, **Tardets-Sorhoulus** et **Lourdes**.

La formation du "Flysch des petites barres" est très comparable à celle du Flysch bleu, mais les niveaux marneux y sont mieux développés. Elle forme une bande étroite en bordure des Flysch bleu. Sa puissance au cœur du synclinal de Larceveau serait d'environ 400 m (carte de **Mauléon-Licharre**).

Flysch marno-gréseux - Campanien (*c5 F*)

Il peut avoir 700 à 800 m de puissance et correspond à une série grés-marneuse à dominance gréseuse. A la partie supérieure de la formation, les grès, en gros bancs, sont durs et à ciment calcaire. Dessous, alternant toujours avec des marnes, les grès de couleur rouille à ocre deviennent de plus en plus sableux et micacés et mal cimentés.

Cette formation, parfois recouverte de formations quaternaires, se retrouve le long du Gave d'Oloron, depuis le sud de Montford (NE de la carte de **Mauléon-Licharre**) jusqu'au sud de Nay (carte de **Lourdes**).

4.3.3.4. Flyschs calcaires - Crétacé supérieur (*n°24*)



Cet ensemble comprend les flyschs d'âge Coniacien à Santonien et les "Flyschs à fucoïdes" du Coniacien

Flyschs : Coniacien à Santonien (*c3-4 F*)

Les flyschs santoniens forment une large bande s'étendant de l'est de Sauveterre de Béarn (carte d'**Orthez**) à Oloron-Sainte-Marie (carte d'**Oloron-Sainte-Marie**), et en moindre superficie dans le quart NE de la carte d'**Oloron-Sainte-Marie**.

Cette formation puissante est une alternance de calcaires gréseux et de calcaires marneux dont la puissance maximale est de 1000 m sur la carte de **Mauléon-Licharre**. Entre le Gave d'Oloron et Usquain (carte de **Mauléon-Licharre**), les bancs de calcaire marneux deviennent très importants (1,20 m), intercalés de dépôts turbiditiques.

"Flysch à fucoïdes" : Coniacien (*c3 F*)

Cette formation, surtout calcaire, se présente en gros blancs de 0,50 m de marno-calcaires bleus et durs, à cassures conchoïdales, à nombreuses fucoïdes à la base de la formation. L'épaisseur des bancs atteint 2 m au sommet de la formation. La série se termine par des bancs de calcaires gréseux (silts) de 10 à 15 cm alternant avec des marnes.

4.3.3.5. *Flyschs marneux - Crétacé inférieur (n°25)*



Cet ensemble est essentiellement représenté par les "Marnes de Ste Suzanne", les "Marnes noires", les "Marnes de St Palais" et les "Marnes à spicules".

"Marnes de Sainte Suzanne" : Aptien (n_5 , n_{5a} , n_{6c})

La formation de Sainte Suzanne est constituée de marnes silteuses micacées, feuilletées, noires ou grises, contenant des nodules calcaires, avec à la base quelques intercalations de calcaire gréseux et de calcaire glauconieux. Sur la carte d'**Orthez**, dans les unités de Sainte-Suzanne, Salies et Peyrehorade, les variations d'épaisseur de la formations sont importantes. Ces épaisseurs ne dépassent jamais 350 m.

"Marnes noires" : Aptien supérieur à Albien (n_{5-6})

Les "Marnes noires" albo-aptiennes sont lithologiquement très proche des "Marnes de Sainte Suzanne". On les retrouve dans le massif des Arbailles, sur les cartes de **Saint-Jean-Pied-de-Port** et de **Tardets – Sorholus**, où leur épaisseur est de 200 m environ.

"Marnes de Saint Palais" et "Marnes à spicules" : Albien à Cénomanién inférieur (n_6-c_1)

Ces marnes sont de couleur grise ou noire, sans stratification apparente et parfois entrecoupées de bancs de calcaires argileux mal individualisés. Elles contiennent des septarias et de nombreuses spicules de spongiaires. On y trouve, par place, des niveaux de grès psammitiques, de micropoudingues et de microbrèches de teinte brune.

Cette formation atteint 1500 mètres de puissance sur le flanc ouest de la structure de l'Arberoue (carte d'**Iholdy**), dans le bassin de Tardets (carte de **Tardets-Sorholus**) et au cœur de l'anticlinal de Saint-Palais (carte de **Mauléon-Licharre**).

Sur la carte de **Mauléon-Licharre**, ce faciès marneux se caractérise par la présence de chlorite (10 à 30 %) et d'illite (70 à 80 %) ; la montmorillonite est très faiblement représentée ; la teneur en carbonates de calcium qui est de 40 à 50 % à la base de la série ne représente plus que 10 à 20 % au sommet.

4.3.3.6. *Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur (n°26)*



Le "Flysch de Mixe", d'âge Albien à Cénomanién (n_6-c_1), est largement représenté dans la moitié ouest du département.

Sur la feuille d'**Orthez**, le "Flysch de Mixe" est caractérisé par des bancs minces puis beaucoup plus serrés de grès ferrugineux à ciment argilo-calcaire, dans un fond toujours constitué d'argiles noires. Les bancs détritiques les plus épais montrent parfois un granoclassement avec microbrèches de base et se terminent par des laminites parallèles. L'épaisseur de cette formation dépasse 1000 m.

Ce faciès occupe une large surface sur la moitié orientale de la feuille d'**Iholdy** où son épaisseur varie entre 100 et 600 m. Au nord d'Iholdy et du massif de l'Ursuya, ce flysch présente une alternance centimétrique ou pluridécimétrique d'argiles, de silts ou de grès.

Sur la feuille d'**Hasparren**, le "Flysch de Mixe" s'étend sur quasiment toute la moitié sud. C'est une série très monotone, essentiellement constitué par des alternances de grès parfois calcaires de teinte ocre, brune ou blanche, en bancs d'épaisseur 5 à 50 cm, rarement métrique. Le quartz peut occuper 50 % du sédiment. La partie inférieure des bancs est souvent microbréchique avec des lithoclasts polygéniques contenues dans un ciment argileux, argilo-ferrugineux ou calcaire.

Les niveaux tendres sont constitués par des argiles feuilletées, grises, noires ou ocre. Ces argiles contiennent des grains de quartz, de limonite et de pyrite, de muscovite et des débris limoniteux et ligniteux. Elles sont dépourvues de calcite à l'affleurement.

Le "Flysch de Mixe" est aussi présent sur les feuilles de **Bayonne**, **Espelette** et en moindre quantité sur celle de **Tardets-Sorholus**.

Les analyses chimiques concernant le Flysch de Mixe révèlent peu ou pas de carbonates, des proportions d'argile variables : illite toujours très abondante (70%), chlorite 5 à 15%, montmorillonite : 10 à 20 %, la kaolinite étant rare.

4.3.3.7. Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien (n°27)



Les "Marnes d'Hosta", d'âge Callovien à Oxfordien (J_{4-5}) affleurent sur des surfaces très réduites dans les environs d'Hasparren (carte d'**Hasparren** et **Iholdy**, ainsi que dans le massif des Arbailles (carte de **Saint-Jean-Pied-de-Port** et **Tardets-Sorholus**).

Ces marnes noires, brunâtres à l'altération, sont schisteuses à la base et sableuses ou micacées au sommet. Elles sont recoupées par de rares bancs de calcaire argileux. Leur épaisseur est d'environ 150 m.

4.3.3.8. Marnes et calcaires – Jurassique (n°28)



Ce groupement de formation inclut les dépôts du Jurassique inférieur et moyen autres que le Toarcien en général marneux, ou lorsque celui-ci n'a pas été distingué dans la cartographie.

Les faciès sont donc variés, mais à dominance de marnes, de calcaires argileux, de brèches, de dolomie, et de calcaires fossilifères.

4.3.3.9. Marnes – Toarcien (n°29)

Très peu représentés en surface, ce sont des marnes noires ou brunes et des calcaires marneux bleu foncé à bélemnites, ammonites et térébratules, formant une étroite bande sous la barre des "Calcaires à microfilaments" (Callovien)

4.3.3.10. Argiles bariolées gypsifères, dolomies, cargneules – Keuper (n°30)



Les dépôts lagunaires du Trias supérieur sont des marnes argileuses bariolées, de couleur dominante rouge ou lie de vin, souvent gypsifères, typiques du Keuper pyrénéen.

Ces marnes sont souvent associées à des cargneules, des brèches et des calcaires dolomitiques de couleur beige ou jaune chamois. Localement elles peuvent contenir de la halite, de la sylvinite, de la carnalite et autres évaporites.

4.3.3.11. Ophites (n°31)



Les ophites sont des roches magmatiques intermédiaires entre les gabbros et les basaltes, représentant les restes d'une croûte océanique lors de la collision entre l'Ibérie et l'Europe. Ils sont donc liés aux accidents tectonique profonds et soulignent ceux-ci dans les zone de décollement de la couverture matérialisés par les argiles du Trias.

Les ophites sont donc toujours associées aux argiles du Keuper dans les Pyrénées. Leur altération, assez fréquente, produit des argiles généralement riches en smectites.

4.3.4. Formations du Paléozoïque

4.3.3.12. Pélites argileuses et argilo-gréseuses – Dévonien (n°32)



Les pélites argileuses et argilo-gréseuses du Dévonien inférieur terminal à Dévonien moyen, sont très peu représentées en surface et ne portent pas de construction car situés en haute montagne. Leur nature partiellement argileuse les a tout de même placé parmi les formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques.

4.3.3.13. Gneiss du Labourd – Précambrien (n°33)



Les gneiss du Labourd sont des paragneiss à biotite, quartz, sillimanite et souvent à grenat, formant une puissante formation plissotée et très altérée, sauf sur les hautes collines et dans quelques profondes entailles d'érosion.

4.4. CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE : LES DIFFÉRENTS AQUIFÈRES DES PYRENEES-ATLANTIQUES

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

Toutefois, les variations piézométriques des principales nappes du département jouent un rôle limité dans la variation de teneur en eau des argiles superficielles, phénomène qui est plus imputable à l'action prépondérante de l'évapotranspiration. Il n'est cependant pas exclu que des petites nappes superficielles (localisées dans des alluvions ou des lentilles sableuses), puissent jouer localement un rôle plus important. En effet, dans le cas d'une nappe à faible profondeur, les phénomènes de remontées capillaires atténuent la dessiccation de la zone non saturée. Inversement, en cas de baisse généralisée du niveau de la nappe, la dessiccation de la zone non saturée sera d'autant plus importante. Par ailleurs, dans le cas d'une alternance de couches argileuses et sableuses, les niveaux sableux seront sujets à des fluctuations rapides de teneur en eau, qui influenceront directement sur la teneur en eau des argiles sus-jacentes, donc sur le retrait ou le gonflement de ces dernières.

Vis-à-vis de la problématique du retrait-gonflement des argiles, les nappes des Pyrénées-Atlantiques peuvent être classées en deux grands ensembles. D'une part,

les nappes "profondes et continues" (comme celle des flyschs calcaro-gréseux et des calcaires jurassiques), et d'autre part les nappes plus "superficielles" des formations fluviatiles et alluviales.

4.4.1. Référentiel Hydrogéologique

Les systèmes aquifères (SA) du territoire français sont répertoriés dans une base géoréférencée nommée Référentiel Hydrogéologique de la France (RHF). Les SA des Pyrénées-Atlantiques sont regroupés dans le tableau de l'illustration **10** et leur extension géographique est précisée sur la carte de l'illustration **11**.

Les systèmes 348, 349, 350, 351 et 392 concernent des aquifères alluviaux dont les niveaux piézométriques sont souvent très superficiels et peuvent être soumis à des fluctuations importantes.

Les systèmes 127AO, 133, 134, 135A, 135B, 135C, 135D et 135E correspondent à des aquifères complexes, multicouches, de type karstique, développés dans des séries carbonatées souvent épaisses (300 m).

Le système 566 caractérise le piémont pyrénéen et le cône du Lannemezan, d'âge Éocène à Miocène, essentiellement molassique et sablo-argileux.

N° SA	NOM SA	ETAT	STRUCTURE	DESCRIPTION	TYPE	EPAISMOY	NB_OUVRAGES
127AO	LANDES / OLIGOCENE	Nappe libre	Multicouche	Multicouche entre GIRONDE-GARONNE-ADOUR-MIDOUZE et littoral correspondant aux affleurements de l'Oligocène	Karstique	55	112
133	MASSIF DES ARBAILLES	Nappe libre	Monocouche	Aquifère karstique dans le Crétacé inf. (calcaires urgoniens) et le Jurassique	Karstique	300	8
134	LA PIERRE ST MARTIN	Nappe libre	Monocouche	Aquifère karstique du Crétacé sup. enveloppant la zone axiale	Karstique	300	23
135A	CHAINON CALCAIRE / MASSIF DE ST PEE DE BIGORRE	Nappe libre	Multicouche	Aquifère karstique du Jurassique et du Crétacé entre les Gaves d'OSSAU et de PAU	Karstique	300	65
135B	CHAINON CALCAIRE / BIELLE LURBE	Nappe libre	Multicouche	Aquifère karstique du Jurassique et du Crétacé de l'anticlinal de BIELLE LURBE entre OSSAU et ASPE	Karstique	300	9
135C	CHAINON CALCAIRE / SARRANCE	Nappe libre	Multicouche	Aquifère karstique du Jurassique et du Crétacé de l'anticlinal de SARRANCE entre ASPE et BARETOUS	Karstique	300	5
135D	CHAINON CALCAIRE / LAYENS	Nappe libre	Multicouche	Aquifère karstique du Jurassique et du Crétacé de l'anticlinal du LAYENS entre ASPE et BARETOUS	Karstique	300	9
135E	CHAINON CALCAIRE / AHARGOU	Nappe libre	Multicouche	Aquifère karstique du Jurassique et Crétacé de la structure d'AHARGOU	Karstique	300	5
348	ADOUR	Nappe semi-captiv	Monocouche	Système alluvial entre AIRE SUR L'ADOUR et BAYONNE	Alluvions	10	33
349	LUYS	Nappe libre	Monocouche	Système alluvial du LUY de FRANCE et du LUY de BEARN	Alluvial	10	3
350	GAVE DE PAU / OUEST	Nappe libre	Monocouche	Système alluvial du gave jusqu'à la confluence avec l'ADOUR	Alluvions	5	51
351	GAVE D'OLORON	Nappe libre	Monocouche	Système alluvial du Gave d'OLORON et du SAISON jusqu'à la confluence avec le gave de PAU	Alluvions	5	97
392	BIDASSOA	Nappe libre	Monocouche	Alluvion de la BIDASSOA en rive droite (en FRANCE)	Alluvions	5	3
566	BEARN	Nappe libre	Multicouche	Éocène-Mio-Pliocène et Quaternaire du sud-ouest de l'Aquitaine, multicouche constituant par endroit des zones d'affleurement des nappes profondes	Essentiellement Sables Fauves, Faluns et calcaires gréseux du Miocène	20	48
567A	PYRENEES OCCIDENTALES / BASSIN DU FLYSCH	Nappe libre	Multicouche	Domaine du piémont de la chaîne des Pyrénées occidentales constitué par les flyschs du Crétacé	Karstique	10	133
567B	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIFS PALÉOZOÏQUES BASQUES	Nappe libre	Multicouche	Domaine constitué par les formations paléozoïques des Massifs Paléozoïques Basques	Autre	0	55
567C	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF DE L'ARBEROUE - ARMANDARITS	Nappe libre	Multicouche	Massifs Crétacés et Jurassiques des structures de l'ARBEROUE et d'ARMANDARITS	Karstique	500	3
567D	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF DE STE SUZANNE	Nappe libre	Multicouche	Crétacé inf. (Urgonien) de la région d'ORTHEZ	Karstique	100	3
567E	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF TRIASSIQUE DE SALIES	Nappe libre	Monocouche	Système aquifère hydrothermal salé du Trias de la région de SALIES	Autre	0	3
567E	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF TRIASSIQUE DE SALIES	Nappe libre	Monocouche	Système aquifère hydrothermal salé du Trias de la région de SALIES	Autre	0	3
567F	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF DE LA RHUNE	Nappe libre	Multicouche	Permo-Trias de la bordure est du massif pyrénéen	Autre	5	12
568A	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF PYRENEEN	Nappe libre	Multicouche	Aquifère localisé dans les terrains de nature variées et fortement tectonisés du Paléozoïque de la Zone Axiale	Autre	0	65
620F	PYRENEES OCCIDENTALES / URSUYA	Nappe libre	Monocouche	Domaine précambrien à dominance gneiss, limité par les terrains paléozoïques au sud, à l'est et à l'ouest, par le Mésozoïque au nord	Socle	10	34
620G	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIF DES EAUX CHAUDES	Nappe libre	Monocouche	Domaine de socle avec formations granitiques hydrothermales	Socle	0	0

Illustration 10 : Caractéristiques des systèmes aquifères (SA) du RHF dans les Pyrénées-Atlantiques.

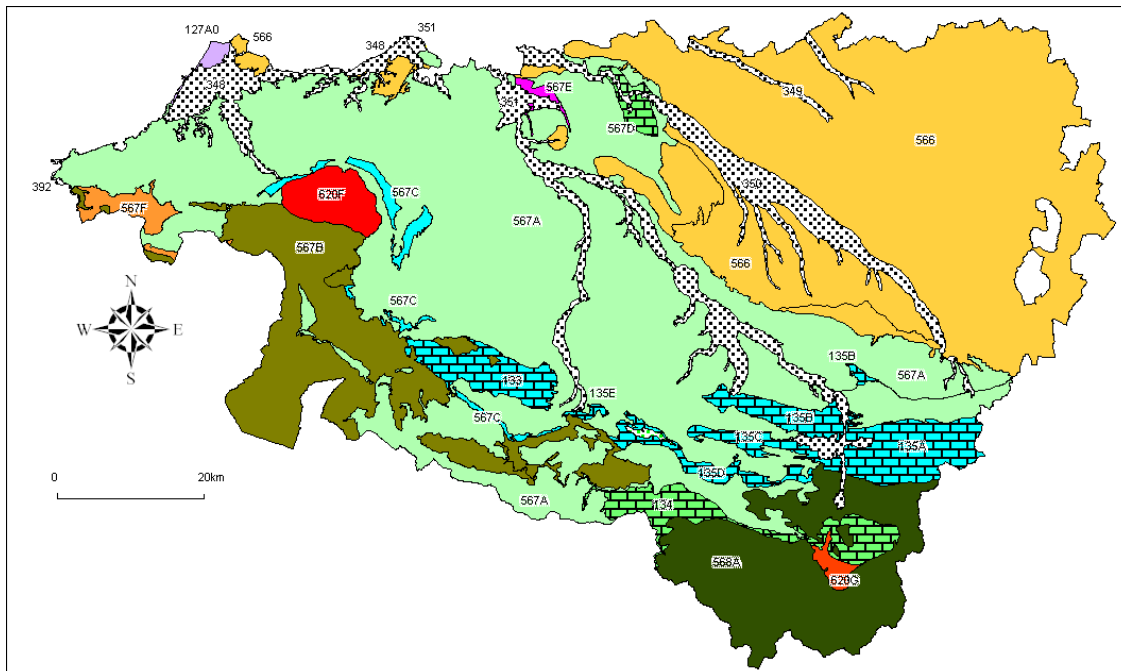


Illustration 11 : Carte schématique des systèmes aquifères du RHF des Pyrénées-Atlantiques et leur codeSA.

Les systèmes 567A, 567B, 567C, 567D, 567E, 567F, 568A, 620F et 620G correspondent à des domaines pyrénéens variés, d'âge Précambrien à Crétacé, de type multicouche, à l'exception des domaines précambriens et du socle granitique.

5. Caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des formations retenues

5.1. CRITÈRES DE HIÉRARCHISATION

5.1.1. Critères retenus

Les critères retenus pour l'élaboration de la carte de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement concernent la nature lithologique des formations affleurantes à sub-affleurantes, la minéralogie de leur phase argileuse et le comportement géotechnique du matériau. La carte de susceptibilité ainsi élaborée correspond donc à une hiérarchisation des formations géologiques identifiées, en prenant en compte uniquement ces trois critères.

En effet, d'autres critères de susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement, tels que le contexte hydrogéologique, la topographie, la végétation ou le type de fondation du bâti, n'ont pas été pris en compte, la plupart de ces facteurs n'intervenant que de manière très locale et ne pouvant par conséquent être cartographiés à l'échelle départementale.

5.1.2. Méthode de classification

Rappelons que le document de base utilisé pour élaborer la carte de susceptibilité est la carte synthétique des formations argileuses et marneuses du département, laquelle a été établie en tenant compte essentiellement de la nature lithologique des formations.

La seconde étape de cette cartographie consiste à hiérarchiser les formations argileuses et marneuses ainsi identifiées, en fonction de leur plus ou moins grande susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de caractéristiques quantifiables, estimées pour chacune des 33 formations sélectionnées :

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

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les différentes formations, la règle adoptée a consisté à utiliser des *valeurs seuils*, couramment admises dans la littérature, distinguant quatre degrés de susceptibilité (faible, moyenne, forte et très forte). Pour permettre la réalisation de calculs, les grandes classes lithologiques distinguées ont également été affectées d'une note. Pour les trois caractéristiques naturelles des terrains, cela permet d'attribuer une note de 1 à 4 à chacune des formations identifiées.

Les caractérisations lithologique, minéralogique et géotechnique des 33 formations sont successivement présentées dans les paragraphes suivants.

5.2. CRITÈRE LITHOLOGIQUE

5.2.1. Définition du critère lithologique et barème

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

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

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 (Illustration 12) :

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 12 : Notes attribuées en fonction des caractéristiques lithologiques

5.2.2. Caractérisation lithologique

Les formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques ont déjà été sélectionnées et regroupées sur une base litho-stratigraphique lors de la réalisation de la carte synthétique des formations argileuses du département. Les informations nécessaires pour caractériser et noter les 33 formations argileuses résultant de ce découpage sont issues de plusieurs sources :

- les notices des cartes géologiques du département à l'échelle 1/50 000 ;
- la connaissance du géologue régional et de l'équipe du SGR Aquitaine sur les faciès du département ;
- des coupes lithologiques, issues de la Banque des données du Sous-Sol (BSS) et de rapports d'études géotechniques, qui apportent des informations ponctuelles sur la partie superficielle des formations géologiques du département.

Les notes lithologiques attribuées aux 33 formations argileuses du département des Pyrénées-Atlantiques sont reportées dans l'illustration 14. La répartition des formations argileuses en fonction de leur note lithologique (Illustration 13) montre l'extrême diversité des faciès rencontrés dans le département des Pyrénées-Atlantiques.

Note lithologique	Nombre de formations	% de la superficie départementale	% de la superficie argileuse
1	9	13,20%	18,02%
2	13	33,11%	45,19%
3	7	22,91%	31,27%
4	4	4,04%	5,51%
Total	33	73,26%	100,00%

Illustration 13 : Répartition par note lithologique des formations argileuses dans le département

Dans le département des Pyrénées-Atlantiques, la majeure partie des formations géologiques contient une composante argileuse (dominante ou non suivant les cas). Cependant, les formations exclusivement argileuses ayant une note lithologique de 4 ne sont que 4 et ne représentent que 5,5 % de la superficie totale des formations argileuses du département. Il s'agit :

- des *Glaises Bigarrées du Tortonien* (n°14) ;
- des *Marnes et alternances de sable et argile de l'Yprésien* (n°19) ;
- des *Altérites des flyschs du Crétacé* (n°21) ;
- des *Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules du Keuper* (n°30).

Age	N°	Nom des formations argileuses	Superficie (km2)	% surface départ.	Note litho.
QUATERNAIRE	1	Déblais anthropiques	0,21	0,00%	2
	2	Éboulis actuels ou récents	171,60	2,22%	1
	3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	171,89	2,23%	3
	4	Colluvions et dépôts de pente	78,29	1,02%	2
	5	Limons des plateaux	5,26	0,07%	1
	6	Alluvions récentes	619,56	8,03%	2
	7	Alluvions - Würm	293,38	3,80%	2
	8	Moraines glaciaires	109,17	1,42%	2
	9	Terrasse alluviale - Riss	154,24	2,00%	1
	10	Terrasse alluviale - Mindel	324,83	4,21%	2
	11	Terrasse alluviale - Günz	249,08	3,23%	1
CENOZOÏQUE	12	Nappes fluviatiles - Donau	0,19	0,00%	2
	13	Nappes fluviatiles - Pliocène	343,92	4,46%	2
	14	Glaives bigarrées - Tortonien	61,65	0,80%	4
	15	Sables fauves - Serravallien	76,05	0,99%	2
	16	Mio-pliocène indifférencié	33,58	0,44%	2
	17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	391,54	5,08%	3
	18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	16,34	0,21%	2
	19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	59,40	0,77%	4
	20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	57,88	0,75%	1
CRÉTACÉ	21	Altérites des flyschs du Crétacé	119,02	1,54%	4
	22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	313,65	4,07%	3
	23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur	634,80	8,23%	2
	24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	273,88	3,55%	1
	25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	453,24	5,88%	3
	26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	424,62	5,51%	3
JURASSIQUE	27	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	12,06	0,16%	3
	28	Marnes et calcaires jurassiques	23,15	0,30%	2
	29	Marnes - Toarcien	0,06	0,00%	3
TRIAS	30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	71,54	0,93%	4
	31	Ophites	59,97	0,78%	1
DEVONIEN	32	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	4,38	0,06%	1
PRE-CAMBRIEN	33	Gneiss du Labourd - Précambrien	42,11	0,55%	1

Illustration 14 : Note lithologique des formations argileuses du département des Pyrénées-Atlantiques

Sept formations obtiennent la note lithologique de 3, ce qui signifie que leur composante argileuse est dominante dans la formation, mais non continue. Elles occupent 31,3 % de la superficie totale des formations argileuses du département. Pour ne citer que celles qui affleurent de manière significative dans le département (plus de 3 % de la superficie totale du département), il s'agit :

- des *Molasses argilo-sableuses carbonatées*, de l'Éocène-Miocène (n°17) ;
- des *Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires du Crétacé supérieur* (n°22) ;
- des *Flyschs marneux du Crétacé supérieur* (n°25) ;
- du *Flysch argilo-gréseux de Mixe du Crétacé inférieur* (n°26).

Les formations argileuses de note lithologique 2 (contenant un terme argileux non prédominant, de type calcaire argileux ou sable argileux) sont au nombre de 13 et recouvrent 45,2 % de la superficie totale des formations argileuses du département.

Il s'agit essentiellement de formations alluviales et fluviatiles : les *Alluvions récentes* (n°6, qui couvrent environ 8 % de la superficie départementale) , les *Alluvions du Würm* (n°7), les *Terrasses alluviales Mindel et Donau* (n°10 et 12), les *Nappes fluviatiles du Pliocène* (n°13), la formation des *Sables Fauves du Serravalien* (n°15), et le *Mio-pliocène indifférencié* (n°16). Les autres formations ayant une note lithologique de 2 sont de type marno-calcaires. On citera parmi elles la formation des *Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire du Crétacé supérieur* (n°23), dont l'étendue est très importante dans le département (8,2 % de la superficie totale du département).

Enfin, 9 formations représentant 18 % de la superficie totale des formations argileuses du département ont une note lithologique de 1. L'argile y est minoritaire par rapport aux autres éléments plus grossiers (sables et graviers notamment). C'est le cas des *Éboulis actuels ou récents* (n°2) et des *Terrasses alluviales* du Riss et du Günz (n° 9 et 11). Des flyschs à dominantes calcaires font également partie de cette catégorie : *Flyschs calcaires avec alternances* du Paléocène (n°20), *Flyschs calcaires* du Crétacé supérieur (n°24).

Remarque importante :

Un facteur non négligeable a fortement influencé l'attribution de ces notes. Il s'agit du phénomène d'altération superficielle qui est à l'origine d'une couche d'altérites (argiles issues de l'altération) au toit des formations. L'épaisseur de ces altérites peut atteindre plusieurs dizaines de mètres dans les cas les plus extrêmes. Ces altérites ne se retrouvent que ponctuellement au sein d'une formation et ne sont généralement pas cartographiées sur les cartes géologiques au 1/50 000. Les formations concernées par l'altération ont donc vu leur note lithologique majorée de 1 point en raison de la présence potentielle d'altérites.

Ainsi, les *Flyschs calcaires avec alternances* du Paléocène (n°20), les *Flysch calcaires du Crétacé supérieur* (n°24), les *Gneiss du Labourd* (n°30) et les massifs d'*ophites* (n°33), bien qu'étant *a priori* des formations non argileuses, présentent un faciès argileux lors de leur altération, ce qui leur vaut la note de 1. D'autres formations marneuses ou de type flysch marno-calcaire présentent un faciès radicalement différent selon qu'il y a eu ou non altération. C'est le cas de la majorité des flyschs du Crétacé (formations n°22, 23, 25 et 26) présentant un faciès non altéré massif et sans niveaux argileux, qui se transforment après altération en flysch à forte composante argileuse (avec des niveaux d'altérites). Ainsi, les *Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires* du Crétacé supérieur (n°22), les *Flyschs marneux* du Crétacé inférieur (n°25) et les *Flyschs argilo-gréseux de Mixe* du Crétacé inférieur (n°26), qui sont souvent altérés, ont donc obtenu la note lithologique de 3. Les *Flyschs marno-gréseux et marno-calcaires* du Crétacé supérieur (n°22), sont en revanche moins souvent altérés, ce qui explique leur note lithologique de 2.

Seule la localisation des altérites sur la côte Basque est bien connue, ce qui a permis de les individualiser en une formation argileuse à part entière (*Altérites des flyschs du Crétacé*, n°21), et de leur attribuer la note lithologique de 4. Des zones situées sur des

calcaires francs (Calcaires urgoniens, Calcaire des canons) ont été également cartographiées en altérites, au vu des résultats des études géotechniques et des sondages effectués (secteur d'Orthez).

5.3. CRITÈRE MINÉRALOGIQUE

5.3.1. Définition du critère minéralogique et barème

Les phénomènes de retrait-gonflement s'expriment préférentiellement en présence des minéraux argileux appartenant au groupe des smectites (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite) et, dans une moindre mesure, au groupe des interstratifiés, alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes, par exemple smectites/illite ou illite/smectites. La caractérisation minéralogique des argiles se détermine par des analyses de diffractométrie aux rayons X.

Les bornes retenues pour la classification minéralogique, basée sur le pourcentage de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) contenus dans la phase argileuse du matériau, sont respectivement 25 %, 50 % et 80 %. Une note minéralogique a été attribuée à chacune de ces formations sur la base d'un barème appliqué de manière identique pour l'ensemble des cartes d'aléa déjà réalisées (Illustration 15).

% 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 15 : Seuils utilisés pour l'attribution des notes minéralogiques

5.3.2. Sources des données

D'une façon générale, les dossiers de demande de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne présentent aucune caractérisation qualitative et quantitative des minéraux argileux composant les formations géologiques identifiées comme sensibles. De même, les expertises de sinistres se basent assez rarement, pour effectuer leur diagnostic, sur des analyses aux rayons X.

La caractérisation minéralogique des formations argileuses du département des Pyrénées-Atlantiques a donc été réalisée à partir de données issues pour l'essentiel d'une revue bibliographique (dont les sources sont précisées ci-après) et de l'examen des notices des cartes géologiques. Ces dernières fournissent en effet parfois, selon les auteurs, des résultats sur la composition minéralogique de la phase argileuse en mentionnant les minéraux dominants, sous forme de plage de valeur, voire en indiquant directement des résultats d'analyse.

Ont également été exploitées des résultats d'analyse diffractométrique aux rayons X réalisées sur 28 échantillons de sols prélevés dans les départements des Pyrénées-

Atlantiques et des Landes (40). En effet, 10 échantillons prélevés dans les Landes appartiennent à des formations qui s'étendent sur les deux départements. Les 18 autres échantillons ont été prélevés dans des formations propres aux Pyrénées-Atlantiques, dans le cadre spécifique de la présente étude. La méthode utilisée est présentée en annexe 3 avec les diffractogrammes et résultats détaillés. Ces 28 échantillons ont également fait l'objet d'une caractérisation géotechnique (valeur au bleu de méthylène).

Enfin, ces données ont été complétées par celles issues de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement dans les départements limitrophes des Pyrénées-Atlantiques, à savoir les Hautes-Pyrénées (65) et le Gers (32). La prise en compte de ces données acquises hors département nécessite évidemment une grande prudence étant donné les variations latérales de faciès possibles au sein d'une même formation. Il faut aussi noter que l'altération d'une formation géologique qui influe sur sa composition minéralogique, dépend essentiellement de la géographie du milieu, ce qui explique des variations de minéralogies dans l'espace au sein d'une même formation.

