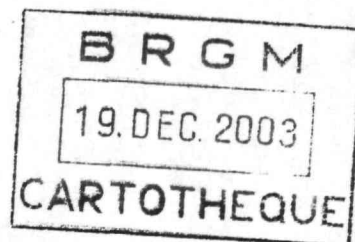


Document public



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Haute Garonne

Rapport final

BRGM/RP- 51894-FR
décembre 2002



Préfecture de la
Haute Garonne



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère de l'Équipement,
des Transports, du Logement,
du Tourisme et de la Mer



Direction départementale
de l'Équipement
Tarn et Garonne



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Mots clés : cartographie, aléa, risque naturel, Haute Garonne, retrait-gonflement, sinistre sécheresse, argiles, molasse.

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

G. Delpont, C. Roudaut, M. Vincent avec la collaboration J.P. Capdeville. (2002) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de la Haute Garonne. Rapport BRGM/RP-RP-51894-FR, 84 pages, 13 tableaux, 11 figures, 3 annexes, 3 cartes hors texte, 1 cdrom

© BRGM, 2002. Ce document ne peut être reproduit en totalité ou partie sans l'autorisation expresse du BRGM

Synthèse

L'objectif de la présente étude est d'établir pour le département de la Haute-Garonne (région Midi-Pyrénées) **une cartographie départementale de l'aléa lié au phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses affleurantes à sub-affleurantes**. Ce département a en effet fait l'objet de très nombreux arrêtés de catastrophe naturelle pour des désordres du bâti attribués à des **mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et réhydratation des sols**. Entre 1989 et 2000, **396 communes** du département ont été reconnues en état de catastrophe naturelle pour ce seul aléa.

Cette étude, basée sur une **approche méthodologique élaborée par le BRGM**, a été réalisée par son Service Géologique Régional Midi-Pyrénées, avec l'appui de son service Aménagement et Risques Naturels, dans le cadre de sa mission de Service Public sur les risques naturels. Elle a été cofinancée par les crédits du **fond de prévention des risques naturels majeurs**, et par la dotation de Service Public du **BRGM**.

Les formations argileuses et marneuses du département ont été identifiées et **cartographiées** à partir d'une **synthèse des cartes géologiques** à l'échelle 1/50 000, et d'une compilation des notices géologiques correspondantes. Des expertises géotechniques ponctuelles ont été également prises en compte pour actualiser l'information géologique.

Les formations géologiques ainsi répertoriées sont **au nombre de 20** et font partie de l'extrémité sud-est des **séries sédimentaires continentales, d'âge tertiaire du bassin aquitain**. Si l'on excepte les roches consolidées plutoniques, métamorphiques et sédimentaires pyrénéennes et les pointements métamorphiques de la Montagne Noire, les formations géologiques s'échelonnent entre l'Eocène (Tertiaire inférieur), pour les plus anciennes, et le Quaternaire (alluvions et colluvions), pour les plus récentes. Des regroupements et interprétations ont été opérés, ce qui a permis d'élaborer une **carte synthétique présentant en définitive, 16 formations argileuses ou marneuses**, susceptibles d'être affectées par des phénomènes de retrait-gonflement. Ces formations représentent environ **84 % de la superficie du département**. Les cartes brutes et synthétiques des formations sont présentées à l'échelle 1/100 000 et sont disponibles sous forme numérique.

Le degré de susceptibilité des formations ainsi identifiées a été évalué sur la base de critères lithologiques (proportion et géométrie des termes argileux), **minéralogiques** (nature des minéraux prédominants dans la phase argileuse du matériau) et **géotechniques** (valeur au bleu, indice de plasticité, pression de gonflement à l'œdomètre). Les données utilisées pour cette approche sont essentiellement issues d'un travail de **synthèse bibliographique** : dépouillement de rapports d'expertises confiés par des bureaux d'étude ou par les mutuelles d'assurance, Banque de Données du Sous-sol et rapports BRGM. Un échantillonnage complémentaire et des essais de laboratoires ont été réalisés par le BRGM afin de préciser ponctuellement la minéralogie de certaines formations. Une **carte de susceptibilité** des formations géologiques de la Haute-Garonne a été établie sur la base de cette hiérarchisation des formations reconnues comme argilo-marneuses. Cette carte synthétique est représentée à l'échelle 1/100 000.

Les critères hydrogéologiques (influence des nappes phréatiques comme frein à la dessiccation des sols) ont été analysés mais n'ont pas été pris en compte dans la cartographie des zones de susceptibilité au retrait-gonflement, car jugés non discriminants dans le cadre de cette étude. De même, certains **critères d'amplitude locale** tels que la présence de **végétation arborée** ou le type de **fondation** du bâti, bien que jouant un rôle primordial dans le

déclenchement de nombreux sinistres, n'ont pas été pris en compte car impossibles à représenter à l'échelle départementale.

La carte de l'aléa (qui correspond à la probabilité d'occurrence du phénomène, mais établie ici sur une base purement qualitative) **a été élaborée par croisement de la susceptibilité des formations lithologiques avec la répartition des sinistres enregistrés.** La localisation des sinistres a pu être réalisée grâce aux données communiquées par les communes reconnues en état de catastrophe naturelle, ainsi que par la Caisse Centrale de Réassurance, certaines mutuelles d'assurance et des bureaux d'études. Après élimination des doublons, c'est un total de **5249 sites de sinistres, répartis dans 220 communes** (sur les 396 qui ont été reconnues en état de catastrophe naturelle durant la période 1989-2000) qui a servi de base pour l'analyse.

Tous ces sinistres ont été localisés sur cartes topographiques à l'échelle 1/25 000 et une **base de données géoréférencées** a ainsi été établie. Pour quelques sinistres, il a de surcroît été possible d'accéder à tout ou partie du dossier d'expertise qui fournit des données précises sur les caractéristiques géologiques et géotechniques du site. La **superposition des sites de sinistres avec la carte des formations argileuses** a permis d'établir, pour chacune des formations identifiées, la **densité de sinistres** correspondant au **nombre de sinistres pour 100 km² de formation affleurante.**

Les **zones urbanisées du département** ont été délimitées à partir de la base de données « zones bâties » de l'IFEN complétée par digitalisation, sur les Scans25 de l'IGN, des contours des principaux villages non présents dans la base. Un croisement de cette information avec la carte des formations lithologiques a permis de déterminer, pour chacune de ces formations, la **densité de sinistres rapportée à 100 km² de formation affleurante effectivement urbanisée.**

L'intégration de ces densités de sinistres par formation a permis de tracer une **carte départementale de l'aléa** distinguant parmi les formations argileuses **deux classes d'aléa :**

Ont été considérées comme présentant **un aléa moyen sept formations géologiques :**

Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire), Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire), Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire), Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire), Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire), Molasse (Oligocène-Miocène), Marnes et marno-calcaire,

Ont été considérées comme présentant **un aléa faible neuf formations géologiques :**

Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire), Manteau d'altération argileuse (Quaternaire), Formation loessique décalcifiée (Quaternaire), Eluvions limoneuses (Quaternaire), Dépôts glaciaires (Quaternaire), Paléochenaux (Quaternaire), Limons sur alluvions (Quaternaire), Argile palustre (Eocène-Oligocène), Argile bariolée gypsifère (Keuper).

Environ **16 % de la superficie du territoire** a été considérée comme a priori non sujet au phénomène de retrait-gonflement.

En outre, il est à noter qu'aucune formation n'a été identifiée comme présentant un aléa fort vis à vis du retrait-gonflement.

La carte d'aléa ainsi produite permet de préciser la connaissance des principales zones sensibles au retrait-gonflement dans le département de la Haute Garonne et pourra servir de base à l'élaboration de Plans de Prévention des Risques spécifiques à ce phénomène, dans les communes les plus touchées. Cette cartographie constitue un document utile pour diffuser une

information préventive à l'usage des municipalités, des assureurs, des maîtres d'ouvrage et des constructeurs. Elle n'exclut pas et, bien au contraire, souligne l'importance d'une vérification des conditions de fondation avant tout projet de construction compte tenu de la nature et de l'échelle des documents utilisés qui ne permettent pas de déterminer la nature précise des formations superficielles au niveau de la parcelle : si le phénomène de retrait-gonflement n'est pas de nature à rendre une zone inconstructible, il implique de prendre certaines dispositions constructives pour prévenir les désordres.

Sommaire

Synthèse	1
Sommaire.....	5
Introduction	10
1. Méthodologie.....	13
1.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT	13
1.1.1. Nature du sol.....	13
1.1.2. Contexte hydrogéologique.....	14
1.1.3. Géomorphologie	15
1.1.4. Végétation.....	15
1.1.5. Climatologie	16
1.1.6. Facteurs anthropiques	16
1.1.7. Défauts de construction	17
1.2. APPROCHE METHODOLOGIQUE.....	17
1.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses	17
1.2.2. Caractérisation lithologique, et géotechnique des formations	18
1.2.3. Examen des autres facteurs de prédisposition ou de déclenchement.....	18
1.2.4. Carte de susceptibilité.....	19
1.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres.....	19
1.2.6. Détermination des densités de sinistres	19
1.2.7. Carte d'aléa	20
2. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses.....	21
2.1. OBJECTIFS, DOCUMENTS UTILISÉS ET PROCÉDURE DE RÉALISATION.....	21
2.2. CADRE GÉOLOGIQUE DÉPARTEMENTAL	26
2.2.1. Les roches consolidées	26
2.2.2. Les roches peu consolidées.....	27
2.3. PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE.....	27
2.4. LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES	28
2.4.1. Alluvions du Quaternaire graveleuses récentes	28
2.4.2. Manteau d'altération argileuse du Quaternaire.....	28
2.4.3. Formation loessique décalcifiée du Quaternaire.....	28
2.4.4. Eluvions limoneuses du Quaternaire	29
2.4.5. Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	29
2.4.6. Dépôts glaciaires du Quaternaire.....	29
2.4.7. Paléochenaux du Quaternaire	29
2.4.8. Limons sur alluvions du Quaternaire.....	29
2.4.9. Alluvions du Quaternaire tributaires de la molasse	30
2.4.10. Alluvions du Quaternaire graveleuses anciennes.....	30
2.4.11. Alluvions du Quaternaire sablo-argileuses	30

2.4.12.	Formation résiduelle argilo-sableuse du Quaternaire.....	30
2.4.13.	Molasse de l'Oligocène-Miocène	31
2.4.14.	Argile palustre de l'Eocène-Oligocène	31
2.4.15.	Marnes et marno-calcaires	31
2.4.16.	Argile bariolée gypsifère du Keuper	32
2.5	LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS NON ARGILEUSES	32
2.5.1.	Cônes de déjection actuels et éboulis non argileux	32
2.5.2.	Calcaires, poudingues et brèches.....	32
2.5.3.	Sables et formations détritiques non consolidées Oligocène-Pliocène	33
2.5.4.	Roches sédimentaires, cristallo-phylliennes et cristallines consolidées	33
3.	Analyses des autres facteurs potentiels de prédisposition : le contexte hydrogéologique.....	34
3.1.	Référentiel Hydrogéologique et cadre géologique	34
3.2.	Synthèse.....	35
4.	Caractérisation lithologique, géotechnique et minéralogique des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante.....	39
4.1.	NOTATION LITHOLOGIQUE	39
4.2.	NOTATION GEOTECHNIQUE	39
	<i>Essais au bleu de méthylène (VB).....</i>	<i>43</i>
	<i>Indice de plasticité (Ip).....</i>	<i>43</i>
	<i>Essais œdométriques (Cg).....</i>	<i>45</i>
4.3.	NOTATION MINERALOGIQUE.....	46
5.	Élaboration de la carte de susceptibilité.....	49
5.1.	CRITERES RETENUS.....	49
5.2.	METHODE DE CLASSIFICATION	49
5.3.	DETERMINATION DU DEGRE DE SUSCEPTIBILITE	50
6.	Inventaire des sinistres liés au phénomène de retrait-gonflement	54
6.1.	PROCEDURE DE DECLARATION DE L'ETAT DE CATASTROPHE NATURELLE	54
6.2.	IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES	55
6.2.1.	Enquête auprès des communes	55
6.2.2.	Enquête auprès des bureaux d'étude et des assurances	56
6.2.3.	Synthèse de l'enquête	56
6.3.	RÉPARTITION ET DENSITE DES SINISTRES PAR FORMATION GÉOLOGIQUE	59
6.4.	FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE À LA SURFACE URBANISÉE	59
7.	Élaboration de la carte d'aléa.....	64
7.1.	METHODE DE CLASSIFICATION	64
7.2.	DETERMINATION DU DEGRE D'ALEA.....	65
7.3.	CARTE D'ALÉA	65

8. Conclusions.....	69
Bibliographie	71

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1 - Carte du département de la Haute Garonne (extrait de la carte topographique IGN à l'échelle du 1/250.000)
- Fig. 2 - Assemblage des coupures géologiques à l'échelle du 1/50 000 couvrant le département de la Haute Garonne.
- Fig. 3 - Carte géologique synthétique du département de la Haute Garonne
- Fig. 4 - Carte géologique synthétique des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante du département de la Haute Garonne
- Fig. 5 - Systèmes aquifères du RHF dans la Haute Garonne (les chiffres sont les codes des SA dont les caractéristiques figurent dans le tableau 1)
- Fig. 6 - Répartition géographique des données géotechniques recueillies sur le département.
- Fig. 7 - Carte de susceptibilité du département de la Haute Garonne
- Fig. 8 - Répartition sur le département de la Haute Garonne des 396 communes sinistrées et des 220 communes où des sinistres ont été recensés et localisés
- Fig. 9 - Répartition géographique des 5249 sinistres sécheresse pris en compte dans le département de la Haute Garonne
- Fig. 10 - Carte synthétique des zones urbanisées
- Fig. 11 - Carte de l'aléa retrait-gonflement du département de la Haute Garonne

LISTE DES TABLEAUX

- Tab. 1 - Systèmes aquifères du RHF dans la Haute Garonne. Les lignes en grisé sont des aquifères profonds, sans influence sur les formations superficielles
- Tab. 2 - Systèmes aquifères alluviaux en Haute Garonne. L'épaisseur saturée est la différence d'altitude entre la base des alluvions et la surface piézométrique, l'épaisseur non saturée, entre la surface du sol et la surface piézométrique, la fluctuation, entre le plus haut et le plus bas niveau au cours d'un cycle hydrologique. Ces valeurs ne sont qu'indicatives.
- Tab. 3 - Critères de notation lithologique
- Tab. 4 - Notes lithologiques attribuées aux formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante
- Tab. 5 - Classification intermédiaire selon la valeur au bleu de méthylène
- Tab. 6 - Classification intermédiaire selon l'indice de plasticité
- Tab. 7 - Classification intermédiaire selon le coefficient de gonflement
- Tab. 8 - Classification intermédiaire selon le retrait linéaire

- Tab.9- Synthèse des données caractérisant le comportement géotechnique des formations argileuses et marneuses du département
- Tab. 10 - Notes minéralogiques attribuées aux formations argileuses et marneuses en fonction de leur teneur en argile gonflante.
- Tab. 11 - Notation de la susceptibilité des formations argilo-marneuses vis à vis du phénomène de retrait-gonflement
- Tab. 12 – Notation des formations argileuses et marneuses en fonction de la répartition des sinistres
- Tab. 13 – Détermination du degré d'aléa par formation

LISTE DES ANNEXES

- Annexe 1 - Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles
- Annexe 2 - Résultats des analyses de laboratoire réalisées sur les prélèvements d'argile de la Haute Garonne et de la Haute Garonne : Extraits des fichiers archivés sur le cd rom du projet
- Annexe 3 - Inventaire des sinistres du département de la Haute Garonne : Extrait du fichier numérique archivé sur le cd rom du projet

CARTES HORS-TEXTE

- Carte n° 1 - Carte géologique interprétée des formations argileuses et marneuses du département de la Haute Garonne à l'échelle 1/100 000
- Carte n° 2 - Carte de la susceptibilité au retrait-gonflement des formations argilo-marneuses du département de la Haute Garonne à l'échelle 1/100 000
- Carte n° 3 - Carte de l'aléa retrait-gonflement des formations argilo-marneuses du département de la Haute Garonne à l'échelle 1/100 000

Introduction

Le phénomène de retrait-gonflement de certains sols argileux et des formations géologiques argileuses affleurantes provoque des **tassements différentiels** qui se manifestent par des **désordres affectant principalement le bâti individuel**. Sur le territoire métropolitain, ces phénomènes ont été mis en évidence à l'occasion de la sécheresse exceptionnelle de l'été 1976. Ils ont pris depuis une ampleur importante lors des périodes sèches des années 1989-91 et 1996-97.

Ces mouvements différentiels sont dus à des variations de volume du sol ou des formations lithologiques affleurantes à sub-affleurantes, sous l'effet de modifications de la teneur en eau. Ces variations peuvent s'exprimer soit par un **gonflement** (augmentation de volume), soit par un **retrait** (réduction de volume). Elles concernent toutes les formations argileuses, mais leur ampleur est particulièrement importante pour celles qui contiennent certains minéraux argileux, appartenant au **groupe des smectites** (dont fait partie la **montmorillonite**).

Sous climat tempéré, et notamment au sein des bassins sédimentaires, 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. La plupart des désordres constatés sont donc consécutifs à des périodes de sécheresse prolongée au cours desquelles apparaissent, sous l'effet principal de l'évapotranspiration, des pressions interstitielles négatives (succions) qui provoquent un tassement.

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 à la réhydratation des sols**), de nombreuses communes françaises ont été déclarées sinistrées à ce titre (8 891 reconnaissances de l'état de catastrophe naturelle sur **4 594 communes**, réparties dans **75 départements**, à la date de novembre 2000, selon la Caisse Centrale de Réassurance). A ce jour, le coût des sinistres sécheresse indemnisés en France, en application de la loi de 1982, est évalué à environ **3 milliards d'euros**.

Le département de la Haute Garonne a été particulièrement touché puisque la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) le situe en 2^{ème} position nationale vis-à-vis du coût cumulé des indemnisations après sinistres derrière le département des Yvelines. Ce département, de **6 350 km² de superficie**, renfermait en 1999, une population de **1 050 000 habitants** (fig. 1). Au total, **396 communes sur 588** y ont été reconnues en état de catastrophe naturelle de **1989 à 2000** et **51 arrêts** de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre des retraits gonflement y ont été pris, dans cette même période, ce qui place la Haute Garonne en tête des départements français de ce point de vue.

Afin d'établir un constat à l'échelle de tout le département et de disposer de documents de référence permettant une information préventive, il a été proposé de réaliser une **cartographie**

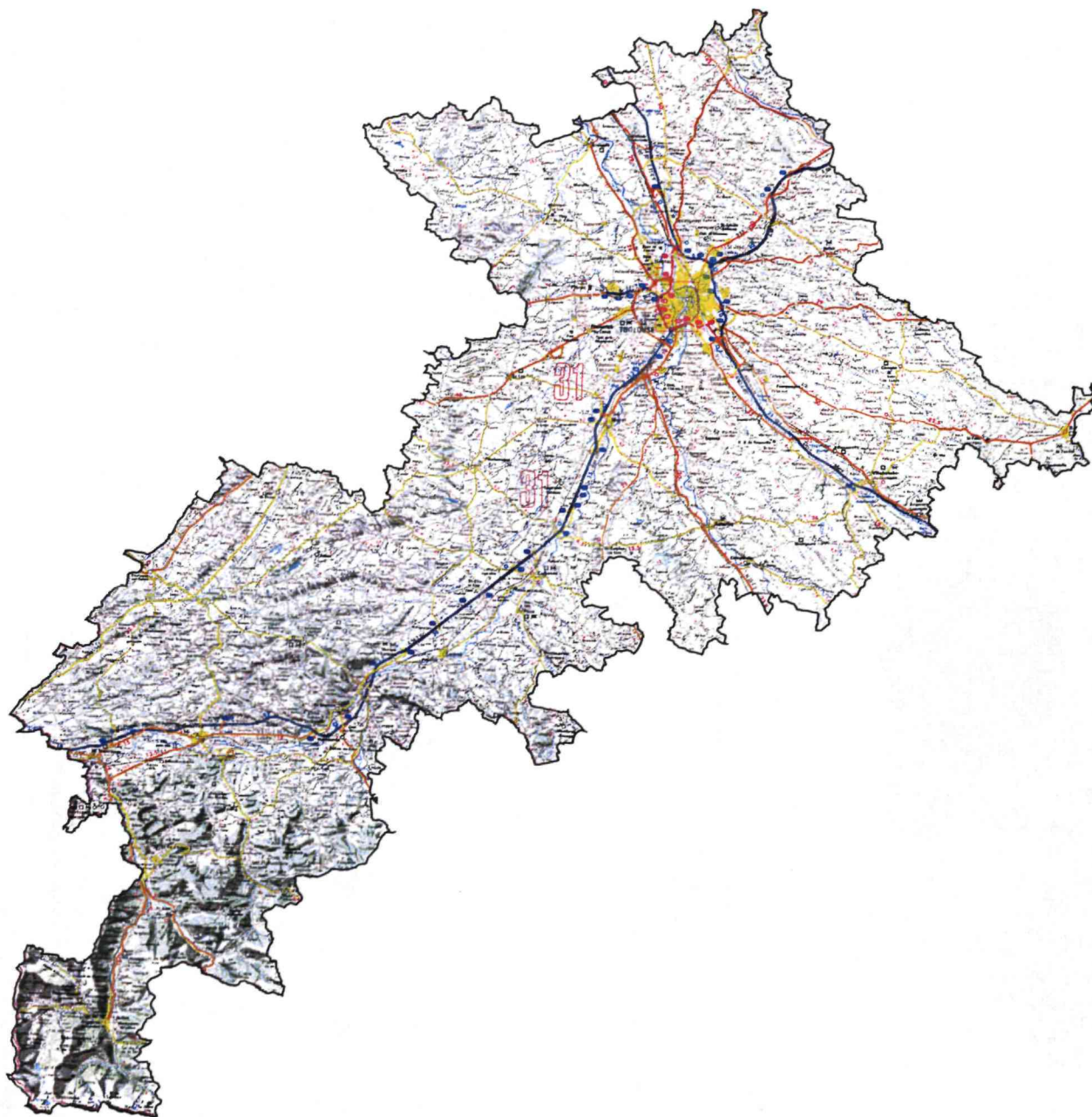


Figure 1 : Carte du département de la Haute Garonne

de l'aléa afin de définir les zones les plus touchées par le phénomène de retrait-gonflement.

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 à l'échelle départementale et communale.

L'intérêt d'une telle étude est multiple :

- compréhension géologique et statistique de la répartition des sinistres, à l'échelle départementale, voire régionale ;
- élaboration d'un document de prévention, en matière d'aménagement du territoire, destiné à la fois aux municipalités (pour l'établissement de PPR prenant en compte l'aléa retrait-gonflement), aux assureurs (pour bien discriminer les zones sensibles) et aux maîtres d'ouvrage 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 aider au diagnostic des futurs sinistres.

La présente étude a été réalisée par le **Service Géologique Régional Midi-Pyrénées**, en collaboration avec le **Service Aménagement et Risques Naturels du BRGM**. Le financement en a été assuré à hauteur de 50 % par la **dotation de service public du BRGM**, le complément ayant été financé par le **Fond de prévention des Risques naturels majeurs**, dans le cadre d'une convention de cofinancement passée entre le BRGM et la Préfecture de la Haute Garonne.

