
Analyse des sinistres liés au retrait-gonflement des sols argileux en Gironde.

Marie Chrétien**** — Richard Fabre* — Alain Denis* — Antoine Marache*

*Université Bordeaux 1, Centre de Développement des Géosciences Appliquées (CDGA), avenue des Facultés, 33405 Talence cedex

** Bureau d'étude de sol AIS Grand Sud, 28 avenue Grange Noire, 33708 Mérignac cedex

m.chretien@cdga.u-bordeaux1.fr

RÉSUMÉ. L'article présente les premières mesures géotechniques réalisées sur des argiles gonflantes d'une formation géologique Plio-quaternaire et provenant de quatre sites sinistrés d'un même quartier de la commune de Pessac en agglomération bordelaise (Gironde, 33). Dans la première partie de ce travail, la formation géologique argileuse de Brach est détaillée du point de vue lithologique. Les sols argileux ont été caractérisés du point de vue de leurs paramètres géotechniques les plus faciles à obtenir en laboratoire (plasticité, valeur de bleu, teneur en argile, etc.). On en déduit un classement de leurs potentiels de gonflement et de retrait pour chacun des sites. Dans la deuxième partie, l'étude se porte sur l'analyse de l'influence des différents paramètres géotechniques établis.

ABSTRACT. The article presents the first geotechnical measurements carried out on swelling clays of a Plio-quaternary geological formation and coming from four damaged sites of the same district of the Pessac's commune in Bordeaux agglomeration (Gironde, France). In the first part of this study, the clayey geological Brach formation is detailed from the lithological point of view. The clayey soils were characterized from geotechnical parameters the easiest to obtain in laboratory (plasticity, blue methylene absorption, content of clay, etc.), what has allowed establishing a classification of the potentials of swelling and shrinkage of each site. In the second part, the study focuses on the analysis of the influence of previous geotechnical parameters.

MOTS-CLÉS : ARGILES, RETRAIT-GONFLEMENT, DESORDRES, ALEA, CARACTERISATION GEOTECHNIQUE, VARIABILITE

KEYWORDS : CLAY, SWELLING, SHRINKAGE, IDENTIFICATION, HAZARD, GEOTECHNICAL CHARACTERIZATION, VARIABILITY

1. Introduction

En Gironde, les sinistres occasionnés aux habitations par des mouvements différentiels liés à la présence de sols argileux ont pris depuis 1989 une part importante et croissante des indemnisations versées au titre de catastrophes naturelles. Ces phénomènes, mis en évidence lors des sécheresses exceptionnelles

Supprimé : Revue. Volume X –
n° x/année, pages 1 à X

des étés 1976, 1989, puis 2003 et 2005 pour les dernières, ont montré un manque de connaissance du phénomène de retrait-gonflement de certaines formations géologiques argileuses régionales et d'autre part, l'absence d'une méthodologie de reconnaissance prédictive du phénomène. Cette problématique recoupe les préoccupations d'un programme de recherche national financé par l'Agence Nationale de la Recherche et l'ADEME, dit « ARGIC » pour Analyse du phénomène de Retrait Gonflement et Incidences aux Construtions, thème de recherche auquel nous participons avec d'autres partenaires*. Suivant ce programme notre tâche consiste à analyser le phénomène de retrait-gonflement de formations argileuses de la commune de Pessac à l'origine de sinistres. Sur un secteur limité d'aléa connu et à partir des cartes éditées par le BRGM, nous proposons une identification des paramètres géotechniques de deux formations argileuses les plus pertinents et adéquats par rapport à la problématique des mouvements de sol.

2. Localisation de l'étude

L'étude est réalisée sur la commune de Pessac (Gironde, 33), (Figure 1), où plus de 200 sinistres y ont été déclarés depuis les 20 dernières années. Les sinistres observés se concentrent particulièrement au niveau du quartier de « Cap de Bos » (Figure 1), et sont concentrés sur les formations géologiques argileuses dites : Formation de Brach et Formation de Belin (Platel, 2004). Elles sont considérées d'aléa moyen (Figure 2). A l'aide d'investigations géotechniques réalisées sur quatre parcelles sinistrées (Figure 2), on se propose d'étudier l'étendue des paramètres géotechniques rentrant dans la détermination de l'aléa et sur un profil d'environ 800 m de long (Figure 2).