5.3.3. Caractérisation minéralogique des formations argileuses et marneuses du département des Pyrénées-Atlantiques

L'ensemble des données (bibliographiques et résultats d'analyses aux rayons X) ayant permis la caractérisation minéralogique des formations argileuses du département est reporté dans le tableau synthétique de l'illustration 16, qui présente les notes minéralogiques attribuées à chacune des 33 formations retenues comme argileuses ou marneuses.

Dans l'illustration, les numéros entre parenthèses correspondent à :

- (1) : informations issues des notices de cartes géologiques à 1/50 000 ;
- (2) : cartographie des principales formations argileuses et marneuses dans la région Aquitaine ;
- (3) : prospection Centre-Aquitaine (étude sur les ressources du sous-sol, carte de Lembeye) ;
- (4) : Diffractométrie aux rayons X réalisée dans le cadre de la thèse en cours de Marianne Peter-Borie ;
- (5) : Diffractométrie aux rayons X réalisée sur les échantillons prélevés dans le cadre de cette étude.

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

N°	Formation argileuse	Informations issues de sources diverses	Analyse aux rayons X (5)					Depts. voisins			Note minéralogique finale
			Nb. ech	% smectite	% interstratifiés	% illite	% kaolinite	32	40	65	
1	Déblais anthropiques										
2	Eboulis										
3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés							2	2	2	2
4	Colluvions et dépôts de pente		1		14	45	41		2	2	2
5	Limons des plateaux										
6	Alluvions récentes							1	1	1	1
7	Alluvions - Würm							1			1
8	Moraines glaciaires									1	1
9	Terrasse - Riss							1	2		1
10	Terrasse - Mindel		2		31	18	75,5	1	2		2
11	Terrasse - Günz										
12	Terrasse - Donau								1		1
13	Nappes fluviales - Pliocène	Dans le secteur d'Arthez-de-Bearn : prédominance de l'illite (100 à 80%) devant la kaolinite (20 à 0%) et absence probable de smectite. (2)						1	1	1	1
14	Formation des Glaises bigarrées - Tortonien	Carte d'Orthez (1003) : L'illite prédomine (environ 50%), puis kaolinite, montmorillonite et chlorite avoisinant tous les 15%. (1)	1	15	15	50	15	2	2	1	2
		L'illite et la kaolinite (50% et 40% respectivement) sont dominantes, devant la smectite (10%). De la métahalloysite (13%) et de la chlorite (7%) complètent quelques fois ce cortège. (2)		13		50	40				
		Kaolinite et interstratifié assez abondants, illite faible, halloysite probable. (3)									
			1		11	74	15				
15	Formation des Sables fauves - Serravallien								2		1
16	Mio-pliocène indifférencié	Carte d'Hasparren (1002) : la kaolinite est le principal minéral argileux, kaolinite de type hydraté, voisine des métahalloysites (c'est la lenzinite ou sévérine de L. Dufour, 1824). Elle est associée à fort peu d'illite et de montmorillonite. (1)			50	27	23		2		2
17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Eocène-Miocène	La phase argileuse présente un spectre minéralogique dominé par les smectites et interstratifiés (50 à 70 %) devant l'illite et la kaolinite en parts égales (15%). (2) smectite abondante, kaolinite/smectite assez abondante (3)		60		15	15	2	3	2	3
18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Eocène moyen	Le cortège minéralogique argileux de ces marnes est dominé par les smectites (90%) devant les illites et la kaolinite en quantité égales. (2)	3	78,6		49	5		3		3
19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien		2		32,5	35	32,5		2		2
20	Flyschs calcaires avec alternances gréseuses, sableuses et marneuses - Paléocène			75		11	14		3		3
21	Altérites des flyschs du Crétacé	Sur la côte Basque, dans altérites du flysch à silex de Guethary, la vermiculite est le principal minéral argileux. Présence d'illite. (4)	1	90		9	1				4
22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur		4	37,5	14,5	23,5	24,75				2
23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaires - Crétacé supérieur		3	32	14,3	50,3	3,3		2		2
24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur		1		37	36	27		2		2
25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	Carte de Mauléon - Licharre (1028) : Les marnes de St. Palais sont caractérisées par la présence de chlorite (10 à 30 %), d'illite (70 à 80 %) ; la montmorillonite est très faiblement représentée. (1)	2	8		92					1
26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	Carte de Mauléon - Licharre (1028) : Le flysch de Mixe se compose de 70% d'illite, 5 à 15% de chlorite, 10 à 20% de montmorillonite. La kaolinite reste rare ou même absente. (1)	1	4	94	2					2
27	Marnes d'Hosta - Collovien-Oxfordien		3	2		97	1				1
28	Marnes et calcaires - Jurassique		1	6		91	3				1
29	Marnes - Toarcien										
30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	Carte de Pau (1029) : Les argiles bariolées du Keuper présentent une association chlorite-illite. (1)	1	37		17	46		2		2
31	Ophites	Carte Iholdy (1027) : minéraux d'altération telle chlorite (1)	1	42			58		2		2
32	Pérites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien										
33	Gneiss du Labourd, paragneiss à biotite indifférenciés - Précambrien		1			22	78				1

Illustration 16 : Note Minéralogique des formations argileuses et marneuses des Pyrénées-Atlantiques

Les formations alluviales n'ont pas fait l'objet d'analyses étant donné leur hétérogénéité spatiale (formations à dominante sableuse ou graveleuse avec présence de lentilles d'argiles). En effet, il faudrait, pour les caractériser pleinement, multiplier les analyses, en de nombreux points et à différentes profondeurs, ce qui exigerait un budget dépassant largement le cadre de ce projet.

5.4. CRITÈRE GÉOTECHNIQUE

5.4.1. Définition du critère géotechnique et barème

Ce critère permet d'intégrer dans l'analyse de la susceptibilité le comportement géotechnique du matériau vis à vis du retrait-gonflement.

Le choix et la description des différents essais géotechniques utilisés pour la définition de ce critère sont présentés dans les paragraphes suivants, ainsi que les valeurs seuils retenues pour la détermination de la note géotechnique.

5.4.1.1. Généralités sur les expertises de sinistres

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

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

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

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

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

5.4.1.2. Indice de plasticité (I_p)

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

On considère généralement que la susceptibilité d'une argile au retrait-gonflement varie en fonction de l'indice de plasticité I_p de la manière suivante (Illustration 17) :

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note
$IP < 12$	faible	1
$12 \leq IP < 25$	moyenne	2
$25 \leq IP < 40$	forte	3
$IP \geq 40$	très forte	4

Illustration 17 : Note de susceptibilité par classe d'indice de plasticité

5.4.1.3. Essais au bleu de méthylène (V_b)

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.

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

On considère généralement (Chassagneux *et al.*, 1998) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (Illustration 18) :

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 18 : Note de susceptibilité par classe de valeur au bleu

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

5.4.1.4. Retrait linéaire (RI)

La valeur du retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait volumique possible d'un sol lors de son assèchement. Initialement, le sol est saturé en eau. Lorsque la teneur en eau diminue, son volume total diminue, puis se stabilise. Ce processus de diminution de la teneur en eau se traduit par deux phases successives. Lors de la première, les grains constituant le sol se rapprochent, mais le sol reste toujours saturé : la variation de volume du sol est donc proportionnelle à la diminution de la teneur en eau. Lors de la seconde, les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher, l'élimination de l'eau ne fait plus varier le volume du sol, mais se traduit par sa désaturation. La teneur en eau correspondant à ce palier est appelée limite de retrait. Plus cette valeur est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit en cas de dessiccation sera grand.

Les coupures suivantes ont été proposées (Mastchenko, 2001) pour caractériser le potentiel de retrait avec ce paramètre (Illustration 19).

Retrait linéaire	Susceptibilité	Note
$RI < 0,4$	faible	1
$0,4 \leq RI < 0,65$	moyenne	2
$0,65 \leq RI < 0,75$	forte	3
$RI \geq 0,75$	très forte	4

Illustration 19 : Note de susceptibilité par classe de retrait linéaire

5.4.1.5. Coefficient de gonflement (Cg)

L'essai de gonflement à l'oedomètre (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 C_g (pente de la droite de déchargement observée dans un essai oedométrique) qui permet d'évaluer le potentiel de gonflement des formations argileuses identifiées (Illustration 20).

Coefficient de gonflement	Susceptibilité	Note
$C_g < 0,025$	faible	1
$0,025 \leq C_g < 0,035$	moyenne	2
$0,035 \leq C_g < 0,055$	forte	3
$C_g \geq 0,055$	très forte	4

Illustration 20 : Note de susceptibilité par classe de coefficient de gonflement

5.4.2. Source des données

Les données géotechniques qui ont été recueillies pour caractériser les différentes formations argileuses et marneuses affleurant dans le département proviennent de plusieurs sources :

- des rapports de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle et surtout les études géotechniques réalisées par les bureaux d'études dans le cadre d'expertises après sinistres constituent la principale source de données exploitée. Ces dossiers nous ont été transmis soit par les communes, soit par les mutuelles d'assurance (MAIF et MAAF), soit par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), soit directement par les bureaux d'études ;
- des rapports d'études géotechniques réalisées par des bureaux d'études pour la construction de bâtiments divers, d'infrastructures, ou d'ouvrages linéaires tel l'Autoroute de la côte Basque (A63). Dans ce cadre, plusieurs bureaux d'études et maîtres d'ouvrages nous ont autorisé l'exploitation de certains de leurs dossiers d'archives, en vue de collecter de telles données. Ceci concerne notamment le bureau d'études Antea (annexe 4) ;
- de l'analyse des échantillons prélevés dans le département dans le cadre de la présente étude ;
- de l'exploitation des données recueillies à l'occasion de l'établissement des cartes d'aléa retrait-gonflement des sols argileux dans les départements limitrophes, notamment du Gers et des Hautes-Pyrénées, du moins pour certaines formations géologiques d'extension régionale ;
- d'une étude régionale menée par le BRGM sur les ressources naturelles du sous sol dans la zone couverte par la carte géologique de Lembeye.

De manière générale, la localisation précise des échantillons analysés (à partir de la base de sinistres ou de plans de situation détaillés) a permis l'exploitation de la grande majorité des données. Quelques unes ont cependant dû être rejetées en raison d'une localisation trop imprécise. Après élimination des doublons issus de sources distinctes, quelques 265 données géotechniques ont été recueillies dans le département des Pyrénées-Atlantiques, dont 190 échantillons sont caractérisés par au moins une valeur d'essai géotechnique exploitable pour cette étude, à savoir I_p , V_b , R_l ou C_g . La répartition par sources de ces données géotechniques, qui correspondent au total à 265 dossiers localisés et exploités, est précisée dans le tableau de l'illustration 21 et leur répartition spatiale sur la carte de l'illustration 22.

Bureau d'étude	Nb d'études	Nb avec essais labo
AIS	38	37
ALIOS	5	3
ALIOS Ingénierie	5	4
ALIOS Pyrénées	4	3
AQUITERRA I.S.E.	1	1
BRGM	1	1
CEBTP	71	63
CETRA	2	2
CGA	30	1
ECG	2	2
FONDASOL	22	17
GEOTEC	16	15
GTA	13	13
IMS	1	0
INGESOL	14	8
Jacques Chiappat	1	0
Rilleux études	1	1
SOLTECHNIC	24	7
SOIRES	1	1
TEMSOL	9	8
TEMSOL Atlantique	4	3
total	265	190

Illustration 21 : Bureaux d'études ou organisme ayant réalisé les études géotechniques exploitées dans le cadre de l'étude

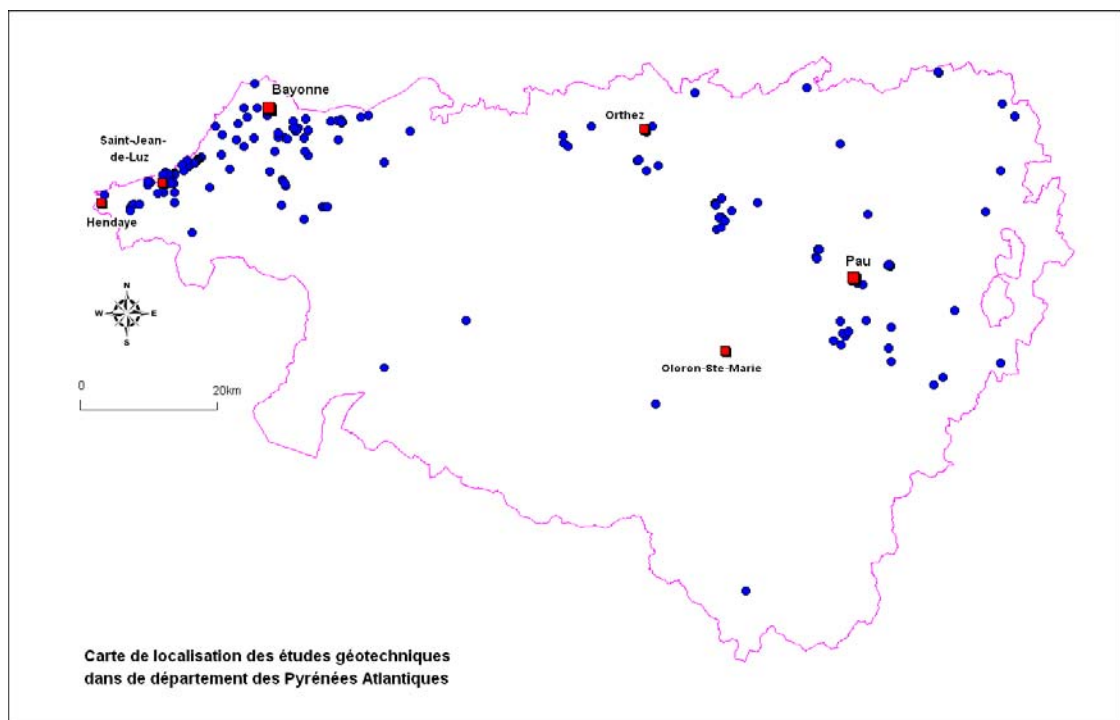


Illustration 22 : Localisation des 265 études géotechniques exploitées dans le département des Pyrénées-Atlantiques

5.4.3. Caractérisation géotechnique des formations argileuses et marneuses du département des Pyrénées-Atlantiques

La synthèse des données géotechniques exploitées dans le cadre de cette étude pour la caractérisation géotechnique des formations et les notes géotechniques attribuées sont reportées dans le tableau récapitulatif de l'illustration 23.

N°	DESCRIPTION	Valeur au bleu (Vb)				Indice de plasticité (Ip)				Coefficient de gonflement (Cg)				Depts. Voisins			Note Géot.
		Nb VBS	VBS min	VBS max	VBS moy	Nb Ip	Ip min	Ip max	Ip moy	Nb Cg	Cg min	Cg max	Cg moy	32	40	65	
1	Débais anthropiques	0				0				0							
2	Eboulis actuels ou récents	0				2	18,00	21,00	19,50	0							2
3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	2	0,14	0,15	0,15	9	14,00	25,00	12,88	0				2	2	2	1
4	Colluvions et dépôts de pente	0				4	22,00	52,00	40,50	1			0,050	2	2	2	3
5	Limons des plateaux	0				4	8,60	32,00	17,40	0							1
6	Alluvions récentes	20	0,10	2,90	1,01	35	6,00	50,00	24,38	2	0,02	0,12	0,070	1	2	1	1
7	Alluvions - Würm	1			1,13	10	4,00	39,00	15,87	0				1	2	1	1
8	Moraines glaciaires	1			1,40	0				0						1	1
9	Terrasse alluviale - Riss	2	0,17	0,80	0,49	3	18,50	21,60	20,37	0				1	2	1	1
10	Terrasse alluviale - Mindel	6	0,65	1,99	1,39	14	14,00	22,00	17,64	0				1	2	1	1
11	Terrasse alluviale - Günz	0				2	4,20	32,80	18,50	0				1	1	1	1
12	Nappe alluviale - Donau	0				0				0					1	1	1
13	Nappes fluviatiles - Pliocène	2	0,90	5,40	3,15	8	9,00	40,80	29,21	0				2	2	1	2
14	Formation des Glaïses bigarrées - Tortonien	0				0				0				2	3	2	3
15	Formation des Sables fauves - Serravallien	0				0				0					3		2
16	Mio-pliocène indifférencié	10	0,19	2,20	0,80	1			13,00	0				2			1
17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	5	1,30	2,90	2,24	7	22,00	40,00	29,29	0				3	3	2	2
18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	0				0				0					4	2	2
19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	1			4,00	5	20,00	45,00	28,86	0					2	2	3
20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	0				1			37,00	0					3		3
21	Altérites des flyschs du Crétacé	7	0,77	6,80	2,26	116	11,00	76,00	30,58	1			0,130				3
22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	3	1,20	1,70	1,43	34	15,00	65,70	34,12	0					2		2
23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaires - Crétacé supérieur	0				1			41,00	0					2		2
24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	0				0				0							
25	Flysch mameux - Crétacé inférieur	1			3,13	1			56,00	0					2		3
26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	4	0,40	1,10	0,75	1			10,00	1			0,110				2
27	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	0				1			32,00	0							3
28	Marnes et calcaires - Jurassique	0				0				0							
29	Marnes - Toarcien	0				0				0							
30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	0				0				0					3		3
31	Ophites	0				1			31,00	0					3		3
32	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	0				0				0							
33	Gneiss du Labourd, paragneiss à biotite indifférenciés - Précambrien	0				0				0							
998	Formations à priori non argileuses	5				6	8,70	50,00	26,78	1			0,090				

Illustration 23 : Synthèse des données géotechniques et note géotechnique

L'attribution des notes géotechniques s'est faite en se basant sur les coupures reconnues et utilisées dans les études départementale d'aléa retrait-gonflement réalisées jusqu'à présent par le BRGM, comme cela a été présenté dans les paragraphes précédents. Afin de hiérarchiser les résultats issus des différents types d'essais, il a été tenu compte du nombre d'échantillons pour chaque type d'essai, ainsi que de la variabilité des résultats (évaluée à partir de la dispersion des valeurs entre un minimum et un maximum), tout en accordant une importance plus forte aux valeurs de bleu, qui caractérisent le mieux la susceptibilité du matériau au retrait-gonflement.

D'après cette synthèse des données géotechniques, 5 formations argileuses n'ont pu être caractérisées d'un point de vue géotechnique en raison d'un manque de données. Excepté pour les *limons des plateaux* (n°5), il s'agit le plus souvent de formations se situant dans la partie montagneuse des Pyrénées-Atlantiques, zone inhabitée ou ayant un taux d'urbanisation faible. Les sinistres étant de ce fait quasiment absents dans ces zones, peu d'études sont effectuées dans ces formations qui, par ailleurs, couvrent des superficies très réduites. Il s'agit des *Flyschs calcaires* du Crétacé supérieur (n°24), des *Pélites argileuses et argilo-gréseuses* du Dévonien (n°30), des *Marnes et calcaires* du Jurassique (n°28), des *Marnes* du Toarcien (n°29), des *Pélites* du Dévonien (n°32), des *Gneiss* du Précambrien (n°33) et des *Déblais anthropiques* du tunnel du Somport (n°1).

Aucune formation ne s'est vue attribuer la note maximale de 4 car, même si certaines d'entre elles présentent un indice de plasticité supérieur à 40, car les résultats de valeur au bleu restent relativement modestes.

Dix formations ont reçu une note géotechnique de 1. Ce sont notamment les *Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés* (n°3), qui pourtant peuvent représenter un taux d'argile assez important.

Toutes les autres formations reçoivent une note géotechnique de 2 ou 3.

Certaines des données géotechniques recueillies (9 valeurs d'Ip et 10 valeurs de Vb) concernent des formations *a priori* non argileuses. Ces valeurs peuvent s'expliquer par la présence de lentilles argileuses ponctuelles au sein d'une formation principalement non argileuse.

Comme cela a été mentionné précédemment, les notes géotechniques finales ne sont pas le résultat d'une moyenne arithmétique simple. En effet, les valeurs au bleu, qui caractérisent certes mieux le phénomène de retrait-gonflement sont souvent moins nombreuses que les indices de plasticité et doivent parfois être pondérées pour tenir compte de la fourchette de variation indiquée par ces dernières.

A contrario, les valeurs d'indices de plasticité sont beaucoup plus nombreuses et constituent même parfois les seuls éléments disponibles pour caractériser une formation. Il a néanmoins été constaté, à l'occasion des études de cartographie de l'aléa retrait-gonflement déjà réalisées dans d'autres départements, que la grille de classification utilisée classiquement pour l'interprétation de la susceptibilité des sols au retrait-gonflement à partir de ce type d'essai mérite des aménagements car elle a tendance à surestimer cette susceptibilité. C'est pourquoi ces données doivent être interprétées avec pondération.

Enfin, les données de retrait linaires (RI) ne figurent pas dans le tableau en raison d'un nombre trop réduit d'échantillons (un seul échantillon recueilli) et les données de Cg sont elles aussi très peu nombreuses, ce qui rend difficile leur interprétation.

Tous ces paramètres sont néanmoins pris en compte pour l'attribution des notes géotechniques finales, et modulés le cas échéant par les données des départements voisins.

6. Élaboration de la carte de susceptibilité

6.1. DÉTERMINATION DU DEGRÉ DE SUSCEPTIBILITÉ

Au total, chaque formation a donc été caractérisée par trois notes, une pour chacun des critères pris en compte selon les classifications présentées précédemment. La moyenne des trois notes obtenues permet de calculer, pour chaque formation, un degré de susceptibilité générale vis à vis du retrait-gonflement.

Pour les formations dont l'une des caractéristiques n'a pu être évaluée, la moyenne est effectuée à partir des deux autres notes. La moyenne ainsi obtenue est potentiellement comprise entre 1 et 4. Les classes de susceptibilité déterminées à partir de la valeur moyenne ainsi calculée sont les suivantes (Illustration 24) :

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

Illustration 24 : Degré de susceptibilité par classe de note

6.2. SUSCEPTIBILITE DES FORMATIONS ARGILEUSES ET MARNEUSES DU DEPARTEMENT DES PYRENEES-ATLANTIQUES

Le tableau de calcul de la note de susceptibilité (Illustration 25) fait apparaître les altérites des flyschs crétacés (n°21) comme la seule formation qui présente un niveau de susceptibilité élevé au phénomène de retrait-gonflement.

Les *Colluvions et dépôts de pente* (n°4), les *Glaises bigarrées* (n°14), les *Molasses argilo-sableuses carbonatées* (n°17), les *Calcaires, marnes et marno-calcaires* de l'Éocène moyen (n°18), les *Marnes et alternances de sable et argile* de l'Yprésien (n°19), les *Flyschs calcaires avec alternances* du Paléocène (n°20), les *Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires* du Crétacé supérieur (n°22), les *Flyschs marneux* du Crétacé supérieur (n°25), le *Flysch argilo-gréseux de Mixe* du Crétacé inférieur (n°26), les *Marnes d'Hosta callovo-oxfordiennes* (n°27), les *Marnes toarciennes* (n°29) et les *Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules* du Keuper (n°30) sont toutes caractérisées par un niveau moyen de susceptibilité.

Les autres formations sont classées comme étant de faible susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement.

N°	Nom des formations argileuses	Note lithologique	Note minéralogique	Note géotechnique	Indice de suscept.	Susceptibilité
1	Débais anthropiques	2	-	-	2,00	faible
2	Éboulis actuels ou récents	1	-	2	1,50	faible
3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	3	2	1	2,00	faible
4	Colluvions et dépôts de pente	2	2	3	2,33	moyenne
5	Limons des plateaux	1	-	1	1,00	faible
6	Alluvions récentes	2	1	1	1,33	faible
7	Alluvions - Würm	2	1	1	1,33	faible
8	Moraines glaciaires	2	1	1	1,33	faible
9	Terrasse alluviale - Riss	1	1	1	1,00	faible
10	Terrasse alluviale - Mindel	2	2	1	1,67	faible
11	Terrasse alluviale - Günz	1	-	1	1,00	faible
12	Nappes fluviales - Donau	2	1	1	1,33	faible
13	Nappes fluviales - Pliocène	2	1	2	1,67	faible
14	Glaises bigarrées - Tortonien	4	2	3	3,00	moyenne
15	Sables fauves - Serravallien	2	1	2	1,50	faible
16	Mio-pliocène indifférencié	2	2	1	1,67	faible
17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	3	3	2	2,67	moyenne
18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	2	3	2	2,33	moyenne
19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	4	2	3	3,00	moyenne
20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	1	3	3	2,33	moyenne
21	Altérites des flyschs du Crétacé	4	4	3	3,67	forte
22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	3	2	2	2,33	moyenne
23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur	2	2	2	2,00	faible
24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	1	2	-	1,50	faible
25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	3	1	3	2,33	moyenne
26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	3	2	2	2,33	moyenne
27	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	3	1	3	2,33	moyenne
28	Marnes et calcaires jurassiques	2	1	-	1,50	faible
29	Marnes - Toarcien	3	-	-	3,00	moyenne
30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	4	2	3	3,00	moyenne
31	Ophites	1	2	3	2,00	faible
32	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	1	-	-	1,00	faible
33	Gneiss du Labourd - Précambrien	1	1	-	1,00	faible

Illustration 25 : Notes de susceptibilité des formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques

6.3. CARTE DE SUSCEPTIBILITÉ

L'illustration 26 représente la carte départementale de susceptibilité des formations géologiques au phénomène de retrait-gonflement, réalisée d'après les résultats présentés dans le tableau de l'illustration 25.

La carte départementale de susceptibilité a été établie à partir de la carte interprétée des formations potentiellement sujettes au phénomène de retrait-gonflement en attribuant à chacune des formations géologiques la classe de susceptibilité définie ci-dessus. Cette carte est également présentée en carte hors-texte à l'échelle 1/150 000. Les formations sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur degré de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

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

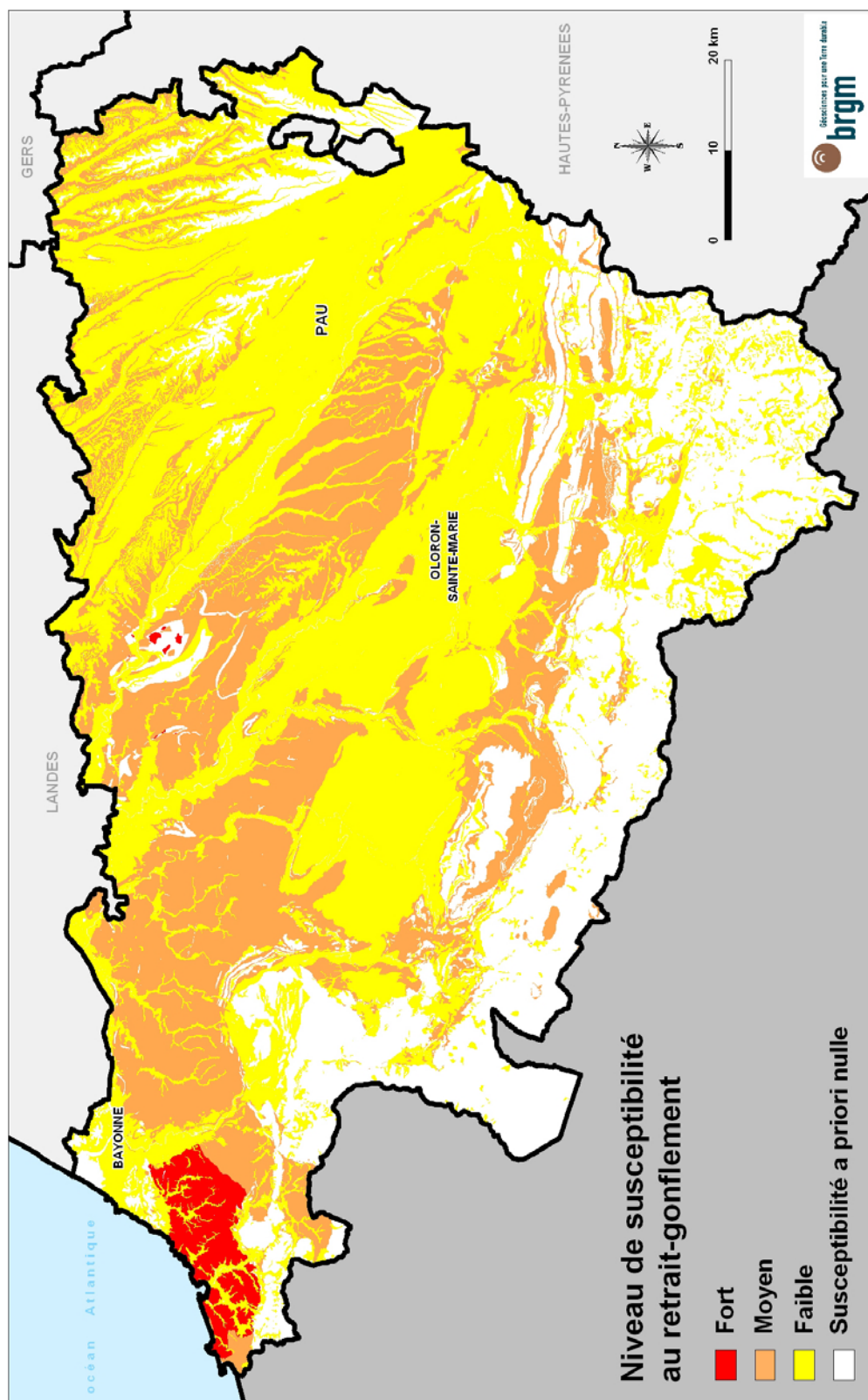


Illustration 26 : Carte de susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses des Pyrénées-Atlantiques

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 92 stations de référence au moyen d'un modèle à double réservoir, sur la base d'une réserve utile de 200 mm, dont on suit le niveau de remplissage au pas de temps décennal. La comparaison de l'état hydrique des sols (qui dépend essentiellement des précipitations et de l'évapotranspiration) par rapport aux moyennes trentenales, permet d'identifier les périodes de sécheresse exceptionnelles qui ont d'abord été définies comme étant des périodes de quatre trimestres consécutifs pour lesquels la réserve en eau du sol est inférieure à la normale, avec au moins une 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.

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

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

7.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES

7.2.1. Localisation des communes sinistrées

Dans le département des Pyrénées-Atlantiques, à la date du 30 avril 2008, 91 communes ont été reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols, pour des périodes comprises entre mai 1989 et septembre 2005. Les 91 communes reconnues représentent 16,8 % des 547 communes du département et couvrent près de 20 % de sa superficie totale. Au total, 32 arrêtés interministériels successifs reconnaissant l'état de catastrophe naturelle sécheresse ont été pris dans le département des Pyrénées-Atlantiques, dont les dates s'échelonnent entre le 31/08/1990 et le 20/02/2008. Le nombre total d'occurrences reconnues, en distinguant par commune et par période, s'élève à 154. Le tableau de l'illustration **27** et l'annexe 5 présentent le nombre de communes concernées par les différents arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse pris au cours de cette période. La liste des communes concernées est présentée en illustration **30**, ainsi que les périodes de reconnaissance, les dates des arrêtés interministériels et les dates de leur parution au Journal Officiel. La carte de l'illustration **28** permet de localiser les 91 communes qui ont fait l'objet d'au moins un arrêté de reconnaissance à ce jour, ainsi que les sinistres localisés dans le cadre de la présente étude.

Arrêts interministériels	nombre de communes	Arrêts interministériels	nombre de communes
31/08/1990	35	29/12/1998	2
04/12/1990	36	21/01/1999	1
01/04/1992	1	16/04/1999	2
25/01/1993	1	19/05/1999	1
13/03/1996	2	27/12/2000	2
01/10/1996	3	24/02/2003	1
09/12/1996	2	30/03/2003	3
24/03/1997	1	08/07/2003	9
19/09/1997	2	03/10/2003	6
17/12/1997	3	05/02/2004	1
02/02/1998	1	22/11/2005	16
09/04/1998	1	02/03/2006	6
12/06/1998	2	05/05/2006	1
15/07/1998	1	16/06/2006	1
10/08/1998	1	20/02/2008	8
19/11/1998	2		

Illustration 27 : Arrêts interministériels et occurrences

Cette carte montre que les communes reconnues en état de catastrophe naturelle pour le retrait-gonflement des argiles se situent principalement en bordure nord du département, et notamment dans la région nord-ouest, sur la côte atlantique. Le reste du département est moins touché à l'exception de la vallée du Gave de Pau. Ces deux secteurs sont caractérisés par une forte urbanisation.