Cette étude, confiée au **BRGM** le 02 juillet 2001, a été réalisée dans le cadre de sa **mission de service public sur les risques naturels** et s'intègre dans un programme national de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux qui devrait concerner au total une trentaine de départements parmi les plus touchés par le phénomène.

1. Méthodologie

1.1. FACTEURS INTERVENANT DANS LE RETRAIT-GONFLEMENT

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**. Ces variations de volume se traduisent par des mouvements différentiels de sols, susceptibles de provoquer des désordres au niveau du bâti. 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 intervenant dans la réalisation de ce phénomène, 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 le déclencher. Ces facteurs sont fixes ou évoluent très lentement avec le temps. On distingue les facteurs internes qui sont liés à la nature du sol et des facteurs d'environnement qui caractérisent plutôt le site. Les facteurs de prédisposition permanents conditionnent en fait la **répartition spatiale du phénomène**. Ils permettent de caractériser la **susceptibilité** du milieu vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

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

1.1.1. Nature du sol

La **nature lithologique du sol** constitue un **facteur de prédisposition prédominant** dans le mécanisme de retrait-gonflement. La procédure d'étude de la nature lithologique du sol comporte un **inventaire des formations affleurantes à sub-affleurantes, puis leur cartographie**. Dans le cas du département de la Haute Garonne, plus de **85 % de la couverture lithologique** départementale a été cartographié en tant que formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflantes.

Notons d'autre part que nous fournissons une carte basée sur des **critères géologiques et non pas pédologiques** (sols). De ce fait, les formations pédologiques les plus superficielles ne sont pas prises en compte. Ceci pose un problème quant à l'appréciation du phénomène de retrait-gonflement sur des formations a priori non argileuses mais dont l'altération locale voire la présence de placages de molasses résiduelles non prises en compte par la carte géologique sont susceptibles de produire ou contenir des argiles à caractère gonflant.

La majorité des dossiers consultés (environ 80%) montre que "l'origine géologique" des sinistres est souvent représentée par une formation géologique argileuse ou marneuse bien définie, ce qui conforte le concept adopté. Cependant, il semble important de signaler qu'une carte géologique en tant que telle ne suffit pas à déterminer la répartition des sols argileux sensibles au retrait-gonflement. En effet, de telles cartes ne prennent pas 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. Il est par ailleurs fait abstraction des éventuels remblais qui peuvent exister comme soubassement des bâtis sinistrés.

Or, 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. En effet, une formation sera d'autant plus sujette à ce phénomène qu'elle sera en position superficielle et de géométrie épaisse et continue.

Cela dit le facteur prédominant, qui détermine le degré de susceptibilité d'une formation argileuse au phénomène de retrait-gonflement, est lié à sa composition minéralogique. Une formation sera d'autant plus sensible 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 (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). L'approche de la composition minéralogique d'une formation argileuse peut aussi se faire par des essais de **caractérisation des minéraux argileux en laboratoire** selon la méthode de **diffractométrie 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 très grand nombre de mesures pour caractériser de manière statistique le comportement de chacune des formations, qui sont par nature **hétérogènes**.

1.1.2. Contexte hydrogéologique

Parmi les **facteurs de prédisposition**, l'hydrogéologie constitue un des facteurs environnementaux qui influe sur les conditions hydrauliques *in situ*. Ceci est particulièrement vrai en présence d'une nappe phréatique qui rend plus complexe le phénomène de retrait-gonflement. En effet, la teneur en eau et le 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). Ces variations hydriques des sols se traduisent, pour des formations argileuses, par des variations de leurs caractéristiques mécaniques.

La présence d'une nappe permanente à faible profondeur permet généralement d'éviter la dessiccation de la tranche de sol superficielle. 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.

1.1.3. Géomorphologie

La topographie de surface 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 sensible au problème de retrait-gonflement en raison d'une **dissymétrie des fondations** lorsque celles-ci sont ancrées à une cote identique en 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 subiront des mouvements plus importants de la part du sol qui, étant en position plus superficielle est souvent plus altéré et donc davantage sensible aux variations de teneur en eau.

Inversement, les zones de plateau ont pu être affectées par des phénomènes érosifs de type **karstique** qui se traduisent par l'existence de cavités formées par dissolution des formations calcaires et remplies d'argiles d'altération sensibles au phénomène de retrait-gonflement.

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 teneur en eau qui peut se traduire par une dépression locale autour du système racinaire et provoquer 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** se fait sentir jusqu'à une **distance égale à une fois et demi sa hauteur**.

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

Ainsi, on considère qu'un peuplier ou un saule adulte a besoin de **300 litres d'eau par jour en été**. 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 et les cèdres** mais des massifs de buisson ou d'arbustes situés près des façades peuvent aussi causer des dégâts.

1.1.5. Climatologie

Les phénomènes météorologiques exceptionnels constituent le **principal facteur de déclenchement** du retrait-gonflement. Les variations de teneur en eau du sol sont dues à des variations climatiques saisonnières. La profondeur de terrain affectée par les variations saisonnières de teneur en eau ne dépasse guère 1 à 2 m en climat tempéré, 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 quelques stations météorologiques mais sa répartition spatiale n'est pas connue 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 évapotranspiration ou en la transférant à la végétation par son système racinaire). Le volume de cette réserve utile n'est généralement connu que ponctuellement et l'état de son remplissage ne peut être estimé que moyennant certaines hypothèses (on considère généralement qu'elle est pleine en fin d'hiver), ce qui rend extrêmement délicate toute analyse de ce paramètre à une échelle départementale.

1.1.6. Facteurs anthropiques

Il s'agit d'un **autre facteur de déclenchement**, qui n'est pas lié 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** peut entraîner un mouvement consécutif à un gonflement des argiles qui l'entourent.

Par ailleurs, la présence de **sources de chaleur en sous-sol** (four ou chaudière) près d'un mur peut, dans certains cas, aggraver voire déclencher la dessiccation du sol à proximité.

1.1.7. Défauts de construction

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

L'examen de nombreux dossiers d'expertises confirme qu'une forte proportion des maisons sinistrées présente des **défauts de conception ou de réalisation des fondations** (souvent trop superficielles, hétérogènes ou fondées dans des niveaux différents). 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 des désordres constatés.

1.2. APPROCHE METHODOLOGIQUE

1.2.1. Cartographie des formations argileuses et marneuses

La cartographie des formations argileuses et marneuses du département a été réalisée à partir des **cartes géologiques du BRGM** et de la **Banque de données du Sous-Sol (BSS)** complétées et actualisées par quelques données ponctuelles des rapports d'expertise de sinistres. Cette cartographie a été réalisée à l'échelle **1/50 000** voire pour une coupure (Aspet) à celle du **1/80 000**, qui correspondent donc à l'échelle de validité de la donnée brute, numérisée, puis représentée à l'échelle **1/100 000**.

Dans une première étape, nous avons **identifié puis cartographié** les principales formations géologiques du département, y compris les formations superficielles d'extension locale, à partir de l'examen et de la synthèse des cartes géologiques publiées par le BRGM à l'échelle **1/50 000**. En raison de l'abondance de ces formations, nous avons réalisé des regroupements en considérant que des natures lithologiques voisines laissaient supposer des comportements semblables vis à vis du phénomène de retrait-gonflement.

Dans une seconde étape, **une carte des formations argilo-marneuses en a été extraite et la carte d'interprétation** ainsi réalisée permet d'obtenir une vue plus synthétique du sujet.

Remarque : Limites de la méthode employée

La succession lithologique d'une région donnée est le plus souvent constituée par un grand nombre de **formations diverses** qui traduisent l'histoire géologique complexe de cette région. La synthèse cartographique réalisée dans le cadre de cette étude a consisté à essayer d'**individualiser les différentes couches argileuses, marneuses, argilo-marneuses ou sablo-argileuses affleurantes ou sub-affleurantes**.

L'inconvénient de la méthode mise en œuvre pour définir les zones sujettes aux effets du retrait-gonflement réside dans le fait que les cartes géologiques sont rarement optimales pour délimiter de manière fiable et précise les contours des différentes formations affleurantes ou sub-affleurantes. En effet ces documents privilégient l'information stratigraphique (chronologique) des terrains par rapport à leur lithologie. En outre, les formations

superficielles n'y font souvent pas l'objet d'une description détaillée. Seule l'expérience du géologue régional et sa connaissance du terrain peuvent permettre de pallier **en partie seulement** ces insuffisances, à l'aide de l'information contenue dans la Banque de données du Sous-Sol (BSS) et de la réalisation ou la connaissance d'études locales. Toutefois cette expérience ne permet pas d'améliorer, sans travaux de terrain complémentaires, le tracé d'éventuelles variations de lithologie, significatives quant au phénomène étudié ici, mais non différenciées dans une unité chronologique.

La difficulté à pallier cette imprécision apparaît clairement dans le cas particulier de la formation de la *Molasse*, dont la **lithologie séquentielle** implique de **nombreuses variations de faciès**, que les cartes géologiques ne traduisent que rarement dans le détail.

1.2.2. *Caractérisation lithologique, et géotechnique des formations*

La **synthèse des notices** des cartes géologiques a permis de définir les caractéristiques lithologiques des formations argileuses et marneuses, et en particulier de répertorier la présence **d'argiles gonflantes**. Ces données ont été complétées par une **revue bibliographique** et surtout par le recensement et le traitement synthétique de **dossiers d'expertise** afin de pouvoir caractériser au mieux chacune des formations identifiées en fonction de sa proportion moyenne de minéraux argileux gonflants.

La caractérisation du **comportement géotechnique** des formations argileuses et marneuses du département a été essentiellement établie sur la base du **dépouillement et la synthèse de nombreux rapports d'expertise**, obtenus auprès de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), de mutuelles d'assurance (MAIF, MAAF et Groupama), de bureaux d'étude (Sols et eaux) ou directement auprès des communes concernées. Ces données ont été complétées par quelques informations bibliographiques et par une campagne spécifique d'échantillonnage et d'analyse en laboratoire afin de permettre une **hiérarchisation des formations** sur la base des critères lithologiques, minéralogiques et géotechniques.

1.2.3. *Examen des autres facteurs de prédisposition ou 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 climatologiques** et la répartition spatiale des déficits pluviométriques n'est pas apparue 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 d'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 la bibliographie. Le rôle joué par ce facteur dans le **déclenchement ou l'aggravation de certains sinistres** apparaît en effet clairement à la lecture de certains rapports d'expertises. Ce rôle est cependant difficile à mettre en évidence à une échelle départementale dans la mesure où il 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 d'aléa.

Quant à la **géomorphologie**, il apparaît également que c'est un élément important qui conditionne la susceptibilité au retrait-gonflement. Ceci est souvent mis en évidence par une **concentration de sinistres sur les versants des vallées**. Mais l'examen des rapports d'expertise montre que nombre de ces sinistres survenus en zone de pente s'expliquent en réalité par un défaut de conception ou de réalisation des fondations, les phénomènes de retrait-gonflement ne faisant que révéler ces défauts ou aggraver les désordres occasionnés. Pour cette raison, 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.

1.2.4. Carte de susceptibilité

En définitive, la **carte départementale de susceptibilité au retrait-gonflement** est établie à partir de la **carte synthétique des formations argileuses et marneuses** du département, après évaluation du degré de susceptibilité de ces formations. Les critères utilisés pour établir cette hiérarchisation sont pour l'essentiel liés à la **caractérisation lithologique, minéralogique et géotechnique** de ces formations.

1.2.5. Recensement et localisation géographique des sinistres

Afin d'approcher 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 sites de sinistres**.

Pour ce faire, un recensement des sinistres sécheresses a été effectué auprès des **152 communes** du département de la Haute Garonne qui ont bénéficié de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrains différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols.

Ces données ont été complétées par celles recueillies directement auprès de mutuelles d'assurance et bureaux d'étude. Après élimination des doublons (sinistres récurrents sur un même site ou donnée identique issue de sources différentes), ce sont **5249 sites de sinistres** qui ont pu être localisés (sur carte topographique de l'IGN à l'échelle 1/25 000), répartis dans **108 communes** sur l'ensemble du département (soit environ **71 % des communes sinistrées**). Cet échantillon peut être considéré comme **représentatif de l'occurrence spatiale du phénomène** dans le département de la Haute Garonne .

1.2.6. Détermination des densités de sinistres

Afin d'obtenir la **carte départementale d'aléa retrait-gonflement**, il a été nécessaire de déterminer, pour chacun des sinistres recensés, la nature de la formation géologique affectée (par superposition avec la carte des formations argileuses et marneuse du département). Ceci a permis de déterminer le **nombre de sinistres recensés pour chacune des formations géologiques sensibles** 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 donné l'hétérogénéité des taux d'urbanisation d'un point à un autre du département, il a paru nécessaire de pondérer ces densités de sinistres en tenant

compte du **taux d'urbanisation de chacune des formations géologiques**. Les **zones urbanisées du département** ont été délimitées à partir de la base de données « zones bâties » de Corinne Land-Cover complétée par digitalisation, sur les scans Top25, des contours des principaux villages non présents dans la base. Cette information ne représente qu'une approximation de la réalité.

1.2.7. Carte d'aléa

La carte départementale d'aléa a dès lors été établie à partir des contours de la carte d'interprétation des formations argileuses et marneuses : chacune de ces formations a été caractérisée par une classe d'aléa prenant en compte à la fois son degré de susceptibilité et la densité de sinistres la concernant, ramenée à la surface d'affleurement de la formation réellement urbanisée.

2. Identification et cartographie des formations géologiques argileuses et marneuses

2.1. OBJECTIFS, DOCUMENTS UTILISÉS ET PROCÉDURE DE RÉALISATION

L'objectif visé est de disposer d'une carte des formations géologiques argileuses et marneuses du département de la Haute Garonne, afin d'identifier les zones sujettes au retrait-gonflement.

Dans un premier temps, nous avons réalisé une carte géologique de synthèse, afin d'harmoniser l'information délivrée par les 23 coupures géologiques à l'échelle 1/50 000 couvrant le département de la Haute Garonne. Pour ce faire nous avons dû procéder à certaines **interprétations pour les raccords des contours géologiques entre les différentes cartes**, ainsi que pour les correspondances lithostratigraphiques. En effet, les cartes géologiques, réalisées à des époques différentes, ne se raccordent pas toujours et ont été souvent réalisées avec une nomenclature lithostratigraphique distincte d'une carte à l'autre. Un tel problème est particulièrement sensible au niveau de la carte de Revel, à l'extrême est du département, qui est très détaillée comparée aux cartes situées plus à l'ouest. En outre, l'information géologique relative à la coupure d'Aspet a été extraite des cartes géologiques anciennes (échelle du 1/80 000) puisque l'édition à l'échelle du 1/50 000 est encore en cours de lever.

L'assemblage (fig. 2) des cartes géologiques comporte tout ou partie des 23 coupures suivantes, du nord-ouest au sud-est :

- Beaumont-de-Lomagne (955)
- Grenade-sur-Garonne (956)
- Villemur-sur-Tarn (957)
- Gimont (982)
- Toulouse Ouest (983)
- Toulouse Est (984)
- Lavaur (985)
- Lombez (1008)
- Muret (1009)
- Villefranche-de-Lauragais (1010)
- Revel (1011)
- Boulogne-sur-Gesse (1032)
- Le Fousseret (1033)
- Cazères (1034)
- Saverdun (1035)
- Castelnaudary (1036)
- Montréjeau (1054)
- Saint-Gaudens (1055)

- Le Mas-D'Azil (1056)
- Arreau (1072)
- Aspet (1073)
- Bagnères-de-Luchon (1084)
- Pic de Mauberge (1085)

Les notices et cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 couvrant le département constituent donc la base de l'information prise en compte pour la réalisation de cette synthèse cartographique. Elles ont été complétées par la consultation de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) du Service Géologique Midi Pyrénées qui a fourni une actualisation des contours géologiques déjà existants. L'analyse de publications scientifiques ou rapports disponibles portant sur la zone d'étude a aussi permis d'améliorer la connaissance de la lithologie et de la minéralogie des formations.

L'étude minutieuse de ces notices, qui a constitué la première étape fondamentale de ces travaux, a permis de réaliser un premier regroupement des formations susceptibles d'avoir le même comportement vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. C'est ainsi que, sur la surface recouverte par le département, ont été définies les 16 formations géologiques suivantes cartographiées à l'échelle du 1/50 000 :

- Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire),
- Manteau d'altération argileuse (Quaternaire),
- Formation loessique décalcifiée (Quaternaire),
- Eluvions limoneuses (Quaternaire),
- Dépôts glaciaires (Quaternaire),
- Paléochenaux (Quaternaire),
- Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire),
- Limons sur alluvions (Quaternaire),
- Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire),
- Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire),
- Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire),
- Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire),
- Molasse (Oligocène-Miocène),
- Marnes et marno-calcaires (Oligocène-Miocène),
- Argile palustre (Eocène-Oligocène),
- Argile bariolée gypsifère (Keuper).

La légende lithologique de ces formations a été établie en adoptant une **nomenclature lithostratigraphique** spécifique qui se rapproche le plus possible de celle communément adoptée pour les séries de la bordure du Bassin Aquitain.

La réalisation pratique de la carte géologique de synthèse a consisté à numériser les contours des principales formations géologiques à partir des cartes existantes préalablement scannées et géoréférencées. Ce long travail, réalisé à l'aide du logiciel MapInfo, a constitué la seconde étape de l'élaboration de la carte et est matérialisé par la figure 3.

Dans un deuxième temps, une **carte des formations argilo-marneuses** ou plutôt des **formations considérées comme argileuses et marneuses** a été extraite de cette première carte de synthèse, par élimination des formations non sensibles quant au phénomène étudié.

De la sorte seuls 11 niveaux ont été conservés (figure 4). Cette carte des formations argilo-marneuses servira de support à l'élaboration de la carte de l'aléa retrait-gonflement.

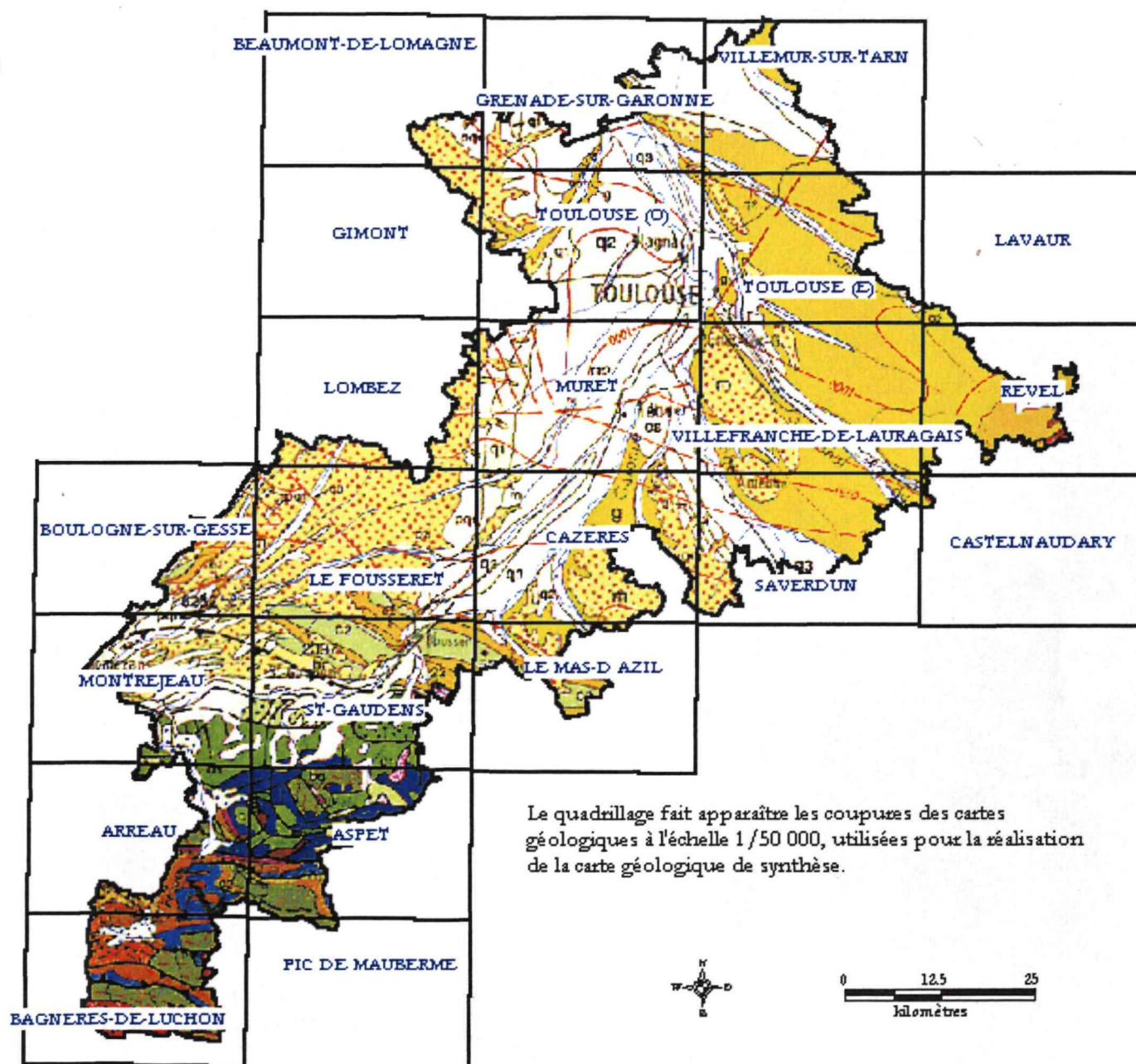


Figure 2 : Assemblage des coupures géologiques utilisées, sur fond de la carte géologique de la France à l'échelle du 1/1 000 000