Supprimé : I

Supprimé : I

Supprimé : II

Supprimé : II

Supprimé : II

3. Contexte géologique

D'après la carte géologique à l'échelle 1/50 000^{ème} la commune de Pessac se situe à la limite de deux domaines : à l'Est les terrasses alluviales quaternaires de la Garonne, notées Fxa-b et Fx1b sur la carte géologique de Pessac (Thierry P. *et al*, 2006), et à l'Ouest les dépôts deltaïques landais du Pléistocène (Figure 1) dont font partie la Formation de Brach et la Formation de Belin (Figure 2). La Formation de Brach est formée de sols argileux gris bleu à gris noir à marbrures ocre lorsqu'elle est altérée, et la Formation de Belin est constituée de graviers blanchâtres et de sables grossiers emballés dans une matrice kaolinique (5 à 20 %) (Dubreuilh *et al*, 1995). Ces formations ont une puissance variant entre 2 et 15 m (Platel *et al*, 2000).

Supprimé : I

Supprimé : II

* Partenaires du projet ARGIC : Armines – CGI ; Ecole Centrale de Paris – LSSMAT ; ENPC – CERMES ; ESIP – HydrASA ; INERIS ; INPL – LAEGO ; INRA ; Insavalor – URGIC ; LCPC ; Météo-France ; Université Bordeaux 1 – CDGA.

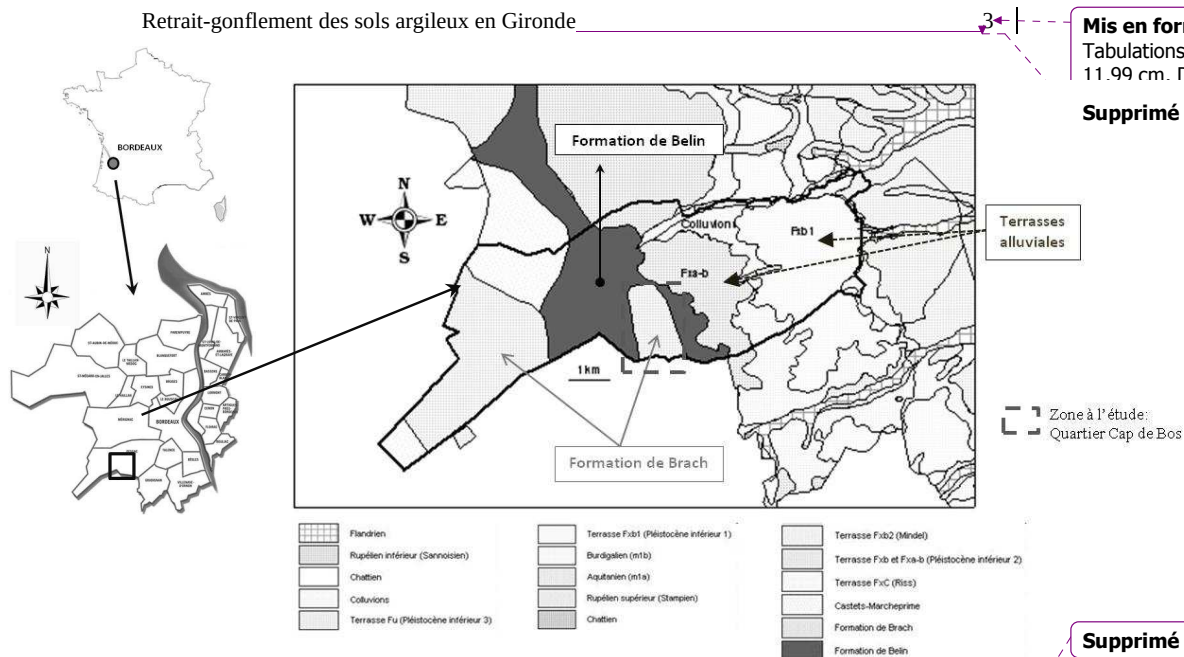


Figure 1. Contexte géologique de Pessac et position des terrasses alluviales.