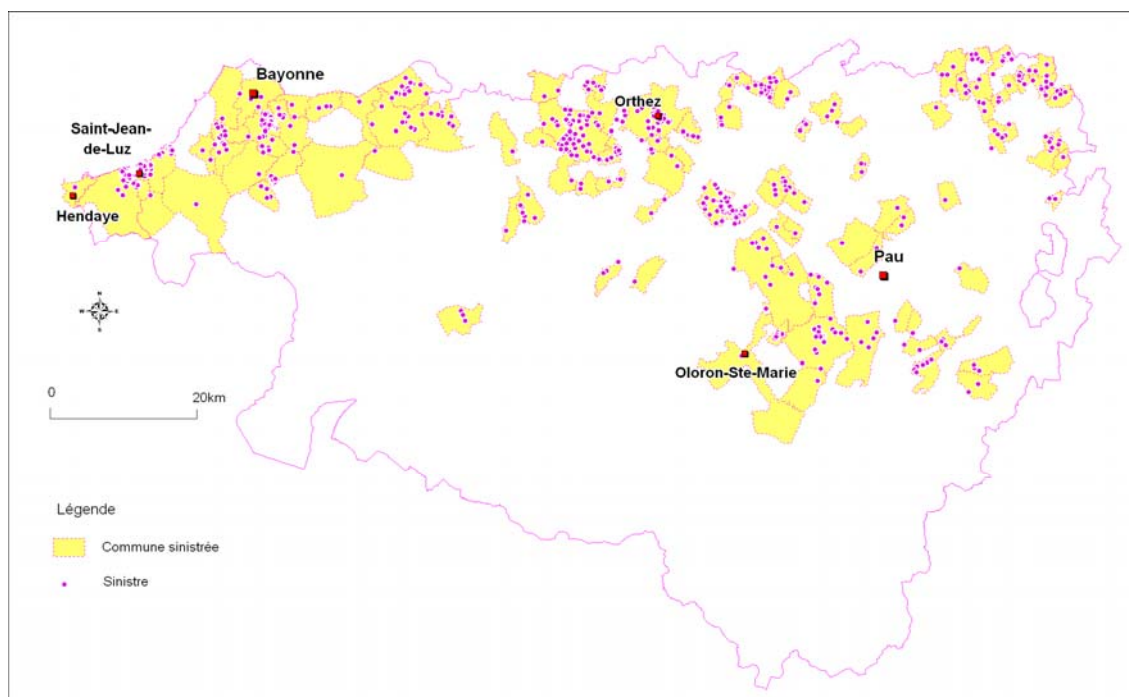


Illustration 28 : Communes concernées par un ou des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse et localisation des sinistres recensés

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

Sur les 91 communes reconnues au moins une fois en état de catastrophe naturelle, 58 d'entre elles (soit 63 % du nombre total) ont fait l'objet d'un seul arrêté, 18 (20 %) de deux arrêtés, 8 (9 %) de trois arrêtés, 3 (3 %) de quatre arrêtés, 3 (3 %) de cinq arrêtés et 1 (1 %) de six arrêtés.

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

Les données fournies en annexe 5 et synthétisées sur l'illustration 30 indiquent par ailleurs que la durée de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle varie fortement d'une commune à l'autre et d'un arrêté à l'autre. Certains arrêtés couvrent des périodes de plusieurs années consécutives, d'autres concernent quelques mois seulement. C'est pourquoi il est préférable de raisonner non pas seulement en nombre d'arrêtés par commune mais plutôt en nombre de mois reconnus par commune.

Nbre d'arrêtés sécheresse par trimestres de 1989 à 2008

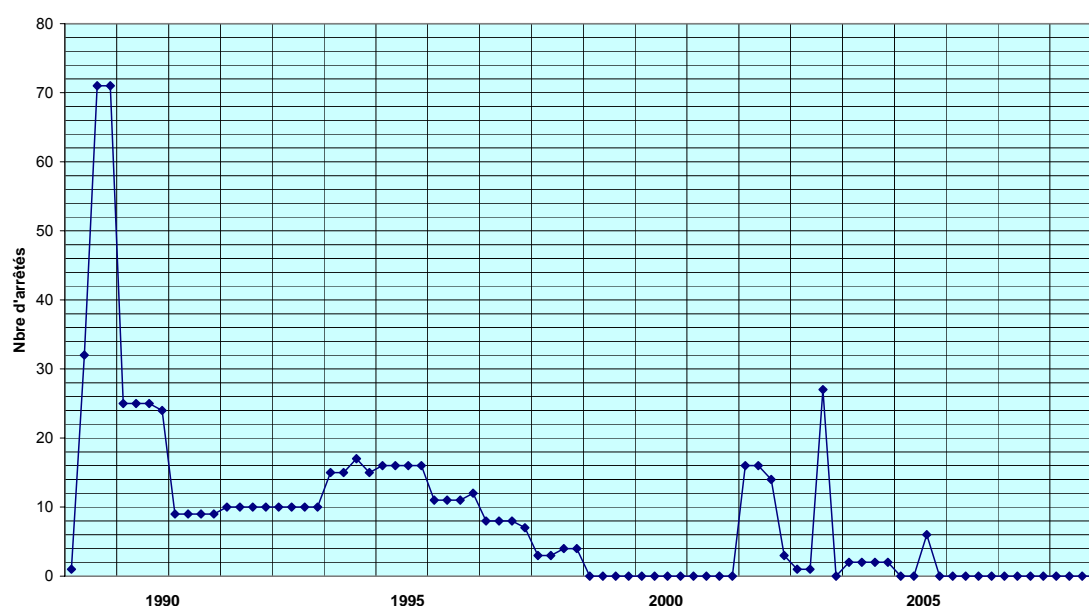


Illustration 29 : Nombre de communes reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse pour la période 1989-2008

L'analyse de ces données indique que pour certaines communes, les périodes de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ont été continues : la fin d'une période correspondant à un arrêté était immédiatement suivie par le début de la période concernée par l'arrêté suivant.

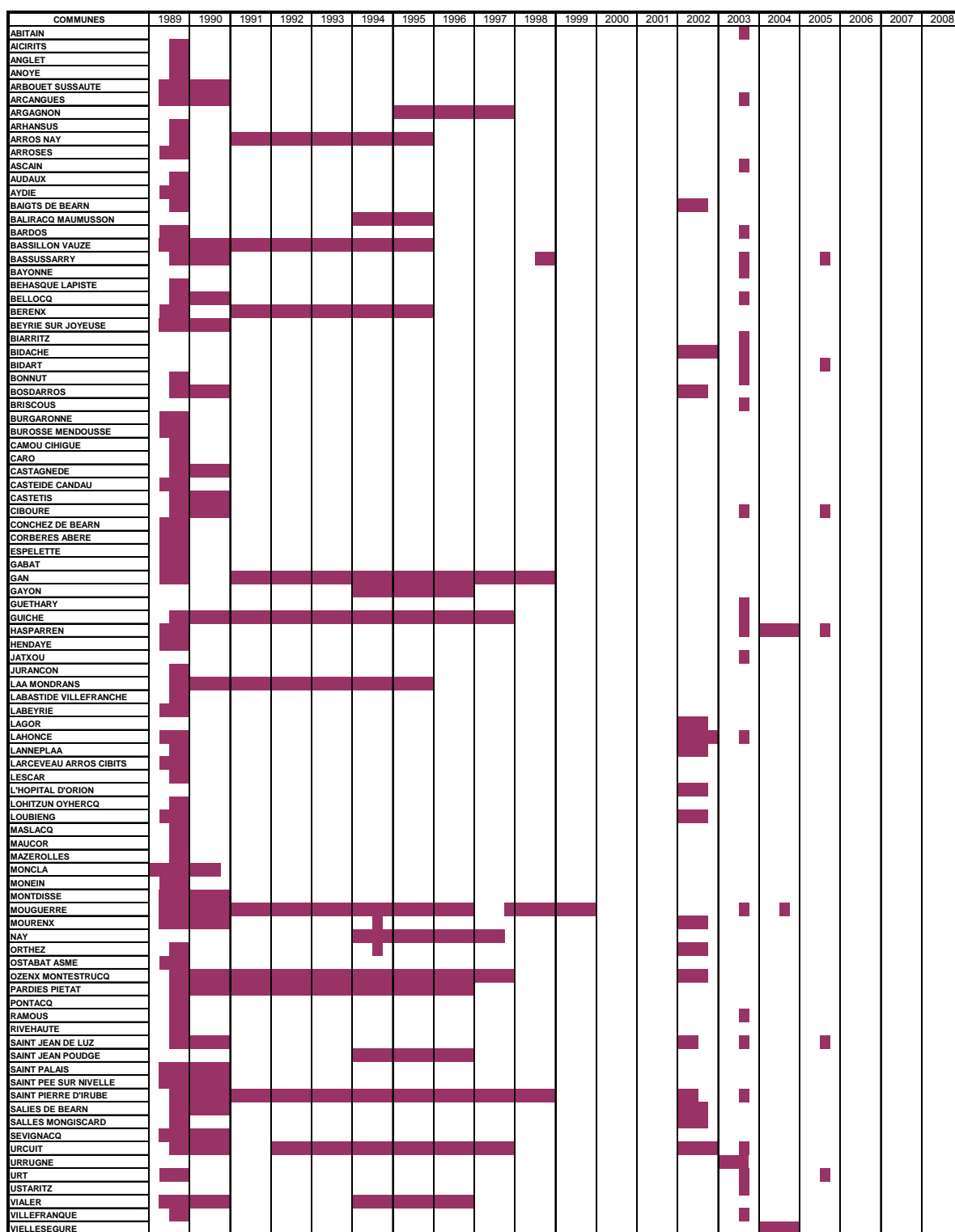


Illustration 30 : Durées de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sécheresse pour la période 1989-2005 (à la date du 30 avril 2008)

La période "sèche" majeure reconnue dans le département correspond à l'année 1989, pour laquelle 71 communes (soit 77 % des communes concernées par le phénomène

à ce jour) ont été reconnues en état de catastrophe naturelle sécheresse (Illustration 29). Il faut noter cependant que certaines déclarations de sinistres sont tardives, ce qui peut en partie expliquer que les périodes de déficit hydrique et les dates de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ne soient pas parfaitement corrélées.

En effet, après une période de dessiccation intense et profonde des sols, le retour à un état hydrique normal est lent et il subsiste souvent en profondeur des zones de sol argileux anormalement desséchées qui restent sensibles à des variations saisonnières, même de faible amplitude. En d'autres termes, un déficit hydrique intense est nécessaire pour amorcer les premiers mouvements différentiels du sol mais ensuite, la structure du sol et du bâti ayant été fragilisée, de faibles amplitudes hydriques suffisent à provoquer la réouverture ou l'aggravation des premières fissures. C'est pourquoi certains propriétaires réagissent avec retard et déclarent des sinistres à une période où les précipitations sont revenues à un niveau normal.

7.3. COLLECTE DES DONNÉES DE SINISTRES

Le recensement des sinistres a été réalisé à partir de sources d'informations complémentaires, à savoir la consultation des dossiers de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle archivés au Service départemental de défense et de protection civile (Préfectures de Pau et Bayonne), l'enquête auprès des communes touchées ou non par le phénomène, le recueil des données auprès de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), de mutuelles d'assurances (MAAF, MATMUT, MACIF), du CETE, de bureaux d'études géotechniques (Antea), ainsi que du BRGM. Quelques sinistres recensés n'ont cependant pas pu être intégrés, faute de précision permettant de localiser avec certitude le bien sinistré.

L'enquête effectuée auprès de l'ensemble des communes du département, qu'elles aient ou non été reconnues en état de catastrophe naturelle pour le phénomène, s'est faite par envoi d'un courrier adressé, par l'intermédiaire de la Préfecture des Pyrénées-Atlantiques, aux maires du département. Les réponses sont parvenues entre juillet 2007 et février 2008. Le taux de réponse peut être jugé comme satisfaisant puisque la totalité des 91 communes reconnues en état de catastrophe naturelle a répondu à l'enquête.

Finalement, 916 sites de sinistres ont été recensés, dont 839 (soit 91,6 % d'entre eux) ont pu être localisés avec précision. La localisation des sinistres a été effectuée sur fonds topographiques de l'IGN à 1/25 000. Ce travail a été réalisé grâce aux plans de localisation renvoyés par les communes, ou figurant dans les dossiers préfectoraux et ceux des différents bureaux d'étude, ainsi que par la consultation des sites internet www.maporama.fr, www.viamichelin.fr. Ils se répartissent dans 104 communes du département.

Le nombre de sinistres par commune est très variable (Illustration 31) : 67 communes sinistrées comptent 1 à 5 sinistres ; 25 en comptent entre 6 et 15 ; 6 entre 16 et 50 et 5 plus de 50 (Salies de Béarn totalise 82 sinistres, soit le nombre le plus élevé).

D'un point de vue géographique, les communes les plus sinistrées sont majoritairement présentes aux environs de l'agglomération de Bayonne et en Pays Basque (Altérites des flyschs), entre le Gave d'Ossau et le Gave de Pau sur les flyschs et molasses depuis Salies de Béarn à Lasseube et au nord-est du département, sur les

molasses et les *Glaïses bigarrées*, entre Garlin et Lembeye. Ces données indiquent que la répartition géographique des sinistres est très inégale, mais qu'elle n'est pas le fruit du hasard et qu'elle est étroitement liée aux zones d'affleurement de certaines formations géologiques.

La liste des sinistres avec leurs coordonnées en projection Lambert II étendu est présentée en annexe 5. Pour des raisons de confidentialité, les noms et adresses des sinistrés ne figurent pas dans ce tableau.

L'examen des études réalisées après sinistres indique que 99,2 % des sinistres répertoriés et localisés (832 sur 839) sont répartis sur les formations argilo-marneuses retenues comme étant sujettes au phénomène de retrait-gonflement, mais il est vrai que ces dernières occupent 73,4 % de la surface du département (Illustration 32). Seuls 7 sinistres recensés (soit 0,8 % du total) ne concernent *a priori* pas des formations retenues comme argilo-marneuses.

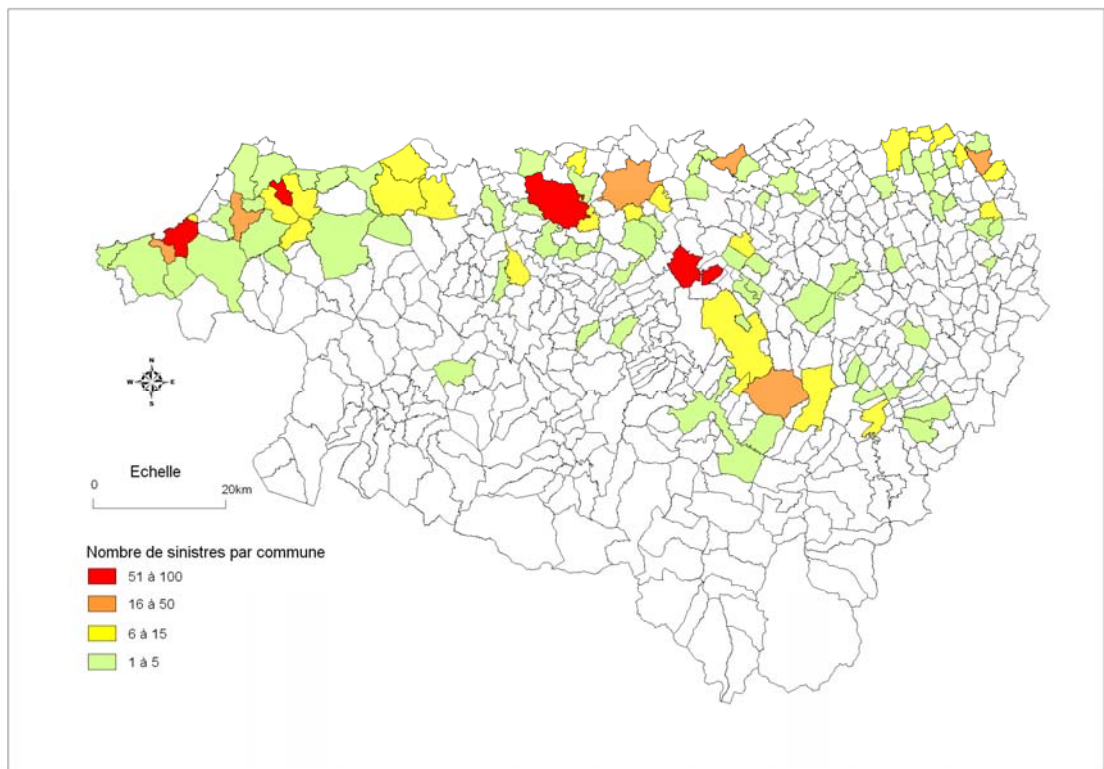


Illustration 31 : Nombre de sinistres recensés par commune

Il n'est pas exclu que ces derniers soient liés à des niveaux d'altération non cartographiés du substratum (altérites), ou bien encore à d'autres causes que le phénomène de retrait-gonflement. Ceci illustre surtout le fait que la représentation cartographique des formations argileuses, en l'état actuel des connaissances, n'est pas parfaite dans le détail, même si elle reflète assez fidèlement la réalité à l'échelle départementale. Rappelons en effet que certaines formations considérées comme *a priori* non argileuses peuvent contenir localement des lentilles ou des placages d'argiles non cartographiés. Ceci concerne notamment des colluvions superficielles ou des altérites d'horizons calcaires. Par ailleurs, il peut arriver que des sinistres attribués au retrait-gonflement des argiles soient dus en réalité à d'autres phénomènes (tassement de remblais ou de sols compressibles, fluages sur des colluvions instables,

défauts de construction, choc thermique sur les enduits de façade, etc.). Enfin, il n'est pas exclu que certains contours de formations géologiques puissent être localement inexacts ou que des sinistres soient mal localisés.

Parmi les formations retenues comme argileuses au sens large, trois présentent chacune plus de 100 sinistres :

- *Molasses argilo-sableuses carbonatées* - Éocène à Miocène (142)
- *Altérites des flyschs* - Crétacé (130)
- *Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires* - Crétacé supérieur (178)

Parmi les formations argilo-marneuses, les *Déblais anthropiques*, les *Moraines glaciaires*, les *Nappes fluviales* du Donau, les *Marnes d'Hosta* du Callovien-Oxfordien, les *Marnes et calcaires* du Jurassique, les *Marnes toarciennes*, les *Ophites*, les *Pélites argileuses et argilo-gréseuses* du Dévonien et les *Gneiss du Labourd* - Précambrien ne comptent aucun sinistre recensé à ce jour. La plupart de ces formations affleure cependant sur des superficies très restreintes et dans des secteurs souvent très peu urbanisés, ce qui explique en partie cette absence de sinistralité constatée à ce jour.

N°	Nom des formations argileuses	Superficie (km2)	% surface départ.	Nombre de sinistres	Surface bâtie (km2)	Densité de sinistre pour 100 km2 bâti	Note de sinistralité
1	Déblais anthropiques	0,21	0,00%	0	0,00	NS	NS
2	Éboulis actuels ou récents	171,60	2,22%	9	0,52	1 735	1
3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	171,89	2,23%	11	1,07	1 029	1
4	Colluvions et dépôts de pente	78,29	1,02%	15	0,87	1 717	2
5	Limons des plateaux	5,26	0,07%	8	0,09	8 985	3
6	Alluvions récentes	619,56	8,03%	40	8,37	478	1
7	Alluvions - Würm	293,38	3,80%	43	8,95	481	1
8	Moraines glaciaires	109,17	1,42%	42	1,26	NS	NS
9	Terrasse alluviale - Riss	154,24	2,00%	9	3,34	329	1
10	Terrasse alluviale - Mindel	324,83	4,21%	22	8,50	259	1
11	Terrasse alluviale - Günz	249,08	3,23%	6	2,27	176	1
12	Nappes fluviales - Donau	0,19	0,00%	0	0,00	NS	NS
13	Nappes fluviales - Pliocène	343,92	4,46%	76	2,60	3 073	2
14	Glaives bigarrées - Tortonien	61,65	0,80%	23	0,42	5 489	3
15	Sables fauves - Serravallien	76,05	0,99%	9	0,36	2 500	2
16	Mio-pliocène indifférencié	33,58	0,44%	11	2,77	398	1
17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	391,54	5,08%	141	2,11	6 729	3
18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	16,34	0,21%	14	0,14	9 966	3
19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	59,40	0,77%	25	0,34	6 856	3
20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	57,88	0,75%	25	0,30	9 106	2
21	Altérites des flyschs du Crétacé	119,02	1,54%	126	2,36	5 427	3
22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	313,65	4,07%	134	2,59	6 860	3
23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur	634,80	8,23%	7	2,23	347	1
24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	273,88	3,55%	5	0,98	193	1
25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	453,24	5,88%	9	1,90	347	1
26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	424,62	5,51%	14	1,86	578	1
27	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	12,06	0,16%	0	0,07	NS	NS
28	Marnes et calcaires jurassiques	23,15	0,30%	0	0,06	NS	NS
29	Marnes toarciennes	0,06	0,00%	0	0,00	NS	NS
30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	71,54	0,93%	8	0,55	1 454	2
31	Ophites	59,97	0,78%	0	0,37	NS	NS
32	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	4,38	0,06%	0	0,00	NS	NS
33	Gneiss du Labourd - Précambrien	42,11	0,55%	0	0,28	NS	NS
total formations argileuses		5 650,54	73,26%	832	57,54	1 446	
998	Formations a priori non argileuses	2 017,37	26,16%	7	6,32	111	
999	Réseau hydrographique	44,57	0,58%	0	0,00	0	
total département		7 712,48	100,00%	839	63,86	1 314	

Illustration 32 : Répartition géologique des sinistres recensés et calcul des taux d'urbanisation et densités de sinistre par formation

7.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE A LA SURFACE URBANISÉE

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

Ainsi, les densités de sinistres par formation géologique ont été rapportées à 100 km² de surface effectivement urbanisée, conformément à la méthodologie retenue au niveau national.

7.4.1. Détermination de la densité d'urbanisation par formation

Les zones urbanisées du département proviennent de la couche « Bâti » de la BD TOPO© de l'IGN, mise à disposition par la DDE pour les besoins spécifiques de l'étude. Elles sont ensuite superposées à la carte synthétique des formations argileuses et marneuses. Ceci a permis de calculer, pour chacune des 33 formations retenues, la surface d'affleurement qui se trouve être réellement construite à ce jour (Illustration 32).

La surface totale des zones bâties du département a été ainsi estimée avec cet outil à 63,859 km², soit environ 0,83 % de la superficie totale.

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses avec celle des zones urbanisées permet d'estimer la surface totale occupée par les zones bâties dans les formations retenues à 57,54 km², soit 1,02 % de leur surface totale d'affleurement. Les surfaces urbanisées et le nombre de sinistres recensés sont indiqués pour chaque formation dans le tableau de l'Illustration 32.

7.4.2. Détermination du critère densité de sinistres

Les éléments décrits dans la méthodologie, permettent de calculer des densités de sinistres par formation géologique, en prenant en compte la surface urbanisée de la formation. Les résultats indiquent que la prise en compte du taux d'urbanisation modifie sensiblement la hiérarchisation des formations géologiques en terme de densité de sinistres, dans la mesure où le taux d'urbanisation varie fortement d'une formation à l'autre (Illustration 32).

La densité ainsi calculée est en moyenne pour les formations retenues comme argileuses de 1 446 sinistres pour 100 km² d'affleurement réellement bâti, ce qui est relativement modeste par rapport à celle calculée de la même manière dans d'autres départements déjà traités, en particulier en région parisienne.

Afin de hiérarchiser les formations argileuses selon leur degré de sinistralité, c'est une valeur proche de ce seuil (soit 1 000 sinistres pour 100 km²) qui a été retenue comme

référence et à partir duquel ont été définies les coupures suivantes pour l'attribution de notes caractérisant la sinistralité :

- *note 1* : moins de 1 000 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité sensiblement inférieure à la moyenne des zones argileuses) ;
- *note 2* : entre 1 000 et 5 000 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation ;
- *note 3* : plus de 5 000 sinistres pour 100 km² de surface urbanisée dans la formation (ce qui correspond aux formations ayant une densité supérieure à environ 3,5 fois la moyenne).

Huit formations obtiennent une note de densité de sinistres de 3 : les *Limons des plateaux* (5), les *Glaisses bigarrées* (14), les *Molasses argilo-sableuses carbonatées* (17), les *Calcaires, marnes et marno-calcaires* de l'Éocène moyen (18), les *Marnes et alternances de sable et argile* de l'Yprésien (19), les *Flyschs calcaires avec alternances* du Paléocène (20), les *Altérites de flyschs du Crétacé* (21) et les *Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires* du Crétacé supérieur (22).

Six formations obtiennent une note de densité de sinistre moyenne : les *Éboulis actuels ou récents*, les *Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés*, les *Colluvions et dépôts de pente*, les *Nappes fluviatiles* du Pliocène, les *Sables fauves* du Serravallien et les *Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules* du Keuper. Toutes les autres formations reçoivent la note minimale de 1.

Il est à noter que 9 formations n'ont pas été caractérisées par une note de sinistralité car leur densité de sinistres calculée sur la base des données recueillies n'a pas été jugée significative. Ceci concerne des formations dont l'extension géographique est très réduite. Dans ce cas, la présence d'un seul sinistre suffirait à déterminer une note de sinistralité très élevée qui n'aurait pas de signification statistique. C'est pourquoi il est jugé préférable, conformément à la démarche adoptée pour les autres cartes d'aléa déjà établie avec la même méthodologie, de ne pas attribuer de note de sinistralité à ces formations et d'afficher comme niveau d'aléa la même classe que celle caractérisant la susceptibilité de la formation.

8. Carte d'aléa

8.1. DÉTERMINATION DU NIVEAU D'ALÉA

8.2. CARTE D'ALÉA

La carte départementale d'aléa a été tracée à partir de la carte synthétique des formations à dominante argileuse ou marneuse, en attribuant à chacune des formations identifiées la classe d'aléa définie ci-dessous (Illustration 33). Elle est présentée sur l'illustration 34 et en carte hors-texte à l'échelle 1/150 000 (où les sinistres, les zones urbanisées et les contours des communes sont également reportés). Son échelle de validité est le 1/50 000, puisque les contours sont issus des cartes géologiques à la même échelle.

N°	Nom des formations argileuses	Note litho.	Note minéralo.	Note géotech.	Note de suscept.	Note de sinistralité	Indice d'aléa	Aléa	Note d'aléa
1	Déblais anthropiques	2			1	NS	-	Faible	1
2	Éboulis actuels ou récents	1		2	1	2	4	Faible	1
3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	3		1	1	2	4	Faible	1
4	Colluvions et dépôts de pente	2	2	3	2	2	6	Moyen	2
5	Limons des plateaux	1		1	1	3	5	Faible	1
6	Alluvions récentes	2	1	1	1	1	3	Faible	1
7	Alluvions - Würm	2		1	1	1	3	Faible	1
8	Moraines glaciaires	2	1	1	1	NS	-	Faible	1
9	Terrasse alluviale - Riss	1		1	1	1	3	Faible	1
10	Terrasse alluviale - Mindel	2	2	1	1	1	3	Faible	1
11	Terrasse alluviale - Günz	1		1	1	1	3	Faible	1
12	Nappes fluviatiles - Donau	2			1	NS	-	Faible	1
13	Nappes fluviatiles - Pliocène	2	1	2	1	2	4	Faible	1
14	Glaives bigarrées - Tortonien	4	2		2	3	7	Moyen	2
15	Sables fauves - Serravallien	2	1		1	2	4	Faible	1
16	Mio-pliocène indifférencié	2	2	1	1	1	3	Faible	1
17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	3	3	2	2	3	7	Moyen	2
18	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	2	3		2	3	7	Moyen	2
19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	4	2	3	2	3	7	Moyen	2
20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	1	3	3	2	3	7	Moyen	2
21	Altérites des flyschs du Crétacé	4	4	3	3	3	9	Fort	3
22	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	3	2	2	2	3	7	Moyen	2
23	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur	2	2		1	1	3	Faible	1
24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	1	2		1	1	3	Faible	1
25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	3	1	3	2	1	5	Faible	1
26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	3	2	2	2	1	5	Faible	1
27	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	3	1	3	2	NS	-	Faible	1
28	Marnes et calcaires jurassiques	2	1		1	NS	-	Faible	1
29	Marnes - Toarcien	3			2	NS	-	Faible	1
30	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	4	2		2	2	6	Moyen	2
31	Ophites	1	2	3	1	NS	-	Faible	1
32	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	1			1	NS	-	Faible	1
33	Gneiss du Labourd - Précambrien	1	1		1	NS	-	Faible	1

Illustration 33 : Détermination de la note d'aléa

Les formations retenues sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) correspondant à leur niveau d'aléa retrait-gonflement (respectivement faible, moyen et fort).

Les zones blanches de la carte (ill. 33 et 34) correspondent aux formations *a priori* non argileuses, et donc théoriquement dépourvues de tout aléa. Elles recouvrent une

superficie de 2 017,37 km² (soit 26,16 % du département) et correspondent aux zones montagneuses du sud où affleurent en priorité les roches calcaires, les grès, les schistes et les roches cristallines.

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 cartographiées sur les cartes géologiques (et pour la plupart non cartographiables à l'échelle départementale), sont susceptibles de provoquer localement des sinistres.

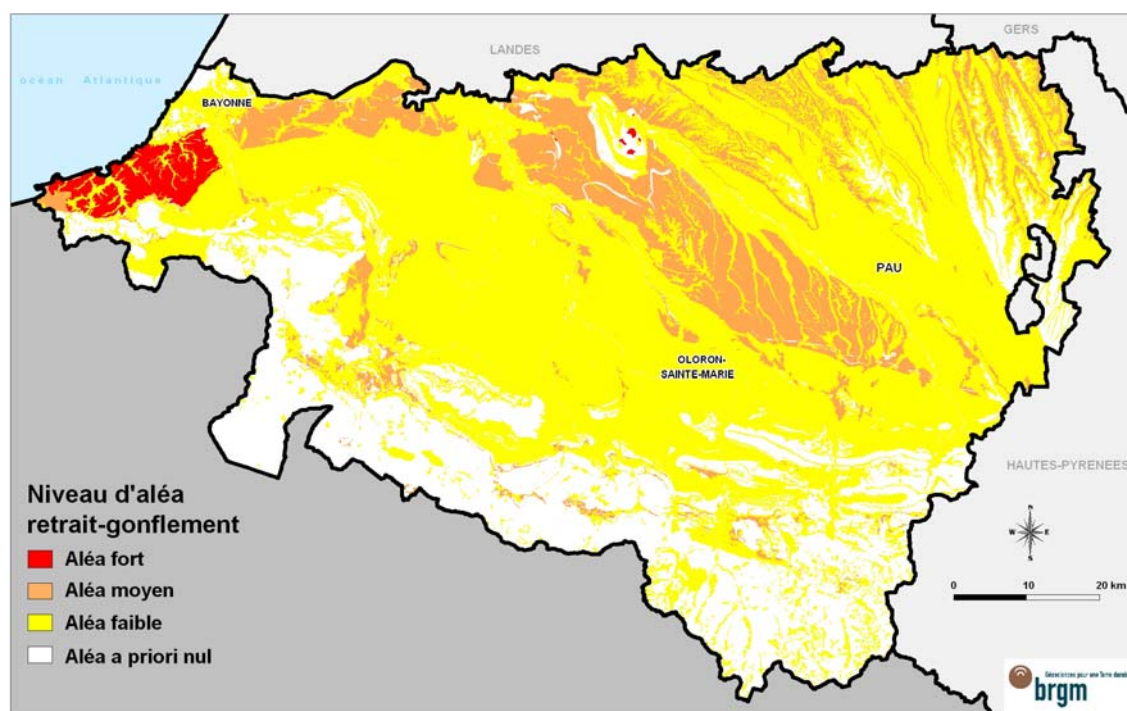


Illustration 34 : Carte départementale de l'aléa retrait-gonflement des Pyrénées-Atlantiques

Les zones d'aléa faible sont les mieux représentées avec 4 481,21 km² (58,10 % de la superficie départementale) et correspondent à l'avant-pays pyrénéen, constitué essentiellement par une couverture sédimentaire carbonatée (chainons calcaires), de flyschs à dominante calcaire et par les dépôts alluviaux quaternaires.