Figure 3 : Carte géologique synthétique du département de la Haute Garonne

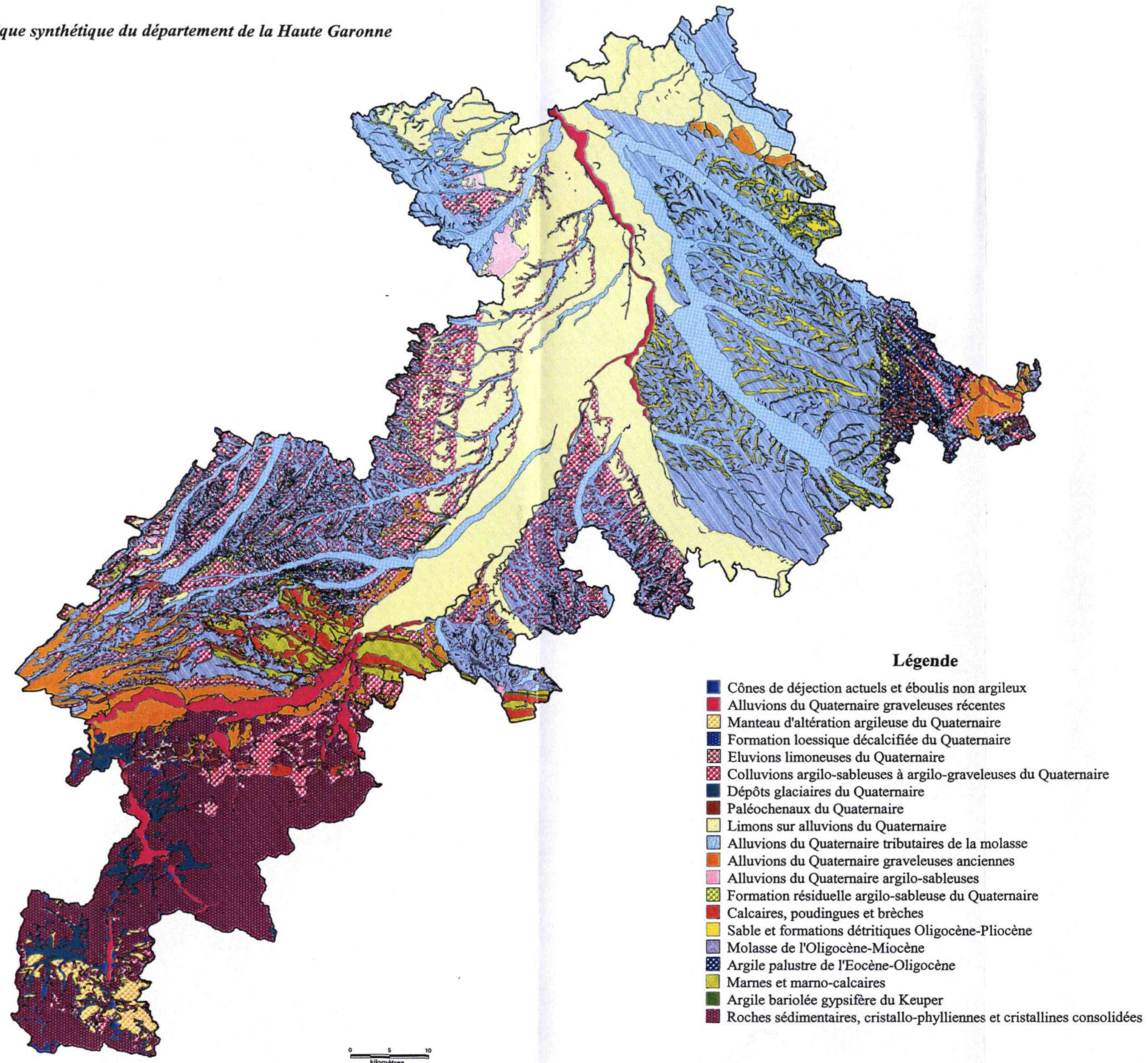
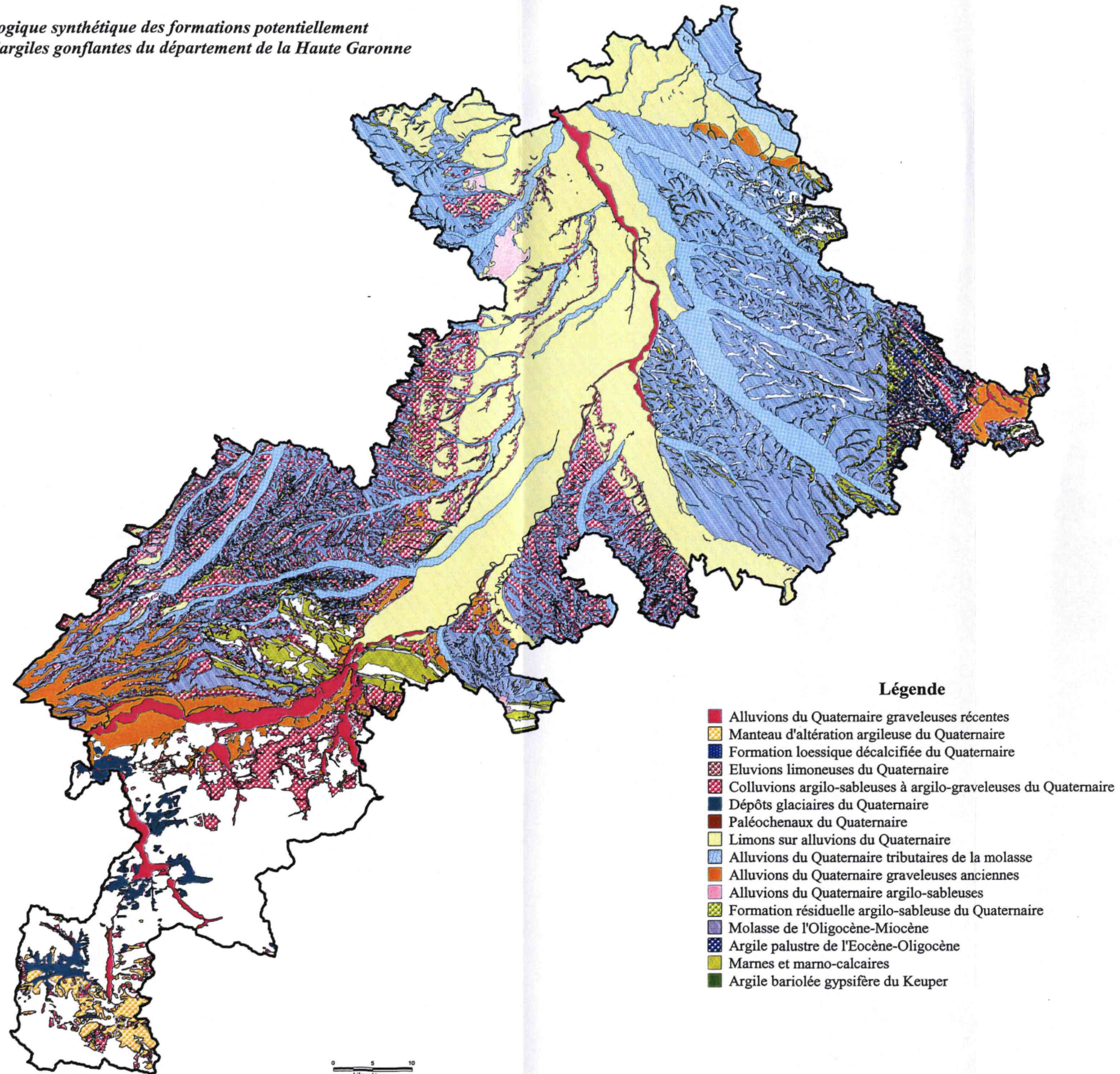


Figure 4 : Carte géologique synthétique des formations potentiellement favorables à la présence d'argiles gonflantes du département de la Haute Garonne



2.2. CADRE GÉOLOGIQUE DÉPARTEMENTAL

Le département de la Haute Garonne est situé en limite orientale du Bassin d'Aquitaine. Il s'étend entre le versant nord de la Chaîne pyrénéenne, depuis la frontière avec l'Espagne, et la terminaison sud-ouest du Massif Central (Montagne Noire).

La géologie qui résulte de cette disposition se traduit, pour le département de la Haute Garonne par la présence des grands ensembles lithologiques suivants :

- au sud et en limite nord-est, des roches consolidées, correspondant respectivement à la **Chaîne des Pyrénées** qui s'est mise en place à l'Eocène moyen (environ 45 millions d'années) et à la **Montagne Noire** composée de terrains anciens,
- partout ailleurs, des roches peu ou pas consolidées, résultant du démantèlement des mêmes massifs précédents causé par des phénomènes d'érosion-sédimentation qui se sont produits principalement au Tertiaire. Cette érosion-sédimentation s'est surtout traduite par le dépôt des **formations molassiques** qui composent l'essentiel du département.

Enfin, l'ensemble de ces terrains est recouvert, à des degrés divers, par des **formations récentes** (dépôts glaciaires, éboulis, colluvions, éluvions et, surtout, alluvions diverses dans les plaines de la Garonne, de l'Ariège et du Tarn, en particulier)

2.2.1. Les roches consolidées

Les roches consolidées affleurent pour l'essentiel dans la Chaîne des Pyrénées et couvrent environ un cinquième de la surface du département. Elles sont constituées de deux ensembles principaux :

- **au centre de la Chaîne**, au sud d'Esténois, apparaissent des roches anciennes le plus souvent métamorphiques, de l'ère primaire ou antérieures, constituées de schistes, calcaires, grès, conglomérats, etc, souvent épais (plusieurs milliers de mètres). Ces matériaux sont affectés par la présence de massifs de roches granitiques et de gneiss qui témoignent d'une importante activité éruptive et métamorphique postérieurement à leur mise en place,

- **à l'avant de la Chaîne**, vers le nord, sont observées des roches sédimentaires plus récentes, secondaires (triasiques, jurassiques et crétacées) et tertiaires (éocènes) constituées par des calcaires parfois épais (300 m), des calcaires plus ou moins argilo-marneux, des grès, des marnes, des argiles, etc. Ces formations se sont déposées dans des conditions continentales à l'époque du Trias avec une avancée marine en fin de cette même période. Les formations suivantes, datées du Jurassique, témoignent de conditions marines, toutefois proches du milieu continental (présence de roches dolomitiques, évaporitiques, de roches de couleurs rouges à ocres, etc). Il faut attendre le Crétacé pour constater des conditions marines plus franches (présence de calcaires marins) qui restent toutefois assez proches de conditions littorales de faible profondeur (calcaires perirécifaux, calcaires marneux à spicules d'oursins, etc.

L'ensemble de ces matériaux a été affecté et fortement déformé par la mise en place de la chaîne des Pyrénées qui s'est élevée vers l'Eocène moyen (Tertiaire), il y a 45 millions d'années.

2.2.2. Les roches peu consolidées

A ces matériaux globalement compacts et homogènes succèdent logiquement vers le nord des matériaux peu consolidés qui résultent de l'érosion de la Chaîne Pyrénéenne et de la Montagne Noire et qui se sont déposés en milieu continental, en régime souvent torrentiel. De ce fait ils sont pour la plupart hétérogènes et leur cartographie, comme celle de leurs propriétés physiques, est toujours délicate et d'une précision relative.

Ces formations tertiaires occupent les trois quart du territoire du département. Elles correspondent pour l'essentiel aux **molasses** (plusieurs centaines de mètres d'épaisseur). Ces formations de l'Oligocène supérieur, en rive droite de la Garonne, et du Miocène, en rive gauche, sont constituées de séquences successives de matériaux gréseux, argilo-silteux et calcaires, déposés en environnement continental. Du fait de la présence d'argile, ces formations présentent une importante susceptibilité potentielle au retrait-gonflement, en particulier celle de l'Oligocène qui sont plus riches en minéraux gonflants (smectites). Il est vraisemblable qu'un climat plus humide ait régné sur cette région à l'époque de leur mise en place.

Surmontant les molasses, les **formations quaternaires**, qui constituent les dépôts les plus récents, sont essentiellement présentes au centre et au sud du département et sont liées au vallées confluentes de la Garonne, de l'Ariège et du Tarn. Elles sont représentées par les différentes terrasses et alluvions anciennes et actuelles des rivières et forment des matériaux dont la composition est principalement sablo-graveleuse. Deux exceptions toutefois sont à signaler :

- les alluvions récentes des rivières qui coulent entièrement en domaine molassique, sont composées le plus souvent des matériaux fins contenus dans ces formations. Elles ont donc une composante argileuse marquée,
- les alluvions récentes de la Garonne, de l'Ariège et du Tarn peuvent être recouvertes par une couverture limono-argileuse d'épaisseur plurimétrique

2.3. PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE

La succession lithologique étant constituée par un grand nombre de **formations diverses**, la synthèse cartographique a consisté à essayer de bien **individualiser les différentes couches argileuses, marneuses, sablo-argileuses, marno-calcaires ou calcaro-marneuses affleurantes ou sub-affleurantes**.

Cependant la spécificité de ces formations, dont la lithologie implique de **nombreuses variations de faciès**, souligne une **limite de la méthodologie** retenue. En effet, dans le cas d'une base géologique complexe avec des formations superficielles localement mal identifiées sur les cartes géologiques, la caractérisation de la susceptibilité vis à vis du phénomène de retrait-gonflement nécessiterait un traitement et une ré-interprétation plus élaborés des documents cartographiques de base. La représentation des formations superficielles sur les

cartes géologiques, mais aussi l'interprétation très diverse, suivant les auteurs, des profils d'altération, conduit en effet à la présence (parfois vérifiée par une étude géotechnique détaillée) d'argile gonflante sur des zones cartographiées en dépôts non-argileux (calcaires, dolomies, etc...). Pour cette raison, la carte interprétative des formations argileuses de la Haute-Garonne (fig. 4) est une représentation des zones potentiellement favorables à la présence d'argiles de type gonflantes.

2.4. LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS ARGILEUSES

Ce chapitre dresse un inventaire des formations géologiques argileuses et marneuses du département de la Haute-Garonne et caractérise la nature des minéraux argileux qui les constituent, quand cette information est disponible.

Les formations argileuses et marneuses sont décrites depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes. Une carte géologique synthétique de ces formations est présentée sur la figure 4 et en carte hors-texte (carte n°1) à l'échelle 1/100 000.

2.4.1. Alluvions du Quaternaire graveleuses récentes

Les alluvions graveleuses récentes (âge Würmien à actuel) sont des matériaux détritiques en provenance des massifs pyrénéens, d'aspect frais, de teinte grisâtre. C'est un mélange très grossier, hétérogène, de sables, graviers, galets et blocs provenant des massifs rocheux anciens de l'arrière pays (Massif Central et Pyrénées). Dans les bras morts, ce sont des dépôts fins et même tourbeux. Leur épaisseur varie de quelques décimètres à quelques mètres.

Sur la carte géologique de synthèse, ces alluvions matérialisent les cours d'eau de la Garonne, de l'Ariège, du Tarn et de l'Agout. Ce sont les alluvions actuelles du lit majeur (F_{23}), les alluvions actuelles des cours d'eau secondaires (F_2) et les alluvions actuelles et modernes des lits majeurs (F_{22}).

2.4.2. Manteau d'altération argileuse du Quaternaire

Sous cette unité lithologique (A) ont été cartographiées des zones dépourvues d'affleurements rocheux, de pente moyenne, porteuse de pâturages de l'étage subalpin. Lorsque le substratum apparaît du fait d'une érosion locale, il s'agit habituellement de matériaux issus de l'altération des pélites, schistes et autres roches schisto-quatzeuses sous-jacentes que la décomposition réduit en fragments anguleux dans une matrice argileuse (ces formations sont d'ailleurs très sensibles aux glissements de terrain et solifluxions).

2.4.3. Formation loessique décalcifiée du Quaternaire

Le rebord des terrasses moyennes est souvent empâté, sur 3 à 4 m, de sable fin et de limons, totalement décalcifiés. Ce sont des formations loessiques (OEy, OE) qui confirment leur origine éolienne par l'étude morphoscopique de leurs grains. La partie décalcifiée du loess (partie supérieure) est appelée lehm, ou argile silteuse.

2.4.4. Eluvions limoneuses du Quaternaire

Des matériaux superficiels argilo-limoneux de teinte ocre tapissent des dépressions d'argile calcaire. Ces éluvions ont pour origine la décalcification intervenue lors de la karstification. Ces formations (Rcm) sont aussi appelées Terra Rossa (argile rouge, résidu de la dissolution du calcaire dans les dépressions karstiques : phénomène d'appauvrissement en SiO_2 et d'enrichissement en Fe_2O_3).

2.4.5. Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire

Sur le rebord des plateaux, les alluvions des terrasses des principaux cours d'eau ont été soumises à l'érosion avec d'autant plus de vigueur qu'elles sont anciennes. Ces matériaux alluviaux sont des cailloutis mêlés à de l'argile sableuse, remaniés, sur les versants des coteaux molassiques, en éboulis de gravité sur les pentes fortes et solifluxions sur les pentes faibles. Au cours de ces glissements, il s'est produit un mélange de tous les constituants, avec un apport supplémentaire du matériau arraché au substratum molassique. En haut des pentes l'épaisseur est de 0,8 à 1 m mais atteint vers le bas 5 à 8 m de colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses décalcifiées.

2.4.6. Dépôts glaciaires du Quaternaire

Ces dépôts glaciaires sont de type morainique et pour la plupart mis en place lors de la dernière grande glaciation (G, Gz, Gy, Gx) :

- Moraines des phases d'expansion maximum du glacier, à matrice altérée ou à blocs erratiques cristallins.
- Moraines épaisses du stationnement principal du glacier, à grands blocs granitiques émoussés, emballés dans de l'argile grise, qui emplissent le fond des vallées.

Dans les grandes vallées en auge, des moraines des stades finaux sont disposées en cordons et en banquettes associées à des alluvions de marge glaciaire et des terrasses de Kame (sables et sablons à stratification fluvio-lacustre, petits galets peu roulés). La moraine la plus interne est un entassement de blocs de granite, parfois longs de plus de 3 à 4 m.

- Moraines néoglaciales à caractère très grossier, sans matrice fine, dont les matériaux ne sont pas fixés.
-

2.4.7. Paléochenaux du Quaternaire

Sur les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, les paléochenaux sont matérialisés à l'intérieur des alluvions. Il est intéressant d'en faire une catégorie à part sur la carte géologique de synthèse car ces zones sont souvent très argileuses dans leur tranche supérieure.

2.4.8. Limons sur alluvions du Quaternaire

Les alluvions limoneuses sont les alluvions qui ne sont pas principalement alimentées par la molasse mais qui présentent au moins un mètre de limons en surface. En effet dans les secteurs à substratum tendre, les petits cours d'eau ont débarrassé les vallées assez larges. Le fond de celles-ci est tapissé d'alluvions récentes dont la composition reflète la géologie du

BRGM/RP-51894-FR

bassin : il s'agit de matériaux descendus des versants et étalés par les crues. L'épaisseur de ces alluvions varie entre 1 et 15 m. Elles sont souvent formées d'une couche de plusieurs mètres d'épaisseur de cailloux, graviers ou sables argileux rubéfiés surmontée de 1 à 6 m de limons d'inondation argileux très décalcifiés.

Sur la carte géologique thématique, ces alluvions occupent un espace très important autour des cours d'eau actuels. Ce sont les alluvions des basses plaines (F_{z1}), les alluvions des cours d'eau secondaires (F_z), les alluvions des basses terrasses (F_{y1}), les alluvions anciennes des basses terrasses des cours d'eau secondaires (F_y), les alluvions anciennes des terrasses moyennes de la Garonne (F_x), les alluvions anciennes des hautes terrasses (F_w), les alluvions des hauts niveaux de la Garonne (F_v).

2.4.9. Alluvions du Quaternaire tributaires de la molasse

Les alluvions tributaires de la molasse sont les formations qui, par leur position géographique, n'ont pu être alimentées que par la molasse environnante et devraient donc avoir un comportement géotechnique équivalent.. Elles sont, la plupart du temps, composées de limons argileux à rares galets. Elles peuvent contenir en surface des passées plus sableuses, peu calcaire, et en profondeur des lits de graviers, de quelques décimètres d'épaisseur, qui surmontent de nettes accumulations argileuses et/ou tourbeuses. Leur épaisseur varie entre 3 et 10 m et la couleur générale est beige à marron.

Sur la carte géologique de synthèse, elles matérialisent les principaux cours d'eau secondaires qui s'écoulent sur le substratum molassique. Ce sont les alluvions actuelles des cours d'eau secondaires (F_z), les alluvions des basses terrasses des cours d'eau secondaires (F_y), les alluvions des basses plaines (F_{z1}) et les alluvions anciennes des petites rivières (F_u).

2.4.10. Alluvions du Quaternaire graveleuses anciennes

Les alluvions graveleuses anciennes (datant probablement du Günz) sont des dépôts périglaciaires remaniés par l'érosion, réduits à des bancs de galets et graviers intercalés, entourés de toute part d'éboulis et de solifluxions. Ils présentent parfois un aspect frais, parfois un épais cortex d'altération.

Ce sont les alluvions des terrasses moyennes et de glacis (F_x), les éboulis et solifluxions issus des terrasses quaternaires (F_s), les alluvions des hauts niveaux (F_v) et les alluvions des terrasses supérieures (F_w).

2.4.11. Alluvions du Quaternaire sablo-argileuses

Les alluvions sablo-argileuses sont des formations caillouteuses cimentées par une matrice argileuse. Les graviers et cailloux peuvent être très abondants. Cette formation peut faire plus de 10 m d'épaisseur.

Ce sont les alluvions des hautes terrasses (F_w), les alluvions des rivières d'origine montagnarde et locale (F_{w1}), et les alluvions des rivières (F_v).

2.4.12. Formation résiduelle argilo-sableuse du Quaternaire

Sur les plates-formes structurales, les replats des pentes douces et les parties horizontales des interfluvés, le substratum molassique s'est altéré sur place pour donner une formation d'un à

deux mètres d'épaisseur, argileuse, limoneuse et sableuse, plus ou moins décalcifiée (mRe, mgRe, e_y, Fp(u), ReG, r_{m1}, r_{m2}).

2.4.13. Molasse de l'Oligocène-Miocène

La molasse, est caractérisée par la superposition de plusieurs séquences sédimentaires continentales détritiques qui forment un ensemble de plusieurs centaines de mètres d'épaisseur. Les séquences sont généralement sablo-graveleuses à la base, puis silteuses, argileuses et enfin calcaires. Des traces de pédogenèse peuvent exister au sommet, ainsi que de l'argile d'altération ou de néoformation parfois sur plusieurs mètres d'épaisseur. Les passées gréseuses sont caractéristiques d'anciens chenaux.

La granulométrie de la molasse varie énormément mais la phase argileuse représente au minimum 15% du dépôt.

La sédimentation a été réalisée dans un milieu fluviatile soumis à des variations de débit hydrodynamique déterminant des figures sédimentaires de type laminations obliques, érosion chenalissantes ou laminations sub-horizontales. Mais les conditions de dépôts de type plaine d'inondation peuvent aussi privilégier les décantations argileuses carbonatées qui s'imbriquent aux niveaux gréso-silteux en passages continus, ne montrant pas de limites nettes (passages latéraux de faciès).

Les différentes séquences ne sont pas individualisées sur les cartes disponibles, mais sont regroupées de manière arbitraire, sous le terme de molasse, sur les cartes géologiques et par conséquent sur la carte géologique de synthèse. **Ainsi, le manque de précision des cartes géologiques entraîne le regroupement, dans une même unité lithologique de la carte géologique de synthèse, de faciès pourtant très différents.** Cette formation renferme une superposition de séquences débutant à l'Oligocène inférieur (Stampien) et se terminant au Miocène moyen (Helvétien).

Peuvent également être classées en molasse (sur certaines cartes géologiques), des formations superficielles diverses : éluviales, colluviales, résiduelles, de pente, qui dérivent de la molasse et qui ont, à priori, un comportement géotechnique équivalent.

2.4.14. Argile palustre de l'Eocène-Oligocène

Cette formation débute en général par des conglomérats à galets de quartz parfois rubéfiés, associés à des argiles rouges et localement à des paléosols. L'essentiel de la série est constituée d'argiles gréseuses rouges, violacées à blanches ou vertes. Puis, des encroûtements calcaires annoncent des calcaires lacustres.

Ces faciès argileux sont attribués à des milieux palustres de plaine d'inondation où viennent se décanter les produits argileux hérités du lessivage d'altérites. L'ensemble a une épaisseur de 10 à 20 m.

Ce sont ainsi les argiles palustres à encroûtements carbonatés (e_{3-4p}, e_{7a}, g_{1M}).

2.4.15. Marnes et marno-calcaires

Les formations marneuses et marno-calcaires rencontrées font entre 40 et 50 m d'épaisseur. Ce sont des formations molassiques à dominante marneuse ou marno-calcaire. L'âge de ces formations est contemporain de la mise en place de la molasse (Oligocène-Miocène).

Les faciès regroupés dans cette catégorie sont des marnes compactes et des calcaires marneux (g_{2d}), des banc de calcaire marneux d'épaisseur très variable (2 à 6 m) (g_2), des marnes calcaires (g_{2b} , C_{7c} , C_{6-7a} , e_{2a} , e_{2c} , e_{3a} , e_{3c} , e_{4b} , e_{4c} , e_{4a} , m_{1c} , m_{21c} , m_1).