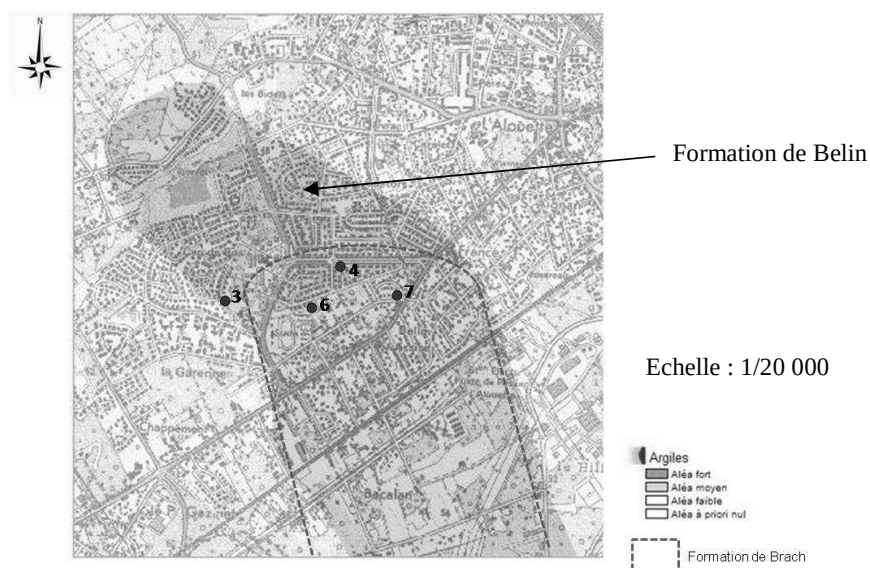


Figure 2. Carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles sur le quartier de Cap de Bos à Pessac, avec localisation des sites étudiés.

Mis en forme : Tabulations : 11,99 cm, Droite

Supprimé : Revue. Volume X – n° x/année, pages 1 à X

Les dépôts de la Formation de Brach sont sous forme de lentilles de sables argileux et d'argiles silteuses plastiques, dont la teneur en argile peut dépasser 70 % et composés essentiellement de kaolinite (30 à 80 %) et d'interstratifiés I/S (10 à 20 %) (Platel, 2004). La Formation de Brach représente la partie sommitale de la Formation de Belin, d'âge Pléistocène.

3. Types de sinistres rencontrés

Les phénomènes de retrait-gonflement se manifestent par l'apparition de désordres principalement sur les habitations individuelles du type rez de chaussé, voire à étage partiel et construites dans les années 1980. Elles reposent sur des fondations superficielles par semelles filantes ou radier général, ancrées entre 0,50 et 0,80 m de profondeur et sans vide sanitaire. Les principaux désordres observés, comme on peut le voir sur la figure 3, sont typiques de tassements différentiels de fondations (Mouroux *et al.*, 1988) avec :

Supprimé : III

- Des fissures verticales de traction par flexion en partie haute de l'habitation. Ces fissures sont dues à un gonflement différentiel avec une intensité maximum au centre du bâtiment. Ce type de fissures a tendance à s'ouvrir à la suite d'épisodes pluvieux.
- Des fissures horizontales de traction à hauteur des fenêtres, avec un décollement du soubassement en pignon. Ces fissures résultent d'un tassement différentiel d'un pignon par rapport au reste de la construction.
- Des fissures horizontales et verticales des cloisons intérieures. Elles sont provoquées par le décollement des cloisons par rapport au plafond suspendu et au tassement central du dallage.



- Des fissurations en diagonale du type cisaillement dues à un tassement différentiel en coin du bâtiment. Le pignon est soumis au gonflement et au tassement suivant les saisons (fermeture des fissures en hiver).

Mis en forme : Retrait : Avant : 0,75 cm, Suspendu : 0,75 cm

Supprimé : III

Figure 3. Exemples de désordres observés sur les constructions du quartier de Cap de Bos à Pessac.

Supprimé :

Mis en forme : Justifié,
Tabulations : 0 cm, Gauche +
11,99 cm, Droite

4. Essais d'identification

Des essais d'identification (Tableau I) ont été effectués sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs sous bâti endommagé et situés sur quatre parcelles (Figure 2). Les paramètres géotechniques d'identifications sont : les limites d'Atterberg (W_L et I_p), la granulométrie avec les passants à 80 et 2 μm (C_2), la valeur de bleu (VBS), la Capacité d'Echange Cationique (CEC), le pH de l'eau du sol, la teneur en eau (W_{nat}), en matière organique (M_0), en carbonates (CaCO_3), et le calcul de l'activité : $A_C = I_p/C_2$ et $A_{CB} = (100 \cdot \text{VBS})/C_2$, de la surface spécifique des argiles (SS).