Les zones d'aléa moyen sont présents sur 1 050,30 km² soit 13,62 % de la superficie départementale. Elles sont essentiellement constitués par les séries marneuses du Jurassique et du Crétacé, les dépôts argilo-calcaires du Cénozoïque, les molasses d'âge éocène à burdigalien, les *Glaïses bigarrées* (Tortonien) et par les colluvions et dépôts de pente souvent associés à ces molasses.

Seules les altérites des flyschs crétacés de la côte atlantique sont classées en aléa fort ; elles recouvrent 119,02 km², soit 1,54 % de la superficie départementale. Ces altérites sont bien développées dans ce secteur car les conditions climatiques et la morphologie de piémont favorisent l'action des phénomènes d'altération.

N°	Notation	Nom des formations argileuses	Superficie (km2)	% surface du département	Note aléa
21	≠c	Altérites des flyschs du Crétacé	119,023	1,54%	3
Total aléa fort			119,02	1,54%	
4	C	Colluvions et dépôts de pente	78,292	1,02%	2
14	m5GB	Glaïses bigarrées - Tortonien	61,647	0,80%	2
17	e5-m2M	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Éocène-Miocène	391,540	5,08%	2
18	e5-6	Calcaires, marnes et marno-calcaires - Éocène moyen	16,337	0,21%	2
19	e3-4	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	59,405	0,77%	2
20	e1-4F	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	57,884	0,75%	2
22	cFm	Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur	313,654	4,07%	2
30	t3-7	Marnes bariolées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	71,542	0,93%	2
Total formations argileuses			1 050,30	13,62%	
1	X	Déblais anthropiques	0,212	0,00%	1
2	Eb	Éboulis actuels ou récents	171,597	2,22%	1
3	FC	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	171,895	2,23%	1
5	LP	Limons des plateaux	5,258	0,07%	1
6	Fz	Alluvions récentes	619,556	8,03%	1
7	Fyb	Alluvions - Würm	293,375	3,80%	1
8	Gb	Moraines glaciaires	109,168	1,42%	1
9	Fxb	Terrasse alluviale - Riss	154,237	2,00%	1
10	Fwb	Terrasse alluviale - Mindel	324,825	4,21%	1
11	Fvb	Terrasse alluviale - Günz	249,085	3,23%	1
12	Fub	Nappes fluviales - Donau	0,186	0,00%	1
13	p	Nappes fluviales - Pliocène	343,924	4,46%	1
15	m4SF	Sables fauves - Serravallien	76,049	0,99%	1
16	m4-p	Mio-pliocène indifférencié	33,580	0,44%	1
23	cF	Flyschs marno-gréseux et marno-calcaire - Crétacé supérieur	634,796	8,23%	1
24	cFc	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	273,877	3,55%	1
25	nFm	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	453,244	5,88%	1
26	nF	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	424,616	5,51%	1
27	j4-5	Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien	12,058	0,16%	1
28	l1-j4	Marnes et calcaires jurassiques	23,147	0,30%	1
29	l4	Marnes - Toarcien	0,062	0,00%	1
31	ω	Ophites	59,973	0,78%	1
32	d3-5	Pélites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien	4,380	0,06%	1
33	ξ	Gneiss du Labourd - Précambrien	42,114	0,55%	1
Total aléa faible			4 481,21	58,10%	
Total formations argileuses			5 650,54	73,26%	
998	NA	Formations a priori non argileuses	2 017,37	26,16%	
999	Hydro	Réseau hydrographique	44,57	0,58%	
Total département			7 712,48	100,00%	

Illustration 35 : Classement des formations en fonction de leur niveau d'aléa

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 des Pyrénées-Atlantiques. La démarche retenue est fondée essentiellement sur une interprétation de la carte géologique et sur la synthèse d'un grand nombre d'informations concernant la susceptibilité au phénomène des formations à dominante argileuse, ainsi que sur la localisation des sinistres liés aux mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une méthodologie générale développée par le BRGM à la demande du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire (MEEDDAT) et de la profession des assureurs. Mise au point lors d'études similaires menées dans les Alpes de Haute-Provence et les Deux-Sèvres, elle a ensuite été appliquée à une quarantaine d'autres départements. D'autres études départementales sont en cours de réalisation, ce programme devant concerner à terme l'ensemble du territoire métropolitain.

La démarche de l'étude a d'abord consisté en l'établissement d'une cartographie départementale synthétique des formations argilo-marneuses affleurantes à sub-affleurantes, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et d'observations bibliographiques existantes. La carte synthétique recense en définitive 33 formations à composante argileuse, dont l'une des caractéristiques est la forte hétérogénéité, liée à leurs conditions de dépôts ou leur altération superficielle.

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

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

En définitive, la carte départementale d'aléa a été établie à partir de la carte synthétique des formations à dominante argilo-marneuse, en se basant sur leur hiérarchisation qui combine leur susceptibilité et la sinistralité associée. Cette dernière a été évaluée à partir du recensement des sinistres, en calculant pour chaque formation une densité de sinistres, rapportée à la surface d'affleurement réellement

urbanisée, ceci afin de permettre des comparaisons fiables entre elles. Au total, 839 sinistres répartis dans 91 communes du département ont ainsi été recensés et localisés. Cet échantillon, bien qu'assurément non exhaustif, paraît très largement représentatif du phénomène tel qu'il a été observé à ce jour dans le département.

En appliquant au département des Pyrénées-Atlantiques la méthodologie mise au point au niveau national, une seule formation identifiée comme argileuse a été classée en aléa fort. Deux autres niveaux d'aléa (moyen et faible) ont été distingués afin de caractériser les formations argileuses ou marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Sur une superficie départementale totale évaluée à 7 712,5 km²,

- 1,54 % est ainsi classé en aléa fort ;
- 13,62 % est caractérisé par un aléa moyen ;
- 58,10 % est classé en aléa faible ;
- 26,74 % correspond à des zones *a priori* non concernées par le phénomène.

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

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des terrains argileux du département des Pyrénées-Atlantiques, dont l'échelle de validité est le 1/50 000 et qui est présentée sous format papier hors texte à l'échelle 1/150 000, pourra servir de base à des actions d'information préventive dans les communes les plus touchées par le phénomène. Elle constitue également le préalable à l'élaboration éventuelle de Plans de Prévention des Risques Naturels (PPRN), en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines règles constructives préventives dans les zones soumises à l'aléa retrait-gonflement, en fonction du niveau de celui-ci. Cet outil réglementaire devra insister sur l'importance d'une étude géotechnique à la parcelle comme préalable à toute construction nouvelle dans les secteurs concernés par les formations géologiques à aléa fort, moyen ou faible, notamment en raison de la forte hétérogénéité des formations du département. A défaut, il conviendra de mettre en œuvre des règles constructives type par zones d'aléa, visant à réduire le risque de survenance de sinistres.

9. Bibliographie

Références principales

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

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

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

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

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

Genna A. (2007) – Carte géologique harmonisée du département des Pyrénées-Atlantiques et notice technique. Rapport *BRGM/RP-55408-FR*, 392 p., 3 fig., 2 tabl., 2 ann., 3 pl. h.-t.

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

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

Prian J.-P., Donsimoni M., Vincent M. avec la collaboration de Denis L., Gallas J.-C., Marty F., Motteau M. (2000) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de l'Essonne. Rapport *BRGM/RP-50376-FR*, 269 p.

Peter-Borie M. (2008 inédit) – Caractérisation de l'altération des massifs rocheux du Pays Basque et conséquences géotechniques sur les instabilités littorales, Thèse de Université de Bordeaux I, 250p., 150 fig.

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

Vincent M., Le Nindre Y.M., Meisina C., Chassignol A.L. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Deux-Sèvres. Rapport BRGM R 39967, 89 p.

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

Autres références thématiques

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Coquet Y. (1995) – Étude *in situ* des phénomènes de retrait-gonflement des sols. Application à deux sols tropicaux peu gonflants. Thèse Univ. d'Orléans

- Cui M.** (1996) – Les apports de la mécanique des sols non saturés. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'étude de l'École des Ponts, Paris, 11-12/12/1996
- Flavigny E.** (1992) – Discussion de l'article « Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie ». *Rev. Fr. Géotech.*, n° 57, 59, p. 75-78.
- Gillot J.S.** (1987) – Clay in engineering geology. *In* Elsevier (Éd.): Developments in Geological Engineering, 41, 469 p.
- Havard M.** (1996) – Travaux de terrassements et ouvrages en terre. « Le comportement des sols et des ouvrages pendant et après les périodes de sécheresse ». Journées d'Étude de l'École des Ponts, Paris, 11/12/1996
- Magnan J.P. et Youssefian G.** (1989) – Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bull. Liaison Labo. Ponts et Chaussées*, 159, 93-104
- Meisina C., Chassagneux D., Leroi E., Mouroux P.** (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Article et présentation au 8^e Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement
- Millot G.** (1964) – Géologie des argiles. Masson, Paris, 499 p.
- Ministère de l'Environnement, Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques, Délégation aux Risques majeurs** (1993) – Sécheresse et Construction. *Guide de Prévention*. Édit. La Documentation Française, Paris
- Mouroux P., Margron P., Pinte J.C.** (1988) - La construction économique sur sols gonflants. *Manuel et méthodes* n°14, 125 p., BRGM Éditeur
- Noël C.** (1991) – Tassement de sols d'assise de fondations consécutifs à la sécheresse. L'expertise dans le cadre de la garantie « catastrophes naturelles ». SNEIC-INFO, 4
- Norie A., Vincent M.** (2000) - Établissement de Plans de Prévention des Risques Naturels prévisibles : « mouvements différentiels de terrain liés au phénomène de retrait-gonflement des sols argileux » - Approche méthodologique dans le département des Deux-Sèvres. *Rapport BRGM/RP-50591-FR*, 14 p., 4 fig., 4 ann.
- Parcevaux P.** (1980) – Étude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux. Mém. Univ. P. et M. Curie, Paris VI, 266 p.
- Pejon O.J., Le Roux A., Guignard D.** (1997) – Comportement à l'eau des roches argilo-marneuses, suivi du gonflement, importance de la minéralogie et des textures. *Bull. Int. Eng. Geol.*, 55, p. 105-119
- Philipponnat G.** (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Rev. Fr. Géotech.*, 57, p. 5-22
- Philipponnat G.** (1987) – Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. 6^e Int. Conf. Exp. Soils, 7-10, New Delhi
- Robinet J.C., Pakzad M., Plas F.** (1994) – Un modèle rhéologique pour les argiles gonflantes. *Rev. Fr. Géotech.*, 67, p. 57-67

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Vincent M., Plat E., Le Roy S. (2007) - Cartographie de l'aléa Retrait-Gonflement et Plans de Prévention des Risques. *Revue Française de Géotechnique* n° 120-121, 4^{ème} trim. 2007, pp. 189-200

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

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

Cartes géologiques à 1/50 000

Alimen H., Crouzel F., Debourle A., Fourmentaux J., Henry J., Goguel J. (1963). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Pau** (1029). Orléans : BRGM. Notice explicative (1963), 5 p.

Boissonnas J., Destombes J.P., Heddebaut Cl., Le Pochat G., Lorsignol S., Roger Ph., Ternet Y., Muller J. (1974). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Iholdy** (1027). Orléans : BRGM. Notice explicative par Boissonnas J., Le Pochat G., Thibault C., Bernatzky M. (1974), 36 p.

Boltenhagen C., Lengin M., Le Pochat G., Lorsignol S. (1976). Carte géol. France (1/50000), feuille **Mauléon-Licharre** (1028). Orléans : BRGM. Notice explicative par Le Pochat G., Lenguin M., Thibault C., avec la collaboration de Andreieff P., Malmoustier et Morlot (1976), 24 p.

Burger J.J., Bocherens R., Endrey G., Verdier P., Richert J.P., Arrents C., Gros H., Lorsignol S., Kieken M., Thibault C. (1971). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Hasparren** (1002). Orléans : BRGM. Notice explicative par Kieken M., Thibault C., (1971), 24 p.

Casteras M., Canérot J., Paris J.P., Tisin D., Azambre, Alimen H. (1970). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Oloron-Sainte-Marie** (1051). Orléans : BRGM. Notice explicative par Casteras M. (1970), 20 p.

Casteras M., Souquet P., Culot G., Galharague J., Frey M., Ribis R., Paris J.P. (1970). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Larrau** (1068). Orléans : BRGM. Notice explicative par Casteras M. (1971), 16 p.

Casteras M., Villanova, Godechot, Blanc, Labourguigne, Deloffre, Azambre, Alimen H. (1970). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Lourdes** (1052). Orléans : BRGM. Notice explicative par Casteras M. (1970), 20 p.

Casteras M., Gottis M., Clin M., Guignard J.D., Paris J.P., Galharague J., Frey M. (1971). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Tardets-Sorholus** (1050). Orléans : BRGM. Notice explicative par Casteras M. (1971), 19 p.

Delfaud J., Pailhé P., Thomas G. (1982). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Morlaàs** (1030). Orléans : BRGM. Notice explicative par Delfaud J., Pailhé P., Thomas G. (1982), 23 p.

Capdeville J.P. (1997). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Hagetmau** (978). Orléans : BRGM. Notice explicative par Capdeville J.P., avec la collaboration de Gineste M.C., Turq A. et Vergain P. (1997), 70 p.

Capdeville J.P., Darboux F. (1998). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Aire sur l'Adour** (979). Orléans : BRGM. Notice explicative par Capdeville J.P., Millet D., Millet F. (1998), 51 p.

Crouzel F., Icole M. (1977). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Vic en Bigorre** (1006). Orléans : BRGM. Notice explicative par Icole M., Crouzel F., Cosson J., Roche J.H. (1977), 29 p.

Heddebaut Cl., Le Pochat G., Lengin M., Lorsignol S., Souquet P., Merle J.M., Roger Ph., Bois P. (1978). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Saint-Jean-Pied-de-Port** (1049). Orléans : BRGM. Notice explicative par Le Pochat G., Lenguin M., Napias J.C., Thibault C., Roger Ph., Bois J.P. (1978), 41 p.

Icole M., Paris J.P., Crouzel F. (1972). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Tarbes** (1031). Orléans : BRGM. Notice explicative par Icole M., Paris J.P. (1972), 13 p.

Karnay G., Dubreuilh J. (1997). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Arthez de Béarn** (1004). Orléans : BRGM. Notice explicative par Karnay G., avec la collaboration de Berdoy A. (1997), 48 p.

Karnay G., Dubreuilh J. (1998). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Lembeye** (1005). Orléans : BRGM. Notice explicative par Karnay G., Mauroux B., Châteauneuf J.J. (1998), 50 p.

Lamare P. (1963) Carte géol. France (1/50 000), feuille **Bayonne** (1001). Orléans : BRGM. Notice explicative par Lamare P. (1963), 15 p.

Lamare P., Destombes J.P. (1964) Carte géol. France (1/50 000), feuille **Espellette** (1026). Orléans : BRGM. Notice explicative par Lamare P. (1964), 8 p.

Le Pochat G., Thibault C. (1977). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Dax** (977). Orléans : BRGM. Notice explicative par Le Pochat G., Thibault C. (1977), 26 p.

Majesté-Menjoulàs C., Debon F. avec la collaboration de **Driouch Y., Flachère H., Moreau H., Valéro J., Ternet Y.** (1999). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Gavarnie** (1082). Orléans : BRGM. Notice explicative par Majesté-Menjoulàs C., Debon F., Barrère P. avec la collaboration de Baudin T., Leblanc D., Astruc J.G. (1999), 158 p.

SNPA (1987) Carte géol. France (1/50 000), feuille **Orthez** (1003). Orléans : BRGM. Notice explicative par Henry J., Zolnaï G., Le Pochat G., Mondeilh C., (1989) 55p.

Ternet Y., Barrère P., Canérot J., Majesté-Menjoulàs C. (2003). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Laruns-Somport** (1069). Orléans : BRGM. Notice explicative par Ternet Y., Majesté-Menjoulàs C., Canérot J., Baudin T., Cocherie A., Guerrot C., Rossi Ph. (2004), 192 p.

Ternet Y., Barrère P., Bois J.P., Debon F., Godechot Y., Mirouse R., Nicolaï A., Reyx J., Villanova M. (1980). Carte géol. France (1/50 000), feuille **Argelès-Gazost** (1070), Orléans : BRGM. Notice explicative par Barrère P., Bois J.P., Soulé J.C., Ternet Y. (1980), 46 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 (MEEDDAT), sur la prévention des risques majeurs, affichant les risques naturels et technologiques ainsi que les reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle.

Annexe 1

Liste des formations argileuses retenues

AGES	N°	Formation argileuse	Formations associées (présentes sur la carte géologique harmonisée des Pyrénées-Atlantiques)	Notation sur la carte harmonisée	LEGENDE sur la carte harmonisée	N° LEG 50
QUATERNAIRE	1	Débâcles anthropiques	Débâcles des tunnels ferroviaire et routier du Somport	X	1	1
	2	Eboulis	Eboulis actuels ou récents : cônes déboutés, limons et blocs masquant parfois les terrasses, enracinement de moraines	E	5	5
			Eboulis froids, glaciaires contemporains du stade de retrait du maximum glaciaire	SEy	24	22
			Débâcles torrentiels, cônes de déjection	J	6	6
			Colluvions : limons sculptés, loess colluvionisés, colluvions de fond de vallons, limons, sables argileux, coulées boueuses, écoulements	C	7	7
	3	Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés	Cônes de déjection indurifiés, postglaciaires et actuels	Fly-z	20	18
			Cônes de déjection du stade de retrait glaciaire	Fly	21	19
			Cônes de déjection du Tardiglaciaire	Flyz	22	20
			Cônes de déjection liés à postglaciaires	Fz	23	21
			Coulons de fond de vallon et cônes de déjection associés	Fy	25	24
CENOZOIQUE	4	Colluvions et dépôts de pente	Colluvions sur marnes et calcaires (Lutétien supérieur)	CP-ebb	419	8
			Formations résiduelles et colluvions issues des terrains miocènes	Rcon	16	14
			Colluvions limoneuses (bourbeuses) au bas des versants larges ou sur pentes faibles	cm	17	15
			Colluvions et dépôts de pente sur molasse	CP-M	418	23
	5	Limons des plateaux	Combêtement alluvial de cuestas, alluvions lacustres, repôts marécageux	L1	13	12
			Limons des plateaux	LP	420	13
			Matériaux résiduels, produits de décomposition sur les surfaces planes d'effrouss et de Bidarray	R	64	55
	6	Alluvions récentes	Limons purs sables ou argileux, sables limoneux	Fy-z	8	9
			Alluvions récentes (Holocène à actuel)	Fz	412	10
			Holocène : graviers, sables, limons et argiles fluviales	Fz1	411	16
	7	Alluvions - Würm	Holocène : graviers, sables, limons et argiles fluviales	Fy-z	18	17
			Alluvions du stade du retrait glaciaire	Fy	12	11
			Würm : alluvions à galets calcaires	Fy0	413	37
			Würm III, Galets, graviers, limons, sables, alluvions indifférenciées	Gy (3)	48	38
			Würm II, galets, graviers, limons, sables, alluvions indifférenciées	Gy (1)	50	39
			Arca et cordons du Postglaciaire récent	Gz-c	27	25
			Arca et cordons du Postglaciaire ancien	Gz-b	28	26
			Arca et cordons morainiques du Tardiglaciaire et du Postglaciaire	arca	30	27
			Moraines d'altitude Postglaciaire récent, localement "petit âge glaciaire"	Gzch1	31	28
			Moraines d'altitude Tardiglaciaire et Postglaciaire	Gzch	33	29
	8	Moraines glaciaires	Moraines d'altitude Tardiglaciaire et Postglaciaire ancien	Gz-b-M	36	30
			Moraines d'altitude Tardiglaciaire	Gzch1	37	31
			Moraines acielennes en position basse, moraines du stade de retrait	GyM (1)	38	32
			Moraines acielennes en position basse : stade d'extension glaciaire	GyM (1)	39	33
			Moraines acielennes en position basse : Phase de stationnement	Gzch1	40	34
			Moraines acielennes en position basse : Phase d'expansion	Gzch1	41	35
			Stade d'extension maximum	GyM	47	36
			Würm I, vallum et moraines, alluvions	Gy	51	40
			Riss - Vallum et moraines	Gy	55	44
			Glacière non datée	Gz (1)	56	54
	9	Terrasse - Riss	Riss : alluvions sablo-graveleux	Fy0	414	41
			Riss : galets (quartzites, grès) à carte blanc, graviers, gaugée argilo-sableuse brun rouge	Gz (2)	54	43
	10	Terrasse - Mindel	Riss : alluvions, galets et graviers, sables et limons, lentilles d'argile pastiques, cores fluvioglaciales	Gy	56	45
			Mindel et Postglaciaire moyen : alluvions anciennes, terrasse à galets, lentilles de sable, calottes et marnes argilo-sableuses	Fy0	57	46
			Mindel, banquette alluvionnaire de Supèrie (SV) et de Séron (NE)	Gz-b	58	47
			Günz : alluvions : gros galets, graviers dans matrice sablo-argileuse très alluvée	Fy0	415	48
	11	Terrasse - Günz	Günz : alluvions : gros galets, graviers dans matrice sablo-argileuse très alluvée	Fy0	416	49
			Günz : alluvions : gros galets, graviers dans matrice sablo-argileuse très alluvée	Fy0	417	50
			Couau et Günz : Pleistocène inférieur terminant, terrasse à galets, graviers et matrice argilo-sableuse	Gy-v	60	52
			Günz : alluvions : petits galets, graviers (matrice très alluvée), gaugée sableuse très colorée	Gy	59	51
	12	Nappe - Donau	Euroclien : petits galets, graviers (matrice très alluvée), gaugée sableuse	F1	62	53
	13	Nappes fluviales pliocènes	Nappe fluviale moyenne : graviers et calottes rubifiées ; matrice sablo-argileuse jaunâtre crème	p2	422	57
	14	Formation des Glaises bigarrées - Tortonien	Nappe fluviale inférieure : graviers à matrice argileuse blanche à bleuâtre, à grandes marnières rouges	p1	423	58
			Tortonien : Formation des Glaises bigarrées, argiles gris-bleu à blanchâtres ou rougâtres, à passées organiques ou ligniteuses	m5-eb	425	61
			Tortonien : Formation des Glaises bigarrées, argiles gris-bleu à blanchâtres ou rougâtres, à passées organiques ou ligniteuses	m5	69	62
	15	Formation des Sables fauves - Serravallien	Miocène : Formation des Sables fauves, sables jaune-ocre à graviers et galets rubifiés, localement à la base, facies marnes gréseux ou sablo-argileux	m4-p	424	59
			Serravallien : Formation des Sables fauves, sables jaune-ocre à graviers et galets rubifiés, localement à la base, facies marnes gréseux ou sablo-argileux	m4-SF	70	63
			Miocène indifférencié	m	77	68
	16	Mic-ploène indifférencié	Mic-ploène : Molasse, argiles à galets	m-p	68	60
	17	Molasses argilo-sableuses carbonatées - Eocène-Miocène	Burdigalien supérieur et moyen : niveau des calcaires d'Auch, des calcaires supérieures de Lectoure et des calcaires de L'arrouge-Saint-Sernin	m1-2	73	65
	18	Calcaires, marnes et marne-calcaires - Eocène moyen	Eocène-Miocène : Molasse argilo-sableuses, jaunes à vert-bleu, carbonatées, à galets, poudingues du Jurassien	m1-2	75	67
			Eocène moyen indifférencié, marnes et calcaires	e-m-M	85	74
			Lutétien supérieur-Bartolien : marnes et marne-calcaires (partie N de Côte des Basques)	eb-c	92	84
			Lutétien supérieur : marne-calcaires (E. de la Nive)	eb-c	93	85
			Base du Lutétien supérieur : marne-calcaires de la Goutte, Calcaires durs de Peyrebianque, Marnes-calcaires de la Mandia	eb-c	94	86
			Marnes de Gan : Formation sablo-argileuse du Cuisien	eb	95	87
	19	Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien	Thardien : marnes	e3	82	71
			Eocène inférieur : Marnes à Globorotalia	e4	99	90
	20	Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène	Saunders-Ypresien : calcaires massifs à argiles, calcaires à marnes, calcaires gréseux, sable et marnes à Avezon-Primaevus	eb-4	102	92
			Paléocène : Flysch argilo-marneux gris, dentique	eb-3 (1)	83	72
CRETACE SUPERIEUR			Paléocène : Flysch de Beldars	eb-2 (1) F	105	95
	21	Altérrites des flyschs du Grésac	Altérrites du Flysch de Mies (Albo-Cénoménien)	alt-r6-c1	518	
			Altérrites des calcaires d'Abaintz (Cénoménien)	alt-c (8)	519	
			Altérrites des schistes noirs (Aptien-Albien)	alt-r5-6a	520	
			Altérrites de grès grossier (Aptien-Albien)	alt-r5-6gr	522	
			Altérrites de calcaires zoogènes (Aptien-Albien)	alt-r5-6c	523	
			Altérrites des calcaires et marnes de Bidache (Turonien-Maastrichtien)	alt-c2-6-Bi	524	
			Altérrites des flyschs et marnes de Bidart (Concien-Maastrichtien)	alt-c3-8 (1)	525	
			Maastrichtien : Flysch marne-gréseux et marne-calcaire, Marnes de Saint-Loup, marnes gris-bleu à Léopoldoboles sociales, marnes de Nay	eb	110	100
			Camparien : Maastrichtien : Calcaires et marnes aluténies	eb-c1 (1) Al	115	105
	22	Flyschs argileux avec marnes et marne-calcaires - Crétacé supérieur	Turonien : Couches de Ganu, calcaires marneux et marnes	c3 (1)	141	124
			Turonien-Maastrichtien : Calcaires et marnes de Bidache, Flysch	c2-6-Bi	143	126
			Concien : Turonien et Cénoménien : "Marnes claires", alternance calcaires-grès	c1-3 (9)m	151	135
			Turonien-Concien : Marnes-calcaires d'Aulevielle	c1-3	154	137
			Cénoménien : Marnes de Florenzanboria	c1-2 (3)	158	142
			Cénoménien supérieur : marnes de Florenzanboria	c1c (1)	164	146
			Cénoménien : marnes à mèches jaunes	c1 (12)	170	152
			Cénoménien : marnes de Sauveterre	c1 (8)	174	156
			Cénoménien : "Marnes noires"	c1 (3)	179	160
			Maastrichtien inférieur : Flysch	c5a F	111	101
CRETACE INFERIEUR	23	Flyschs marne-gréseux et marne-calcaires - Crétacé supérieur	Camparien : Flysch argilo-gréseux, calcaires liés	c5 (2) F	117	107
			Concien-Maastrichtien calcaires, flysch marne-gréseux, marnes concholoïdes de Bidart	c3-6 (1)	132	115
			Turonien : Flysch	c2 (2) F	147	130
			Cénoménien : Flysch à silex	c1-2 (5)	408	140
			Cénoménien à Turonien inférieur : Flysch bleu : Flysch marne-calcaire à marne-gréseux	c1-2 F	181	161
			Santonien-Concien : Flysch à silex	c3-4 (1) Fe	136	119
			Turonien : Flysch, alternance de grès roux et de marnes noires	c1-2 (2)	159	143
			Santonien-Concien-Maastrichtien : Flysch calcaire de Matzenand	c3-6 F	133	116
	24	Flyschs calcaires - Crétacé supérieur	Concien : Flysch et "Flysch marne-calcaire à fusolides", alternance de marne et de calcaire à lucioles	eb-4 (2) F	135	118
			Concien-Maastrichtien calcaires, flysch marne-gréseux	c3-6 (1)	132	115
JURASSIQUE	25	Flyschs marneux - Crétacé inférieur	Cénoménien : calcaires à carapaces, calcaires à nodules, calcaires gréseux, calcaires d'Abaintz	c1 (8)	174	156
			Albo-Cénoménien : marnes très massives à celles de Saint-Palais	eb-c1 (1)	174	156
			Albo-Cénoménien : marnes de Saint-Palais, marnes noires à spicules	eb-c1 (1)	153	109
			Albien : marnes noires	eb (2)	174	156
			Aptien-Albien : schistes noirs, marnes noires	eb (6)	204	179
			Aptien supérieur-Albien : marnes noires à spicules, facies argilo-gréseux	eb-c (5)	205	180
			Aptien supérieur-Albien : marnes noires à spicules, intercalation de brèches	m3-c (1)	211	185
			Aptien inférieur : marnes de St-Suzanne	eb-c	212	186
			Aptien : marnes noires de la zone de Nabolégu	eb	189	189
	26	Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur	Albo-Cénoménien : "Flysch de Mies" : alternance d'argile et de grès	n6-c1	194	170
	27	Marnes d'Haut - Collovien-Oxfordien	Collovien - Oxfordien : Marnes d'Haut, marnes gris-sombre	H-5	227	199
			Lias supérieur : marnes et calcaires marneux	B-4	233	205
	28	Marnes et calcaires - Jurassique	Turonien-Bartolien : marnes et calcaires argileux	B-4	234	206
			Pliensbachien, Turonien et Aluténien inférieur non différenciés	B-4	235	207
			Lias supérieur Dogger : calcaires, marnes, brèches et dolomies	L-J1-4	236	208
			Pliensbachien : Turonien : Marnes et calcaires à Bélemnites	B-4	237	209
			Lias supérieur et moyen : marnes et calcaires à Bélemnites	B-4	238	210
			Lias supérieur et moyen : Marnes, calcaires argileux à Bélemnites, et à Pecten	B-4	239	211
			Lias moyen : marne-calcaire	B-4	240	212
	29	Marnes - Turonien	Lias supérieur : marnes	B-4	246	218
TRIAS	30	Marnes barroïées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper	Keuper : marnes barroïées, argiles opalescentes, calcaires et dolomies, cargneules	B-7	255	225
			Lias supérieur : Argiles et marnes barroïées, dolomies, cargneules	B-7	256	226
			Keuper et Maastrichtien indifférenciés (E. du Ganu d'Aren)	B-7	257	227
			Lias, argiles et marnes, lentilles basales, dolomies	1	271	241
	31	Ophtes	Ophtes basales à lentilles basales	Y (1)	368	322
	32	Pélines argileuses et argilo-gréseuses - Devonien	Emilien-Eifélien-Givélien : pélines argileuses et argilo-gréseuses	eb-5 (2)	328	290
	33	Grès du Labourd, porphyres à bœhte indifférenciés	Précambrien : grès du Labourd, porphyres à bœhte indifférenciés	n	363	318

Annexe 2

Résultat des analyses par diffractométrie X de 30 échantillons

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
- Vitesse de balayage de 0,02°2θ/seconde
- Temps de comptage : 1 seconde par pas
- Echantillon fixe
- Tube au Cobalt (λ K α 1 \approx 1,789 Å)

Traitement des diagrammes : Logiciel DIFFRAC^{plus}

3. Résultats d'analyse

Echantillon 64 Ar1

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- interstratifié smectite/chlorite + chlorite + interstratifié smectite/illite possible : ~ 57%
- illite et/ou micas : ~ 16%
- kaolinite : ~ 27%

Echantillon 64 Ar7

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 10%
- illite et/ou micas : ~ 60%
- kaolinite : ~ 30%

Echantillon 64 Ar8

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 11%
- illite et/ou micas : ~ 74%
- kaolinite : ~ 15%

Echantillon 64 Ar9

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- chlorite + interstratifié smectite/chlorite : ~ 14%
- illite et/ou micas : ~ 45%
- kaolinite : ~ 41%

Echantillon 64 Ar10

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- chlorite + vermiculite : ~ 31%
- illite et/ou micas : ~ 18%
- kaolinite : ~ 51%

Echantillon 64 Ar13

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- interstratifié smectite/illite : ~ 55%
- illite et/ou micas : ~ 10%
- kaolinite : ~ 35%

Echantillon 64 Ar14

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- interstratifié smectite/chlorite + interstratifié smectite/illite : ~ 37%
- illite et/ou micas : ~ 36%
- kaolinite : ~ 27%

Echantillon 64 Ar15

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- vermiculite : ~ 4%
- illite et/ou micas : ~ 94%
- chlorite : ~ 2%

Echantillon 64 Ar16

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- vermiculite : ~ 52%
- illite et/ou micas : ~ 43%
- kaolinite : ~ 5%

Echantillon 64 Ar17

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- chlorite : ~ 32%
- illite et/ou micas : ~ 68%

Echantillon 64 Ar18

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- vermiculite + interstratifié illite/smectite : ~ 16%
- illite et/ou micas : ~ 84%