2.4.16. Argile bariolée gypsifère du Keuper

Le Keuper correspond à un complexe d'argiles bariolées (verte ou rouge à lin de vin), de cargneules ocre, de brèches, de calcaire dolomitique et d'évaporites (gypse et anhydrite). Cette formation à dominante argileuse a joué un rôle déterminant dans la tectonique pyrénéenne en permettant le décollement et le chevauchement des unités structurales pyrénéennes.

Ce sont ainsi les argiles bariolées gypsifères (t_s , t , t_{7-10}).

2.5 LITHOLOGIE ET STRATIGRAPHIE DES FORMATIONS NON ARGILEUSES

Ce chapitre dresse un inventaire des formations géologiques, que leurs caractéristiques lithologiques générales ne permettent pas de classer parmi les formations argileuses ou marneuses bien que des sinistres aient été enregistrés sur certaines d'entre elles. Comme les précédentes, ces formations ont fait l'objet de regroupements lorsque les similitudes lithologiques le permettaient. Elles sont en définitive au nombre de huit. Comme dans le chapitre précédent, elles sont décrites depuis les plus récentes jusqu'aux plus anciennes. La carte géologique synthétique incluant ces formations est présentée sur la **figure 3**.

2.5.1. Cônes de déjection actuels et éboulis non argileux

Au pied des versants raides, au débouché des petits ravins qui les entament, les formations miocènes sont cachées par des éboulis venus de la couverture des plateaux par gravité. Ces formations sont actuelles, caillouteuses, peu consolidées et arrivent au niveau des basses plaines des rivières.

2.5.2. Calcaires, poudingues et brèches

Les horizons calcaires lacustres ou palustres sont disséminés au sein de la sédimentation molassique. Leur extension horizontale et verticale est très discontinue et l'on observe d'importantes hétérogénéités de faciès (lacustre, palustre, marneux, noduleux ou micritique). Ils peuvent présenter à leur surface des altérations de nature argileuse d'épaisseur variable (0,1 à 0,9 m), pouvant être liées à des phénomènes karstiques. Malheureusement ces poches d'argile n'ont pas été individualisées sur les cartes géologiques.

Les calcaires rencontrés sont de type : calcaire lacustre (e_{5-6F}), calcaire à algues (e_1) (110 à 140 m de puissance), calcaire dolomitique (e_{1a} , e_{1b}) et calcaire (g_{1b} , c_{7b} , e_{3b} , $n_{6a}U$, $n_{6b7}C$, $n_{6b7}C$ Br, e_1 , e_{1c} , e_{1d}). Ces formations sont d'âge Albien ou contemporain de la Molasse.

Certaines formations de type poudingue et brèche (e_{3d-6} , e_{6-4d}) ont également été classées dans la même unité lithologique, par leur caractère très résistant vis à vis de l'érosion. Ces formations forment des « barres », reliefs bien nets dans le paysage et la topographie.

2.5.3. Sables et formations détritiques non consolidées Oligocène-Pliocène

Les formations détritiques non consolidées sont composées de cailloutis et de sables qui ont été individualisés dans la molasse. Ces formations sont d'âge Oligocène à Pliocène.

Les faciès regroupés dans cette catégorie sont des cailloutis (p), des sables peu agglomérés par un ciment calcaire ou des grès à ciment calcaire ou encore des sables fins micacés (g_{2c}), des sables (g_{3a} et e_{2a}) et des flysch argilo-gréseux (n_{6b7FB_r}).

2.5.4. Roches sédimentaires, cristallo-phylliennes et cristallines consolidées

Dans cette unité lithologique, ont été regroupées les roches dures, résistantes, ne présentant à priori aucun risque de retrait-gonflement. Cette catégorie de roches consolidées fait apparaître des faciès très différents tels que : des calcaschistes (n_{6-b7M}), des calcaires de 300 m de puissance (n_{1-4} , n_{6U}), des calcaires marneux (n_{6C}), des flysch marno-gréseux (C_{2-1} , C_{2-1bB} , C_{2-1bBp}), des schistes et grès d'une puissance de 1000 m (K1). Il y a également des roches granitiques (γ_{3M}) et des gneiss ($o\zeta^3$, Spc, Spd, Spe).

3. Analyses des autres facteurs potentiels de prédisposition : le contexte hydrogéologique

L'abaissement du niveau des nappes aquifères en période de sécheresse ou, au contraire, son élévation en période de précipitation peut éventuellement aggraver les modifications de teneurs en eau (dessiccation ou imbibition) dans certaines formations géologiques argileuses et marneuses, et contribuer ainsi au déclenchement de mouvements de terrains différentiels.

Dans un premier temps nous ferons la synthèse des Systèmes Aquifères décrits dans la Haute-Garonne par le Référentiel Hydrogéologique, et dans un deuxième temps, nous décrirons pour chaque Système Aquifère les possibilités d'influence des aquifères sur les mouvements de terrain.

3.1. Référentiel Hydrogéologique et cadre géologique

Les systèmes aquifères (SA) du territoire français sont répertoriés dans une base géoréférencée nommée Référentiel Hydrogéologique de la France (RHF). Les SA de la Haute-Garonne sont regroupés dans le **tableau 1**.

Les dernières lignes de ce tableau (en grisé) correspondent aux **grands aquifères profonds** captifs du sud du bassin aquitain. Hormis des zones affleurantes extrêmement réduites dans la Haute-Garonne, ces aquifères sont sans influence sur les formations superficielles.

Les SA superficiels, susceptibles de jouer un rôle, sont les SA des lignes non grisées du tableau 1 (leurs contours sont montrés sur la carte de la **figure 5**) :

- Dans les SA 131A, 131B, n 132, 339, 342A, 342B, 352A et 352D, qui sont des aquifères alluviaux (plaines de la Garonne et de l'Ariège), les possibilités de mouvements de nappe sont réelles. Les facteurs qui vont jouer le rôle le plus important sont la profondeur du niveau piézométrique et les fluctuations de ce niveau. En effet, un niveau piézométrique à faible profondeur avec d'importantes possibilités de fluctuation présentera un risque fort de variation d'imbibition des formations superficielles par battement de nappe. Des indicateurs de ces possibilités sont donnés dans le tableau 2 dans lequel :
 - ❖ l'épaisseur saturée est la différence d'altitude entre la base des alluvions et la surface piézométrique,
 - ❖ l'épaisseur non saturée est la différence d'altitude entre la surface du sol et la surface piézométrique et
 - ❖ la fluctuation est la différence d'altitude entre le plus haut et le plus bas niveau piézométrique au cours d'un cycle hydrologique moyen.
 - ❖ le « niveau haut » moyen est la profondeur par rapport au sol du niveau piézométrique le plus haut observé au cours d'un cycle hydrologique moyen. Plus cette profondeur sera faible, et plus le risque de mouvement de sol par retrait sera faible.

Toutes les valeurs du tableau 2 ne sont qu'indicatives, car leur variabilité spatiale et interannuelle peut être importante.

- Dans les SA 560, 561 et 565, il n'y pas de « grand aquifère individualisé ». Ils correspondent à un amalgame de divers petits aquifères. Ces SA correspondent à une zone qui regroupe différents faciès géologiques : molasses, calcaires, argile et glaises bigarrées, colluvions argileuses et alluvions tributaires de la molasse. Parmi ces formations, certaines peuvent abriter des aquifères discontinus et de taille réduite. Des mouvements de nappe peuvent exister localement, mais les faibles perméabilités réduisent les possibilités de fluctuation piézométrique.
- Dans les SA 568A, 568B, 568C, 568D, 568E et 568F, on retrouve les formations des massifs pyrénéens. Ces SA, dont la lithologie est très variée et la tectonisation importante (plissements, failles), ne regroupent pas de grands aquifères individualisés. Les aquifères qu'ils contiennent ont des caractéristiques très variables, d'un aquifère à l'autre, mais aussi au sein d'un même aquifère : les profondeurs du niveau piézométrique sont très variables et les nappes discontinues (dans le cas des calcaires karstifiés notamment). Les Des fluctuations du niveau piézométrique peuvent donc exister localement.

3.2. Synthèse

En résumé, il apparaît que ce sont principalement les aquifères liés aux formations alluviales qui sont susceptibles de jouer un rôle, en raison de leur faible profondeur et des possibilités de fluctuations importantes de leur niveau piézométrique. Les aquifères des formations des massifs pyrénéens peuvent également jouer un rôle, mais très localement.

Code	NOM_SYSTÈME AQUIFÈRE	ETAT	GENERALITES
131A	PLAINE DE LA HAUTE GARONNE / BASSE PLAINE	Libre	Aquifère alluvial d'âge quaternaire de la vallée de la Garonne, en rive gauche, entre Toulouse et Cazères.
131B	PLAINE DE LA HAUTE GARONNE / BASSE TERRASSE	Libre	Aquifère alluvial d'âge quaternaire de la vallée de la Garonne, en rive gauche, entre Toulouse et Cazères.
132	PLAINE DE L'ARIEGE	Libre	Aquifère alluvial d'âge quaternaire de la basse vallée de l'Ariège.
339	GARONNE RIVE DROITE	Libre	Aquifère alluvial de la rive droite de la Garonne et de l'Hers.
340	TARN-AGOUT	Libre	Aquifère alluvial d'âge quaternaire du Tarn et de ses affluents l'Agout et le Dadou.
342A	GARONNE 1 / basse plaine, basse terrasse	Libre	Aquifère alluvial de la rive gauche de la Garonne et de la Save entre Grenade et Moissac.
342B	GARONNE 1 / moyenne terrasse	Libre	Aquifère alluvial de la rive gauche de la Garonne et de la Save entre Grenade et Moissac.
352A	GARONNE 4 / salat et alluvions région saint- gaudens	Libre	Aquifère alluvial de la Garonne entre Arières en amont et Roquefort-sur-G. en aval, et du Salat, de la Cave à Roquefort-sur-G.
352D	GARONNE 4 / moyenne vallée	Libre	Aquifère des formations fluvio-glaciaire de la moyenne vallée de la Garonne, de Jaunac à Marignac.
560	INTERFLUVE GARONNE-ARIEGE	Captif	Domaine sans grand aquifère individualisé, constitué par des formations sédimentaires tertiaires.
561	ALBIGEOIS-TOULOUSAIN	Captif	Domaine sans grand aquifère individualisé, constitué par des formations sédimentaires tertiaires.
565	ARMAGNAC	Captif	Domaine sans grand aquifère individualisé, constitué par des formations sédimentaires tertiaires.
568A	PYRENEES OCCIDENTALES / MASSIFS PYRENEENS	Libre	Domaine constitué par les formations d'âge paléozoïque, les massifs de gneiss, de migmatites et de granites formant la zone axiale pyrénéenne, et par les massifs satellites de la zone nord-pyrénéenne.
568B	PYRENEES CENTRALES / massif de la barousse	Libre	Domaine du Massif de la Barousse constitué de trois ensembles: #- le Massif de Ferrère, #- le Massif de Chaum, #- et le Massif du Pic du Puy Venteux.
568C	PYRENEES CENTRALES / gave de pau garonne	Libre	Domaine inclus dans la zone nord-pyrénéenne, entre Gave de Pau et Garonne. Terrains d'âge secondaire anté-cénomaniens, situés le long du contact de la faille nord-pyrénéenne et parfois métamorphisés.
568D	PYRENEES CENTRALES / chaînon jurassique et crétacé entre la garonne et le salat	Libre	Domaine constitué essentiellement de formations marneuses et calcaires très plissées et fracturées, appartenant à la zone nord-pyrénéenne d'âges jurassique et crétacé.
568E	PYRENEES CENTRALES / petites pyrenees ouest-garonne	Libre	Domaine constitué par les formations d'âge sénonien à paléogène qui s'étendent sur la rive gauche de la Garonne entre Saint-Martory et Martres-Tolosane, et vers l'ouest jusqu'à Saint-Marcet et Aurignac.
568F	PYRENEES CENTRALES / petites pyrenees garonne et ariege	Libre	Domaine situé entre Garonne et Ariège et constitué de formations sédimentaires calcaires et marneuses d'âges campanien à éocène sup. Il est inclus dans l'unité géologique des Petites Pyrénées.
214	AQUIFÈRE PROFOND NORD-PYRENEEN	Captif	Grand système aquifère captif dont l'extension recouvre la quasi-totalité du Bassin aquitain d'âges éocène et secondaire.
217	JURASSIQUE MOYEN ET SUPERIEUR	Captif	Aquifère captif du Jurassique calcaire moyen et supérieur.
231	CRETACE SUPERIEUR AQUITAINE	Captif	Aquifère captif d'âges maastrichtien et campanien.
242	TURONIEN ET CONIACIEN	Captif	Système aquifère du Turonien.
565	ARMAGNAC	Captif	Domaine sans grand aquifère individualisé, constitué par des formations sédimentaires tertiaires.

Tableau 1 : Systèmes aquifères du RHF dans la Haute-Garonne. Les lignes en gris sont des aquifères profonds, sans influence sur les formations superficielles.

Caractéristiques des aquifères alluviaux				
code du SA	épaisseur saturée moyenne (m)	épaisseur non saturée moyenne (m)	fluctuation annuelle moyenne (m)	profondeur du « niveau haut » moyen (m)
132	3.5	2.5	2	1.5
339	3	1	1.5	0.75
340	2	2	1	1.5
131A	3	3	2	2
131B	2	2	3	0.5
342A	3	3	?	?
342B	2	?	?	?
352A	10	10	2	9
352D	?	?	?	?

Tableau 2 : Systèmes aquifères alluviaux en Haute-Garonne (*valeurs indicatives*).

L'épaisseur saturée est la différence d'altitude entre la base des alluvions et la surface piézométrique.

L'épaisseur non saturée est la différence d'altitude entre la surface du sol et la surface piézométrique,

La fluctuation est la différence d'altitude entre le plus haut et le plus bas niveau au cours d'un cycle hydrologique.

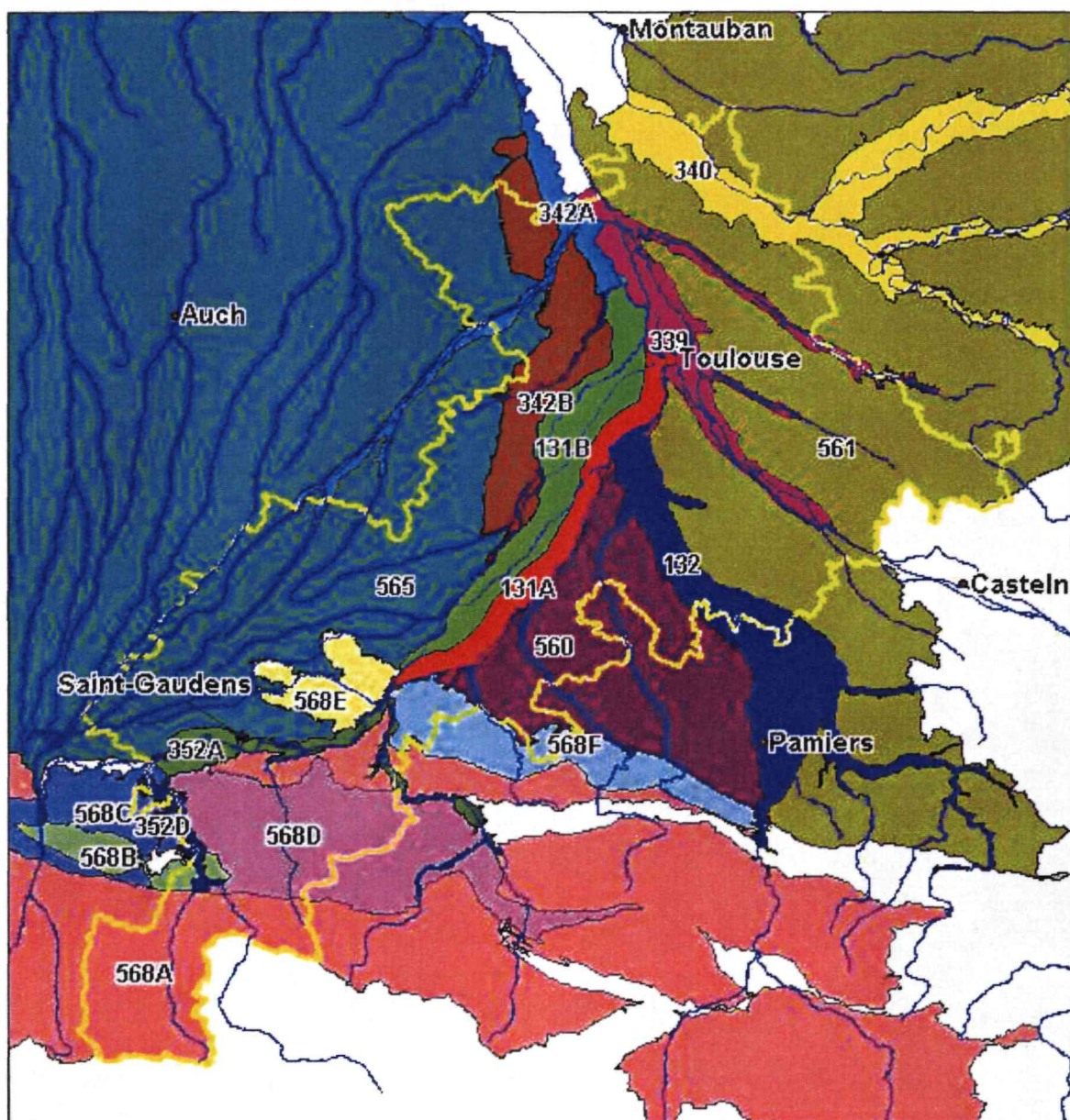


Figure 5 : Systèmes aquifères du RHF en Haute-Garonne. Les chiffres sont les codes des SA dont les caractéristiques figurent dans le tableau 1.

4. Caractérisation lithologique, géotechnique et minéralogique des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante

Cette caractérisation revient à affecter à chaque formation potentiellement favorable à la présence d'argile gonflante une note permettant de hiérarchiser les formations sur la base des trois critères pris en compte, à savoir les caractéristiques lithologiques, géotechniques et minéralogiques. Une telle notation repose pour une grande part sur l'étude de documents existants, qu'il s'agisse des cartes géologiques, réalisées par le BRGM, ou des rapports d'expertise disponibles dans les archives des bureaux d'étude ou des organismes d'assurance.

Un complément d'information non négligeable a été apporté par des travaux de terrain, réalisés au cours de cette étude, qui ont consisté en un prélèvement de quelques 20 échantillons, répartis sur les principales formations sujettes au retrait-gonflement. L'analyse de ces échantillons (granulométrie, en particulier de la fraction argileuse à 2 μm , valeur au bleu et diffractométrie aux RX) a permis de compléter les informations existantes par des apports originaux. En outre, compte tenu de la similitude des formations géologiques entre le département de la Haute Garonne et celui de Tarn-et-Garonne, les résultats de ces deux départements ont été utilisés pour réaliser les notations sur un nombre d'échantillons plus significatif. Des extraits des résultats de ces travaux sont présentés en annexe 2 (les fichiers intégraux sont archivés sur le cdrom joint au rapport).

4.1. NOTATION LITHOLOGIQUE

Le système de notation mis en place permet de prendre en compte de manière globale les caractéristiques lithologiques de telle ou telle formation, **contenant de l'argile** sous quelque forme que ce soit : lentilles, poches, altération, niveau géologique plus ou moins épais, etc. Les critères utilisés pour cette classification sont donc d'ordre purement lithologique, en considérant que moins un faciès est argileux, moins il a de chance de receler intrinsèquement des minéraux gonflants dans sa phase argileuse. La notation lithologique suivante a donc été proposée (**tableau 3**):

Sur la base de ces critères, le **tableau 4** permet de synthétiser les différentes notes lithologiques attribuées aux 16 formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante. Ces notes ont été attribuées sur la base des descriptions lithologiques extraites des notices des cartes géologiques et synthétisées précédemment.

4.2. NOTATION GEOTECHNIQUE

4.2.1. Recueil des données

Les données géotechniques qui ont pu être recueillies sont issues de plusieurs sources :

- des rapports d'expertise de bureaux d'études, avec étude de sol, communiqués par les mairies,

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

Tableau 3 : Principe de notation lithologique

Nature de la Formation géologique	Note lithologique
Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire)	1
Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	1
Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)	2
Eluvions limoneuses (Quaternaire)	3
Dépôts glaciaires (Quaternaire)	2
Paléochenaux (Quaternaire)	3
Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	3
Limons sur alluvions (Quaternaire)	2
Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire)	3
Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	2
Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	3
Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)	3
Molasse (Oligocène-Miocène)	2
Marnes et marno-calcaire (Oligocène-Miocène)	3
Argile palustre (Eocène-Oligocène)	2
Argile bariolée gypsifère (Keuper)	3

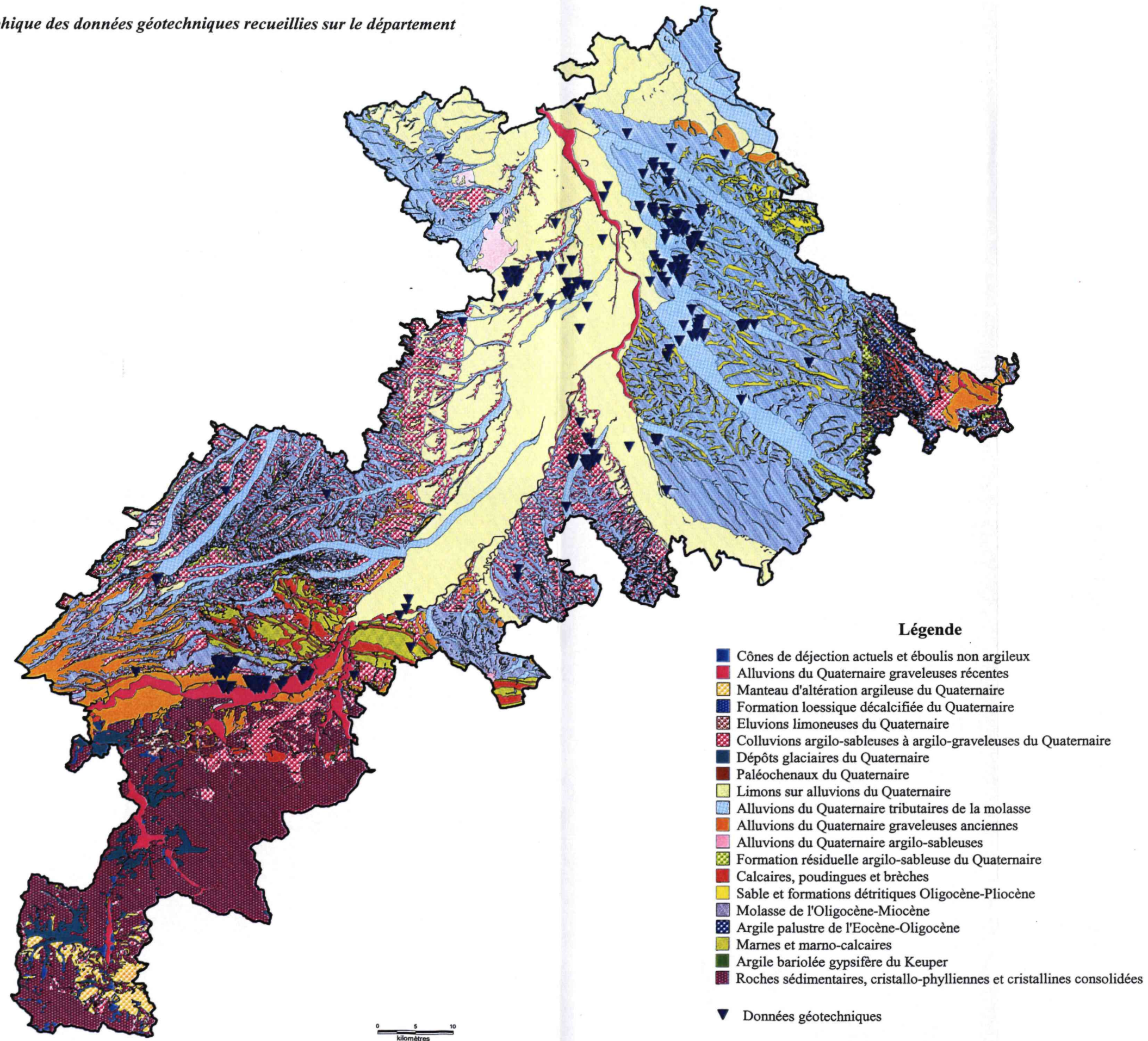
Tableau 4 : Notes lithologiques attribuées aux différentes classes potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante

- des rapports d'expertise de bureaux d'études, avec étude de sol, consultés dans les bureaux d'études eux-mêmes (Sol et Eaux, en particulier),
- des rapports d'expertise de sinistres, avec étude de sol, mis à disposition par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) ainsi que par plusieurs mutuelles d'assurance (MAIF, MAAF, Groupama, notamment).