Supprimé : II

Site	Ech.	Profondeur (m)	Faciès	W_{nat} (%)	I_p	VBS (fraction 0/50mm)	Granulométrie		A_C	A_{CB}	SS m^2/g	CEC Cmol/kg	pH eau	Ca g/kg	MO g/kg	Classe GTR*	Formation géologique
							< 0,08 mm (%)	< 2 μm (%)									
Parcelle N°3	1	0,45	As	18,1	22	1,4	40,5	29,8	0,7	4,7	29,3	14,0	8,0	0,0	22,3	A1	Formation de Belin, en limite Formation de Brach
	2	0,60	A	26,8	24	3,1	44,6	30,0	0,8	10,3	64,9	-	-	-	-	A2	
	3	1,00	A	19,8	39	3,5	39,6	42,7	0,9	8,2	73,2	12,2	5,9	0,0	9,7	A2/A3	
	4	2,00	A	23,7	40	4,1	38,8	45,7	0,9	8,9	85,8	12,8	6,7	0,0	14,9	A2/A3	
	5	2,50	A	24,0	37	5,0	46,3	48,9	0,7	10,2	104,6	11,3	5,4	0,0	9,5	A2/A3	
Parcelle N°4	2	1,50	SA	-	-	2,3	-	< 7	-	-	48,1	-	-	-	-	A1	Formation de Brach
	3	1,80	As	21,0	39	3,5	89,1	23,2	1,7	15,1	73,2	8,9	4,6	1,0	2,1	A2/A3	
	4	2,40	A	24,0	67	8,0	76,6	42,3	1,6	18,9	167,4	17,3	4,6	2,1	3,5	A4	
	6	3,10	A	26,0	45	8,4	78,0	36,9	1,2	22,7	175,8	16,0	7,1	4,1	0,9	A4	
	8	3,80	A	39,0	42	7,5	70,0	39,9	1,0	18,8	157,0	15,0	8,1	15,8	1,1	A3/A4	
Parcelle N°6	3	1,00	S	-	-	0,7	-	< 7	-	-	14,6	-	-	-	-	B5/B2	Formation de Brach en limite Formation de Belin
	4	1,30	As	12,0	16	1,7	-	< 20	-	-	35,6	-	-	-	-	A1/A2	
	5	1,50	A	13,0	40	2,7	56,4	37,2	1,1	7,2	56,5	11,9	5,6	1,7	3,2	A2/A3	
	6	2,00	A	18,0	39	3,7	50,8	41,3	0,9	8,9	77,4	10,1	5,2	0,9	1,8	A2/A3	
	7	2,50	As	16,0	22	1,6	-	< 20	-	-	33,5	-	-	-	-	A1/A2	
	8	3,00	SA	-	-	1,3	-	< 20	-	-	27,2	-	-	-	-	B5	
Parcelle N°7	9	3,30	A	17,0	20	1,8	74,0	19,2	1,0	9,4	37,7	4,5	6,4	1,1	0,9	A1/A2	Formation de
	1	1,30	As	16,0	38	3,8	-	20,0	1,9	19,0	79,5	-	-	-	-	A2/A3	
	2	1,50	As	19,0	39	6,5	63,7	33,2	1,2	19,6	136,0	9,8	6,6	3,47	2,9	A3	
	3	2,00	A	24,0	59	9,0	58,9	48,4	1,2	18,6	188,4	21,6	7,3	4,95	3,6	A1/A2	
	4	3,00	A	24,0	45	7,5	59,4	42,3	1,1	17,7	157,0	19,6	8,1	83,0	2,4	A2/A3	
	6	3,95	As	27,0	50	8,1	73,4	24,1	2,1	33,6	169,5	13,1	7,9	151,0	10,3	A4	

(*) : classe GTR déterminée selon le Fascicule II du SETRA - LCPC " Réalisation des remblais et couches de forme" (1992).

Tableau 1. Caractéristiques d'identification des sols étudiés sur le quartier de Cap de Bos à Pessac.

5. Caractérisation du potentiel de retrait-gonflement des sols de Pessac.

Dans le cadre des sinistres sur habitations, c'est essentiellement les caractéristiques géotechniques des sols dans les trois premiers mètres qui nous intéressent ici. La Formation de Brach a été étudiée à partir de sondages à la tarière descendus jusqu'à 5,20 m de profondeur le long d'un transept à travers la formation sur environ 800 m de long (Figure 2). Les coupes lithologiques de la Formation de Brach montrent des argiles bariolées dominantes sur 1,00 à 2,00 m d'épaisseur dans les trois premiers mètres, en alternant avec des sables argileux ou des argiles sableuses. Les essais géotechniques montrent que les couches les plus argileuses se situent entre 1,00 et 3,00 m de profondeur avec une proportion d'argile variant de 19,8 à 48,4 % (Tableau I). Les chutes de teneur en argiles sont dues à des couches sableuses de 0,10 à 0,40 m d'épaisseur. Dans le tableau 1, on constate que la