Echantillon 64 Ar19

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- chlorite probable : ~ 9%
- illite et/ou micas : ~ 91%
- interstratifié illite/smectite possible en traces

Echantillon 64 Ar20

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- vermiculite : ~ 44%
- illite et/ou micas : ~ 51%
- kaolinite : ~ 5%

Echantillon 64 Ar24

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- vermiculite : ~ 6%
- illite et/ou micas : ~ 91%
- kaolinite : ~ 3%

Echantillon 64 Ar26

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- illite et/ou micas : ~ 22%
- kaolinite + interstratifié smectite/kaolinite possible : ~ 78%

Echantillon 64 Ar27

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- illite et/ou micas : ~ 100%

Echantillon 64 Ar28

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- chlorite : ~ 24%
- illite et/ou micas : ~ 76%
- talc possible en traces

Echantillon 64 B30

La fraction phylliteuse de cet échantillon est représentée par (sur base 100) :

- interstratifié smectite/chlorite : ~ 50%
- illite et/ou micas : ~ 27%
- kaolinite : ~ 23%
- chlorite possible en traces

4. Observations

Rapport d'essais n° 07-6-050-A

Nature des essais et documents de référence :

Détermination de la valeur au bleu de méthylène d'un sol par essai à la tache

(norme NF P 94-068)

Préparation des échantillons :

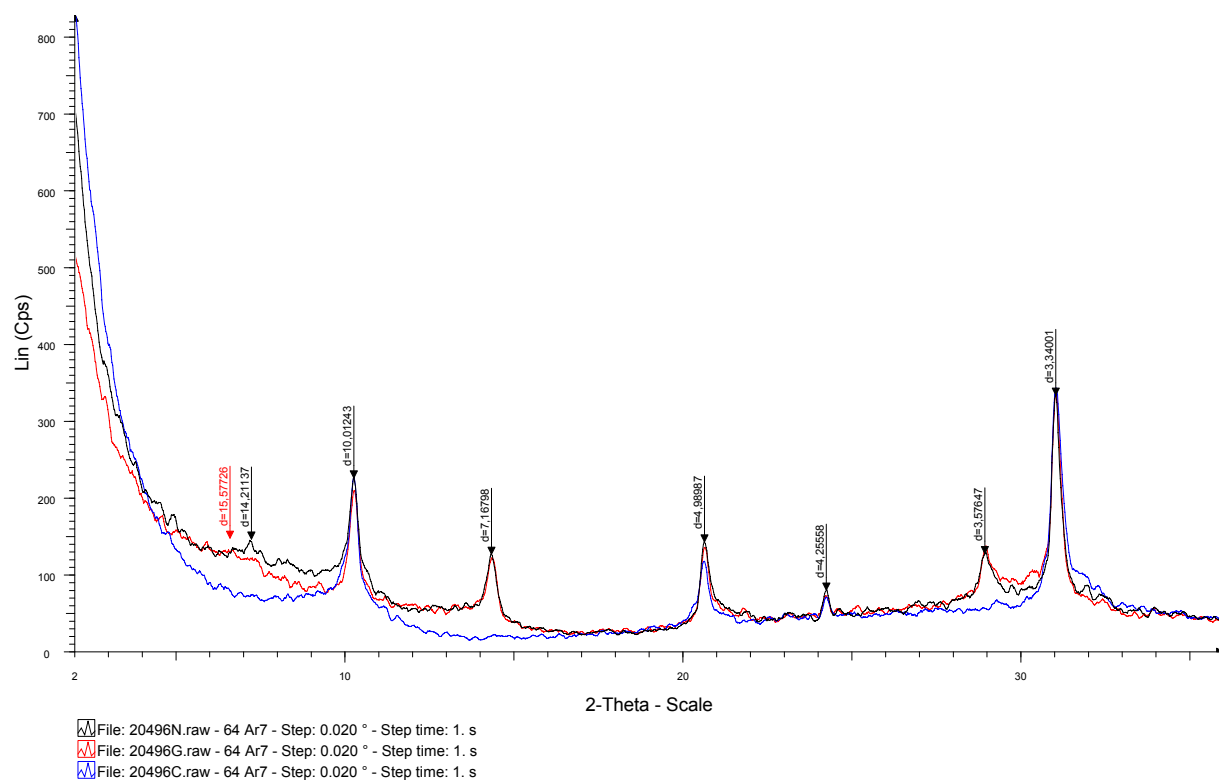
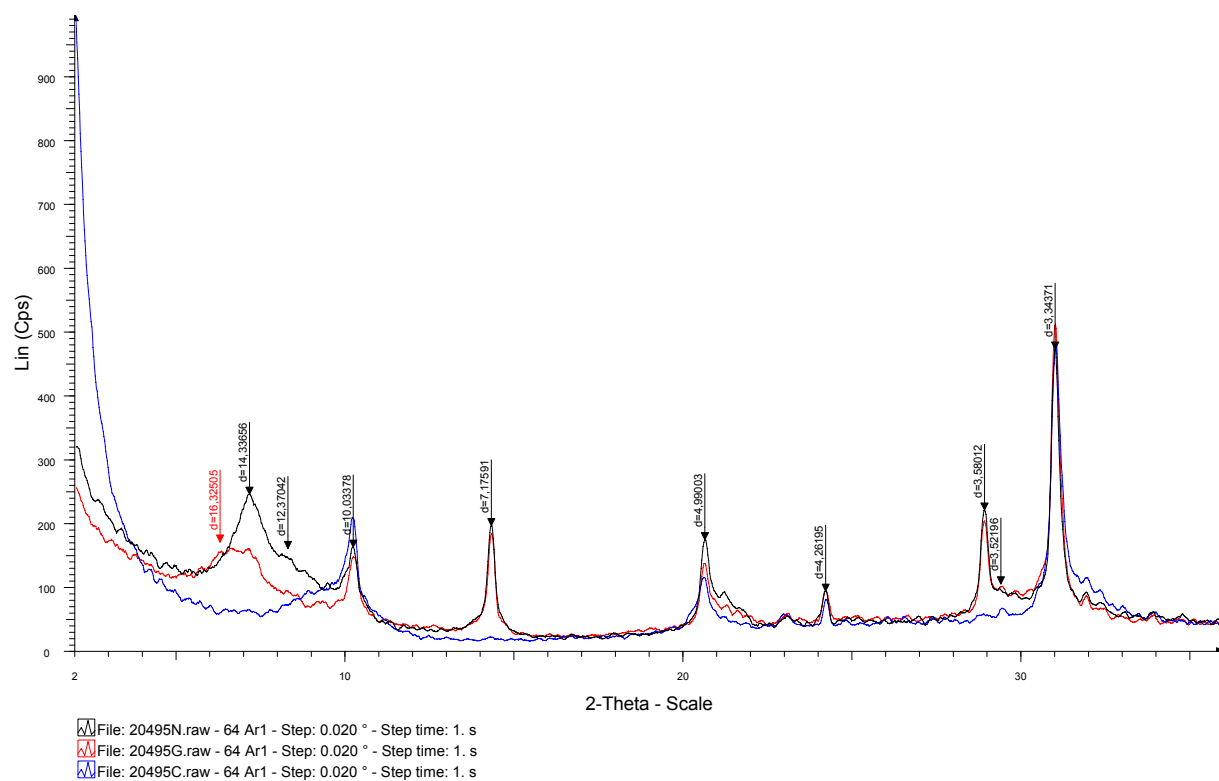
Pour les essais d'adsorption au bleu de méthylène, les échantillons sont dispersés dans de l'eau, puis laissés au repos au moins 12 heures.

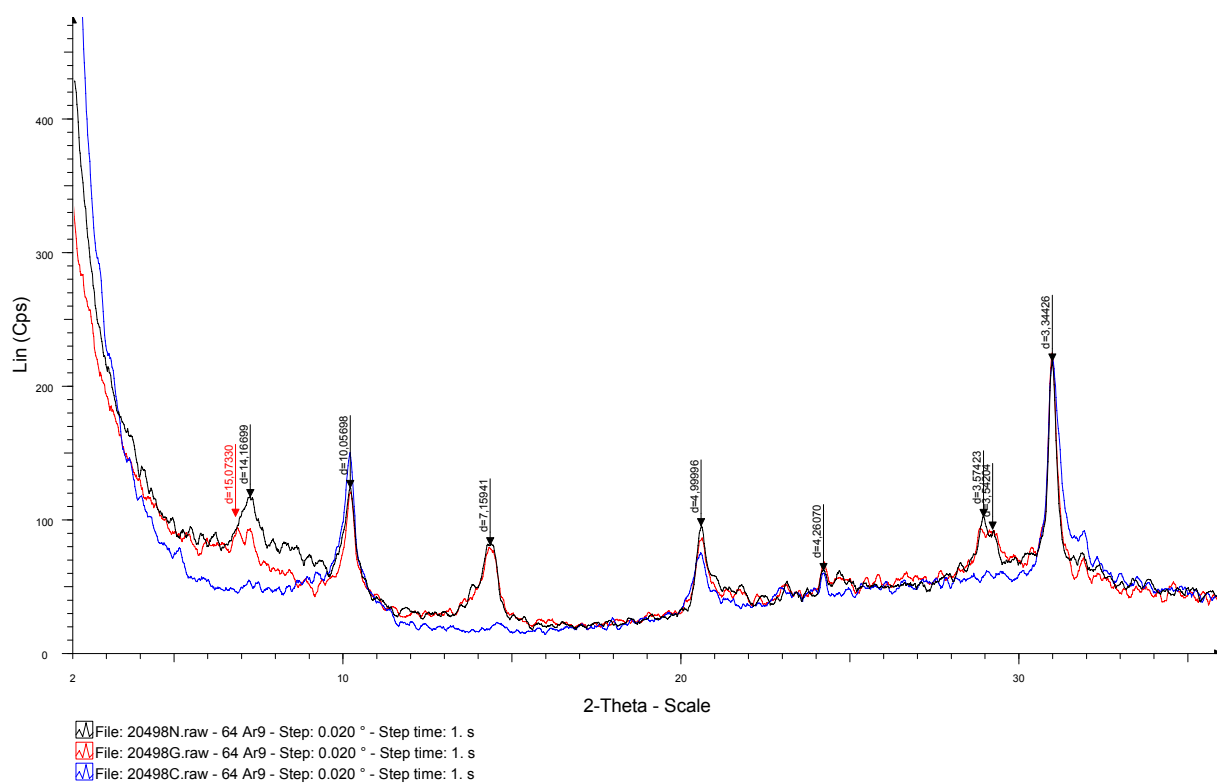
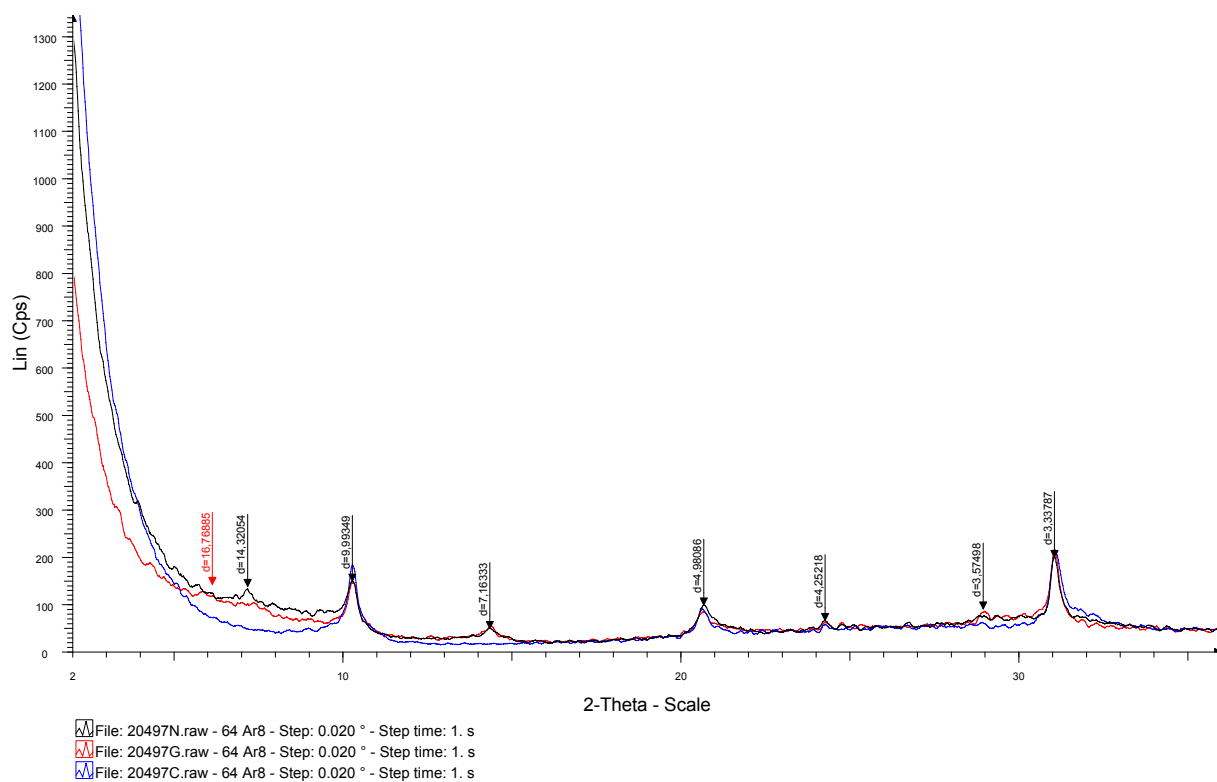
Echantillon	VBS (g de bleu /100g)	Echantillon	VBS (g de bleu /100g)
Ar 1	1,42	Ar 17	1,08
Ar 7	2,26	Ar 18	3,31
Ar 8	4,38	Ar 19	1,70
Ar 9	0,86	Ar 20	3,33
Ar 10	0,79	Ar 24	1,82
Ar 13	4,83	Ar 26	0,51
Ar 14	3,46	Ar 27	1,78
Ar 15	2,45	Ar 28	1,66
Ar 16	4,87	B 30	5,98

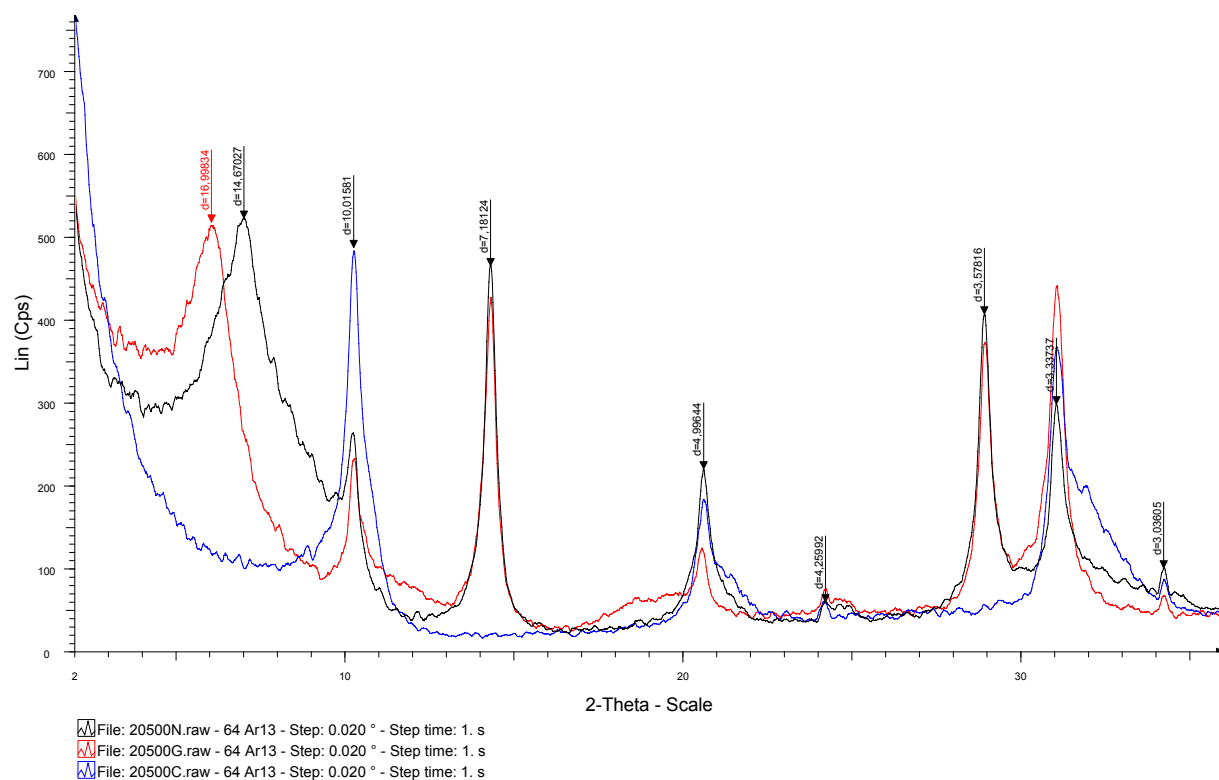
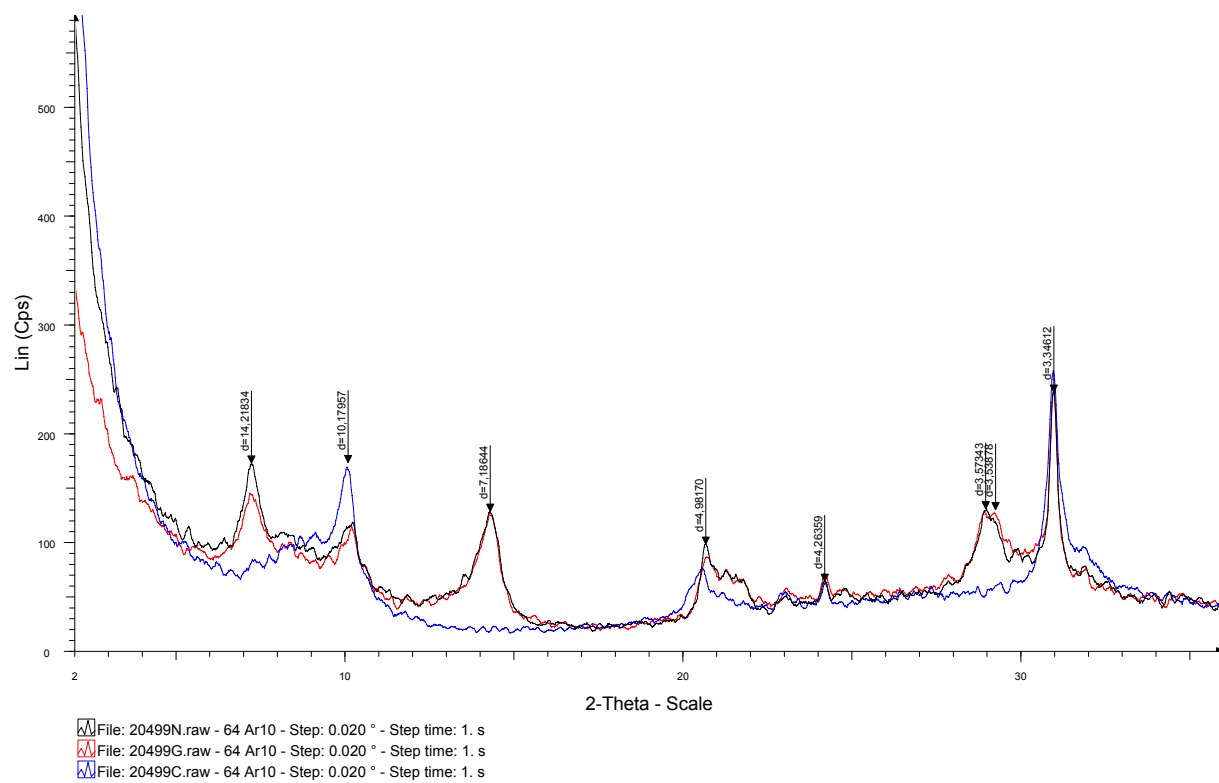
ANNEXE

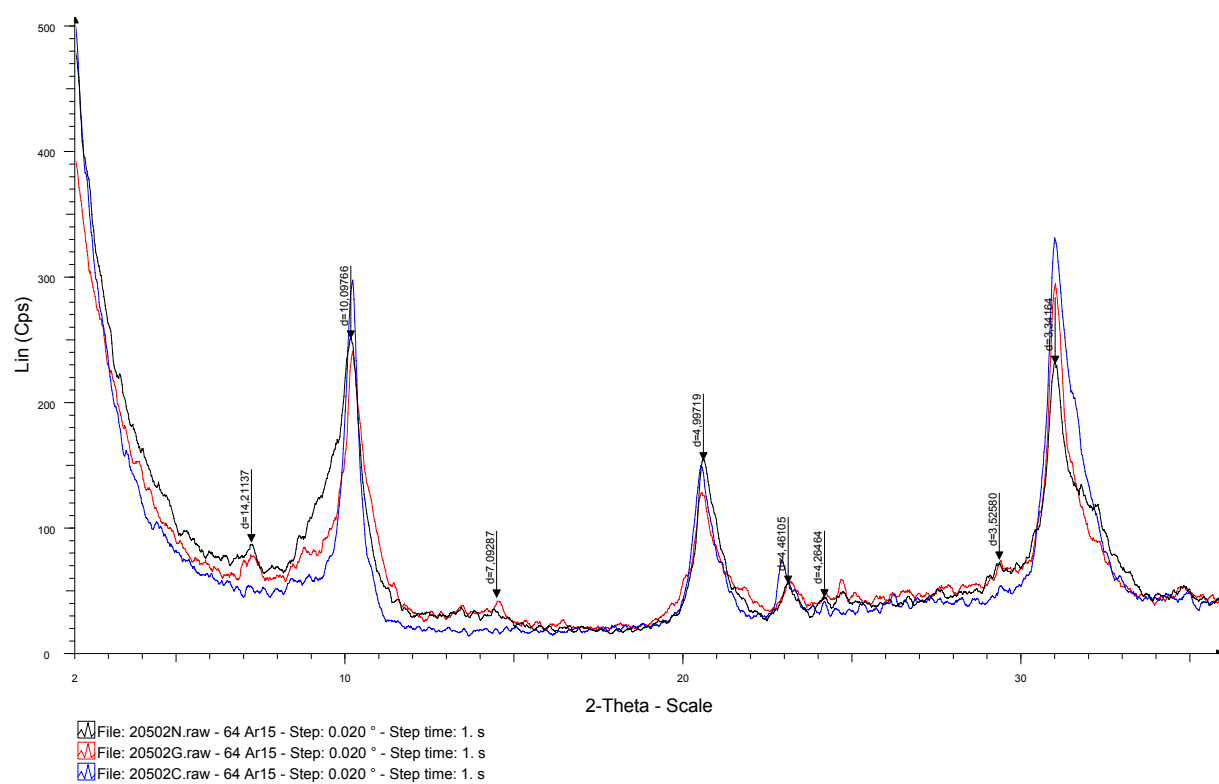
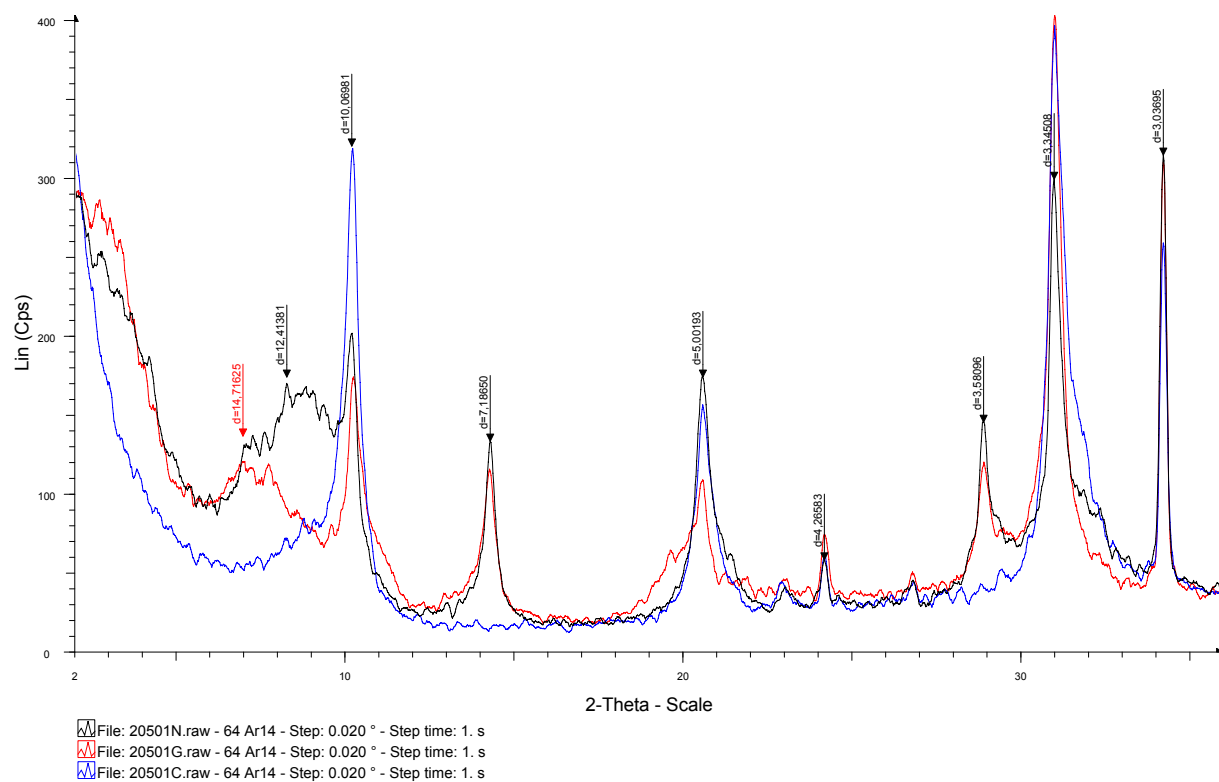
Pour chaque échantillon :

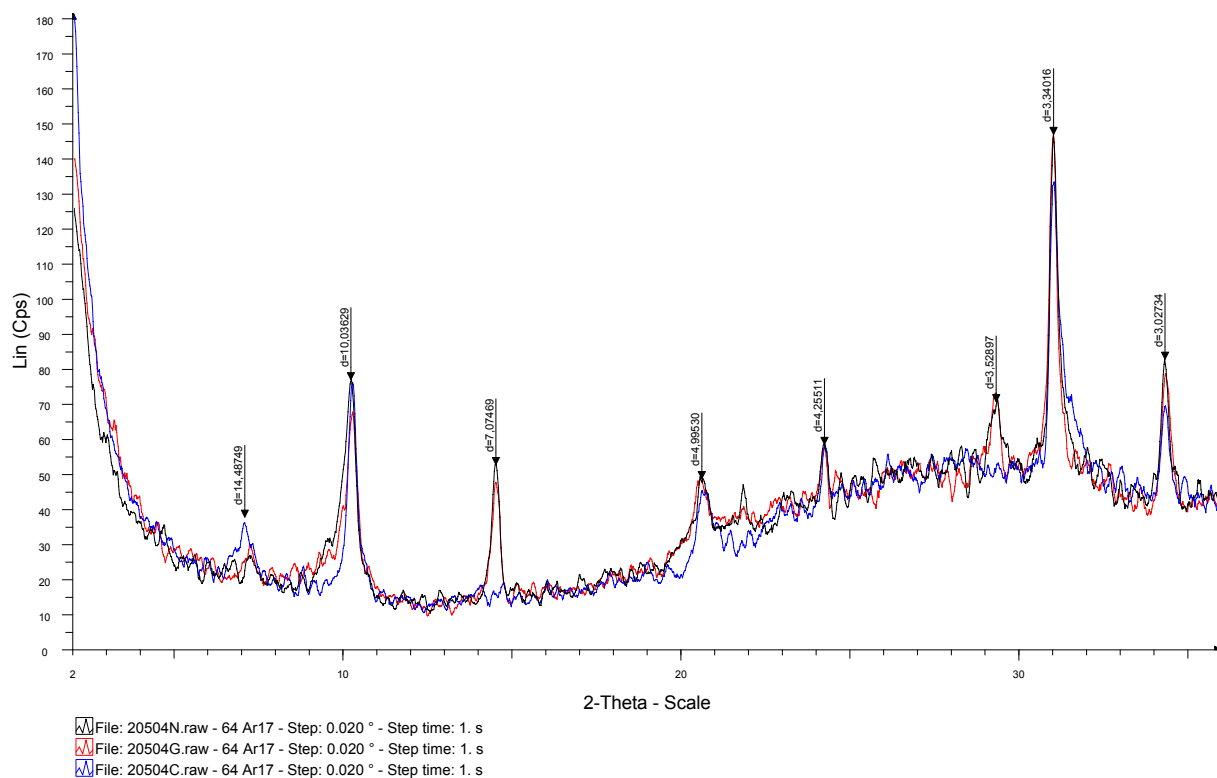
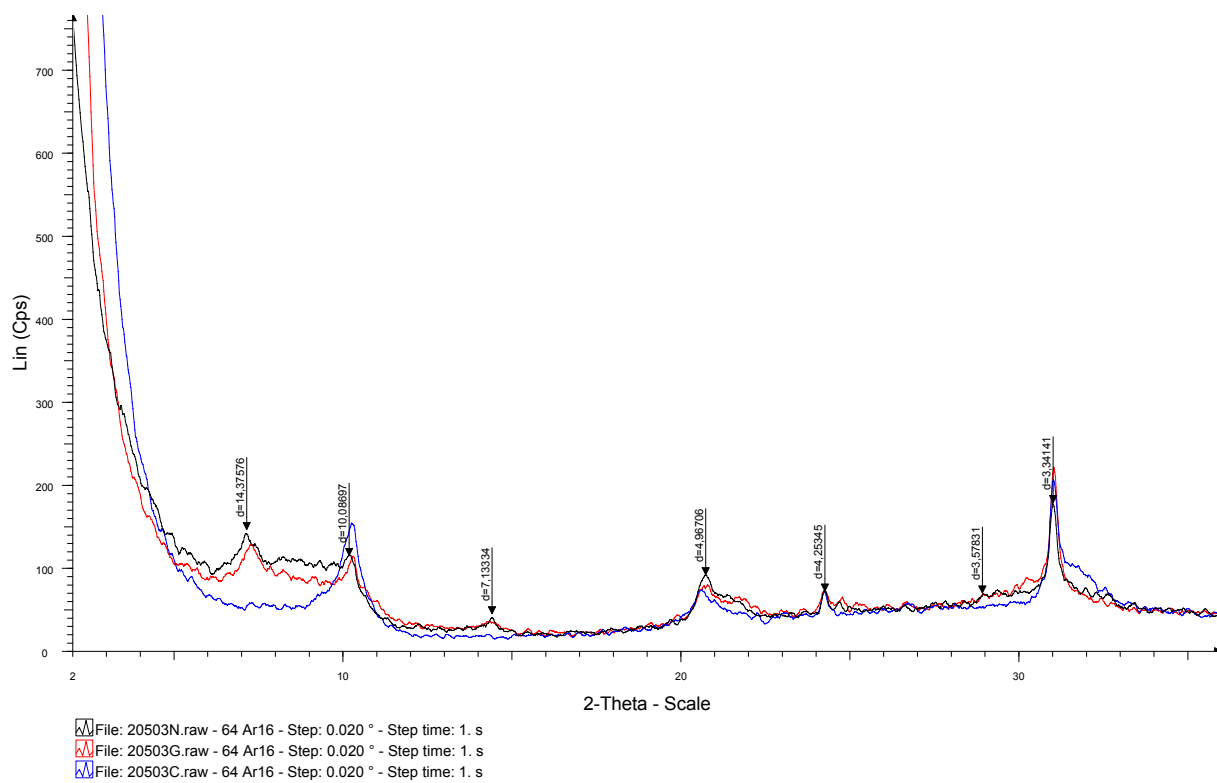
- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame normale (indexé N), de la lame glycolée pendant 12 heures en tension de vapeur (indexé G), de la lame chauffée à 490°C pendant 4 heures (indexé C)