Chaque donnée a été localisée sur fond de cartes IGN (Top 25 numérisés à l'échelle 1/25 000) à l'aide du logiciel Mapinfo soit à partir des plans de localisations joints aux rapports d'étude des sols soit au moyen d'une recherche via certains sites internet spécialisés (*mappy*, *maporama* ou encore *les pages jaunes*). En dernier recours, il a été procédé à la localisation visuelle des lieux-dits ou hameaux sur le fond topographique.

La figure 6 montre, sur fond de carte géologique de synthèse, la répartition des 335 données géotechniques recueillies. Toutefois l'étude a pris en compte des données recueillies sur le département de Tarn-et-Garonne, compte tenu de la forte similitude de certaines formations géologiques. Au total ce sont 403 études géotechniques qui ont servi à la caractérisation des formations géologiques rencontrées.

Figure 6 : Répartition géographique des données géotechniques recueillies sur le département



4.2.2. Modalités de la notation

Cette notation est établie sur la base des différents essais suivants : indice de plasticité, valeurs au bleu de méthylène, essai de gonflement à l'oedomètre et retrait linéaire dont les valeurs ont été extraites de différents rapports d'expertises qui ont pu être consultés. La notation est complétée par les résultats des essais réalisés sur les échantillons prélevés au cours de la présente étude.

Pour chaque essai pris en compte (indice de plasticité, essai au bleu de méthylène, essai de gonflement à l'oedomètre, retrait linéaire) des notes intermédiaires sont attribuées. Celles-ci sont déterminées selon les critères suivants :

Essais au bleu de méthylène (VB)

Rappel : ces essais permettent d'évaluer la **surface spécifique d'échange** d'un matériau argileux, ce qui constitue un bon indicateur de sa susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement.

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

On considère généralement (*Chassagneux et al., 1996*) que la sensibilité d'un matériau argileux varie de la manière suivante en fonction de la valeur de bleu (VB), comme indiqué dans le **tableau 5**.

Indice de plasticité (Ip)

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

On considère généralement que la **susceptibilité d'une argile au retrait-gonflement** varie en fonction de l'indice de plasticité Ip de la manière indiquée dans le **tableau 6**.

Valeur de bleu	Susceptibilité	Note intermédiaire
< 2,5	Faible	1
2,5 à 6	Moyenne	2
6 à 8	Forte	3
> 8	Très forte	4

Tableau 5 : Classification intermédiaire selon la valeur au bleu de méthylène

Indice de plasticité	Susceptibilité	Note intermédiaire
$I_p < 12$	Faible	1
$12 \leq I_p < 25$	Moyenne	2
$25 \leq I_p < 40$	Forte	3
$I_p \geq 40$	Très forte	4

Tableau 6 : Classification intermédiaire selon l'indice de plasticité

Retrait linéaire	Susceptibilité	Note intermédiaire
$R_l < 0,4$	Faible retrait	1
$0,4 \leq R_l < 0,65$	Retrait moyen	2
$0,65 \leq R_l < 0,75$	Retrait fort	3
$R_l \geq 0,75$	Retrait très fort	4

Tableau 7 : Classification intermédiaire selon le retrait linéaire

Coefficient de gonflement	Susceptibilité	Note intermédiaire
$C_g < 0,025$	Faible gonflement	1
$0,025 \leq C_g < 0,035$	Gonflement moyen	2
$0,035 \leq C_g < 0,055$	Gonflement fort	3
$C_g \geq 0,055$	Gonflement très fort	4

Tableau 8 : Classification intermédiaire selon le coefficient de gonflement

Retrait linéaire (Rl)

Rappel : la valeur de retrait linéaire est un indicateur de l'importance du retrait possible d'un sol, en terme de volume, lors de son assèchement. Initialement, le sol est saturé en eau, son volume total diminue lorsque la teneur en eau diminue puis se stabilise. Ce processus de diminution de la teneur en eau se traduit par deux phases au niveau granulaire du sol. Lors de la première, les grains constituant le sol se rapprochent mais le sol reste toujours saturé. Au cours de la seconde, les grains sont en contact et ne peuvent plus se rapprocher : l'élimination d'eau ne fait plus varier le volume mais désature le sol. La teneur en eau correspondant au changement de phase est appelée limite de retrait. Plus cette limite est faible, plus la variation de volume peut être importante et plus le tassement induit sera grand.

Le retrait linéaire, noté Rl, correspond à la pente de la droite donnant le tassement de l'échantillon en fonction de la teneur en eau, dans la partie où cette teneur en eau reste supérieure à la limite de retrait. Dans le **tableau 7**, des coupures ont été proposées pour caractériser le potentiel de gonflement avec ce paramètre.

Essais œdométriques (Cg)

Rappel : l'essai de gonflement à l'œdomètre (*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. De ce fait, l'intérêt d'associer ces essais avec un profil hydrique paraît essentiel.

Le potentiel de gonflement peut être caractérisé par le coefficient de gonflement Cg pour lequel on propose les coupures indiquées dans le **tableau 8**.

Le nombre des données considérées (378) dans ces différents essais est suffisant pour caractériser valablement le contexte géotechnique des formations argileuses du département de la Haute Garonne. Il est toutefois apparu souhaitable d'intégrer les informations concernant le département voisin de Tarn-et-Garonne puisqu'il présente des formations géologiques comparables quant à leur lithologie et leur milieu de formation. Au total donc 403 données ont été prises en compte.

Le traitement des données se fait sous la forme d'un tableau de synthèse dans lequel ont été systématiquement précisés le **nombre d'essais** pris en compte, les **valeurs minimales et maximales** mesurées, ainsi que la **valeur moyenne** calculée, ce qui permet de se rendre compte de la variabilité des données exploitées.

Les notes intermédiaires ont été attribuées à partir des valeurs moyennes des grandeurs caractéristiques des essais pris en compte.

Dans la pratique, la détermination de la note géotechnique s'est faite principalement sur la base des valeurs de l'indice de bleu, car cet essai est le plus représentatif de l'aptitude du matériau au retrait-gonflement. Il a cependant été tenu compte de l'ensemble des résultats d'essais disponibles, la moyenne étant d'autant plus significative que le nombre d'essais est

BRGM/RP-51894-FR

élevé. D'une manière générale, pour la note géotechnique finale, c'est le critère présentant le plus de crédibilité qui sera retenu. Dans le cas où le nombre de valeurs disponibles par essai est faible, la note a pu être modulée en fonction de critères plus subjectifs issus de l'expertise du géologue régional.

La synthèse des données géotechniques disponibles par formation ainsi que les notes géotechniques associées sont fournies dans le **tableau 9**.

4.3. NOTATION MINÉRALOGIQUE

4.3.1. Recueil de l'information

Outre l'étude des notices de cartes géologiques, l'information nécessaire provient surtout de la détermination des minéraux argileux par analyse de diffractométrie aux rayons X sur des échantillons de sols recueillis au cours du projet au droit de chaque formation argileuse considérée, complétée par une analyse granulométrique de la fraction argileuse ($\leq 2\mu\text{m}$). Quelques rares rapports d'expertise ont permis de compléter ces données.

4.3.2. Recueil de l'information

L'approche proposée consiste à attribuer une note de 1 à 4 à chacune des formations argilo-marneuses identifiées, en fonction de sa richesse relative en minéraux argileux gonflants (essentiellement les smectites et les interstratifiés).

L'attribution des notes est alors faite sur la base de la classification suivante :

- **note 1** : moins de 25% de minéraux gonflants dans la fraction argileuse de la formation
- **note 2** : de 25 à 50% de minéraux gonflants dans la fraction argileuse de la formation
- **note 3** : de 50 à 80% de minéraux gonflants dans la fraction argileuse de la formation
- **note 4** : plus de 80% de minéraux gonflants dans la fraction argileuse de la formation.

Ces fractions de minéraux gonflants sont reportées dans le tableau 10 et ont donc été obtenues par diffractométrie aux 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 la surface des pics.

Le **tableau 10** présente les notes minéralogiques attribuées aux différentes formations lithologiques.

Les résultats complets sont présentés en annexe 2

Formation géologique	Indice de plasticité Ip					Valeur de bleu Vb					Retrait linéaire RI					Coefficient de gonflement Cg					Indice de susceptibilité géotechnique
Nature	Nombre de mesures	Ip min	Ip max	Ip moy	Note	Nombre de mesures	Vb min	Vb max	Vb moy	Note	Nombre de mesures	RI min	RI max	RI moy	Note	Nombre de mesures	Cg min	Cg max	Cg moy	Note	
Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire)	21	13.0	16.0	13.1	2	10	0.4	0.4	0.43	1	1	0.40	0.40	0.40	2	2	0.03	0.04	0.036	3	2
Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)						2	0.2	0.4	0.30	1											1
Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)						1	0.9	0.9	0.90												1
Eluvions limoneuses (Quaternaire)						1	0.7	0.7	0.70												1
Dépôts glaciaires (Quaternaire)						1	0.7	0.7	0.70	1											1
Paléochenaux (Quaternaire)						2	3.1	4.9	4.00	2											2
Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	1	30.0	32.0	31.0	3	3	2.7	4.5	3.60	2						1	0.03	0.03	0.030	2	2
Limons sur alluvions (Quaternaire)	108	1.0	53.0	19.6	2	47	1.1	6.1	2.65	2	47	0.45	0.52	0.45	2	87	0.02	0.10	0.037	3	2
Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire)	38	11.0	37.0	26.0	3	3	2.4	6.0	4.53	2	12	0.36	0.50	0.49	2	27	0.02	0.05	0.038	3	3
Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	26	14.0	51.0	24.8	2	1	2.7	2.7	2.70	2	38	0.41	0.53	0.45	2	24	0.01	0.04	0.025	2	2
Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	14	22.0	48.0	28.2	3	6	0.7	4.7	3.33	2	5	0.40	0.52	0.48	2	14	0.01	0.04	0.028	2	2
Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)						1	3.7	3.7	3.70	2											2
Molasse (Oligocène-Miocène)	97	3.0	42.0	25.7	3	17	0.1	8.1	3.98	2	62	0.31	0.53	0.46	2	89	0.02	0.05	0.039	3	2
Marnes et marno-calcaire (Oligocène-)	8	20.0	37.0	24.2	2	2	3.4	5.2	4.30	2	10	0.14	0.43	0.39	1	9	0.03	0.04	0.039	3	2
Argile palustre (Eocène-Oligocène)	1	27.0	27.0	27.0	3	2	3.0	3.7	3.35	2						1	0.04	0.04	0.041	3	2
Argile bariolée gypsifère (Keuper)						1	3.0	3.0	3.00	2											2
Total	314					99					175					254					

Tableau 9 : Synthèse des données caractérisant le comportement géotechnique des formations argileuses et marneuses dans la Haute-Garonne

Formation géologique	Fraction de minéraux gonflants (smectites + interstratifiés)				
Nature	Nombre d'analyses	Fraction minimum	Fraction maximum	Fraction moyenne	note minéralogique
Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire)	0				1
Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	2	0	0	0	1
Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)	1	0	0	0	1
Eluvions limoneuses (Quaternaire)	1	0	0	0	1
Dépôts glaciaires (Quaternaire)	1	0	0	0	1
Paléochenaux (Quaternaire)	3	0	69	23	1
Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	2	0	67	33	2
Limons sur alluvions (Quaternaire)	5	0	54	17	1
Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire)	4	0	79	45	2
Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	1	89	89	89	4
Colluvions argilo-sableuses à argilo- graveleuses (Quaternaire)	3	0	86	34	2
Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)	1	72	72	72	3
Molasse (Oligocène-Miocène)	7	45	89	69	3
Marnes et marno-calcaire (Oligocène- Miocène)	2	0	82	41	2
Argile palustre (Eocène-Oligocène)	5	13	73	41	2
Argile bariolée gypsifère (Keuper)	1	0	0	0	1

Tableau 10 : Synthèse des données caractérisant la minéralogie des formations argileuses et marneuses de la Haute-Garonne

5. Élaboration de la carte de susceptibilité

5.1. CRITERES RETENUS

Les critères de susceptibilité à l'aléa retrait-gonflement, tels que le **contexte hydrogéologique, la topographie, la végétation ou le type de fondation des bâtis**, n'ont été que sommairement abordés, la plupart de ces facteurs n'intervenant que de manière **très locale** et ne pouvant par conséquent être pris en compte dans le cadre d'une cartographie à l'échelle départementale.

Les critères retenus pour l'élaboration de la **carte de susceptibilité** au phénomène de retrait-gonflement sont donc essentiellement liés à la **nature lithologique des formations affleurantes à sub-affleurantes**, complétée par la caractérisation de ces formations en fonction de la **nature minéralogique des argiles** présentes et du **comportement géotechnique** du matériau.

5.2. METHODE DE CLASSIFICATION

L'élément de base utilisé pour élaborer la carte de susceptibilité est la **carte synthétique des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante** du département, laquelle a été établie en tenant compte autant que possible de la nature lithologique des formations.

La seconde étape de cette cartographie consiste à **hiérarchiser les formations argileuses** ainsi identifiées, en fonction de leur plus ou moins grande **susceptibilité au phénomène de retrait-gonflement**. Cette hiérarchisation est basée sur la prise en compte de **caractéristiques quantifiables**, estimées pour chacune des 16 formations identifiées précédemment :

- Nature lithologique de la formation ou occurrence potentielle de la phase argileuse ;
- Comportement géotechnique du matériau, évalué à partir de
 - la réactivité du sol vis à vis de l'eau (caractérisée par la valeur de bleu);
 - l'étendue de son domaine plastique (caractérisée par son indice de plasticité) ;
 - l'importance du retrait possible en cas de dessèchement (caractérisée par les mesures de retrait-linéaire) ;
 - le coefficient de gonflement du sol (essai oedométrique) ;
- Composition minéralogique de la phase argileuse, évaluée à partir de la proportion de minéraux gonflants (smectites et interstratifiés) dans la phase argileuse ou, à défaut, estimée à partir de considérations sur les conditions de dépôt paléogéographiques de la formation .

Dans le but d'obtenir un moyen pratique de hiérarchisation entre les divers sols, la règle adoptée a consisté à moyenner les notes lithologique, minéralogique et géotechnique, de façon à obtenir un indice de **susceptibilité au retrait-gonflement**, correspondant à chacune des formations argilo-marneuses identifiées. Les résultats de cette classification sont indiqués dans le **tableau 11**.

5.3. DETERMINATION DU DEGRE DE SUSCEPTIBILITE

La **moyenne des notes obtenues** pour chaque formation, pour les différents facteurs pris en compte et selon la classification détaillée ci-dessus, permet d'obtenir un **indice de susceptibilité** (colonne de droite du **tableau 11**). Cet indice se caractérise par trois niveaux :

- **moyenne ≤ 2 : susceptibilité faible (1) ;**
- **$2 < \text{moyenne} \leq 3$: susceptibilité moyenne (2);**
- **moyenne > 3 : susceptibilité forte (3);**

La **carte départementale de susceptibilité** a été tracée à partir de la carte des formations argileuses et marneuses en attribuant à chacune des classes lithologiques la **classe de susceptibilité** définie ci-dessus. Le résultat de cette carte est présenté sur la **figure 7**.

Les **zones blanches** de la carte correspondent aux formations **a priori non argileuses**, pour environ 15,5 % de la surface du département, et donc théoriquement dépourvues de tout risque. Cependant, on ne peut exclure que ces formations soient recouvertes localement de **placages argileux non représentés sur la carte géologique**.

Les formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante sont représentées par trois couleurs (jaune, orange et rouge) selon leur degré de susceptibilité (faible, moyen, fort) vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

Aucune formation n'a été classée fortement susceptible après combinaisons des critères, et ceci par comparaison avec d'autres départements où ces mêmes critères ont été utilisés.

Les formations jugées **moyennement susceptibles** couvrent environ **57%** de la superficie du département. Les sept formations rattachées à cette catégorie sont les suivantes :

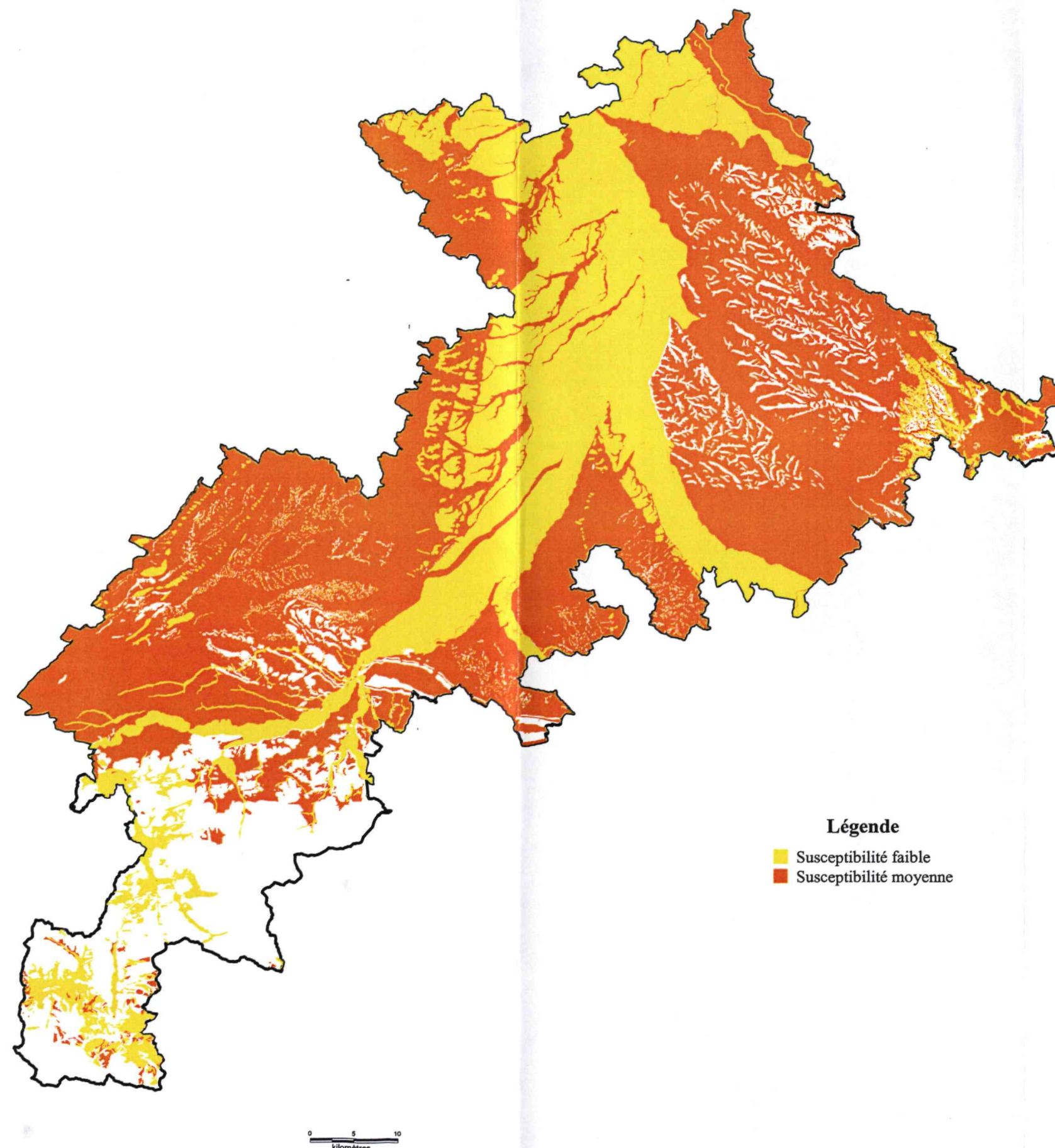
- Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire),
- Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire),
- Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire),
- Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire),
- Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire),
- Molasse (Oligocène-Miocène),
- Marnes et marno-calcaire (Oligocène-Miocène).

Nature de la Formation géologique	Note lithologique	Note Geotechnique	Note Minéralogique	Moyenne	Susceptibilité
Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire)	1	2	1	1.33	faible=1
Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	1	1	1	1.00	faible=1
Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)	2	1	1	1.33	faible=1
Eluvions limoneuses (Quaternaire)	3	1	1	1.67	faible=1
Dépôts glaciaires (Quaternaire)	2	1	1	1.33	faible=1
Paléochenaux (Quaternaire)	3	2	1	2.00	faible=1
Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	3	2	2	2.33	moyenne =2
Limons sur alluvions (Quaternaire)	2	2	1	1.67	faible=1
Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire)	3	3	2	2.67	moyenne =2
Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	2	2	4	2.67	moyenne =2
Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	3	2	2	2.33	moyenne =2
Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)	3	2	3	2.67	moyenne =2
Molasse (Oligocène-Miocène)	2	2	3	2.33	moyenne =2
Marnes et marno-calcaires (Oligocène-Miocène)	3	2	2	2.33	moyenne =2
Argile palustre (Eocène-Oligocène)	2	2	2	2.00	faible=1
Argile bariolée gypsifère (Keuper)	3	2	1	2.00	faible=1

Notation de la susceptibilité		
moyenne $\leq$ 2	: susceptibilité faible.....	note : 1
2 < moyenne $\leq$ 3	: susceptibilité moyenne	note : 2
moyenne > 3	: susceptibilité forte	note : 3

Tableau 11 : Détermination du degré de susceptibilité de chacune des formations argileuses ou marneuses du département de la Haute Garonne

Figure 7 : Carte de susceptibilité du département de la Haute Garonne



Les formations argileuses jugées **faiblement susceptibles** couvrent un peu plus de **41,5 % de la superficie du département**. Les neuf formations rattachées à cette catégorie sont les suivantes :

- Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire),
- Manteau d'altération argileuse (Quaternaire),
- Formation loessique décalcifiée (Quaternaire),
- Eluvions limoneuses (Quaternaire),
- Dépôts glaciaires (Quaternaire),
- Paléochenaux (Quaternaire),
- Limons sur alluvions (Quaternaire),
- Argile palustre (Eocène-Oligocène),
- Argile bariolée gypsifère (Keuper).