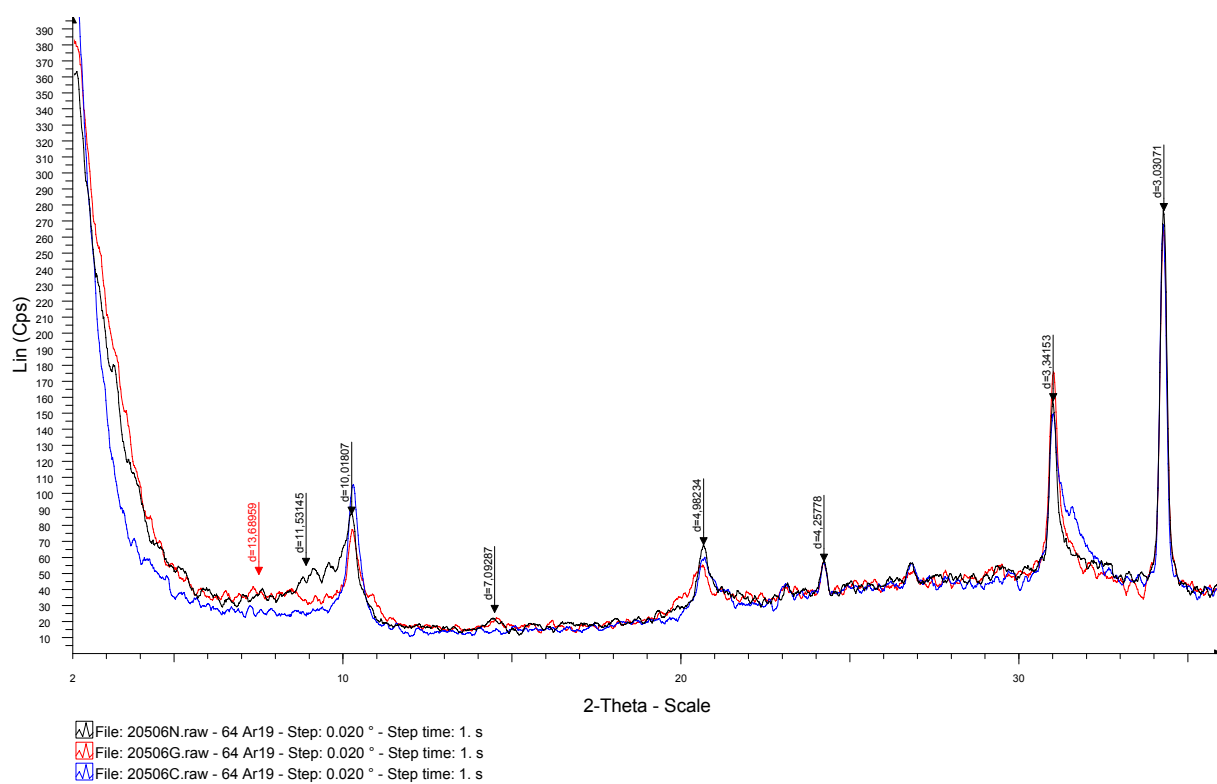
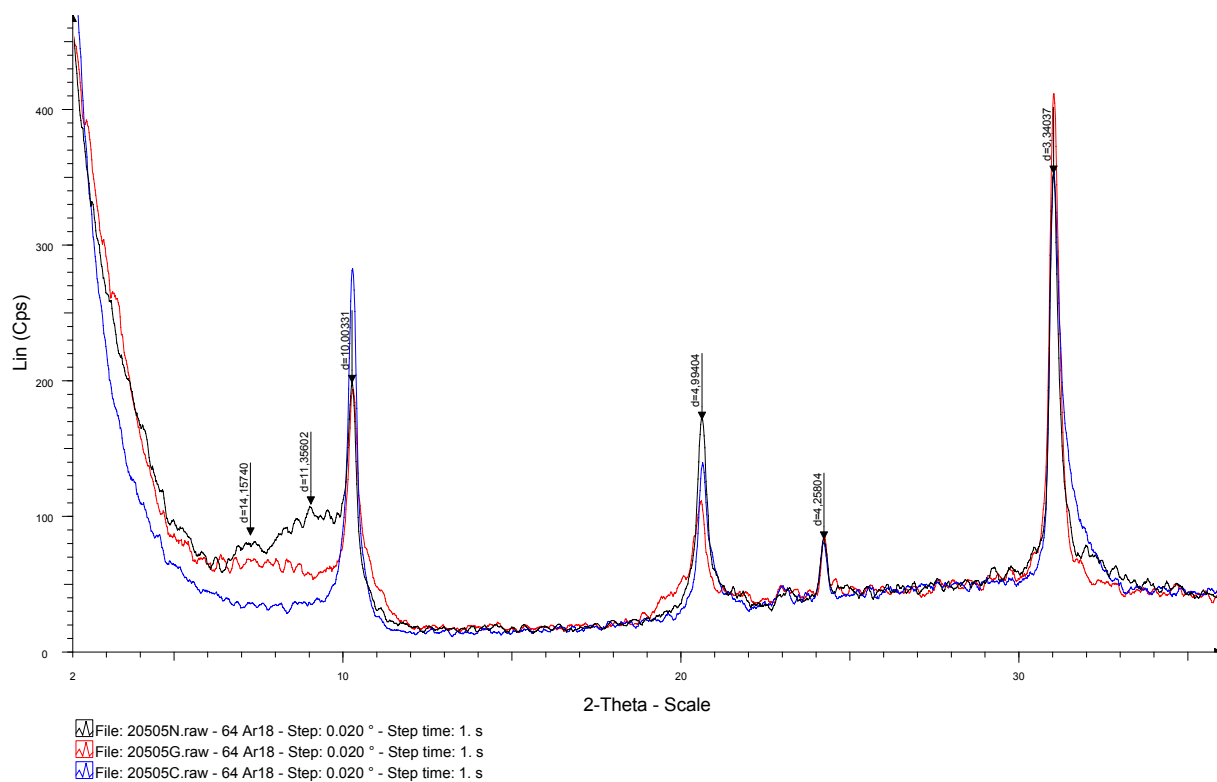


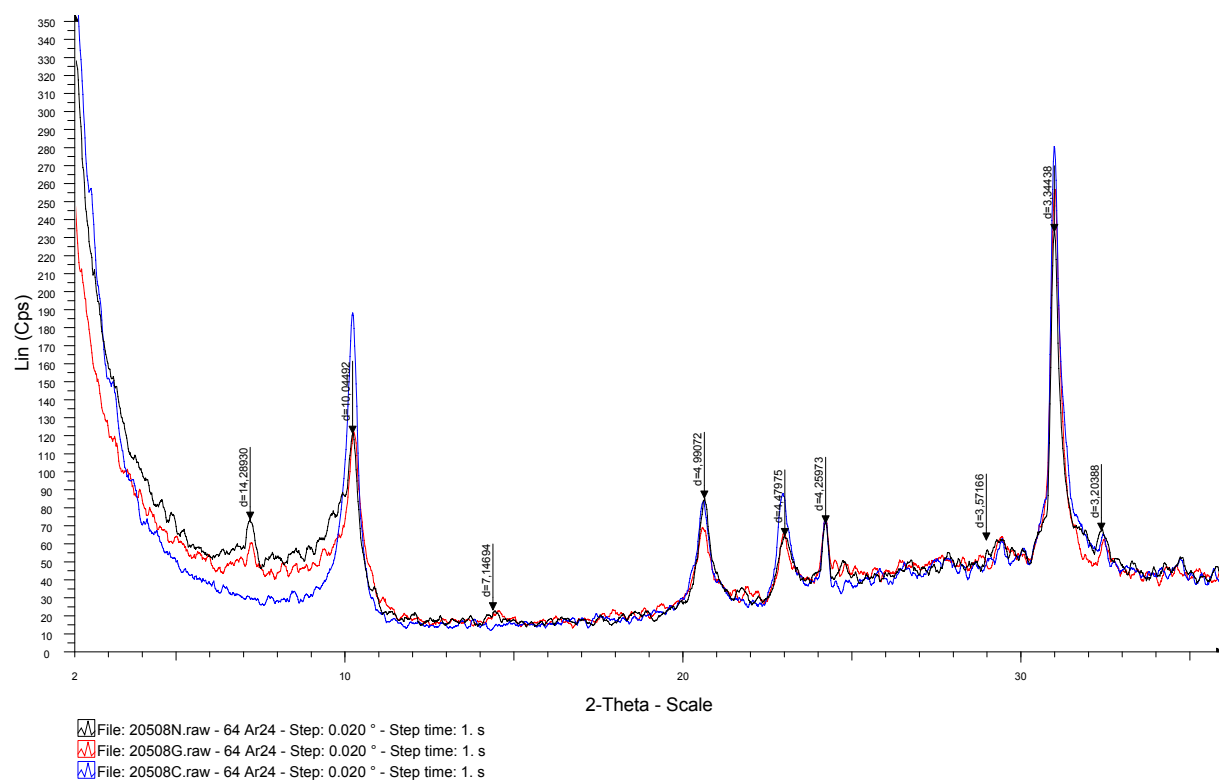
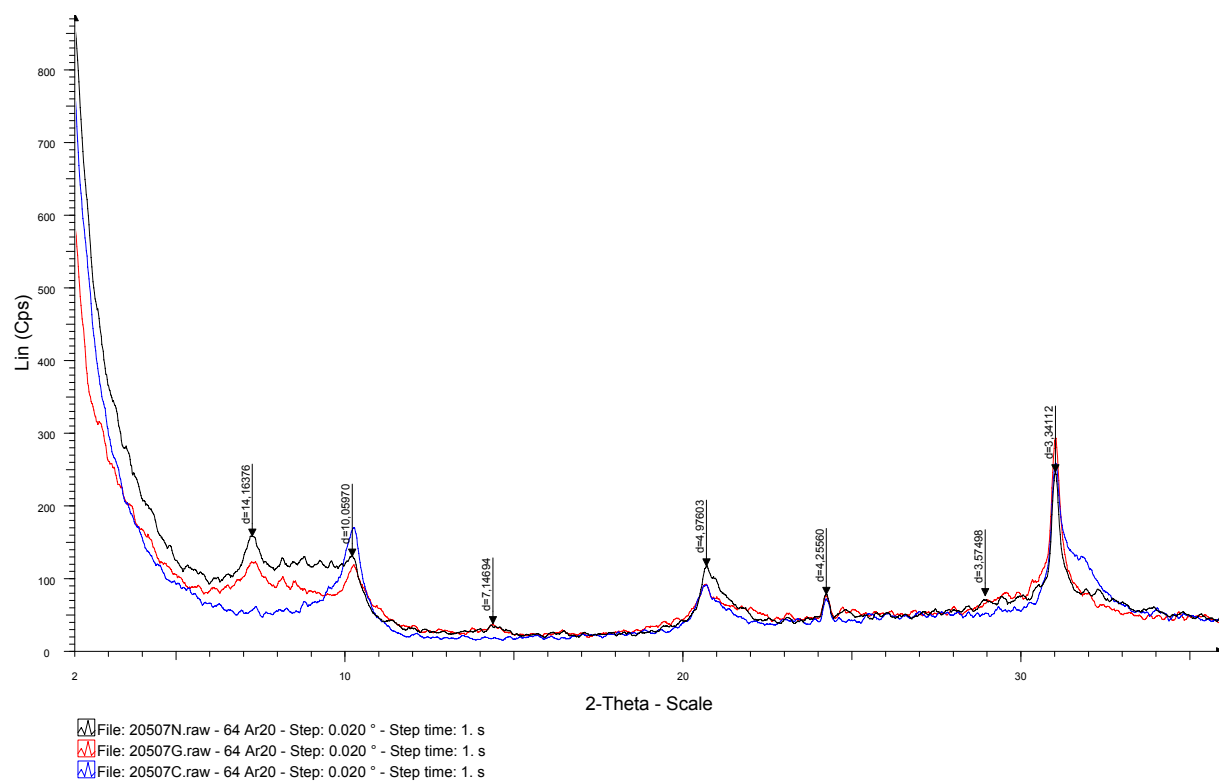


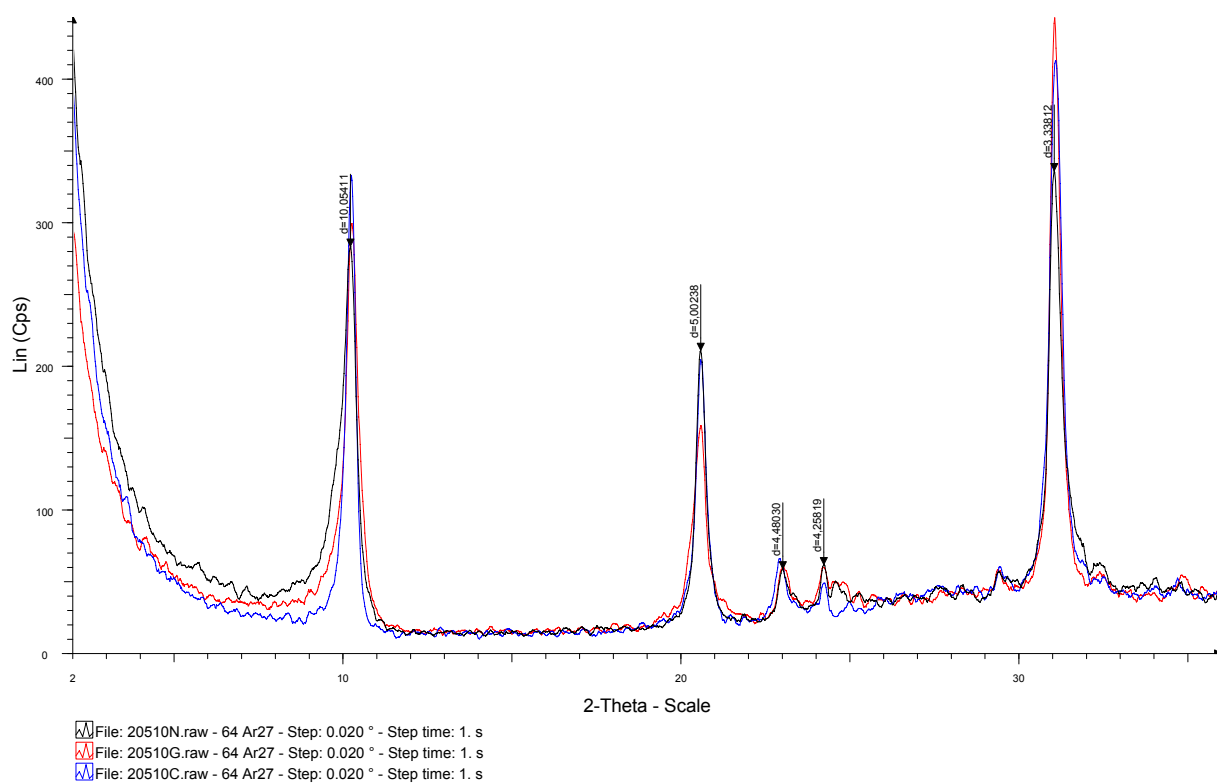
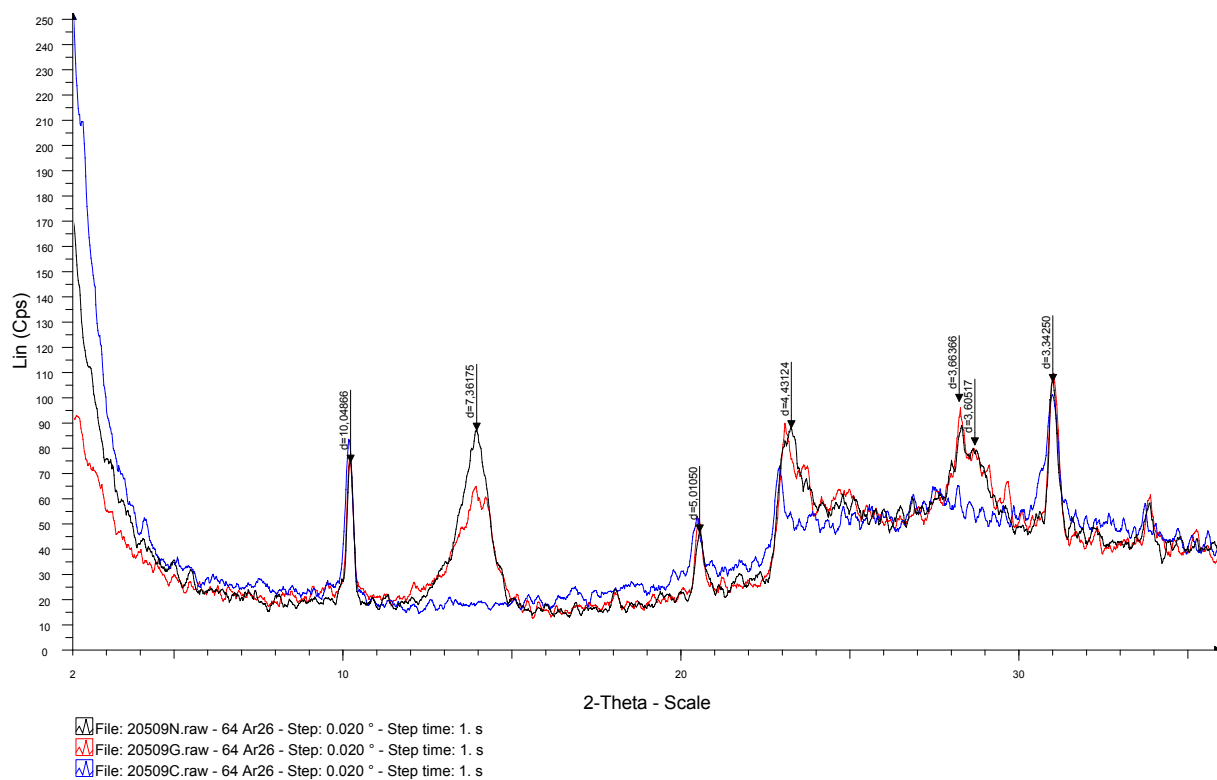


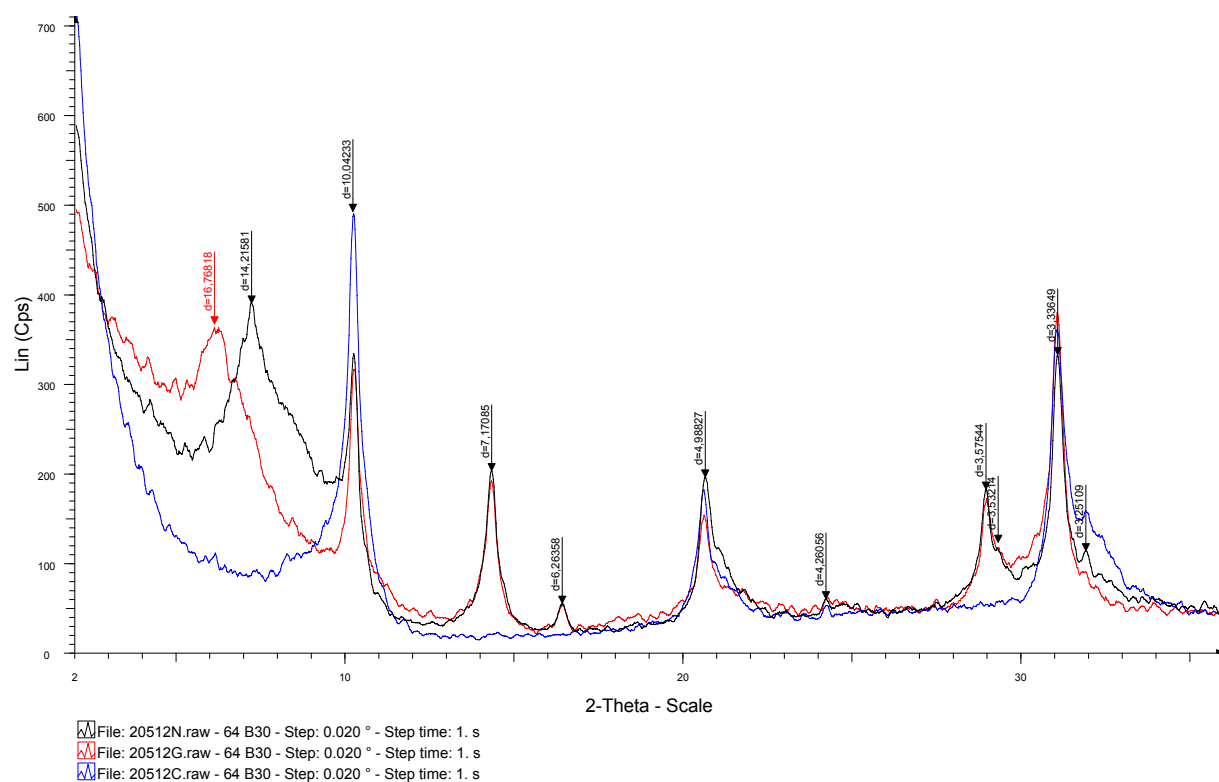
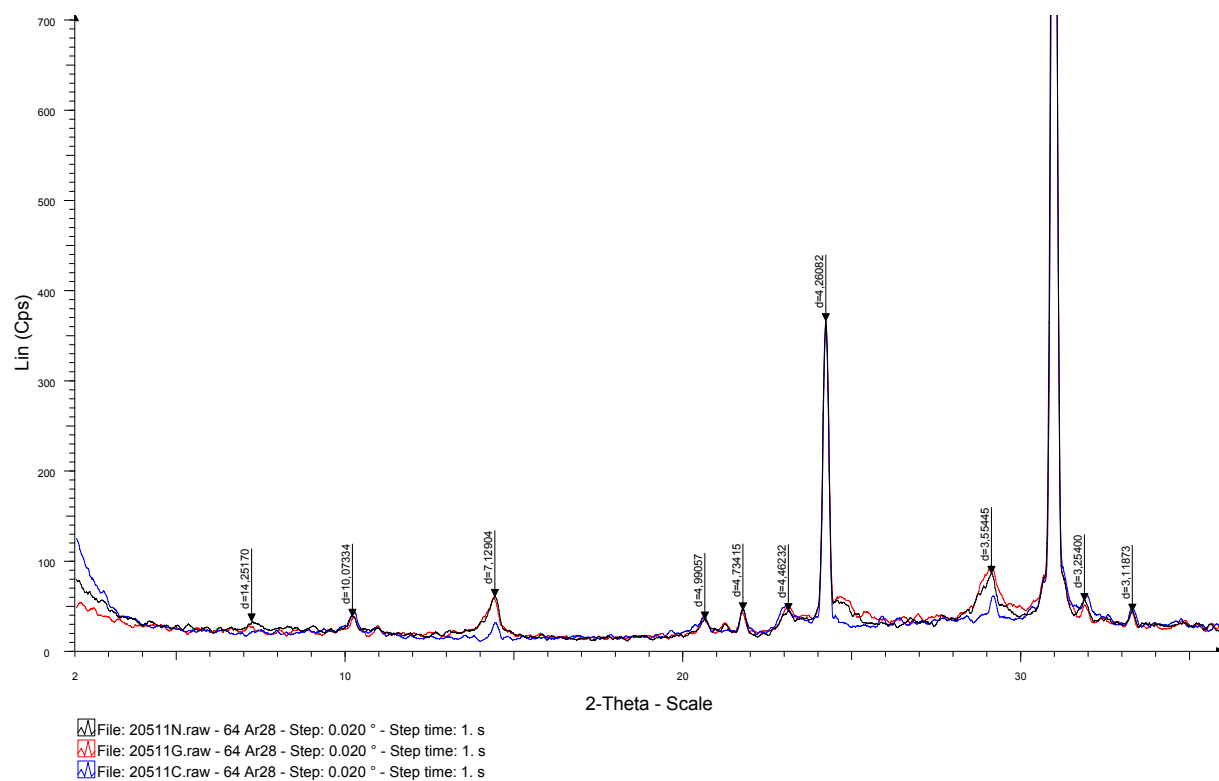












Annexe 3

Sources des données géotechniques

Organisme fournisseur de données	Adresse
AIS	12, Ave. Federico Garcia-Lorca, 64 00 PAU
BSS (archives BRGM)	3, ave. Claude Guillemin, 45 100 ORLEANS
CCR	
CEBTP	Ave. Ariane, 33 700 MERIGNAC
Communes 64	Mairie de chaque commune
EGC	39, ave. de la République, 33 450 SAINT LOUBES
FONDASOL Technique	23, rue de la Négresse, 64 200 BIARRITZ
GEOTEC	1, rue Pierre et Marie Curie, 33 520 BRUGES
GTA (Géo-Techniques de l'Atlantique)	6, rue Diamant, 33 185 Le HAILLAN
MAAF	40 bis, Allées Marines, 64 100 BAYONNE
Centre de Gestion MAIF	ZAE la Mude, Rue de l'Angélique, TSA 65 105, 79 060 NIORT Cedex
Préfecture	2, rue du Maréchal Joffre, 64 021 PAU Cedex
Sous-préfecture	all. Marines, 64 100 BAYONNE
SOLTECHNIC	Centre International d'Affaires 2, Esplanade Europe, 64 200 ANGLET

Bureau d'étude ou organisme	Adresse
AIS - Grand Sud	12, Ave. Federico Garcia-Lorca, 64 00 PAU
ALIOS COTE BASQUE	34, ave. de Tamamès, 64 200 BIARRITZ
Aquiterra ISE	8, ave. de Bourranville, 33 700 MERIGNAC
Cabinet d'Etude BERRE	16, rue principale, 64 110 LARAIN
N. BOUBEE-DUPONT	9, rue Caussade, 65 600 SEMEAC
BRGM	3, ave. Claude Guillemin, 45 100 ORLEANS
CEBTP Sollen	Z.a. St Frédéric, rue Chalibardon, 64 100 BAYONNE
CETRA (Cabinet Etudes Techniques Rurales et Agricoles)	12, route de l'Artisanat, 64 110 LARAIN
CGA	Route de la Glacière, 64 122 URRUGNE
Jacques Chiappat	
ECG	39, ave. de la République, 33 450 SAINT LOUBES
Etudes pour le tracé de l'A63 (divers BE)	
FONDASOL Technique	23, rue de la Négresse, 64 200 BIARRITZ
FONDASOL Technique	Centre scientifique Jean Feger, 64 000 PAU
GEOTEC	1, rue Pierre et Marie Curie, 33 520 BRUGES
GTA (Géo-Techniques de l'Atlantique)	6, rue Diamant, 33 185 Le HAILLAN
HYDRO IMPACT	2, allée de Gascogne, 64 320 BIZANOS
IMS	Espace Jean Pégot, 31 800 SAINT GAUDENS
INGESOL	9, rue de la Négresse, 64 200 BIARRITZ
Rilleux études	
SESAER	6, ave. Jeanne d'Albret, 64 150 MOURENX
SOGREAH Consultants	2, ave. Prés. Pierre Angot, 64 000 PAU
SOLTECHNIC	Centre International d'Affaires 2, Esplanade Europe, 64 200 ANGLET
SORES	
TEMSOL	24 - 26, rue Alessandro Volta, Espace Mérignac Phare, 33 700 MERIGNAC

Annexe 4

Liste des sinistres

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Pyrénées-Atlantiques

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
1	64005	ABOS	364817,600	1821603,200	7
2	64535	TARSACQ	367353,000	1820722,100	17
3	64010	AICRITS-CAMOU-SUHAST	327078,100	1821071,700	7
4	64010	AICRITS-CAMOU-SUHAST	327071,600	1821137,300	7
5	64010	AICRITS-CAMOU-SUHAST	327015,800	1821086,500	6
6	64021	ANDOINS	390280,400	1815745,100	11
7	64022	ANDREIN	337407,800	1826943,200	24
8	64022	ANDREIN	337531,000	1827682,100	22
9	64024	ANGLET	287441,900	1836689,100	16
10	64102	BAYONNE	289939,500	1840183,800	6
11	64035	ARBONNE	285832,000	1831017,600	21
12	64035	ARBONNE	284702,600	1832326,100	21
13	64035	ARBONNE	284732,600	1832337,700	21
14	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	330196,900	1825933,600	25
15	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	329262,700	1823594,700	25
16	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	329343,900	1823575,900	25
17	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	330095,200	1826108,100	26
18	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	329262,700	1824376,000	25
19	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	331019,900	1822854,200	3
20	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	329671,800	1823096,100	25
21	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	329046,600	1824615,600	25
22	64036	ARBOUET-SUSSAUTE	329557,300	1822403,600	25
23	64038	ARCANGUES	286510,800	1833200,900	21
24	64038	ARCANGUES	287060,400	1834240,300	21
25	64038	ARCANGUES	286412,800	1833113,900	21
26	64038	ARCANGUES	286674,000	1833119,400	21
27	64038	ARCANGUES	287141,900	1834044,400	21
28	64038	ARCANGUES	287316,100	1834131,500	21
29	64038	ARCANGUES	287098,400	1834093,300	21
30	64038	ARCANGUES	287332,400	1835557,100	5
31	64038	ARCANGUES	286668,500	1835921,700	5
32	64038	ARCANGUES	287550,000	1833440,400	21
33	64038	ARCANGUES	287745,900	1833135,600	21
34	64038	ARCANGUES	286984,200	1832036,500	21
35	64038	ARCANGUES	287517,500	1833380,600	21
36	64038	ARCANGUES	287599,100	1833386,000	21
37	64038	ARCANGUES	286841,400	1835463,000	5
38	64038	ARCANGUES	288067,100	1832384,800	21
39	64038	ARCANGUES	287430,400	1834468,800	21
40	64050	ARRAST-LARREBIEU	341041,000	1815386,600	22
41	64050	ARRAST-LARREBIEU	340616,500	1815025,800	25
42	64050	ARRAST-LARREBIEU	342717,500	1816580,400	24
43	64054	ARROS-DE-NAY	385152,000	1802207,500	22
44	64054	ARROS-DE-NAY	385152,000	1802207,500	22
45	64054	ARROS-DE-NAY	385152,000	1802207,500	22
46	64054	ARROS-DE-NAY	385152,000	1802207,500	22
47	64054	ARROS-DE-NAY	385152,000	1802207,500	22
48	64054	ARROS-DE-NAY	385152,000	1802207,500	22
49	64054	ARROS-DE-NAY	385614,300	1802619,000	20
50	64054	ARROS-DE-NAY	385830,800	1802532,200	20
51	64054	ARROS-DE-NAY	385777,500	1802579,800	20
52	64054	ARROS-DE-NAY	385182,200	1802306,500	998
53	64056	ARROSES	402374,300	1842534,500	14
54	64056	ARROSES	402419,600	1842677,600	13
55	64056	ARROSES	401820,600	1840763,900	13
56	64056	ARROSES	401681,200	1840978,600	13
57	64056	ARROSES	401752,800	1840986,100	13
58	64056	ARROSES	401933,700	1840549,200	13
59	64056	ARROSES	402336,800	1841920,400	14
60	64056	ARROSES	400547,200	1842059,800	17
61	64056	ARROSES	401933,700	1840549,200	13
62	64056	ARROSES	402148,300	1839991,600	13
63	64056	ARROSES	402690,900	1841735,900	15
64	64056	ARROSES	401590,800	1841155,700	13
65	64056	ARROSES	402615,500	1841423,100	15
66	64056	ARROSES	403112,700	1841558,800	6
67	64056	ARROSES	402436,400	1841099,200	15
68	64056	ARROSES	401711,300	1840839,200	13
69	64056	ARROSES	402295,300	1840002,800	13
70	64061	ARTIX	364545,200	1826752,700	9
71	64061	ARTIX	364603,500	1826115,900	9
72	64065	ASCAIN	277471,000	1826008,700	6
73	64072	AUBERTIN	370700,900	1812114,700	17
74	64072	AUBERTIN	369554,300	1814812,400	17
75	64072	AUBERTIN	370165,100	1813082,700	17
76	64072	AUBERTIN	370616,000	1814557,600	17
77	64072	AUBERTIN	370458,800	1812860,500	17
78	64072	AUBERTIN	371839,500	1813709,600	7
79	64072	AUBERTIN	370208,800	1811039,600	17
80	64072	AUBERTIN	370125,600	1810817,300	17
81	64073	AUBIN	376619,000	1829266,000	13
82	64073	AUBIN	376959,600	1830375,600	13
83	64073	AUBIN	376575,100	1830459,900	14
84	64075	AUDALUX	347306,500	1823513,800	20
85	64075	AUDALUX	349120,600	1825660,700	6
86	64075	AUDALUX	349156,000	1825465,600	22
87	64084	AYDIE	402448,700	1844284,800	14
88	64084	AYDIE	400859,100	1843391,600	5
89	64090	BALIRACQ-MAUMUSSON	390405,400	1842206,300	17
90	64090	BALIRACQ-MAUMUSSON	391514,800	1840564,100	6
91	64090	BALIRACQ-MAUMUSSON	391187,400	1840231,600	6
92	64090	BALIRACQ-MAUMUSSON	391079,800	1841326,500	3
93	64094	BARDOS	309672,800	1838429,600	22
94	64094	BARDOS	312997,200	1837432,600	17
95	64094	BARDOS	308400,200	1835922,800	22
96	64094	BARDOS	314323,100	1835245,400	26
97	64094	BARDOS	313379,500	1836987,100	17
98	64094	BARDOS	313790,800	1835453,500	26
99	64094	BARDOS	312997,200	1836150,400	22
100	64094	BARDOS	312600,300	1836213,300	10