Les formations **non sensibles** au phénomène de retrait-gonflement, correspondent essentiellement aux roches métamorphiques ou éruptives de la zone axiale des Pyrénées et aux roches sédimentaires consolidées calcaires, marno-calcaires et gréseuses de l'avant pays. Les quatre formations rattachées à cette catégorie sont les suivantes :

- Cônes de déjections actuels et éboulis non argileux (Quaternaire)
- Sable et formations détritiques (Oligocène-Pliocène)
- Calcaires, poudingues et brèches (âges variés)
- Roches sédimentaires, cristallo-phylliennes et cristallines (âges variés)

Enfin, il convient de noter que **certains niveaux sablo-graveleux ou calcaires de la molasse** sont également insensibles au dit phénomène et ont été individualisés chaque fois que la carte géologique le permettait.

6. Inventaire des sinistres liés au phénomène de retrait-gonflement

6.1. PROCEDURE DE DECLARATION 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, dommages matériels directs ayant pour cause déterminante l'intensité anormale d'un agent naturel – dans le cas présent, la sécheresse – lorsque les mesures habituelles pour prévenir ces dommages n'ont pu empêcher leur survenance"*.

Les dossiers techniques des communes sont transmis aux services de la Préfecture pour leur présentation à la Commission Interministérielle qui statue 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 ;
- le caractère exceptionnel du phénomène climatique doit être prouvé (depuis décembre 2000, ce caractère est apprécié par l'analyse du déficit hydrique effectué par MétéoFrance) ;
- la nature du sol doit être essentiellement argileuse, de sorte qu'elle permette le retrait par dessiccation ;
- le niveau de fondation doit être dans la zone de sol subissant la dessiccation ;
- l'évolution des désordres doit être corrélée dans le temps avec celle du phénomène climatique exceptionnel.

Les études menées en vue de la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle d'une commune sont généralement très **succinctes**. Elles ne sont habituellement réalisées que sur quelques cas de désordre de bâti par commune. L'ensemble des sinistres d'une commune est rarement pris en compte. Il n'est pas rare qu'un seul sinistre permette de classer l'ensemble de la commune en état de catastrophe naturelle.

Une **visite de terrain** permet de réaliser un bref audit des sinistres, 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 permet de préciser la **nature des formations géologiques** incriminées. Il arrive parfois que les observations de terrain soient en désaccord avec les indications de la carte géologique, sans que ces divergences ne soient toujours explicitées dans les rapports d'étude.

Les dossiers techniques prennent également en compte les **données climatologiques**. À partir de l'examen des chroniques pluviométriques, on examine si l'apparition des désordres coïncide avec une **période de déficit pluviométrique avéré**.

Ces remarques montrent que les dossiers techniques ne constituent qu'une première approche rapide du problème. Après déclaration de la commune en état de catastrophe naturelle, des études plus approfondies sont généralement réalisées pour la plupart des bâtiments sinistrés, à la demande des compagnies d'assurance, afin de déterminer le niveau de remboursement des dégâts et proposer des solutions de confortement. Les experts chargés de ces diagnostics font souvent appel à des bureaux d'études spécialisés pour réaliser des **études géotechniques** qui permettent de préciser l'origine des désordres. Ces études de sols ne sont cependant pas systématiques.

Dans le cas du département de la Haute Garonne, les organismes ayant constitué les dossiers techniques pour la procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle sont principalement Sols et Eaux, SIMECSOL, SOL-ELYSEE, SORES et le CEBTP.

6.2. IDENTIFICATION DES COMMUNES SINISTRÉES

Entre 1989 et 2000, 396 communes du département de la Haute Garonne ont été reconnues en état de catastrophe naturelle au titre de mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols. Ces 396 communes représentent 67 % des 588 communes que compte le département.

Afin de mener à bien le travail cartographique qui lui est confié, le BRGM doit disposer des informations relatives aux dégâts constatés sur l'ensemble de ces communes, et notamment leur localisation, qui permettra d'établir des relations entre les différentes formations géologiques et les sinistres qui s'y sont produits.

6.2.1. Enquête auprès des communes

La première source de renseignements correspond aux réponses des mairies suite à l'enquête lancée au niveau de toutes les communes du département sous le couvert de la Préfecture. Une circulaire a ainsi été envoyée aux maires dans le but de recueillir les éléments suivants :

- la liste des bâtiments endommagés, le nom et l'adresse de leur propriétaire et la localisation de ces bâtiments sur un document cartographique joint à la circulaire (extrait des cartes topographiques de l'IGN, à l'échelle du 1/25.000),

- la copie du rapport d'expertise ayant permis d'instruire le dossier de la commune auprès de la commission interministérielle de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle,
- les rapports de bureaux d'études sur les divers sinistres.

Si une majorité des communes a répondu, il a cependant été nécessaire d'en relancer certaines, soit pour défaut de réponse soit parce que leur réponse ne permettait pas de mener à bien le travail cartographique (nom ou adresse manquants, défaut de localisation des sinistres...).

6.2.2. Enquête auprès des bureaux d'étude et des assurances

La deuxième source de renseignement correspond aux informations collectées auprès de la CCR, de quelques mutuelles d'assurance (MAIF, MAAF, GROUPAMA) et des bureaux d'études (Sol et Eaux en particulier) qui nous ont facilité l'accès à leurs données et leurs archives. Ces différentes visites avaient pour but de compléter l'inventaire mais surtout de consulter les éventuels dossiers d'études de sol ou d'expertises géotechniques.

6.2.3. Synthèse de l'enquête

Ce sont en définitive **5249 sites de sinistres relatifs à 220 communes**, réparties de façon homogène, qui ont été pris en compte. Les communes pour lesquelles des données de sinistres ont pu être obtenues sont localisées en bleu pâle sur la carte de la **figure 8**, qui permet de vérifier que leur répartition couvre assez bien l'ensemble de la zone touchée par des arrêtés de catastrophe naturelle.

La localisation de chaque bâtiment sinistré a été réalisée sous Mapinfo en utilisant les fonds topographiques IGN scannés (échelle du 1/25 000). Il faut signaler que la précision de localisation des sinistres est variable car dépendante de celle du pointage effectué par les mairies ou encore du support cartographique qu'elles ont utilisé quand elles ne retournaient pas l'extrait de la carte Top25 qui leur avait été adressé.

L'ensemble des données recueillies sur les sinistres qui ont été recensés au cours de cette étude est intégré dans un fichier au format Excel qui est archivé en intégralité dans le cdrom joint au rapport et dont un extrait est présenté en annexe 2.

La **figure 9** présente, sur fond de la carte géologique de synthèse, la répartition géographique des 5249 sinistres sécheresse pris en compte dans le département de la Haute Garonne.

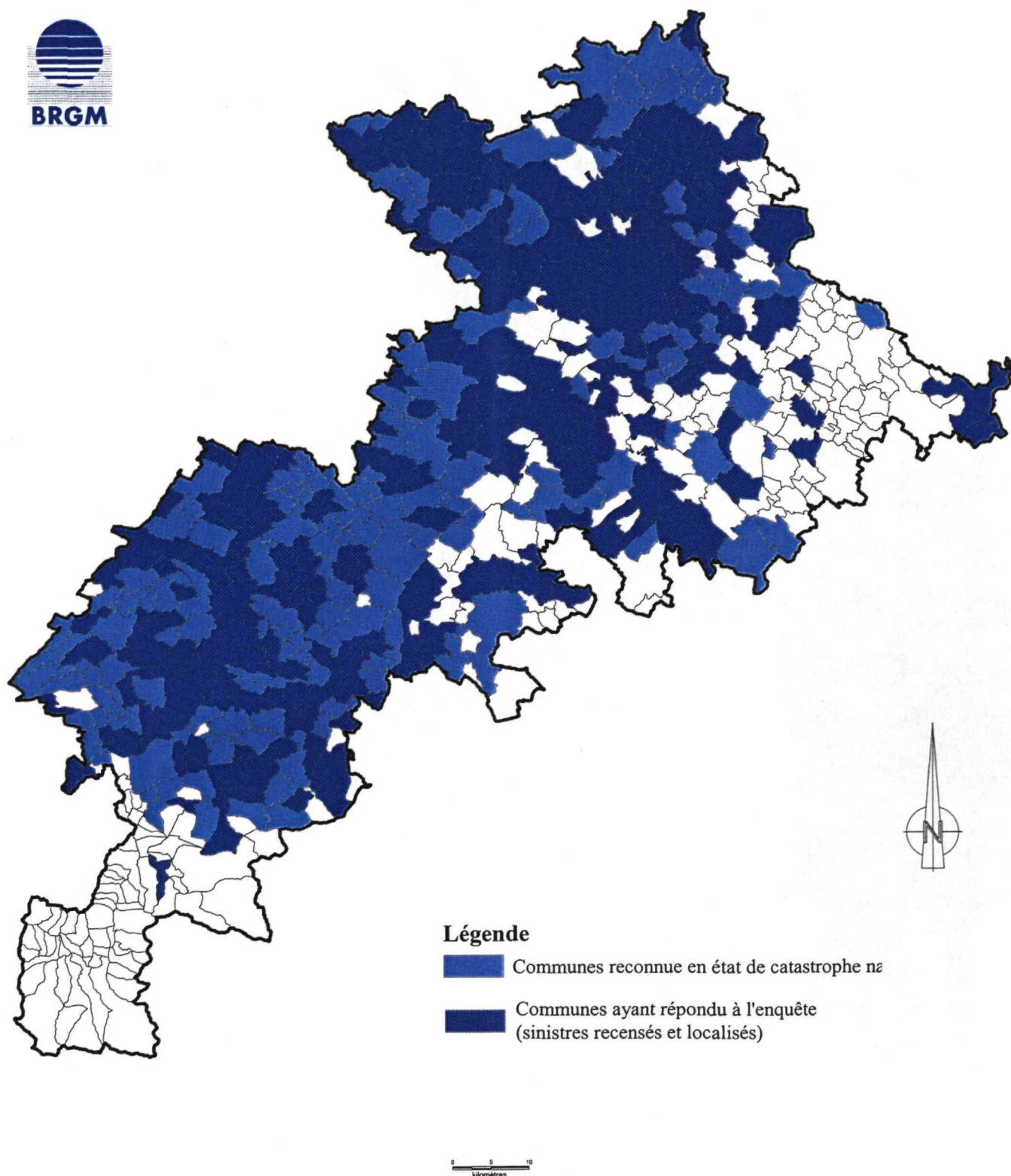
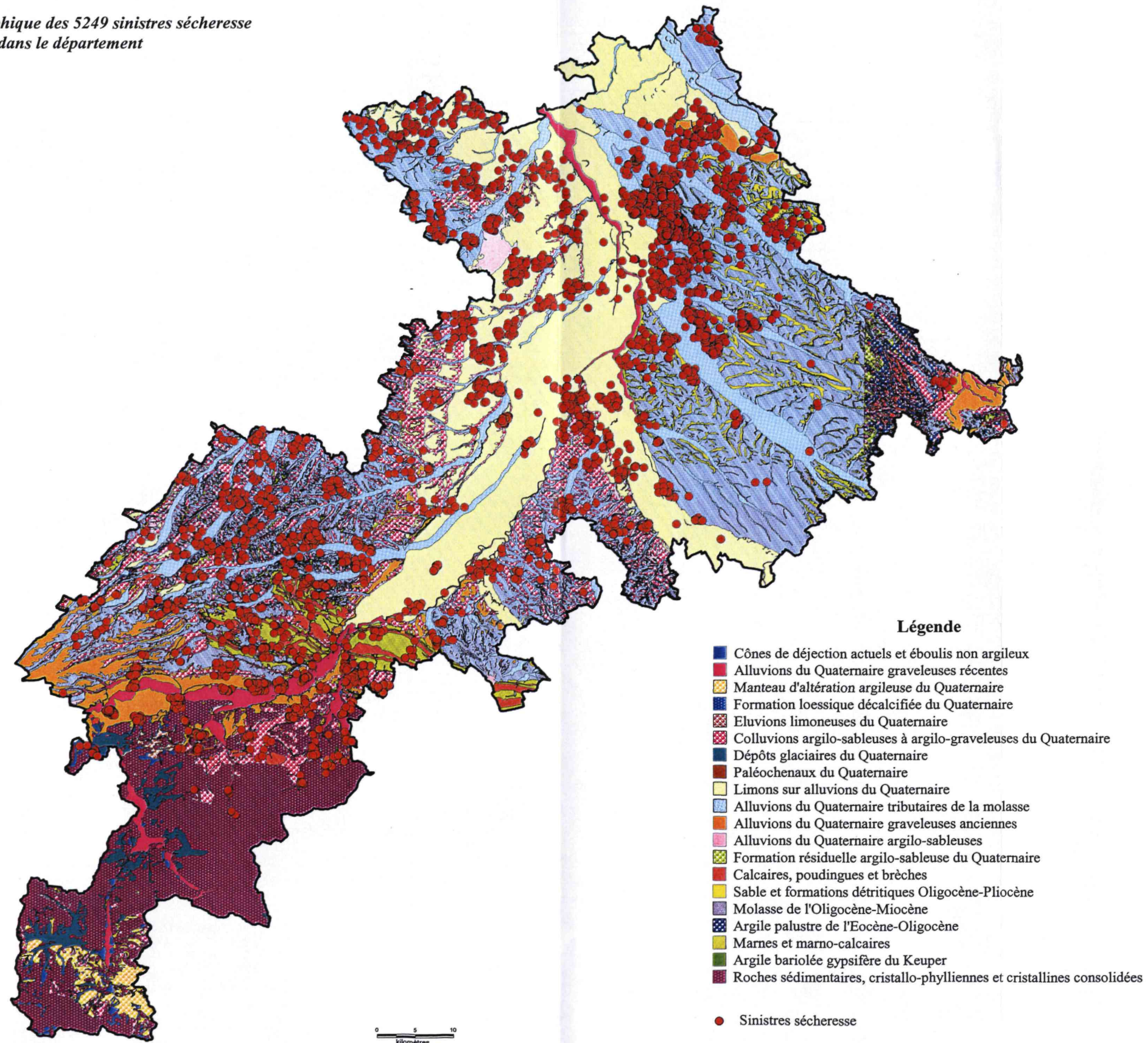


Figure 8 : Répartition sur le département de la Haute Garonne des 396 communes reconnues en état de catastrophe naturelle et des 220 communes dont des sinistres ont été recensés et localisés

Figure 9 : Répartition géographique des 5249 sinistres sécheresse pris en compte dans le département



6.3. RÉPARTITION ET DENSITE DES SINISTRES PAR FORMATION GÉOLOGIQUE

L'examen de la figure 9 permet de constater que la répartition des sinistres est très majoritairement liée à deux formations qui représentent à elles deux 71% des sinistres (3765 sinistres) pour plus de 57% de la surface totale du département. Il s'agit :

- des formations liées à la molasse (molasses s.s., auxquelles ont été associées les alluvions tributaires des molasses, qui présentent une susceptibilité moyenne et ont montré aux analyses une présence assez fréquente d'argiles gonflantes (7 échantillons sur 11 ont présenté des valeurs de 45 à 89 % de smectites). Le nombre de sinistres recensés est de 2851, ce qui, ramené à 100 km² d'affleurement, correspond à une densité de sinistres de 3740 pour les molasses et 1950 pour les alluvions.

- des limons sur alluvions qui présentent une susceptibilité faible et ont montré une présence possible d'argiles gonflantes (1 échantillon sur 5 contient 30% de smectite). Le nombre de sinistres recensés est de 914 pour une densité de 599 sinistres pour 100 km² d'affleurement.

Sur les autres formations se répartissent les 1484 sinistres restant, avec des valeurs de densités variables, de 0 pour les manteaux d'altération, les formations loessiques, les paléochenaux et les argiles bariolées gypsifères et à 4040 pour les marno-calcaires. Ces valeurs sont à considérer de façon indicatives : des biais statistiques non quantifiables sont inévitables dans la mesure où toutes les communes du département n'ont pas répondu à l'enquête malgré de multiples relances.

La géologie seule est loin de pouvoir expliquer la répartition des sinistres. Si les propriétés mécaniques et la géométrie des formations sont une composante importante, les choix humains d'implantation des bâtiments le sont encore plus. Ainsi le fait que globalement la majorité des sinistres soient localisés sur les formations de molasses et de limons sur alluvions correspond au fait que les villes et villages principaux y sont installés, et ce pour des raisons qui n'ont pas toujours à voir avec la géologie. C'est pourquoi la densité d'urbanisation par formation doit être prise en compte dans l'analyse.

6.4. FRÉQUENCE D'OCCURRENCE RAPPORTÉE À LA SURFACE URBANISÉE

La densité d'urbanisation du département de la Haute Garonne présente d'importantes variations d'un point à un autre. Or, comme évoqué ci-dessus, ce facteur est **déterminant** dans l'appréciation des densités de sinistres par formation géologique. En effet, une formation présentera statistiquement une densité de sinistres d'autant plus élevée que son niveau d'urbanisation est important, et ceci même si sa sensibilité au retrait-gonflement est moyenne. Inversement, une formation très sensible mais dont les zones d'affleurement sont faiblement urbanisées, présentera une densité de sinistres relativement faible. Il est donc nécessaire de disposer d'une carte des zones bâties du département.

La réalisation d'un tel document s'est appuyé sur deux sources d'information :

- la base de données numériques de CORINNE-Land cover dont a été extraite la couche correspondant aux principales zones urbanisées du département,
- les fonds scannés Top25 des cartes topographiques IGN à l'échelle 1/25 000, utilisés pour compléter l'information précédente. Les fonds Top25 ont été comparés à la couche CORINNE et les compléments d'information ont été digitalisés manuellement, en particulier au niveau des communes dont les chef-lieu qui ne figuraient pas sur la couche CORINNE.

De la sorte, même si ce document ne représente bien sûr pas de façon exhaustive tous les points bâtis du département, toutes les communes y sont représentées. Ces zones urbanisées sont représentées sur la **figure 10**. Leurs contours sont donnés à titre indicatif et peuvent présenter quelques décalages avec la réalité dans certains secteurs urbanisés très récemment ou de faible extension.

Ces contours ont ensuite été juxtaposés à la carte géologique d'interprétation. Ceci a permis de calculer, pour chacune des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante du département, la **surface d'affleurement** qui se trouve être **réellement urbanisée**. La surface totale des zones urbanisées du département ainsi cartographiée est de l'ordre de 330 km², soit environ 5 % de la superficie du département. Cette valeur, sans aucun doute inférieure à la réalité, présente cependant un échantillonnage homogène des zones bâties.

La superposition de la carte synthétique des formations argileuses et marneuses, avec celle des zones urbanisées montre que la surface totale occupée par les zones urbanisées dans les formations géologiques argileuses et marneuses est de l'ordre de 310 km², soit environ 6 % de leur surface totale d'affleurement. Les surfaces urbanisées sont indiquées pour chaque couche géologique argileuse dans le **tableau 12**.

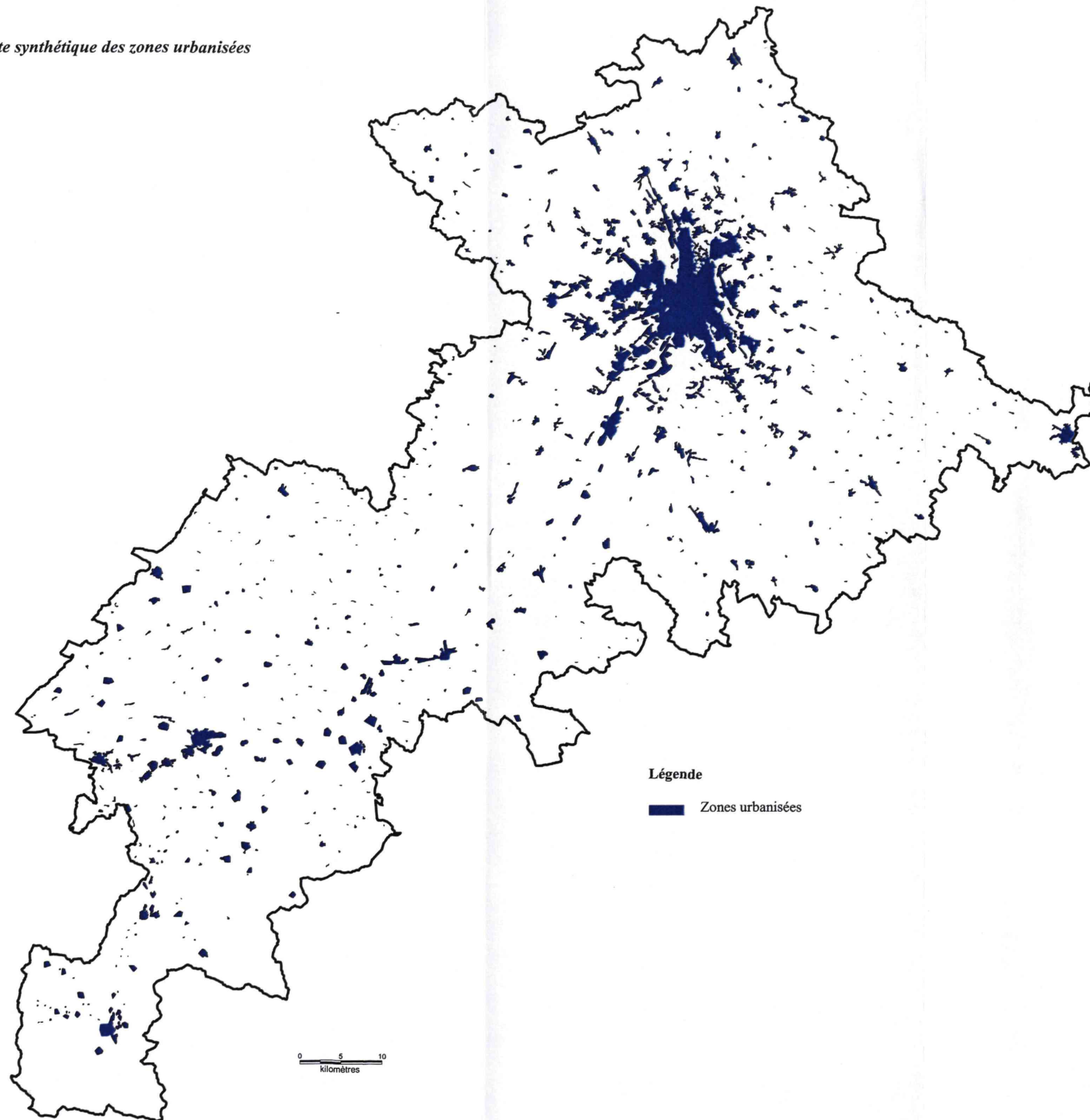
Ces éléments permettent de calculer la **densité des sinistres** par formation géologique, en **ramenant le nombre de sinistres à 100 km² d'affleurement de la formation réellement urbanisée**.

Les densités des sinistres par formation, rapportées à la surface urbanisée sont présentées dans le **tableau 12**. On constate ainsi que **la prise en compte du taux d'urbanisation modifie très fortement la hiérarchisation des formations géologiques**.

Ainsi les trois formations présentant la plus forte densité de sinistres, en tenant compte de la surface urbanisée, sont les suivantes :

- les formations résiduelles sablo-argileuse (Quaternaire), avec 5.462 sinistres pour 100 km² d'affleurement,
- les marnes et marno-calcaires (Oligocène-Miocène), avec 4040 sinistres pour 100 km² d'affleurement,
- les molasses (Oligocène-Miocène), avec 3.740 sinistres pour 100 km² d'affleurement.