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Pyrénées-Atlantiques

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
101	64094	BARDOS	311690,700	1835026,700	22
102	64095	BARINQUE	388316,300	1825331,300	13
103	64098	BASSILLON-VAUZE	404638,000	1831381,700	17
104	64098	BASSILLON-VAUZE	404741,200	1831471,400	10
105	64098	BASSILLON-VAUZE	404759,100	1831424,800	10
106	64098	BASSILLON-VAUZE	404704,400	1831367,900	17
107	64100	BASSUSSARRY	287825,200	1834984,500	21
108	64100	BASSUSSARRY	287979,300	1834363,600	21
109	64100	BASSUSSARRY	287867,800	1834939,000	21
110	64100	BASSUSSARRY	287919,100	1834398,300	21
111	64102	BAYONNE	292856,700	1839743,300	6
112	64102	BAYONNE	291481,100	1839466,900	6
113	64109	BENEJACQ	392377,300	1801859,300	7
114	64109	BENEJACQ	393024,000	1801515,600	19
115	64109	BENEJACQ	392296,000	1802296,600	6
116	64112	BERENX	339074,300	1837496,700	8
117	64112	BERENX	340125,000	1837441,100	8
118	64123	BIDACHE	315366,100	1837271,000	17
119	64123	BIDACHE	317974,700	1837226,700	22
120	64123	BIDACHE	318062,900	1837504,900	22
121	64123	BIDACHE	319091,900	1836031,700	22
122	64123	BIDACHE	319654,500	1835669,000	22
123	64123	BIDACHE	318101,200	1837060,000	22
124	64123	BIDACHE	317525,200	1837245,900	22
125	64123	BIDACHE	319375,600	1837015,500	22
126	64123	BIDACHE	319436,300	1836997,000	22
127	64123	BIDACHE	316625,200	1837476,800	22
128	64133	BOEL-BEZING	388366,500	1804992,700	7
129	64133	BOEL-BEZING	388019,400	1805827,900	7
130	64133	BOEL-BEZING	387779,700	1805482,300	7
131	64467	FONTIGNON	381338,700	1808385,900	13
132	64153	BUROSSE-MENDOUSSE	392999,200	1839012,800	17
133	64153	BUROSSE-MENDOUSSE	393583,800	1838708,700	13
134	64153	BUROSSE-MENDOUSSE	393442,200	1839025,900	13
135	64153	BUROSSE-MENDOUSSE	393652,000	1838886,900	13
136	64153	BUROSSE-MENDOUSSE	393756,900	1837712,300	13
137	64170	CASTAGNEDE	332096,400	1833504,700	22
138	64172	CASTEDE-CANDAU	366727,300	1840432,900	14
139	64172	CASTEDE-CANDAU	366296,700	1839430,400	15
140	64177	CASTETIS	351999,700	1834771,300	7
141	64177	CASTETIS	352478,800	1834462,200	9
142	64177	CASTETIS	353819,200	1834217,500	9
143	64177	CASTETIS	351738,100	1834942,700	7
144	64177	CASTETIS	352920,800	1834398,100	9
145	64177	CASTETIS	353107,600	1834356,700	9
146	64179	CASTETNER	350095,600	1831618,800	13
147	64179	CASTETNER	350095,600	1831618,800	13
148	64189	CIBOURE	274560,000	1828146,800	21
149	64189	CIBOURE	275546,800	1827152,600	21
150	64189	CIBOURE	273870,200	1827365,300	21
151	64189	CIBOURE	275387,900	1827488,300	21
152	64189	CIBOURE	274378,800	1828606,400	21
153	64189	CIBOURE	274985,300	1828773,000	21
154	64189	CIBOURE	274789,400	1828228,500	21
155	64189	CIBOURE	274681,100	1828858,300	21
156	64189	CIBOURE	273896,500	1829092,900	21
157	64189	CIBOURE	275857,000	1827582,100	21
158	64189	CIBOURE	273812,100	1829015,200	21
159	64189	CIBOURE	273812,100	1829015,200	21
160	64189	CIBOURE	274379,800	1828288,500	21
161	64189	CIBOURE	273709,500	1828380,900	21
162	64189	CIBOURE	274233,200	1828035,000	21
163	64189	CIBOURE	274497,000	1828331,000	21
164	64189	CIBOURE	274290,600	1828453,000	21
165	64189	CIBOURE	275285,000	1827941,200	6
166	64189	CIBOURE	275855,600	1827596,200	21
167	64189	CIBOURE	273920,500	1828479,700	21
168	64545	URRUGNE	273712,900	1829667,900	21
169	64189	CIBOURE	274529,600	1828456,900	21
170	64189	CIBOURE	275734,900	1827450,300	21
171	64189	CIBOURE	274842,100	1828597,600	21
172	64189	CIBOURE	273686,900	1828128,100	21
173	64189	CIBOURE	275067,400	1828750,500	6
174	64189	CIBOURE	274850,300	1828251,600	21
175	64189	CIBOURE	275657,900	1827413,100	21
176	64189	CIBOURE	274710,900	1828334,100	21
177	64189	CIBOURE	274463,600	1828837,200	21
178	64189	CIBOURE	274805,100	1828935,500	21
179	64189	CIBOURE	275056,100	1827735,700	6
180	64545	URRUGNE	273752,000	1829684,600	21
181	64190	CLARACQ	387052,900	1838253,500	11
182	64191	COARRAZE	391560,700	1798526,400	7
183	64191	COARRAZE	392893,800	1798666,900	22
184	64192	CONCHEZ-DE-BEARN	397181,500	1841339,700	13
185	64193	CORBERE-ABERES	403145,200	1834115,400	17
186	64193	CORBERE-ABERES	403062,400	1833896,400	14
187	64193	CORBERE-ABERES	402952,100	1832301,400	13
188	64193	CORBERE-ABERES	403013,300	1833907,800	14
189	64193	CORBERE-ABERES	402786,600	1833503,900	17
190	64193	CORBERE-ABERES	403188,000	1832696,500	17
191	64193	CORBERE-ABERES	404048,200	1833181,600	7
192	64193	CORBERE-ABERES	402315,800	1834244,000	13
193	64193	CORBERE-ABERES	404200,800	1833700,200	6
194	64196	CROUSEILLES	404651,400	1840744,100	17
195	64196	CROUSEILLES	404309,500	1840689,800	15
196	64196	CROUSEILLES	403609,400	1839615,200	13
197	64196	CROUSEILLES	403902,400	1840527,000	15
198	64196	CROUSEILLES	404347,500	1840092,900	14
199	64196	CROUSEILLES	405020,500	1840380,400	6
200	64393	MONEN	364208,700	1818085,700	7

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
201	64197	CUQUERON	365351,400	1815835,600	17
202	64219	ESTIALESCO	364456,100	1805908,200	2
203	64219	ESTIALESCO	364775,900	1806377,200	22
204	64219	ESTIALESCO	364942,500	1806723,300	22
205	64219	ESTIALESCO	365525,300	1806552,400	22
206	64219	ESTIALESCO	364920,600	1806482,300	22
207	64219	ESTIALESCO	364929,300	1806197,500	22
208	64219	ESTIALESCO	364811,000	1806456,000	22
209	64219	ESTIALESCO	364719,000	1806144,900	23
210	64226	FICHOUX-RUMAYOU	373233,300	1836190,900	13
211	64230	GAN	378244,300	1805938,000	19
212	64230	GAN	376537,100	1805387,300	19
213	64230	GAN	377619,900	1804679,700	19
214	64230	GAN	378718,700	1806720,600	19
215	64230	GAN	377484,600	1808273,100	17
216	64233	GARLIN	388669,800	1842862,900	11
217	64233	GARLIN	389180,300	1840663,500	6
218	64233	GARLIN	388609,400	1842878,800	11
219	64233	GARLIN	389400,200	1844010,700	3
220	64233	GARLIN	389416,200	1844062,300	3
221	64233	GARLIN	387804,500	1842823,700	11
222	64233	GARLIN	389364,600	1843982,300	13
223	64234	GAROS	372874,600	1838718,700	15
224	64234	GAROS	372473,300	1837784,700	13
225	64234	GAROS	371796,600	1837021,100	13
226	64243	GEUS-D'ARZACQ	368551,400	1836205,800	3
227	64243	GEUS-D'ARZACQ	368844,300	1835912,800	4
228	64243	GEUS-D'ARZACQ	368174,100	1835151,100	10
229	64243	GEUS-D'ARZACQ	368196,100	1835330,500	10
230	64243	GEUS-D'ARZACQ	368049,700	1835048,600	10
231	64236	GAYON	396668,000	1834522,100	17
232	64236	GAYON	396631,900	1834431,700	17
233	64236	GAYON	396230,700	1834099,300	13
234	64236	GAYON	397199,300	1835873,800	7
235	64249	GUETHARY	280371,100	1831971,400	21
236	64249	GUETHARY	280336,600	1832012,400	21
237	64249	GUETHARY	280018,000	1832296,500	21
238	64249	GUETHARY	280244,100	1831945,600	21
239	64249	GUETHARY	280364,700	1832839,000	21
240	64249	GUETHARY	280330,200	1831917,700	21
241	64249	GUETHARY	279998,700	1832542,000	21
242	64249	GUETHARY	280203,200	1832800,300	21
243	64249	GUETHARY	280186,000	1832505,400	21
244	64249	GUETHARY	280289,300	1832281,400	21
245	64249	GUETHARY	280465,900	1832343,900	21
246	64250	GUICHE	313043,900	1840726,900	17
247	64250	GUICHE	311136,000	1839623,800	18
248	64250	GUICHE	312904,700	1840104,600	17
249	64250	GUICHE	312095,400	1840217,700	17
250	64250	GUICHE	314098,100	1841823,100	18
251	64250	GUICHE	311732,100	1840322,100	18
252	64250	GUICHE	311714,700	1840415,700	18
253	64250	GUICHE	315110,700	1841470,800	6
254	64250	GUICHE	313320,300	1840898,600	18
255	64250	GUICHE	313798,900	1841775,400	18
256	64250	GUICHE	313002,700	1842378,000	6
257	64250	GUICHE	313711,900	1841751,500	18
258	64250	GUICHE	315894,800	1840158,700	998
259	64250	GUICHE	312533,200	1841213,600	18
260	64250	GUICHE	313531,300	1840528,800	18
261	64258	HASPARREN	304166,600	1828820,900	6
262	64260	HENDAYE	266917,500	1827130,600	22
263	64282	JATXOU	294793,900	1828352,000	10
264	64282	JATXOU	294229,300	1828537,000	10
265	64282	JATXOU	294768,400	1828336,100	10
266	64282	JATXOU	294761,900	1827913,000	26
267	64282	JATXOU	297359,400	1832109,300	26
268	64282	JATXOU	294749,200	1828310,500	10
269	64282	JATXOU	294398,300	1828068,100	10
270	64282	JATXOU	294554,600	1828160,500	10
271	64282	JATXOU	294816,200	1828355,100	10
272	64282	JATXOU	294270,700	1828725,300	10
273	64282	JATXOU	294580,100	1828173,400	10
274	64282	JATXOU	294841,700	1828355,200	10
275	64263	L'HOPITAL-D'ORION	342407,600	1832620,800	8
276	64263	L'HOPITAL-D'ORION	341803,900	1831288,600	6
277	64263	L'HOPITAL-D'ORION	342631,800	1831754,200	8
278	64263	L'HOPITAL-D'ORION	342903,400	1831956,800	3
279	64263	L'HOPITAL-D'ORION	341109,700	1831029,900	22
280	64263	L'HOPITAL-D'ORION	340264,600	1830960,900	13
281	64263	L'HOPITAL-D'ORION	342394,600	1832133,600	8
282	64263	L'HOPITAL-D'ORION	340212,900	1830913,500	13
283	64263	L'HOPITAL-D'ORION	341769,400	1831258,500	6
284	64263	L'HOPITAL-D'ORION	342787,000	1832310,400	3
285	64263	L'HOPITAL-D'ORION	341700,500	1831280,000	6
286	64263	L'HOPITAL-D'ORION	340031,800	1831064,400	13
287	64289	LA BASTIDE-CLAIRENCE	308745,400	1832240,300	6
288	64286	LAA-MONDRANS	347029,300	1832381,400	21
289	64286	LAA-MONDRANS	347601,600	1832362,300	21
290	64286	LAA-MONDRANS	347414,000	1832030,500	21
291	64286	LAA-MONDRANS	348375,700	1833886,500	21
292	64286	LAA-MONDRANS	348178,600	1833631,700	26
293	64286	LAA-MONDRANS	347269,800	1832472,900	21
294	64290	LABASTIDE-MONREJEAU	368880,100	1824989,900	13
295	64290	LABASTIDE-MONREJEAU	368615,800	1825068,800	13
296	64290	LABASTIDE-MONREJEAU	367208,600	1826318,200	13
297	64291	LABASTIDE-VILLEFRANCHE	327926,800	1832151,300	10
298	64295	LABEVRIE	359232,000	1842417,900	15
299	64296	LACADEE	357874,300	1841490,700	3
300	64296	LACADEE	358212,500	1841349,100	4

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Pyrénées-Atlantiques

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
301	64301	LAGOR	357897,700	1825782,500	17
302	64301	LAGOR	357796,800	1825750,100	17
303	64301	LAGOR	358452,800	1823779,000	19
304	64301	LAGOR	357036,600	1824654,700	20
305	64301	LAGOR	357814,800	1825809,500	17
306	64301	LAGOR	356917,600	1826467,000	17
307	64301	LAGOR	357130,200	1826160,800	17
308	64301	LAGOR	357191,500	1822532,400	19
309	64301	LAGOR	356121,300	1825332,000	20
310	64301	LAGOR	357461,700	1825811,300	17
311	64301	LAGOR	354687,200	1827061,600	19
312	64301	LAGOR	357209,500	1824395,200	20
313	64301	LAGOR	357159,000	1824024,100	20
314	64301	LAGOR	357339,100	1825959,000	17
315	64301	LAGOR	356182,600	1825249,200	20
316	64301	LAGOR	357569,800	1825613,100	17
317	64301	LAGOR	357695,900	1825465,400	17
318	64301	LAGOR	358052,700	1824669,100	17
319	64301	LAGOR	357245,500	1823807,900	20
320	64301	LAGOR	357450,800	1825735,600	17
321	64301	LAGOR	357634,600	1824391,600	20
322	64301	LAGOR	356604,200	1826885,000	17
323	64301	LAGOR	357883,200	1825519,400	17
324	64301	LAGOR	358196,700	1824467,200	17
325	64301	LAGOR	357270,700	1822521,500	19
326	64301	LAGOR	356665,400	1826751,700	17
327	64301	LAGOR	357750,000	1825627,500	17
328	64301	LAGOR	356989,700	1826377,000	17
329	64301	LAGOR	358005,700	1823530,500	19
330	64301	LAGOR	356989,700	1825058,200	20
331	64301	LAGOR	355984,400	1825296,000	20
332	64301	LAGOR	356618,600	1826989,600	17
333	64301	LAGOR	357584,200	1824341,100	20
334	64301	LAGOR	358074,200	1823490,900	19
335	64301	LAGOR	358041,800	1825559,100	17
336	64301	LAGOR	357151,800	1826369,700	17
337	64301	LAGOR	354755,800	1824114,100	13
338	64301	LAGOR	357692,200	1825559,100	998
339	64301	LAGOR	357872,500	1825645,500	17
340	64301	LAGOR	357195,000	1822582,800	19
341	64301	LAGOR	357627,400	1825620,400	17
342	64301	LAGOR	357400,400	1824265,500	20
343	64301	LAGOR	357753,500	1823595,400	19
344	64301	LAGOR	357004,100	1826276,100	17
345	64301	LAGOR	358106,600	1825868,900	7
346	64301	LAGOR	357418,400	1825872,500	17
347	64301	LAGOR	357850,800	1825141,100	17
348	64301	LAGOR	355007,800	1825627,500	19
349	64301	LAGOR	357425,600	1823573,700	19
350	64301	LAGOR	354777,400	1824872,700	13
351	64301	LAGOR	357220,300	1824078,200	20
352	64301	LAGOR	357728,300	1825822,000	17
353	64301	LAGOR	357486,900	1825706,700	17
354	64301	LAGOR	357335,600	1824240,300	20
355	64301	LAGOR	356344,700	1822110,800	13
356	64301	LAGOR	358041,800	1825595,200	17
357	64301	LAGOR	358041,800	1825631,100	17
358	64301	LAGOR	356431,200	1825133,900	20
359	64301	LAGOR	358221,900	1824456,500	17
360	64301	LAGOR	358027,300	1825955,400	7
361	64301	LAGOR	356197,000	1827490,300	17
362	64301	LAGOR	357973,400	1825710,400	17
363	64301	LAGOR	355422,300	1823285,500	13
364	64301	LAGOR	357850,800	1825141,100	17
365	64301	LAGOR	357771,500	1825710,400	17
366	64301	LAGOR	357868,900	1825793,200	17
367	64301	LAGOR	356499,700	1827090,400	17
368	64301	LAGOR	357508,600	1825775,300	17
369	64301	LAGOR	357112,200	1824499,700	20
370	64301	LAGOR	358005,800	1825714,000	17
371	64301	LAGOR	356950,100	1826301,200	17
372	64301	LAGOR	356996,900	1824452,800	20
373	64301	LAGOR	354517,900	1824946,500	13
374	64301	LAGOR	357169,800	1822431,600	19
375	64301	LAGOR	358618,300	1823865,500	17
376	64301	LAGOR	357569,800	1825699,600	17
377	64301	LAGOR	358005,800	1825677,900	17
378	64304	LAHONCE	297189,300	1836605,900	20
379	64304	LAHONCE	297554,100	1836897,300	22
380	64304	LAHONCE	297189,300	1836605,900	20
381	64305	LAHONTAN	334346,700	1840643,400	6
382	64305	LAHONTAN	332385,200	1839828,900	13
383	64307	LALONGUE	395157,100	1835067,600	5
384	64307	LALONGUE	395600,700	1834541,700	17
385	64314	LARCEVEAU-ARROS-CIBITS	320748,700	1809775,800	23
386	64314	LARCEVEAU-ARROS-CIBITS	321067,300	1809165,700	23
387	64314	LARCEVEAU-ARROS-CIBITS	321345,800	1808391,400	23
388	64317	LARRESSORE	294222,300	1825834,000	4
389	64317	LARRESSORE	292866,800	1827253,300	26
390	64317	LARRESSORE	293704,000	1826890,600	4
391	64317	LARRESSORE	293664,200	1825622,800	26
392	64324	LASSEUBE	370773,200	1806947,000	2
393	64324	LASSEUBE	370637,800	1807475,400	2
394	64324	LASSEUBE	372530,200	1807205,200	19
395	64324	LASSEUBE	372953,000	1806769,700	19
396	64324	LASSEUBE	370922,300	1806171,700	2
397	64324	LASSEUBE	371206,200	1806181,900	20
398	64324	LASSEUBE	371022,000	1806171,700	7
399	64324	LASSEUBE	371091,100	1806399,400	7
400	64324	LASSEUBE	373751,700	1806661,500	2

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
401	64324	LASSEUBE	370086,600	1804355,200	23
402	64230	GAN	374597,200	1805871,300	17
403	64324	LASSEUBE	370313,400	1803970,700	23
404	64324	LASSEUBE	371474,800	1806307,300	30
405	64324	LASSEUBE	372252,000	1808671,000	17
406	64324	LASSEUBE	370346,300	1807009,400	19
407	64324	LASSEUBE	370830,300	1806335,400	2
408	64324	LASSEUBE	373004,200	1806849,600	19
409	64324	LASSEUBE	371413,400	1806307,300	30
410	64324	LASSEUBE	369978,100	1807157,900	19
411	64324	LASSEUBE	370868,100	1806499,900	2
412	64324	LASSEUBE	370700,500	1806825,000	19
413	64324	LASSEUBE	370053,100	1807179,400	19
414	64324	LASSEUBE	370631,000	1806820,000	19
415	64324	LASSEUBE	371382,500	1805450,000	22
416	64324	LASSEUBE	370830,300	1806194,800	2
417	64324	LASSEUBE	370244,800	1806140,800	2
418	64324	LASSEUBE	368371,600	1802524,800	24
419	64335	LESCAR	373928,600	1819308,200	9
420	64348	LONS	376506,200	1815278,600	7
421	64348	LONS	378752,800	1818550,600	10
422	64349	LOUBIENG	351000,000	1830161,700	22
423	64349	LOUBIENG	350946,600	1830113,900	22
424	64357	LUCARRE	403738,300	1825822,300	17
425	64357	LUCARRE	403614,900	1825487,300	17
426	64366	MASCARAAS-HARON	393018,000	1842206,500	17
427	64366	MASCARAAS-HARON	392689,600	1841095,000	13
428	64382	MESPLEDE	358158,600	1838302,400	10
429	64382	MESPLEDE	357023,900	1836796,600	13
430	64382	MESPLEDE	357023,900	1836387,000	13
431	64382	MESPLEDE	357001,600	1836852,000	13
432	64382	MESPLEDE	357156,600	1835822,400	13
433	64392	MONCLA	392865,700	1845066,200	13
434	64392	MONCLA	392273,600	1845548,500	5
435	64392	MONCLA	392021,900	1845700,800	13
436	64392	MONCLA	392089,300	1845023,800	13
437	64392	MONCLA	393372,800	1844743,500	17
438	64392	MONCLA	392567,800	1845764,600	13
439	64393	MONEIN	362927,600	1819982,000	7
440	64393	MONEIN	363244,500	1814543,600	17
441	64393	MONEIN	358804,700	1815644,700	17
442	64393	MONEIN	363294,900	1810114,500	7
443	64393	MONEIN	363909,000	1813439,700	4
444	64393	MONEIN	361817,000	1819330,100	17
445	64393	MONEIN	361369,500	1819315,000	7
446	64393	MONEIN	363375,800	1818445,100	7
447	64393	MONEIN	362224,300	1818621,100	17
448	64393	MONEIN	362209,300	1818812,200	17
449	64393	MONEIN	366855,500	1814916,900	17
450	64401	MONT-DISSE	398785,600	1842827,000	17
451	64401	MONT-DISSE	398973,500	1842497,300	17
452	64401	MONT-DISSE	398732,700	1842841,300	17
453	64401	MONT-DISSE	399008,400	1842881,600	17
454	64401	MONT-DISSE	399333,400	1841502,000	14
455	64401	MONT-DISSE	398756,500	1843092,800	17
456	64401	MONT-DISSE	398804,200	1842182,300	17
457	64401	MONT-DISSE	398661,200	1842018,200	17
458	64401	MONT-DISSE	399979,200	1843431,600	17
459	64401	MONT-DISSE	398597,700	1842732,800	17
460	64399	MONTARDON	382229,400	1821801,100	10
461	64399	MONTARDON	382481,500	1822921,400	11
462	64407	MOUGUERRE	296080,800	1837160,100	22
463	64407	MOUGUERRE	295301,700	1838219,700	22
464	64407	MOUGUERRE	295758,400	1836701,000	22
465	64407	MOUGUERRE	296931,600	1835700,100	22
466	64407	MOUGUERRE	295880,600	1836856,200	22
467	64407	MOUGUERRE	295290,100	1837202,900	22
468	64407	MOUGUERRE	297558,300	1833062,000	26
469	64407	MOUGUERRE	295443,500	1837248,800	22
470	64410	MOURENX	358893,000	1822038,300	17
471	64410	MOURENX	359011,400	1824006,200	4
472	64410	MOURENX	359053,400	1824460,200	17
473	64410	MOURENX	360194,500	1823316,600	17
474	64410	MOURENX	360189,000	1823330,800	17
475	64410	MOURENX	358939,300	1823364,100	17
476	64410	MOURENX	358972,000	1822625,800	17
477	64410	MOURENX	359107,500	1822705,100	17
478	64410	MOURENX	360217,900	1823421,000	17
479	64410	MOURENX	360426,600	1824415,500	7
480	64410	MOURENX	360869,300	1824726,300	7
481	64410	MOURENX	359593,300	1822207,700	17
482	64410	MOURENX	359373,500	1822746,300	17
483	64410	MOURENX	360262,700	1823369,900	17
484	64410	MOURENX	359347,400	1823720,600	4
485	64410	MOURENX	359305,700	1823762,100	7
486	64410	MOURENX	359183,600	1822893,200	17
487	64410	MOURENX	359182,800	1822886,400	17
488	64410	MOURENX	360177,400	1823348,600	17
489	64410	MOURENX	359436,000	1822231,600	17
490	64410	MOURENX	360303,100	1823240,000	17
491	64410	MOURENX	359129,700	1822857,900	17
492	64410	MOURENX	359174,400	1822831,000	17
493	64410	MOURENX	359150,000	1823825,300	7
494	64410	MOURENX	358987,700	1822540,400	17
495	64410	MOURENX	358820,700	1822059,300	17
496	64410	MOURENX	359637,800	1823248,800	4
497	64410	MOURENX	360148,000	1823269,100	17
498	64410	MOURENX	359510,200	1822256,000	17
499	64410	MOURENX	359176,000	1822852,000	17
500	64410	MOURENX	358839,200	1823436,900	17

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Pyrénées-Atlantiques

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
501	64410	MOURENX	360204,800	1823272,400	17
502	64410	MOURENX	358952,700	1822304,900	17
503	64410	MOURENX	358958,800	1822076,300	17
504	64410	MOURENX	359172,700	1822823,400	17
505	64410	MOURENX	359177,600	1822857,900	17
506	64410	MOURENX	358639,200	1822132,100	17
507	64410	MOURENX	359051,900	1823775,400	4
508	64410	MOURENX	358927,300	1822247,300	17
509	64410	MOURENX	359301,200	1822077,100	17
510	64410	MOURENX	359136,000	1822739,800	17
511	64410	MOURENX	358924,000	1823503,700	17
512	64410	MOURENX	358977,600	1823632,600	17
513	64410	MOURENX	360298,900	1823337,900	17
514	64410	MOURENX	358953,500	1822018,600	17
515	64410	MOURENX	359041,600	1823811,500	4
516	64410	MOURENX	359390,900	1823262,500	4
517	64410	MOURENX	359363,400	1822712,200	17
518	64410	MOURENX	359033,800	1824010,500	7
519	64410	MOURENX	359882,000	1823725,100	17
520	64410	MOURENX	360665,100	1824566,700	7
521	64410	MOURENX	359012,600	1823852,200	4
522	64410	MOURENX	359211,100	1823786,500	7
523	64410	MOURENX	360198,900	1823344,400	17
524	64410	MOURENX	359110,800	1822862,100	17
525	64410	MOURENX	359427,500	1822260,800	17
526	64410	MOURENX	359002,100	1823870,700	4
527	64413	NARCASTET	383762,300	1806699,400	13
528	64324	LASSEUBE	370897,600	1801752,500	24
529	64421	OGEULLES-BAINS	370457,700	1800058,500	25
530	64422	OLORON-SAINTE-MARIE	359923,000	1803498,000	7
531	64428	ORRIULE	341346,900	1827958,600	998
532	64428	ORRIULE	342692,000	1828342,800	22
533	64428	ORRIULE	342985,400	1828241,700	22
534	64430	ORTHEZ	347009,500	1836347,000	26
535	64430	ORTHEZ	346851,600	1836343,400	26
536	64430	ORTHEZ	348155,900	1837814,300	22
537	64430	ORTHEZ	349008,400	1837239,700	4
538	64430	ORTHEZ	348728,000	1836797,100	22
539	64430	ORTHEZ	348200,800	1836977,500	21
540	64430	ORTHEZ	348752,800	1836833,500	22
541	64430	ORTHEZ	348671,900	1837242,200	22
542	64430	ORTHEZ	345939,400	1838184,100	30
543	64430	ORTHEZ	349882,600	1836326,300	4
544	64430	ORTHEZ	349637,700	1836219,600	22
545	64430	ORTHEZ	348015,400	1837734,400	22
546	64430	ORTHEZ	347757,500	1838214,400	22
547	64430	ORTHEZ	349045,600	1836719,900	22
548	64430	ORTHEZ	348445,000	1836636,500	7
549	64430	ORTHEZ	347629,200	1837042,600	7
550	64430	ORTHEZ	347499,800	1837354,500	21
551	64430	ORTHEZ	348260,900	1836126,400	6
552	64430	ORTHEZ	347945,300	1837698,500	22
553	64430	ORTHEZ	345326,500	1837752,500	21
554	64430	ORTHEZ	348147,800	1837541,600	22
555	64430	ORTHEZ	348232,300	1837721,300	22
556	64444	PARDIES-PIETAT	384704,000	1804273,800	7
557	64444	PARDIES-PIETAT	384704,000	1804273,800	7
558	64444	PARDIES-PIETAT	382572,600	1805083,100	13
559	64455	PORTET	396345,600	1845270,500	13
560	64455	PORTET	397483,800	1845211,900	17
561	64455	PORTET	396562,300	1845388,100	13
562	64455	PORTET	397528,900	1845040,200	17
563	64455	PORTET	397118,000	1845717,800	17
564	64455	PORTET	394936,300	1842908,200	7
565	64455	PORTET	397113,400	1845812,600	17
566	64455	PORTET	396354,600	1845415,100	13
567	64455	PORTET	396390,700	1845387,900	13
568	64455	PORTET	396444,900	1845117,000	13
569	64455	PORTET	396255,200	1844764,700	5
570	64462	RAMOUS	340536,000	1840844,400	22
571	64462	RAMOUS	338114,700	1841356,800	7
572	64462	RAMOUS	339671,800	1841327,800	22
573	64462	RAMOUS	339235,600	1841719,500	998
574	64462	RAMOUS	338371,600	1841787,500	18
575	64462	RAMOUS	338522,400	1840804,300	7
576	64462	RAMOUS	340081,600	1841158,500	22
577	64462	RAMOUS	340420,200	1840817,700	22
578	64462	RAMOUS	340609,500	1840984,800	22
579	64462	RAMOUS	340306,600	1840719,700	22
580	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294388,300	1836240,300	22
581	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293278,100	1837378,300	16
582	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294371,700	1836225,400	22
583	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294431,500	1836232,600	22
584	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294124,100	1836919,500	22
585	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293844,000	1836263,800	22
586	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294084,400	1837070,300	22
587	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294000,900	1835884,600	22
588	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294271,000	1835795,100	22
589	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294022,700	1835872,500	22
590	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294545,200	1835828,900	22
591	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294267,100	1836291,700	22
592	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293656,500	1837465,700	16
593	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294229,400	1836269,900	22
594	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293440,300	1837270,200	16
595	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293382,500	1836311,800	998
596	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	292528,700	1836335,700	16
597	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293036,700	1835832,400	22
598	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294277,100	1836319,500	22
599	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294499,500	1835751,400	22
600	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293278,100	1837378,300	16