Figure 10 : Carte synthétique des zones urbanisées



Formation géologique	Surface d'affleurement		Densité de sinistres recensés		Densité de sinistres en tenant compte de la surface urbanisée			Note finale de densité de sinistres
Nature	Surface d'affleurement (km ²)	Proportion par rapport à la superficie du département	Nombre de sinistres	Nombre de sinistres pour 100 km ² d'affleurement	Surface urbanisée (km ²)	% de surface urbanisée	Densité de sinistre par 100 km ² urbanisé	
Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire)	188.70	2.91%	127	67	21.39	11.34%	594	1
Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	56.22	0.87%	0	0	0.80	1.42%	0	1
Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)	0.49	0.01%	1	204	0.00	0.00%	0	1
Eluvions limoneuses (Quaternaire)	7.90	0.12%	5	63	0.14	1.77%	3571	2
Dépôts glaciaires (Quaternaire)	76.28	1.18%	28	37	2.94	3.85%	952	1
Paléochenaux (Quaternaire)	2.33	0.04%	0	0	0.37	15.87%	0	1
Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	40.80	0.63%	38	93	1.10	2.70%	3448	2
Limons sur alluvions (Quaternaire)	1 367.00	21.11%	914	67	152.70	11.17%	599	1
Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire)	659.80	10.19%	805	122	41.28	6.26%	1950	1
Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	261.60	4.04%	318	122	18.65	7.13%	1705	1
Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	780.80	12.06%	458	59	12.47	1.60%	3673	2
Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)	44.60	0.69%	65	146	1.19	2.67%	5462	3
Molasse (Oligocène-Miocène)	1 664.00	25.70%	2046	123	54.70	3.29%	3740	2
Marnes et marno-calcaire (Oligocène Miocène)	238.10	3.68%	162	68	4.01	1.68%	4040	3
Argile palustre (Eocène-Oligocène)	44.05	0.68%	4	9	0.75	1.71%	530	1
Argile bariolée gypsifère (Keuper)	1.58	0.02%	0	0	0.21	13.29%	0	1
Formations non argileuses	997.19	15.41%	288	186	19.40	15.98%	1485	1
Total	6 431.44	99%	5 249		332.10			
Moyenne				80.32		5.98%	1881.25	

Tableau 12 : Répartition et pondération des sinistres en fonction des surfaces d'affleurement des formations géologiques

Le classement évolue donc de manière significative, puisque les limons sur alluvions qui présentaient avec les molasses la plus grande surface d'affleurement ne présente qu'une densité de 599, à la cinquième place.

Ces observations justifient pleinement l'intérêt de raisonner en terme de densités de sinistres tenant compte de la surface urbanisée plutôt qu'en valeurs brutes du nombre de sinistres par formation.

Il convient toutefois de manier les densités de sinistres avec précaution, en particulier pour les formations d'extension géographique réduite. C'est en particulier le cas pour la première formation citée, les formations résiduelles sablo-argileuse (Quaternaire), qui n'occupent que 0,7 % de la surface totale du département. Cet **effet de pépité**, qui se produit avec les unités géologiques d'extension très limitée, pourrait ici s'expliquer par le fait que ces formations sont situées sur les zones hautes morphologiques, proches des interfluves. L'installation des maisons d'habitation y est souvent privilégiée (vue panoramique et moindre effet des gelées par exemple).

7. Élaboration de la carte d'aléa

7.1. METHODE DE CLASSIFICATION

Les chapitres précédents nous ont permis de passer en revue et de définir les caractéristiques des formations géologiques vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette caractérisation essentiellement basée sur les aspects **lithologiques, minéralogiques et géotechniques des formations affleurantes** du département a permis d'établir une **carte de susceptibilité** au phénomène de retrait-gonflement.

L'élément de base utilisé pour élaborer la carte départementale d'aléa est la **carte de susceptibilité**. Le passage de cette carte à la **carte d'aléa** (qui représente, rappelons-le, la probabilité d'occurrence du phénomène), se fait en intégrant la **répartition géographique des sinistres recensés**.

Le principe retenu consiste à **hiérarchiser les formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante** ainsi identifiées, en prenant en compte à la fois leur **susceptibilité au retrait-gonflement** et la **densité de sinistres**. La règle adoptée pour prendre en compte ces deux critères se veut à la fois simple et la plus représentative possible de la réalité observée.

La susceptibilité des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante identifiées a été notée de 1 à 3 en fonction de la carte de susceptibilité établie.

La répartition des notes s'est faite sur la base de la classification suivante (cf. chapitre 5):

- note 1 : susceptibilité faible
- note 2 : susceptibilité moyenne
- note 3 : susceptibilité forte

Le facteur de densité de sinistres relatif aux formations argileuses et marneuses correspond en réalité à la **densité de sinistres** rapportée à 100 km^2 d'affleurement **réellement urbanisés** (tabl. 12), puisqu'il s'agit de l'élément le plus représentatif si l'on fait abstraction des éventuels effets de pépité. La définition des seuils de classement des formations est alors basée sur la densité moyenne de sinistres, ici de l'ordre de 2000, comme présenté dans le tableau 12 (1881 exactement) :

- note 1 : moins de 2000 sinistres pour 100 km^2 de surface urbanisée dans la formation ;
- note 2 : entre 2000 et 4000 sinistres pour 100 km^2 de surface urbanisée dans la formation ;
- note 3 : plus de 4000 sinistres pour 100 km^2 de surface urbanisée dans la formation.

7.2. DETERMINATION DU DEGRE D'ALEA

Le degré d'aléa est obtenu en effectuant la somme des deux notes obtenues pour chaque formation en affectant un poids double à la note de susceptibilité, ce qui conduit ici à des valeurs potentiellement comprises entre 3 et 9.

Le choix d'attribuer un poids double à la note de susceptibilité est justifié par différentes raisons :

- le souci de garder une importance prédominante à l'analyse du milieu naturel qui permet de définir la susceptibilité,
- la part aléatoire qui correspond à l'implantation des constructions,
- le fait que la note de sinistre est un critère discutable dont la valeur n'est générée qu'en partie, et dans une proportion non quantifiable, par des sinistres strictement dus à l'effet sécheresse.

Le classement des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante se fait en fonction de l'indice d'aléa ainsi calculé. Elles se répartissent selon trois niveaux (fort, moyen et faible) dont les coupures proposées sont les suivantes :

- **aléas fort** : indice d'aléa égal à 8 ou 9,
- **aléa moyen** : indice d'aléa égal à 6 ou 7 ;
- **aléa faible** : indice d'aléa inférieur ou égal à 5 (valeurs possibles : 3 ,4 et 5).

Les constatation suivantes peuvent être formulées à la lecture du **tableau 13** :

- il n'existe aucune formation argileuse en aléa fort,
- 5 formations argileuses sont classées en aléa moyen,
- 11 formations argileuses sont classées en aléa faible.

7.3. CARTE D'ALÉA

La **carte départementale d'aléa** a été tracée à partir de la carte d'interprétation des formations potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante, en attribuant à chacune des formations géologiques la **classe d'aléa** définie ci-dessus. Le résultat de cette carte est présentée sur la **figure 11** et en carte hors-texte à l'échelle 1/100 000 (**carte n° 3**).

Les **zones blanches** de la carte correspondent aux formations **à priori non argileuses**, et donc théoriquement dépourvues de tout risque. Cependant, on ne peut exclure que ces formations soient recouvertes localement de **placages argileux non représentés sur la carte géologique**.

Formation géologique	Note de densité de sinistre	Susceptibilité	Indice d'aléa	Classification de l'aléa
Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire)	1	1	3	faible = 1
Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	1	1	3	faible = 1
Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)	1	1	3	faible = 1
Eluvions limoneuses (Quaternaire)	2	1	4	faible = 1
Dépôts glaciaires (Quaternaire)	1	1	3	faible = 1
Paléochenaux (Quaternaire)	1	1	3	faible = 1
Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	2	2	6	moyen = 2
Limons sur alluvions (Quaternaire)	1	1	3	faible = 1
Alluvions tribulaire de la molasse (Quaternaire)	1	2	5	faible = 1
Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	1	2	5	faible = 1
Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	2	2	6	moyen = 2
Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)	3	2	7	moyen = 2
Molasse (Oligocène-Miocène)	2	2	6	moyen = 2
Marnes et marno-calcaire (Oligocène-Miocène)	3	2	7	moyen = 2
Argile palustre (Eocène-Oligocène)	1	1	3	faible = 1
Argile bariolée gypsifère (Keuper)	1	1	3	faible = 1

Notation de l'aléa	
aléa faible	: indice d'aléa = 3, 4 ou 5
aléa moyen	: indice d'aléa = 6 ou 7
aléa fort	: indice d'aléa = 8 ou 9

Tableau 13 : Détermination du degré d'aléa

Les formations argileuses et marneuses y sont représentées par deux couleurs selon leur degré d'aléa retrait-gonflement :

- la couleur orange est utilisée pour les zones d'aléa moyen,
- la couleur jaune est utilisée pour les zones d'aléa faible.

Les autres formations, a priori non argileuses sont laissées en blanc.

L'examen de la carte d'aléa donne une représentation spatiale des conclusions du **tableau 13** :

- aucune formation géologique du département n'est affectée d'un aléa fort,

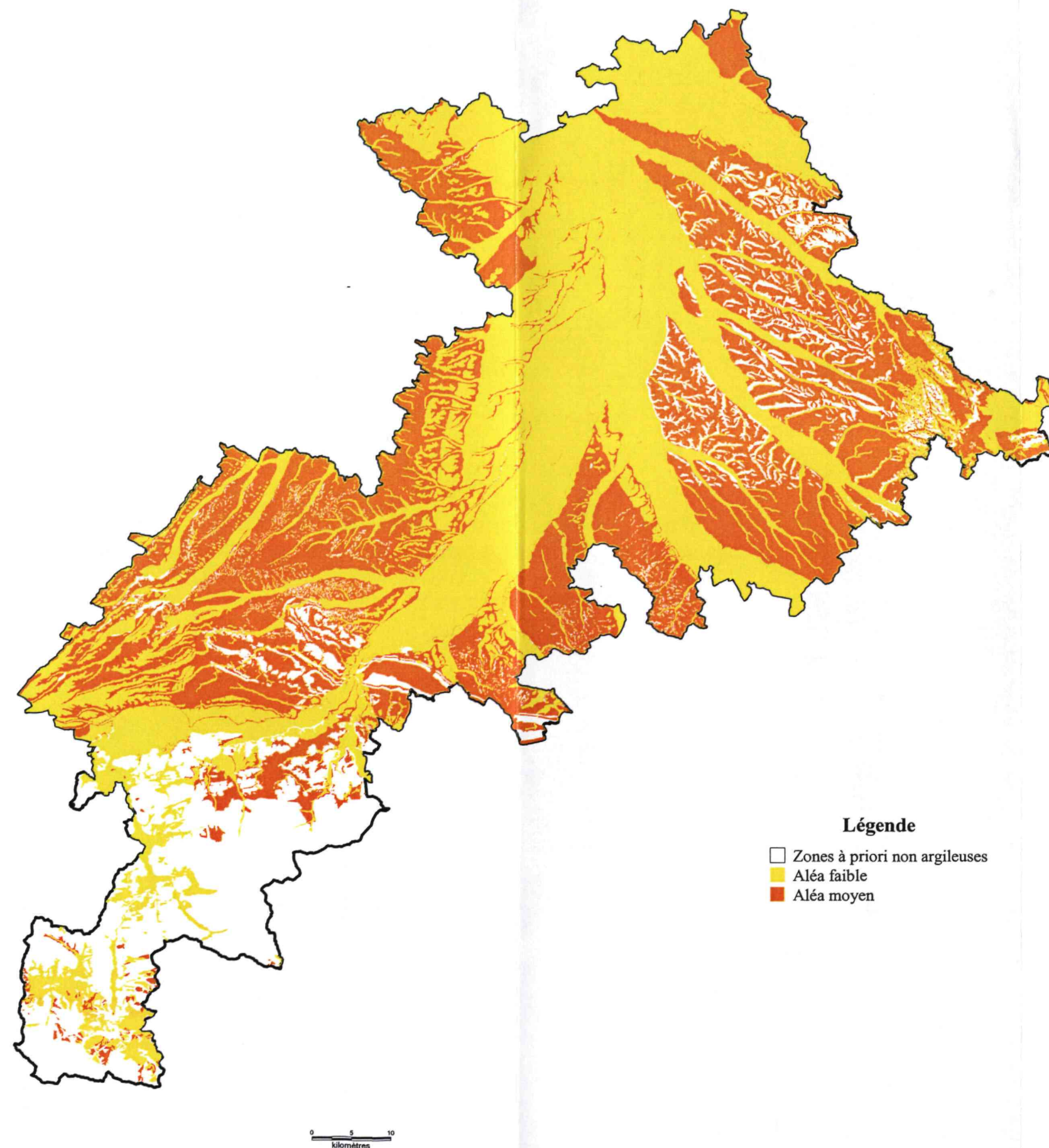
- 5 formations argileuses sont classées en aléa moyen : il s'agit des Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire), des Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire), des Formations résiduelles sablo-argileuses (Quaternaire), de la Molasse (Oligocène-Miocène) et des Marnes et marno-calcaires (Oligocène-Miocène), soit environ 2770 km² au total, dont les Molasses occupent 60%,

- 11 formations argileuses sont classées en aléa faible : il s'agit des Alluvions graveleuses récentes (Quaternaire), des Manteaux d'altération argileuse (Quaternaire), des Formations loessiques décalcifiées (Quaternaire), des Eluvions limoneuses (Quaternaire), des Dépôts glaciaires (Quaternaire), des Paléochenaux (Quaternaire), des Limons sur alluvions (Quaternaire), des Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire), des Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire), des Argiles palustres (Eocène-Oligocène) et des Argiles bariolées gypsifères (Keuper), soit environ 2665 km² au total.

Malgré les différences nombreuses de classement que l'on peut remarquer entre les tableaux de notation de la susceptibilité et de l'aléa, **la carte d'aléa est en définitive assez proche de la carte de susceptibilité**, précédemment établie sur la base de considérations purement physiques. En effet les différences de classement ne concernent que les alluvions tributaires de la Molasse et les alluvions graveleuses anciennes.

Au total donc, cette étude permet de classer **près de 86 % de la superficie du département en zone d'aléa vis à vis du phénomène de retrait gonflement dont environ 43 % en zone d'aléa moyen.**

Figure 11 : Carte de l'aléa retrait-gonflement du département de la Haute Garonne



8. Conclusions

L'objectif principal de cette étude était d'établir, pour le département de la Haute Garonne, une **carte de l'aléa lié au phénomène de retrait-gonflement des formations argileuses**, basée essentiellement sur une interprétation de la carte géologique et sur la synthèse d'un grand nombre d'informations concernant les formations argileuses ou marneuses du département.

Cette démarche s'inscrit dans le cadre d'une **méthodologie globale** mise au point par le BRGM à la demande du MEDD et de la profession des assureurs. Cette démarche méthodologique, validée dans les Alpes de Haute-Provence, les Deux-Sèvres, l'Essonne et la Seine-Saint-Denis, devrait être appliquée à une trentaine de départements, les plus touchés par le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux, dont un certain nombre de départements du Sud-Ouest. En Région Midi Pyrénées, la carte du Gers et de Tarn-et-Garonne ont déjà été établies.

La démarche retenue a consisté tout d'abord à établir une cartographie départementale des **formations argileuses ou marneuses affleurantes à sub-affleurantes**, à partir de la synthèse des cartes géologiques à l'échelle 1/50 000 et d'études bibliographiques existantes. Ces formations géologiques sont au nombre de 16 et couvrent environ 86 % de la superficie du département. La carte numérique obtenue est compatible avec l'échelle du 1/100 000.

Les formations ainsi identifiées ont fait l'objet d'une **hiérarchisation** quant à leur susceptibilité supposée vis à vis du phénomène de retrait-gonflement. Cette classification a été établie sur la base de trois caractéristiques principales quantifiables :

- la **lithologie de la formation** (argile ou marne, limon, roche altérée, sable argileux, marno-calcaire, etc.) et sa géométrie (épaisseur et continuité des termes argileux présents dans la formation),
- la **composition minéralogique de la phase argileuse** (proportion de minéraux gonflants de type smectites et interstratifiés),
- le **comportement géotechnique de la phase argileuse** (évalué principalement à partir de la valeur au bleu du matériau).

Cette hiérarchisation, particulièrement délicate en raison des disparités de données existantes entre les différentes formations géologiques, a permis d'élaborer une carte départementale de susceptibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

D'autres **facteurs de prédisposition** sont reconnus pour jouer un rôle dans la répartition de l'aléa. Certains, d'amplitude purement locale, tels que la **végétation arborée**, certaines **actions anthropiques** ou les **défauts de fondation**, ne peuvent être pris en compte à une échelle départementale, malgré leur importance souvent déterminante. D'autres, tels que le **contexte hydrogéologique** et la **configuration topographique** ont été examinés mais n'ont pas été jugés suffisamment discriminants pour être pris en considération dans l'élaboration de la carte d'aléa.

La **carte départementale d'aléa** a été établie en prenant en compte la **susceptibilité** et la **densité de sinistres**, de chaque formation identifiée. Au total, **5249 sites de sinistres** ont été

BRGM/RP-51894-FR

répertoriés et localisés, répartis dans **220 communes**. Les formations géologiques concernées par ces sinistres ont été identifiées, ce qui a permis de calculer pour chaque formation une **densité de sinistre**, laquelle a été rapportée à la surface d'affleurement réellement urbanisée afin de permettre des comparaisons fiables entre formations.

La carte d'aléa ainsi dessinée distingue **deux classes d'aléa** (faible et moyen) parmi les zones potentiellement favorables à la présence d'argile gonflante :

- la **classe d'aléa faible** regroupe **onze formations géologiques** et représente environ **43 % de la superficie du département**.
- la **classe d'aléa moyen** regroupe **cinq formations géologiques** et couvre environ **43 % de la surface du département**.

Aucune des formations argileuses identifiées dans le département n'a été considérée comme étant d'**aléa fort**, par application de critères définis à l'échelle nationale.

Cette carte est présentée à l'échelle du 1/100 000 et pourra servir de base à des **actions d'information préventive** dans les communes du département les plus touchées par le phénomène. L'extrapolation à l'échelle locale d'un tel document peut s'avérer problématique puisqu'il ne saurait prendre en compte les variations locales de composition lithologique des formations à l'affleurement. Cette remarque est vraie pour les formations argileuses dont la composition, localement plus riche en matériaux sablo-graveleux ou calcaire, les rend insensibles au retrait gonflement (les molasses par exemple). La remarque est également vraie pour les formations considérées comme non sujettes au phénomène, comme par exemple certaines formation calcaires, y compris incluses dans les formations de la molasse. Une présence très locale d'argile, liée à des placages ou des phénomènes karstiques (accumulation d'argile dans les dolines) viendra prendre en défaut la cartographie générale. En fait seule une délimitation plus fine des formations superficielles et des zones d'altération de ces formations pourrait permettre de lever de telles incertitudes, mais ces données ne sont pas accessibles dans l'immédiat pour l'ensemble du département.

Cette carte d'aléa retrait-gonflement des sols argileux du département de la Haute Garonne peut néanmoins constituer le point de départ pour l'élaboration des **plans de prévention des risques naturels (PPR)**, en vue d'attirer l'attention des constructeurs et maîtres d'ouvrages sur la nécessité de respecter certaines **règles constructives préventives** dans les zones soumises au phénomène. Du fait de l'imprécision de certains contours de cette carte d'aléa, dont l'échelle de validité est le 1/100 000, les PPR devront insister sur l'importance d'une **étude de sol à la parcelle** comme **préalable à toute construction nouvelle**.

Bibliographie

AFNOR (1993) – Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse : détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol par l'essai à la tache. *Norme française* NF P94-068.

AFNOR (1995 a) – Géotechnique. Essais de reconnaissance des sols. AFNOR, tome 1.

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. et Dufor M. (1993) – Phénomènes de gonflement-retrait dans les sols marno-argileux. *Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics*, Sols et Fondations, 514.

Alvinerie J., Latouche C. (1965) : Présence de sépiolite dans certains dépôts lacustres du Miocène inférieur du bassin d'Aquitaine. *C.R. Soc. Géol. Fr.* 1965,p. 267-268

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

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

Belantour N., Tacherifet S. et Pakzad M. (1997) – Etude des comportements mécanique, thermo-mécanique et hydro-mécanique des argiles gonflantes et non gonflantes fortement compactées. *Revue Française de Géotechnique*, 78, 31-50.

Caillère S., Hénin, S. et Rautureau M. (1989) – Les argiles. Editions Septima, Paris

Carrière M., Chevalier M., Toulemont M. et 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'Ecole des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

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

Chassagneux D., Stieljes L., Mouroux P., Ménilliet 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 n° R39218*, 33 p., 6 fig., 1 tab., 4 ann., 1 pl. hors-texte.

Chassagneux D., Meisina C., Vincent M., Ménillet F., Baudu R. (1998) – Guide synthétique pour la prise en compte de l'aléa retrait-gonflement à l'échelle nationale. *Rapport BRGM n° R40355*, 33 p., 6 fig., 1 tabl., 1 ann., 1 pl. hors-texte.

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

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'Ecole des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

Daum J.R., Desprats J.F. et Durand F. (1996) – Précipitations efficaces moyennes annuelles en France. *Rapport BRGM R 38975*.

Delpont G., Roudaut N., Vincent M., Schoen R. (2002) avec la collaboration de **Capdeville J.P. (2001)** – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département de Tarn-et-Garonne. *Rapport BRGM/RP-51893-FR*.

Flavigny E. (1992) – Discussion de l'article "Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie". *Revue Française de Géotechnique*, n° 57, 59, 75-78.

Gillot J.S. (1987) – Clay in engineering geology. Elsevier, *Developments in Geological Engineering*, 41, Elsevier Publishing Company, pp. 469.

Habib P. (1992) – Les sécheresses de 1989 et 1990. *Revue Française de Géotechnique*, n° 58, p. 7-30.

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'Etude de l'Ecole des Ponts*, Paris, 11/12/1996.

Kert C. (1999) – Les techniques de prévision et de prévention des risques naturels en France. *Rapport de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques. N° 1540 Assemblée Nationale, n° 312 Sénat*, avril 1999.

Lautrin D. (1989) – Utilisation pratiques des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène dans les projets de génie civil. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 160, 29-41.

LCPC (1979) – L'essai au bleu de méthylène. Avant-projet de mode opératoire. *Doc. Dép. de Géotechnique* du LCPC, 16 p.

Madsen M.T. and Müller-Vonmoos M. (1989). The swelling behaviour of clays. *Applied Clay Science*, n°4, p.143-156. Elsevier Science Publishers.

Magnan J.P. et Youssefian G. (1989) – Essai au bleu de méthylène et classification géotechnique des sols. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 159, 93-104.

Mariotti M. (1976) – Le gonflement des sols argileux surconsolidés (aspects du phénomène, influence sur les structures, précautions à envisager). *Mines et Géologie*, 39, 13-28.

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

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. *Edit. 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. *Edit. La Documentation Française*, Paris.

Mouroux P., Margron P. et Pinte J.C. (1988) – La construction économique sur sols gonflants. *Edit. BRGM, Manuels et Méthodes n° 14.*

Noel 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., Capdeville J.J., Vincent M., avec la collaboration de **Delpont G., Schoen R., Krieg N.** (2001) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département du Gers. *Rapport BRGM/RP-51251-FR.*

Norie A., Vincent M. (2000) - Etablissement de plan 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 pages, 4 figures, 4 annexes.