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
601	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293994,900	1835856,700	22
602	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294030,800	1836885,700	18
603	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294998,700	1835527,000	22
604	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294279,000	1836262,000	22
605	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293838,100	1836196,300	22
606	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294936,500	1835393,800	22
607	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294628,600	1835487,300	22
608	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294654,500	1835771,300	22
609	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294706,700	1836192,200	22
610	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294532,600	1836159,100	22
611	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294371,700	1836278,500	22
612	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294716,700	1836225,400	22
613	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294459,800	1836597,600	22
614	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293174,700	1837465,700	16
615	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293975,100	1836871,700	18
616	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294748,200	1836177,300	22
617	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294433,900	1835618,300	22
618	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293174,700	1837465,700	16
619	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294534,300	1836197,100	22
620	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294690,100	1836054,600	22
621	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294539,200	1836067,800	22
622	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293977,200	1836800,200	18
623	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293500,700	1837309,900	16
624	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294116,100	1836466,500	22
625	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294348,500	1836185,500	22
626	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293770,500	1835358,100	22
627	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	293294,300	1836060,800	18
628	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294058,500	1835848,700	22
629	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294517,300	1835687,800	22
630	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294626,600	1835765,300	22
631	64496	SAINT-PIERRE-D'IRUBE	294209,500	1836951,200	22
632	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276436,500	1830440,700	21
633	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	275990,900	1829841,100	6
634	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276285,100	1830386,800	21
635	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276825,500	1829716,800	21
636	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276842,600	1829912,200	21
637	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276437,900	1830333,100	21
638	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276994,000	1830251,600	21
639	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	275868,800	1829208,600	6
640	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276338,800	1830392,600	21
641	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277523,500	1830233,300	21
642	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277510,800	1829722,700	21
643	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276691,700	1829216,500	6
644	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276609,400	1828669,900	6
645	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276150,700	1829946,700	21
646	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	279085,700	1831973,000	21
647	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276744,800	1830219,900	21
648	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277491,400	1830213,800	21
649	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276598,600	1829890,200	21
650	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277446,300	1828926,200	21
651	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277498,800	1830246,600	21
652	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276444,800	1829183,200	21
653	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277491,400	1830410,800	21
654	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276034,900	1829597,300	21
655	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277526,800	1829682,200	21
656	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276840,000	1830102,700	21
657	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276429,800	1829917,100	21
658	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276747,200	1829685,000	21
659	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277475,200	1830268,700	21
660	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276119,500	1830191,600	21
661	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276413,500	1829336,000	21
662	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276264,900	1829637,600	21
663	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276617,900	1830344,500	21
664	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	278792,000	1831527,600	21
665	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276290,700	1830360,000	21
666	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276140,700	1830505,700	21
667	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276588,600	1830088,000	21
668	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276668,200	1829179,300	6
669	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276832,800	1829931,800	21
670	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277555,700	1829715,000	21
671	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276532,300	1830307,900	21
672	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277492,700	1830263,700	21
673	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276511,500	1829479,000	21
674	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276168,100	1829582,200	21
675	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276869,400	1830009,900	21
676	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	278675,800	1831718,000	21
677	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276068,500	1830296,300	21
678	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277069,600	1829929,200	21
679	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276746,500	1829518,200	21
680	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277481,800	1830255,900	21
681	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	277484,800	1830239,700	21
682	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276905,200	1829604,400	21
683	64483	SAINT-JEAN-DE-LUZ	276845,000	1830063,600	21
684	64486	SAINT-JEAN-POUDGE	395962,400	1839292,600	10
685	64486	SAINT-JEAN-POUDGE	395756,700	1839609,000	10
686	64486	SAINT-JEAN-POUDGE	395664,900	1839074,500	17
687	64491	SAINT-MEDARD	363845,300	1840185,500	14
688	64491	SAINT-MEDARD	364651,900	1842249,000	14
689	64491	SAINT-MEDARD	362253,400	1841353,900	14
690	64491	SAINT-MEDARD	361816,800	1841406,400	14
691	64491	SAINT-MEDARD	363688,100	1840682,900	13
692	64491	SAINT-MEDARD	363975,900	1840797,200	13
693	64491	SAINT-MEDARD	363953,200	1841836,000	14
694	64491	SAINT-MEDARD	362974,700	1840843,100	13
695	64491	SAINT-MEDARD	362958,000	1840914,000	13
696	64491	SAINT-MEDARD	362969,800	1841209,100	15
697	64491	SAINT-MEDARD	363905,000	1842415,900	14
698	64491	SAINT-MEDARD	363706,700	1841002,900	14
699	64491	SAINT-MEDARD	364397,300	1842336,600	13
700	64491	SAINT-MEDARD	363807,000	1842377,700	14

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département des Pyrénées-Atlantiques

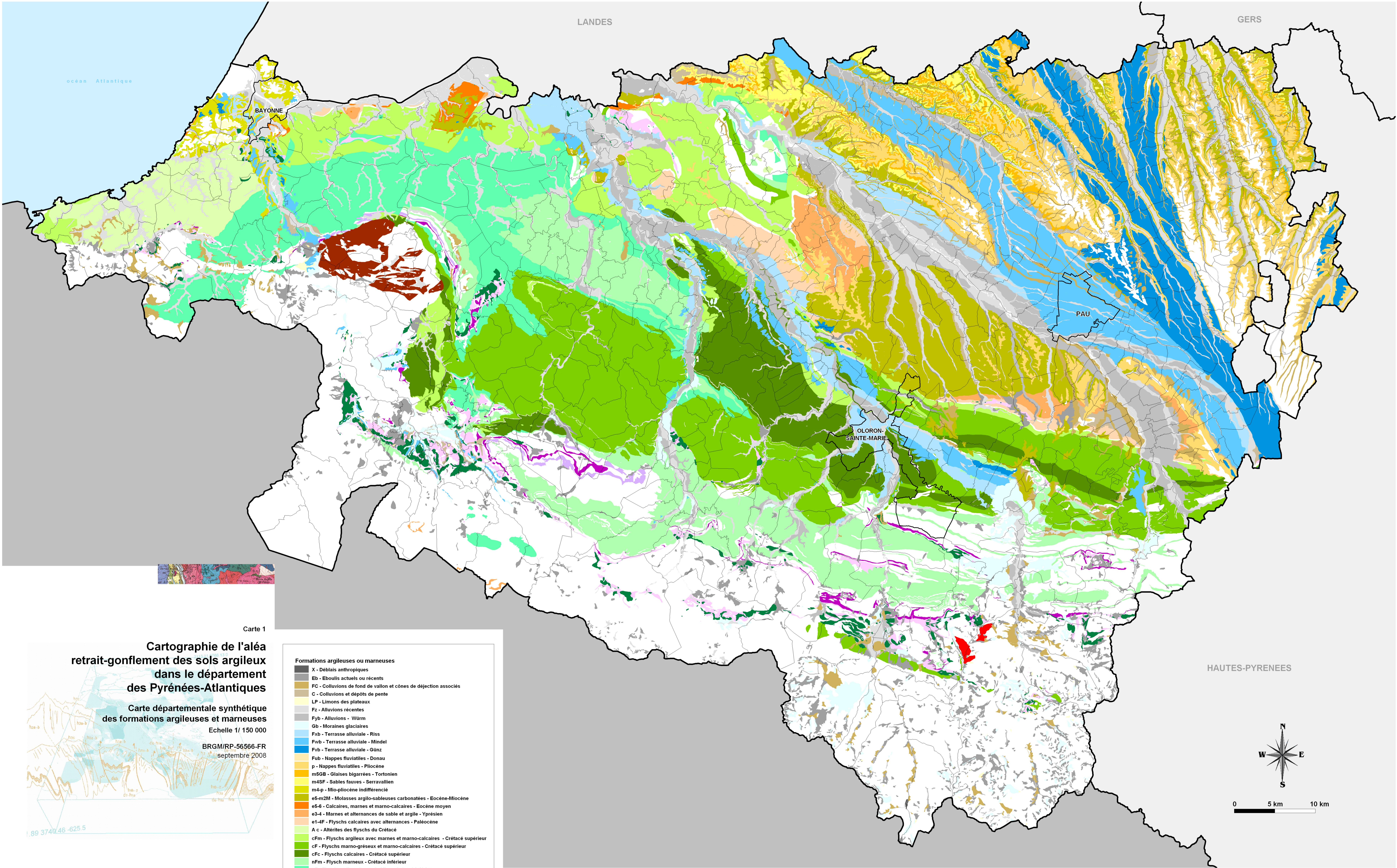
N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
701	64491	SAINT-MEDARD	363492,100	1839937,700	17
702	64491	SAINT-MEDARD	360760,200	1841032,500	7
703	64491	SAINT-MEDARD	363571,300	1840705,300	13
704	64491	SAINT-MEDARD	362540,800	1841235,200	14
705	64491	SAINT-MEDARD	362642,500	1841177,100	14
706	64491	SAINT-MEDARD	363729,100	1841092,100	14
707	64491	SAINT-MEDARD	364781,200	1842128,000	14
708	64491	SAINT-MEDARD	363633,900	1839545,600	7
709	64491	SAINT-MEDARD	364685,100	1841894,700	14
710	64491	SAINT-MEDARD	363809,100	1839654,100	3
711	64491	SAINT-MEDARD	362601,200	1840361,500	17
712	64491	SAINT-MEDARD	362651,600	1841418,900	14
713	64491	SAINT-MEDARD	363074,600	1840695,800	13
714	64495	SAINT-PEE-SUR-NIVELLE	283838,200	1824773,800	6
715	64499	SALIES-DE-BEARN	339611,900	1836115,900	8
716	64286	LAA-MONDRANS	347269,800	1832472,900	21
717	64499	SALIES-DE-BEARN	335917,700	1837179,000	8
718	64499	SALIES-DE-BEARN	335794,700	1834379,000	22
719	64499	SALIES-DE-BEARN	338630,800	1833235,900	22
720	64499	SALIES-DE-BEARN	335841,500	1836665,500	8
721	64499	SALIES-DE-BEARN	335829,200	1836109,800	8
722	64499	SALIES-DE-BEARN	335319,200	1832413,900	22
723	64499	SALIES-DE-BEARN	337215,000	1836344,800	8
724	64499	SALIES-DE-BEARN	337641,600	1837027,400	8
725	64499	SALIES-DE-BEARN	339881,900	1835765,500	8
726	64499	SALIES-DE-BEARN	337868,900	1832877,900	22
727	64499	SALIES-DE-BEARN	335907,400	1835979,500	8
728	64499	SALIES-DE-BEARN	336768,800	1834115,400	21
729	64499	SALIES-DE-BEARN	336553,500	1836086,900	8
730	64499	SALIES-DE-BEARN	335153,000	1832253,400	22
731	64499	SALIES-DE-BEARN	335880,800	1832110,100	20
732	64499	SALIES-DE-BEARN	336341,800	1835802,000	6
733	64499	SALIES-DE-BEARN	335726,700	1836690,100	8
734	64499	SALIES-DE-BEARN	336357,800	1836427,400	8
735	64499	SALIES-DE-BEARN	335785,800	1835796,500	8
736	64499	SALIES-DE-BEARN	335734,700	1836136,200	8
737	64499	SALIES-DE-BEARN	334024,400	1836280,600	9
738	64499	SALIES-DE-BEARN	337811,600	1834402,000	22
739	64499	SALIES-DE-BEARN	335766,200	1834562,400	30
740	64499	SALIES-DE-BEARN	338327,200	1832150,200	13
741	64499	SALIES-DE-BEARN	335610,300	1835915,400	8
742	64499	SALIES-DE-BEARN	335694,600	1836501,500	8
743	64499	SALIES-DE-BEARN	336201,600	1834866,000	21
744	64499	SALIES-DE-BEARN	334253,300	1835754,800	7
745	64499	SALIES-DE-BEARN	336875,700	1831575,500	22
746	64499	SALIES-DE-BEARN	336299,100	1834762,800	21
747	64499	SALIES-DE-BEARN	335895,300	1837545,200	13
748	64499	SALIES-DE-BEARN	334797,900	1833015,500	22
749	64499	SALIES-DE-BEARN	335674,400	1836360,900	8
750	64499	SALIES-DE-BEARN	336011,700	1837666,500	13
751	64499	SALIES-DE-BEARN	335909,400	1833892,000	22
752	64499	SALIES-DE-BEARN	338187,400	1836606,100	8
753	64499	SALIES-DE-BEARN	335292,200	1837973,900	13
754	64499	SALIES-DE-BEARN	335433,900	1832499,800	22
755	64499	SALIES-DE-BEARN	336525,600	1836176,300	8
756	64499	SALIES-DE-BEARN	338293,300	1836559,800	8
757	64499	SALIES-DE-BEARN	335514,000	1833313,300	22
758	64499	SALIES-DE-BEARN	336043,800	1835674,500	7
759	64499	SALIES-DE-BEARN	335662,400	1836027,800	8
760	64499	SALIES-DE-BEARN	334763,400	1832471,200	22
761	64499	SALIES-DE-BEARN	334863,400	1833781,600	22
762	64499	SALIES-DE-BEARN	335708,800	1834694,100	7
763	64499	SALIES-DE-BEARN	338751,100	1832133,100	13
764	64499	SALIES-DE-BEARN	333502,600	1836662,000	30
765	64499	SALIES-DE-BEARN	336702,200	1836011,700	8
766	64499	SALIES-DE-BEARN	334459,800	1833227,400	22
767	64499	SALIES-DE-BEARN	336723,000	1833995,100	21
768	64499	SALIES-DE-BEARN	335230,900	1834290,900	22
769	64499	SALIES-DE-BEARN	335915,100	1834470,700	30
770	64499	SALIES-DE-BEARN	336175,100	1834827,200	21
771	64499	SALIES-DE-BEARN	335940,900	1834954,400	30
772	64499	SALIES-DE-BEARN	337320,400	1837131,800	8
773	64499	SALIES-DE-BEARN	336665,700	1834665,500	22
774	64499	SALIES-DE-BEARN	339266,800	1831348,000	13
775	64499	SALIES-DE-BEARN	336190,100	1831628,900	20
776	64499	SALIES-DE-BEARN	335456,800	1834327,500	22
777	64499	SALIES-DE-BEARN	337110,100	1833835,300	22
778	64499	SALIES-DE-BEARN	338554,100	1836981,600	8
779	64499	SALIES-DE-BEARN	335784,900	1837019,500	8
780	64499	SALIES-DE-BEARN	336436,500	1833250,300	22
781	64499	SALIES-DE-BEARN	337811,600	1832889,300	22
782	64499	SALIES-DE-BEARN	335999,700	1835911,300	8
783	64499	SALIES-DE-BEARN	336303,200	1832196,600	13
784	64499	SALIES-DE-BEARN	332302,300	1835967,600	6
785	64499	SALIES-DE-BEARN	335795,000	1836734,300	8
786	64499	SALIES-DE-BEARN	337745,900	1837151,800	8
787	64499	SALIES-DE-BEARN	334717,600	1832499,800	22
788	64499	SALIES-DE-BEARN	335642,400	1836228,500	8
789	64499	SALIES-DE-BEARN	337506,000	1835397,000	22
790	64499	SALIES-DE-BEARN	335044,800	1833941,500	22
791	64499	SALIES-DE-BEARN	336649,300	1832639,700	21
792	64499	SALIES-DE-BEARN	335305,100	1836433,200	30
793	64499	SALIES-DE-BEARN	339050,600	1837485,100	8
794	64499	SALIES-DE-BEARN	337238,600	1833645,700	22
795	64499	SALIES-DE-BEARN	336493,500	1836304,800	8
796	64499	SALIES-DE-BEARN	335417,500	1836529,600	8
797	64499	SALIES-DE-BEARN	335871,100	1837139,800	8
798	64500	SALLES-MONGISCARD	342449,800	1836566,900	3
799	64500	SALLES-MONGISCARD	341744,700	1835044,400	8
800	64500	SALLES-MONGISCARD	341766,700	1835117,400	8

N° SINISTRE	INSEE_COMMUNE	NOM_COMMUNE	X_LICARTO	Y_LICARTO	N° FORMATION
801	64500	SALLES-MONGISCARD	341755,700	1834979,100	8
802	64500	SALLES-MONGISCARD	343645,700	1837160,500	8
803	64500	SALLES-MONGISCARD	343287,900	1836261,700	23
804	64500	SALLES-MONGISCARD	343493,200	1837815,700	8
805	64513	SAUVETERRE-DE-BEARN	336144,800	1828098,800	22
806	64519	SERRES-CASTET	381578,800	1824235,800	5
807	64521	SERRES-SAINT-MARIE	365884,900	1828402,900	13
808	64521	SERRES-SAINT-MARIE	366556,900	1827177,200	13
809	64521	SERRES-SAINT-MARIE	365700,300	1827862,700	13
810	64521	SERRES-SAINT-MARIE	366041,500	1827286,600	17
811	64521	SERRES-SAINT-MARIE	366549,800	1827141,700	13
812	64521	SERRES-SAINT-MARIE	366133,700	1826686,700	9
813	64521	SERRES-SAINT-MARIE	364405,400	1827475,400	3
814	64521	SERRES-SAINT-MARIE	366003,100	1827949,700	13
815	64529	SUS	344974,200	1813873,900	24
816	64540	URCUI	302504,800	1838431,500	22
817	64540	URCUI	300962,100	1838204,700	19
818	64540	URCUI	301971,800	1838387,400	22
819	64545	URRUGNE	273486,100	1829202,200	6
820	64545	URRUGNE	272939,800	1826764,400	21
821	64545	URRUGNE	273633,300	1826026,800	21
822	64545	URRUGNE	274051,600	1827201,400	6
823	64545	URRUGNE	273536,700	1829365,100	6
824	64546	URT	306577,900	1839073,100	998
825	64547	USTARITZ	292568,800	1828963,700	26
826	64558	VILLEFRANQUE	293938,400	1832699,500	22
827	64558	VILLEFRANQUE	293199,900	1832042,000	26
828	64558	VILLEFRANQUE	293396,400	1834342,600	22
829	64558	VILLEFRANQUE	293434,900	1834938,000	22
830	64558	VILLEFRANQUE	293108,500	1834275,900	6
831	64558	VILLEFRANQUE	294450,200	1833805,500	22
832	64558	VILLEFRANQUE	293462,300	1834963,800	22
833	64558	VILLEFRANQUE	292679,700	1834087,800	16
834	64558	VILLEFRANQUE	293000,300	1832916,400	16
835	64558	VILLEFRANQUE	293950,900	1832339,500	26
836	64558	VILLEFRANQUE	293325,800	1834735,300	22
837	64558	VILLEFRANQUE	291131,200	1834241,700	6
838	64558	VILLEFRANQUE	293021,400	1836476,700	6
839	64558	VILLEFRANQUE	293021,400	1836476,700	6

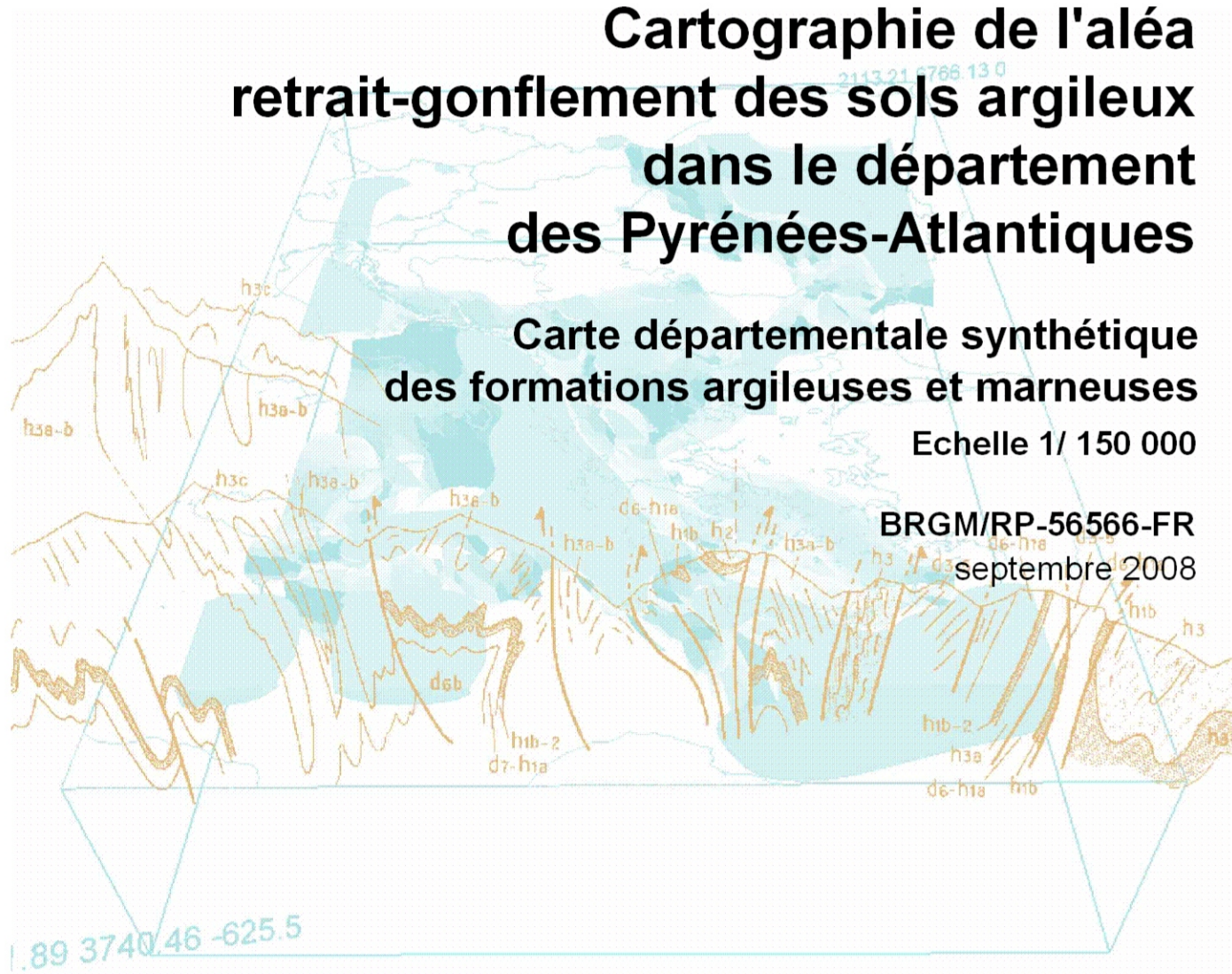


Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemain
BP 6009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

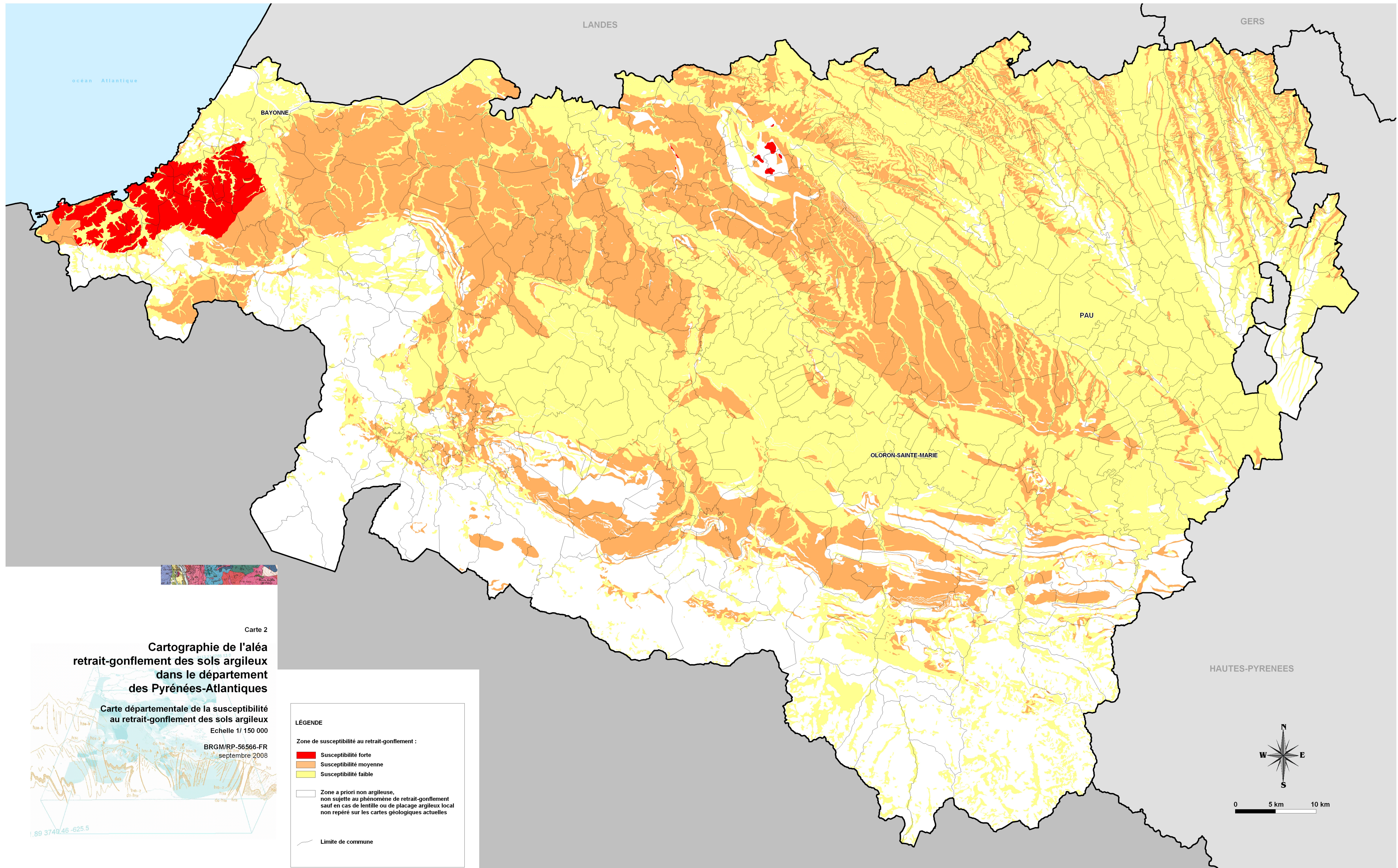
Service géologique régional Aquitaine
Europarc
24, allée Léonard de Vinci
33600 Pessac - France
Tél. : 05 57 26 52 70



Carte 1



- Formations argileuses ou marneuses**
- X - Déblais anthropiques
 - Eb - Eboulis actuels ou récents
 - FC - Colluvions de fond de vallon et cônes de déjection associés
 - C - Colluvions et dépôts de pente
 - LP - Limons des plateaux
 - Fz - Alluvions récentes
 - Fyb - Alluvions - Würm
 - Gb - Moraines glaciaires
 - Fxb - Terrasse alluviale - Riss
 - Fwb - Terrasse alluviale - Mindel
 - Fvb - Terrasse alluviale - Günz
 - Fub - Nappes fluviatiles - Donau
 - p - Nappes fluviatiles - Pliocène
 - m5GB - Glaisses bigarrées - Tortonien
 - m4SF - Sables fauves - Serravallien
 - m4-p - Mio-pliocène indifférencié
 - e5-m2M - Molasses argilo-sableuses carbonatées - Eocène-Miocène
 - e5-6 - Calcaires, marnes et marno-calcaires - Eocène moyen
 - e3-4 - Marnes et alternances de sable et argile - Yprésien
 - e1-4F - Flyschs calcaires avec alternances - Paléocène
 - A c - Altérites des flyschs du Crétacé
 - cPm - Flyschs argileux avec marnes et marno-calcaires - Crétacé supérieur
 - cF - Flyschs marno-gréseux et marno-calcaires - Crétacé supérieur
 - cPc - Flyschs calcaires - Crétacé supérieur
 - nFm - Flysch marneux - Crétacé inférieur
 - nF - Flysch argilo-gréseux de Mixe - Crétacé inférieur
 - j4-5 - Marnes d'Hosta - Callovien-Oxfordien
 - j1-j4 - Marnes et calcaires - Jurassique
 - i4 - Marnes - Toarcien
 - t3-7 - Marnes bartoliées gypsifères, dolomies, cargneules - Keuper
 - Oph - Ophites
 - d3-5 - Pelites argileuses et argilo-gréseuses - Dévonien
 - Gne - Gneiss du Labourd - Précambrien
 - NA - Formations a priori non argileuses
- Limite de commune



Carte 2

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

Carte départementale de la susceptibilité
au retrait-gonflement des sols argileux
Echelle 1/ 150 000

BRGM/RP-56566-FR
septembre 2008

LÉGENDE

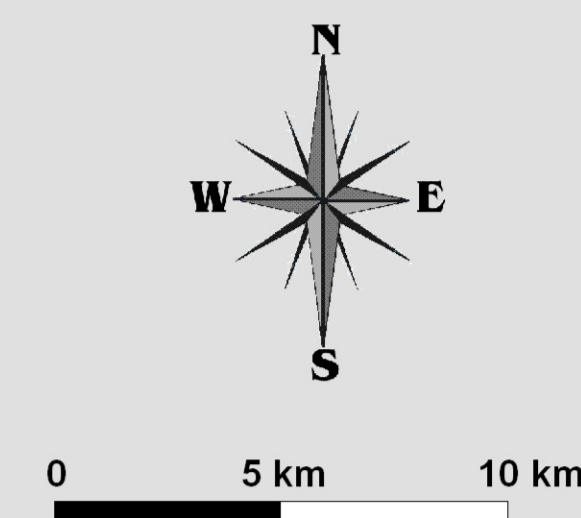
Zone de susceptibilité au retrait-gonflement :

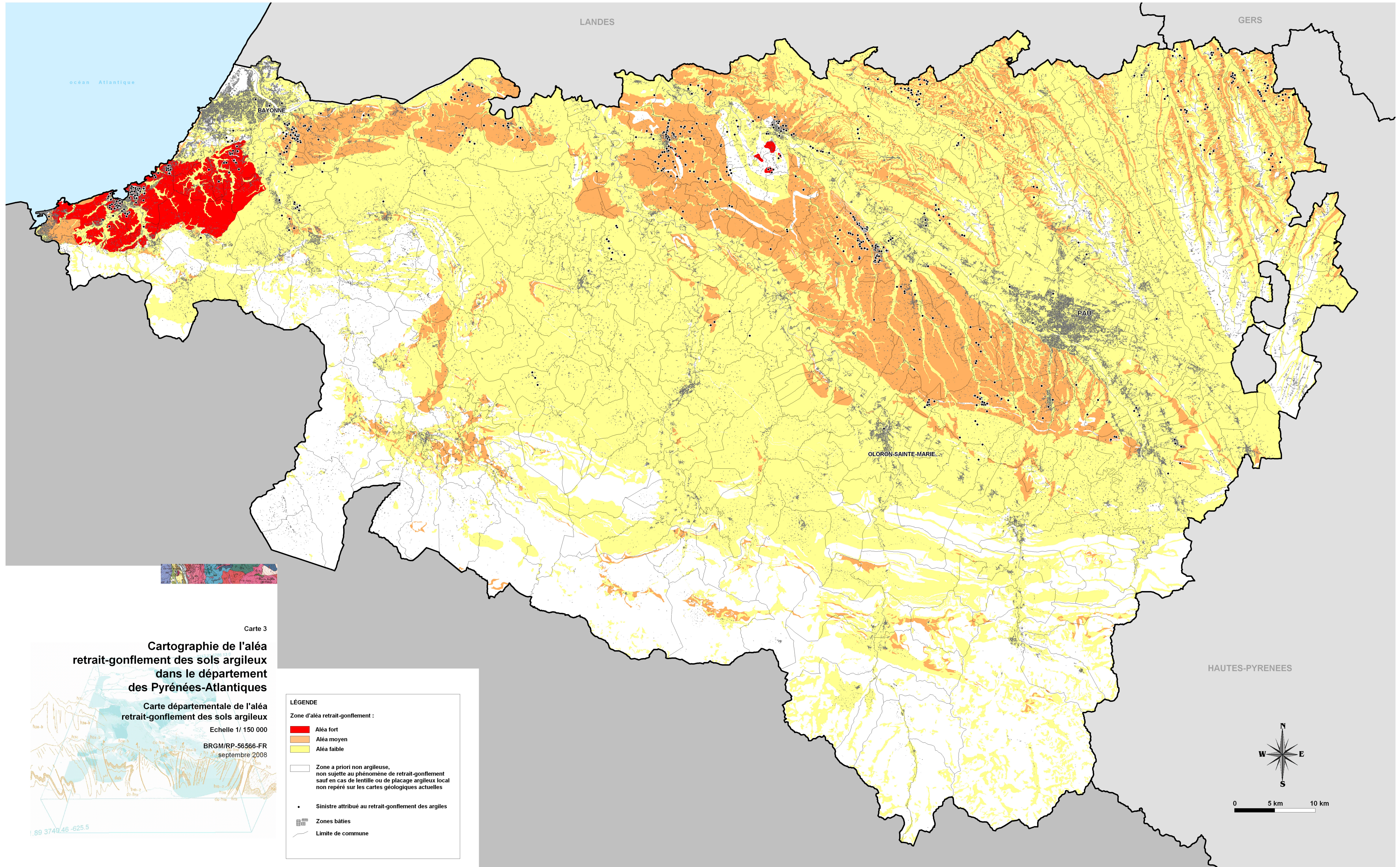
- Susceptibilité forte
- Susceptibilité moyenne
- Susceptibilité faible

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

HAUTES-PYRENEES





Carte 3

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

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

Echelle 1/ 150 000

BRGM/RP-56566-FR
septembre 2008



LÉGENDE

Zone d'aléa retrait-gonflement :

- Aléa fort
- Aléa moyen
- Aléa faible

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

• Sinistre attribué au retrait-gonflement des argiles

Zones bâties

Limite de commune