Parcevaux P. (1980) – Etude microscopique et macroscopique du gonflement de sols argileux. *Thèse de doctorat Université Pierre et Marie Curie*, Paris VI, 266 p.

Pejon O.J., Le Roux A. et 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, 105-119.

Philiponnat G. (1991) – Retrait-gonflement des argiles, proposition de méthodologie. *Revue Française de Géotechnique*, n° 57, p. 5-22.

Philiponnat G. (1987) – Sols expansifs en France. Identification et recommandations pour les fondations. *6^e Int. Conf. Exp. Soils*, 7-10, New Delhi.

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

Piantone P. (1986) – Minéralogie et cristalochimie des phyllosilicates : application à l'étude des altérations hydrothermales. *Rap. BRGM 86 DAM 019 GMX*, 61 p.

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* n° RP-50376-FR, 269 p., 32 fig., 11 tabl., 6 ann., 3 cartes hors-texte.

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, 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'Ecole des Ponts. Paris, 11-12/12/1996.

Serratrice J.F., Soyeux B. (1996) – Les essais de gonflement. *Bulletin des laboratoires des Ponts et Chaussées*, 204, p. 65-85.

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

Taylor R.K. and Smith T. J. (1986) – The engineering geology of clay minerals : swelling, shrinking and mudrock breakdown. *Clays Minerals*, n° 21, p.235-260.

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

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'Ecole des Ponts, Paris, 11-12/12/1996.

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

Tran Ngoc Lan (1977) – Un nouvel essai d'identification des sols : l'essai au bleu de méthylène. *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 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* n° R 39967, 89 p., 14 fig., 13 tab., 6 ann., 2 cartes hors-texte.

Vincent M., collaboration Tilloloy F. (2002) – Etablissement des plans de prévention des risques naturels concernant les mouvements différentiels de sols liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département du Gers. *Rapport BRGM/RP-51553-FR*, 14p., 2 fig., 3 ann., 1 cd-rom.

Vincent M., collaboration Tilloloy F. (2002) – Etablissement des plans de prévention des risques naturels concernant les mouvements différentiels de sols liés au phénomène de retrait-gonflement des argiles dans le département de Tarn-et-Garonne. *Rapport BRGM/RP-51957-FR*, 14p., 2 fig., 3 ann., 1 cd-rom.

Voltz M. et 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*, t. 305, série II, p.511-516.

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

Les notices des cartes géologiques suivantes, identifiées ci-après par leur nom et leur numéro d'ordre, ont été utilisées pour décrire et caractériser les différentes formations géologiques :

cartes à l'échelle du 1/50 000 :

Beaumont-de-Lomagne (955), Grenade-sur-Garonne (956), Villemur-sur-Tarn (957), Gimont (982), Toulouse Ouest (983), Toulouse Est (984), Lavaur (985), Lombez (1008), Muret (1009), Villefranche-de-Lauragais (1010), Revel (1011), Boulogne-sur-Gesse (1032), Le Fousseret (1033), Cazères (1034), Saverdun (1035), Castelnaudary (1036), Montréjeau (1054), Saint-Gaudens (1055), Le Mas-D'Azil (1056), Arreau (1072), Bagnères-de-Luchon (1084), Pic de Mauberge (1085).

carte à l'échelle du 1/80 000 :

Bagnères (252), utilisée pour pallier le manque de la carte d'Aspet (1073).

ANNEXE 1

Rappels sur le mécanisme de retrait-gonflement des argiles

Le terme argile désigne à la fois une classe granulométrique ($< 2 \mu\text{m}$) et une nature minéralogique correspondant à la famille des phyllosilicates.

Dans le cadre de cette étude, on s'intéressera essentiellement à la composante argileuse qui constitue les formations géologiques argileuses et/ou marneuses, affleurantes à sub-affleurantes. Dans cette approche géologique, on considère que celles-ci constituent les sols argileux. Cette approche est différente de celle consistant à prendre en compte les sols argileux *s.s.* dérivant de processus pédogénétiques superficiels complexes.

À l'échelle microscopique, les minéraux argileux se caractérisent par une structure minéralogique en feuillets. Ceux-ci sont constitués d'un assemblage de silicates (SiO_3) et d'aluminates (Al_2O_3) entre lesquels viennent s'interposer des molécules d'eau. La majorité des minéraux argileux appartient à la famille des phyllosilicates 2:1 (deux couches tétraédriques encadrant une couche octaédrique). La structure des assemblages cristallins est variable selon le type d'argile. Certains d'entre eux, telle que la montmorillonite, présentent des liaisons faibles entre feuillets, ce qui permet l'acquisition ou le départ de molécules d'eau.

L'hydratation des cations situés à la surface des feuillets provoque leur élargissement, ce qui se traduit par une augmentation du volume du minéral. C'est le phénomène de gonflement intracristallin ou interfoliaire. Le gonflement est lié au phénomène d'adsorption d'eau sur les sites hydrophiles de l'argile.

Ce processus est réversible. Un départ d'eau entraîne une diminution du volume du minéral, mais la liaison entre l'eau et les feuillets est forte. C'est le phénomène de retrait.

Les phénomènes de retrait-gonflement s'expriment préférentiellement dans les minéraux argileux appartenant au groupe des smectites (montmorillonite, beidellite, nontronite, saponite, hectorite, sauconite) et dans une moindre mesure au groupe des interstratifiés (alternance plus ou moins régulière de feuillets de natures différentes ; par exemple illite – montmorillonite).

À l'échelle macroscopique, ces micro-agrégats de feuillets s'organisent en assemblages plus ou moins anisotropes et cohérents, en fonction de la forme des particules élémentaires qui les composent, et en fonction de la force des liaisons entre particules. Ces dernières sont assurées par des molécules d'eau intercalées. Ce mode d'assemblage, qui définit la texture du « sol argileux » dépend de la nature minéralogique des argiles, du mode de sédimentation et de l'état de consolidation du matériau. En particulier, une argile vasarde ne présentera pas la même texture – et donc pas la même cohésion – qu'une argile surconsolidée, par exemple à la suite d'un enfouissement à grande profondeur.

À cette échelle, la variation de teneur en eau dans le sol se traduit également par des variations de volume du matériau. On parle alors de gonflement interparticulaire. Ce phénomène affecte toutes les argiles, mais son amplitude est nettement plus faible que le gonflement interfoliaire (qui n'affecte que certaines argiles).

Les sols argileux se caractérisent donc par une grande influence de la teneur en eau sur leur comportement mécanique. En géotechnique, on identifie d'ailleurs les différents types de sols argileux sur la base de ce critère. Pour cela on détermine les teneurs en eau (dites limites d'Atterberg) à partir desquelles le comportement du matériau se modifie. Atterberg, puis par la suite Casagrande, ont défini de façon conventionnelle, à partir de la teneur en eau, les limites de divers états de consistance d'un sol donné :

- la **limite de liquidité** W_L sépare l'état liquide de l'état solide ; elle correspond à la teneur en eau à partir de laquelle l'argile commence à s'écouler sous son poids propre ;
- la **limite de plasticité** W_P sépare l'état plastique de l'état solide (avec retrait) ; elle correspond à la teneur en eau en deçà de laquelle l'argile ne peut plus se déformer sans microfissuration ;

L'étendue du domaine plastique compris en ces deux valeurs est dénommée indice de plasticité : $I_P = W_L - W_P$). Elle représente l'aptitude de l'argile à acquérir de l'eau.

- la **limite de retrait** W_R : lorsque la teneur en eau diminue en dessous de W_P , le volume de sol argileux se réduit progressivement, mais le matériau reste saturé en eau jusqu'à une valeur dite limite de retrait qui sépare l'état solide avec retrait de l'état solide sans retrait.

À partir de ce stade, si la dessiccation se poursuit, elle se traduit par une fissuration du matériau. En cas de réhydratation de l'argile, l'eau pourra circuler rapidement dans ces fissures. Au-delà de W_R , l'arrivée d'eau s'accompagnera d'une augmentation de volume, proportionnelle au volume d'eau supplémentaire incorporé dans la structure.

Les limites d'Atterberg, qui sont des teneurs en eau particulières, s'expriment, comme la teneur en eau W , en %.

Les phénomènes de retrait (liés à une diminution de volume du matériau qui se traduit, verticalement par un tassement, et horizontalement par une fissuration), et de gonflement (liés à une augmentation de volume), sont donc essentiellement causés par des variations de teneur en eau. En réalité, cependant, le phénomène est aussi régi par des variations de l'état de contrainte, et plus précisément par l'apparition de pressions interstitielles négatives.

Dans le cas d'un sol saturé, la contrainte verticale totale, qui règne dans le sol à une profondeur donnée, est la somme de la pression interstitielle due à l'eau et d'une contrainte dite effective qui régit le comportement de la phase solide du sol (pression intergranulaire). La contrainte totale est constante puisque liée à la charge exercée par les terrains sus-jacents (augmentée éventuellement d'une surcharge due, par exemple, à la présence d'une construction en surface). L'apparition d'une pression interstitielle négative, appelée succion, se traduit donc par une augmentation de la contrainte effective (c'est-à-dire une consolidation du squelette granulaire) et une expulsion d'eau. Un sol argileux situé au-dessus du niveau de la nappe, et qui est saturé, est ainsi soumis à une pression de succion qui lui permet d'aspirer l'eau de la nappe, par capillarité, et de maintenir son état de saturation. Cette pression de succion peut atteindre des valeurs très élevées à la surface du sol, surtout si celle-ci est soumise à une évaporation intense.

ANNEXE 2

**Résultats des analyses de laboratoire réalisées sur les prélèvements d'argile
de la Haute Garonne et de Tarn-et-Garonne :**

Granulométrie, valeur de bleu et diffractométrie

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles du département de la Haute Garonne

Numéro de l'échantillon	Nature de la formation	Sables grossiers 0.2 à 2mm (%)	Sable fin 50 à 200 µm (%)	Limon grossier 20 à 50 µm (%)	Limon fin 2 à 20 µm (%)	Argiles < à 2µm (%)
29223	Manteau d'altération argileuse du Quaternaire	24.2	18.5	14.1	29.8	11.8
29224	Manteau d'altération argileuse du Quaternaire	42.1	30.8	11.3	11.5	3.3
Moyenne		33.2	24.7	12.7	20.7	7.6
29226	Formation loessique décalcifiée du Quaternaire	11.1	13.1	17.8	31.1	24.8
29225	Eluvions limoneuses du Quaternaire	6.1	9.3	18.9	39.2	22.7
29201	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	2.5	12.5	20	23.2	40.4
29202	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	4	10.8	19.3	22.8	42.3
29232	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	27.8	18.2	18.9	21.2	11.1
29246	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	1.7	11.2	13.5	29.8	43.2
29247	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	75.3	3.7	5.8	5.1	9.0
29253	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	6	9.4	23.3	34.6	31.2
Moyenne		19.33	10.97	16.80	22.78	29.33
29222	Dépôts glaciaires	23.4	11.1	12.7	27.7	21.8
29230	Limons sur alluvions du Quaternaire	18.1	14.5	18.7	29.8	17.0
29243	Limons sur alluvions du Quaternaire	10.2	13.9	21.4	22.5	28.4
29248	Limons sur alluvions du Quaternaire	24.6	15.3	14.4	12.4	31.8
2.1	Limons sur alluvions du Quaternaire	9.3	20.5	15.2	15.7	37.9
2.4	Limons sur alluvions du Quaternaire	8.4	17.8	34.3	22.8	15.0
Moyenne		14.1	16.4	20.8	20.6	26.0
29242	Paléochenaux du Quaternaire	3.9	11.9	11.4	32	35.4
29249	Paléochenaux du Quaternaire	14.3	7.8	14.8	28	31.6
2.6	Paléochenaux du Quaternaire	13.6	21.1	25	21.4	17.9
Moyenne		10.6	13.6	17.1	27.1	28.3
29229	Alluvions tributaires de la Molasse du Quaternaire	21.5	24.1	16.8	17	18.7
29238	Alluvions tributaires de la Molasse du Quaternaire	4.3	13.2	10.3	27.3	42.0
29250	Alluvions tributaires de la molasse du Quaternaire	2.9	9.4	12.8	29.5	44.1
Moyenne		9.6	15.6	13.3	24.6	34.9
29257	Alluvions graveleuses anciennes du Quaternaire	20	21.3	12	12.3	33.9
29244	Alluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	19.1	15.2	16.4	17.1	28.7
29254	Alluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	16.2	17.7	15.1	16.9	31.4
2.8	Alluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	2	13.8	10.4	27.3	44.5
Moyenne		12.4	15.6	14.0	20.4	34.9
29219	Formation résiduelle sablo-argileuse du Quaternaire	25.3	13.6	8.4	14.4	37.4
29203	Molasse de l'Oligocène-Miocène	4.9	9.8	7.4	29.9	47.3
29231	Molasse de l'Oligocène-Miocène	6.7	5.3	7	37.4	42.5
29233	Molasse de l'Oligocène-Miocène	8.6	16.9	11.3	28.6	33.6
29234	Molasse de l'Oligocène-Miocène	8.8	13.6	12.9	42.1	21.4
29236	Molasse de l'Oligocène-Miocène	27.5	33.9	11	15.9	10.9
29237	Molasse de l'Oligocène-Miocène	19.9	19.9	12.4	17.9	27.2
29239	Molasse de l'Oligocène-Miocène	25.3	13.6	8.4	14.4	37.4
29245	Molasse de l'Oligocène-Miocène	3	10.6	7.3	17.1	60.8
29251	Molasse de l'Oligocène-Miocène	11.2	18.6	13.1	21.9	33.5
29256	Molasse de l'Oligocène-Miocène	1.1	6.9	10.7	34.5	46.1
2.2	Molasse de l'Oligocène-Miocène	2.8	21.7	12.7	19.6	41.8
Moyenne		10.9	15.3	10.4	25.4	36.6
29240	Argile palustre de l'Eocène-Oligocène	21.3	19.4	12.4	17.2	28.5
29241	Argile palustre de l'Eocène-Oligocène	16.2	17.8	14.4	20.1	28.9
Moyenne		18.8	18.6	13.4	18.7	28.7
29227	Marnes et marno-calcaires	0.8	5.4	13	34.1	44.4
2.7	Marnes et marno-calcaires	4.2	7.9	10.9	29.5	41.8
Moyenne		2.3	6.7	12.0	31.8	43.1
29228	Argile bariolée gypsifère du Keuper	9.6	7.7	8.6	17.2	55.1

LEGENDE

	Echantillons issus de la Haute-Garonne
	Echantillons issus de Tarn-et-Garonne

Analyses de granulométrie réalisées à partir de la campagne d'échantillonnage

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles du département de la Haute Garonne

Numéro de l'échantillon	Nature de la formation	VBS en g de bleu pour 100g de matériau	Numéro de l'échantillon	Nature de la formation	VBS en g de bleu pour 100g de matériau
29223	Manteau d'altération argileuse du Quaternaire	0.4	29257	Alluvions graveleuses anciennes du Quaternaire	6.9
29224	Manteau d'altération argileuse du Quaternaire	0.2	29244	Alluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	3.8
29226	Formation loessique décalcifiée du Quaternaire	0.9	29254	Alluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	2.7
29225	Eluvions limoneuses du Quaternaire	0.7	29258	Alluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	4.5
29201	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	4.7	29239	Formation résiduelle sablo-argileuse du Quaternaire	3.7
29202	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	4.3	29203	Molasse de l'Oligocène-Miocène	7.5
29232	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	0.7	29231	Molasse de l'Oligocène-Miocène	3.4
29246	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	4.2	29233	Molasse de l'Oligocène-Miocène	4.6
29247	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	1.4	29234	Molasse de l'Oligocène-Miocène	3.1
29253	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses du Quaternaire	4.7	29236	Molasse de l'Oligocène-Miocène	2.7
29222	Dépôts glaciaires	0.7	29237	Molasse de l'Oligocène-Miocène	3.7
29230	Limons sur alluvions du Quaternaire	0.9	29239	Molasse de l'Oligocène-Miocène	3.7
29243	Limons sur alluvions du Quaternaire	3.6	29245	Molasse de l'Oligocène-Miocène	12.1
29248	Limons sur alluvions du Quaternaire	3.5	29251	Molasse de l'Oligocène-Miocène	4.4
29251	Limons sur alluvions du Quaternaire	3.9	29256	Molasse de l'Oligocène-Miocène	3.8
29254	Limons sur alluvions du Quaternaire	1.3	29252	Molasse de l'Oligocène-Miocène	6
29242	Paléochenaux du Quaternaire	4.9	29240	Argile palustre de l'Eocène-Oligocène	3.7
29249	Paléochenaux du Quaternaire	3.1	29241	Argile palustre de l'Eocène-Oligocène	3
29256	Paléochenaux du Quaternaire	1.4	29227	Marnes et marno-calcaires	5.2
29229	Alluvions tributaires de la Molasse du Quaternaire	1.9	29257	Marnes et marno-calcaires	3.4
29238	Alluvions tributaires de la Molasse du Quaternaire	5.9	29228	Argile bariolée gypsifère du Keuper	3
29250	Alluvions tributaires de la molasse du Quaternaire	4.4			

LEGENDE

	Echantillons issus de la Haute-Garonne
	Echantillons issus du Tarn-et-Garonne

Essais au bleu réalisés à partir de la campagne d'échantillonnage

Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles du département de la Haute Garonne

Numéro échantillon	Nature de la formation	Smectite	Illite/Mica	Kaolinite	Chlorite	Vermiculite	Interstratifiés
29223	Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	0	73	1	21	0	0
29224	Manteau d'altération argileuse (Quaternaire)	0	81	0	19	traces	0
29226	Formation loessique décalcifiée (Quaternaire)	0	77	9	14	0.0	0
29225	Eluvions limoneuses (Quaternaire)	0	63	11	26		0
29202	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	46	27	18	0	9	0
29232	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	0	44	15	18	23.0	0
29247	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)		22	5	0	0.0	73
29253	Colluvions argilo-sableuses à argilo-graveleuses (Quaternaire)	86	6	6	2	0.0	0
29222	Dépôts glaciaires (Quaternaire)	0	72	1	25	0.0	0
29242	Paléochenaux (Quaternaire)	0	17	4	10	0.0	69
29249	Paléochenaux (Quaternaire)	traces	58	25	17	0.0	0
2_6	Paléochenaux (Quaternaire)	0	58	25	0	17	0
29230	Limons sur alluvions (Quaternaire)	0	41	18	41	traces	0
29243	Limons sur alluvions (Quaternaire)	0	27	4	15	0.0	54
29248	Limons sur alluvions (Quaternaire)	traces	54	33	0	13	0
2_1	Limons sur alluvions (Quaternaire)	30	38	23	0	9	0
2_4	Limons sur alluvions (Quaternaire)	0	55	36	traces	9	0
29229	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)	46	28	8	8	0.0	0
29238	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)	0	12	5	4	0.0	79
29250	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)	56	22	13	9	0.0	0
2_5	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)	0	52	28	0	20	0
29257	Alluvions graveleuses anciennes (Quaternaire)	89	4	6	0	0	0
29244	Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	0	19	11	3	0	67
29254	Alluvions sablo-argileuses (Quaternaire)	0	39	54	0	7	0
29239	Formation résiduelle sablo-argileuse (Quaternaire)	0	18	7	3	0.0	72
29231	Molasse (Oligocène-Miocène)	45	36	8	11	0.0	0
29233	Molasse (Oligocène-Miocène)	76	13	6	5	0.0	0
29237	Molasse (Oligocène-Miocène)	0	19	9	2	0.0	70
29251	Molasse (Oligocène-Miocène)	73	15	5	7	0.0	0
29256	Molasse (Oligocène-Miocène)	52	27	15	6	0.0	0
2_2	Molasse (Oligocène-Miocène)	89	7	4	0	0.0	0
29245	Molasse (Oligocène-Miocène)	0	16	6	0	0.0	78
29240	Argile palustre (Eocène-Oligocène)	0	16	7	5	0.0	73
29241	Argile palustre (Eocène-Oligocène)	0	38	19	8	0.0	35
29252	Argile palustre (Eocène-Oligocène)	43	34	10	13	0.0	0
29255	Argile palustre (Eocène-Oligocène)	13	10	77	0	0.0	0
2_3	Argile palustre (Eocène-Oligocène)	39	30	26	0	5	0
29227	Marnes et marno-calcaires (Oligocène-Miocène)	82	14	4	0	0.0	0
2_7	Marnes et marno-calcaires (Oligocène-Miocène)	0	52	45	0	3	0
29228	Argile bariolée gypsifère (Keuper)	0	5	36	55	0.0	0

LEGENDE

	Echantillons issus de la Haute-Garonne
	Echantillons issus du Tarn-et-Garonne

Diffraction aux rayons X réalisée à partir de la campagne d'échantillonnage

ANNEXE 3

**Inventaire des sinistres du département de la Haute Garonne :
Extrait du fichier numérique**

N° d'origine	Origine dossier	Commune	Localisation					Géologie			Pente	Divers			
			X (m)	Y (m)	Carte IGN	N° IGN	N° scan	Nom carte géologique	Num carte géologique	Formation Nom Lithologie		Arbres (dist.)	Date 1er désordre	Etude sol	Dossier Technique
D041-009	Mairie	BALESTA	454163	1801937	BOULOGNE-SUR-GESSE	1845E	F045_087	BOULOGNE	1 032	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)			1989		
D041-010	Mairie	BALESTA	454157	1802108	BOULOGNE-SUR-GESSE	1845E	F045_087	BOULOGNE	1 032	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)			1989		
D041-011	Mairie	BALESTA	454682	1802355	BOULOGNE-SUR-GESSE	1845E	F045_087	BOULOGNE	1 032	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Couverture argilo-limoneuse d'un cordon alluvionnaire discontinu formant un replat d'une trentaine de mètres au-dessus de la rivière (la Seygouade).			1989	Non	SOL-ELYSEE
D041-012	Mairie	BALESTA	455935	1801421	BOULOGNE-SUR-GESSE	1845E	F045_087	BOULOGNE	1 032	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)			1989		
D042-001	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483211	1803997	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Relief molassique : marnes grises d'Auzas du Maestrichtien supérieur		Arbre sur le côté Nord-Nord Ouest	1989	Non	SOL-ELYSEE
D042-002	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	484131	1804239	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Zone limite entre les marnes et calcaires du Dano-Montien et des formations de pente solifluées.				Non	SOL-ELYSEE
D042-003	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483868		LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire)				Non	SOL-ELYSEE
D042-004	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483805	1804468	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Zone limite entre les marnes et calcaires du Dano-Montien et des formations de pente solifluées.				Non	SOL-ELYSEE
D042-005	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483789	1804457	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Marnes calcareuses du Dano-Montien qui peuvent être argileuse en tête.			1989	Non	SOL-ELYSEE
D042-006	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483809	1804450	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Marnes calcareuses du Dano-Montien qui peuvent être argileuse en tête.			1989	Non	SOL-ELYSEE
D042-007	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483345	1804375	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Sol calcaro-marneux avec éboulis calcaires embalsés dans des argiles glissées.			1990	Non	SIMECSOL
D042-008	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483730	1804738	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Sol calcaro-marneux avec éboulis calcaires embalsés dans des argiles glissées.			1990	Non	SIMECSOL
D042-009	Mairie	MONTOULIEU SAINT-BERNARD	483722	1804718	LE FOUSSERET	1945E	F048_087	LE FOUSSERET	1 033	Alluvions tributaires de la molasse (Quaternaire) Sol calcaro-marneux avec éboulis calcaires embalsés dans des argiles glissées.			1990	Non	SIMECSOL