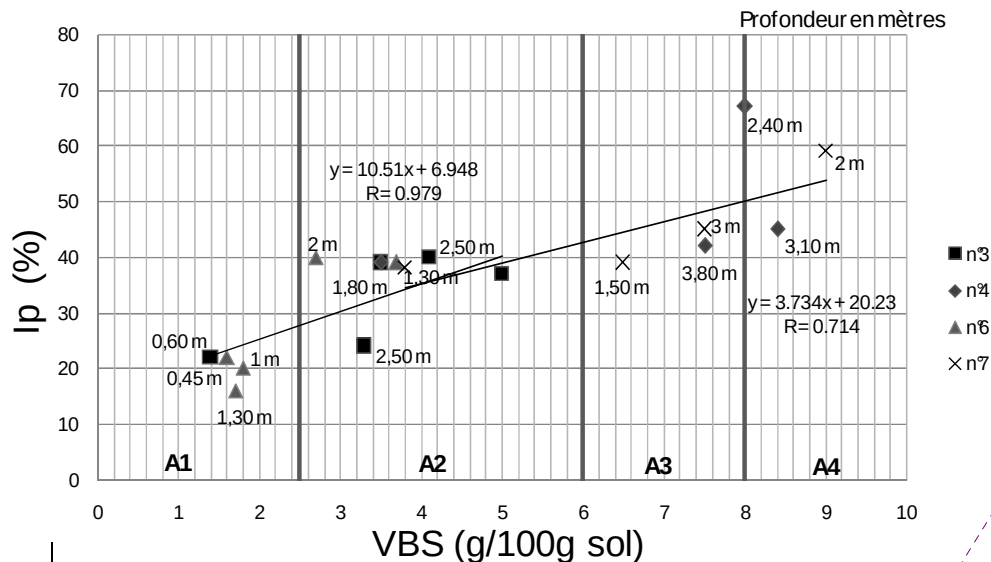
Supprimé : II

Supprimé : I

plasticité augmente significativement ($I_p > 30$) à partir de 1,50m de profondeur pour toutes les parcelles (ou sites) et reste élevée jusqu'à 3,00 m de profondeur, ce que confirme les valeurs élevées de l'essai au bleu de méthylène (VBS > 3). On note toutefois deux comportements différents : les sites n° 3 et 6 ont des I_p moyens compris entre 20 et 40 % avec des VBS comprises entre 1 et 4, alors que les sites n° 4 et 7 ont des plasticités plus élevées ($40 < I_p < 70$ %) et des valeurs de bleu comprises entre $4 < \text{VBS} < 9$. De fait, les sites n° 4 et 7 possèdent un potentiel gonflant élevé, plus élevé que celui des sites n° 3 et 6. Toutefois, bien que ces derniers aient des caractéristiques mécaniques moyennes (VBS < 4), ils sont aussi le siège de graves sinistres. Les surfaces spécifiques (SS), qui varient de 15 à 190 m²/g, sont les plus élevées sur les sites n° 4 et 7 avec des surfaces spécifiques supérieures à 130 m²/g (présence de smectite ; Platel, 2004). Les horizons à surfaces spécifiques élevées possèdent les plus fortes valeurs de CEC pour des teneurs en matière organique relativement faibles ($1 < \text{M.O.} < 3,5$ %). Or, l'analyse des données du tableau I fait apparaître, là encore, un comportement différent du site n° 3 par rapport aux autres sites. En effet, ce site présente une forte teneur en M.O. et une faible valeur de l'activité A_c (< 1). La forte teneur en matière organique du sol argileux du site n° 3 le rend plus compressible et tend à augmenter le phénomène de retrait-gonflement. Le site n° 3 a des sols dont les valeurs de bleu restent moyennes ($1,5 < \text{VBS} < 3,3$) pour des argiles à l'origine de graves sinistres. On sait toutefois que le bleu de méthylène permet de mesurer la surface hydrophile des argiles, mais que la surface réellement accessible à l'eau peut être inférieure à la surface d'origine pour des conditions physico-chimiques particulières (Tourenq et Tran Ngoc Lan, 1989).

Au final, les sols argileux du quartier de Cap de Bos à Pessac, montrent, sur un diagramme entre l' I_p et la VBS (Figure 4), deux regroupements de points que confirme la classification GTR du SETRA - LCPC (1992). Ce diagramme synthétise et éclaire les observations précédentes.

Supprimé : IV



Supprimé : IV

Figure 4. Corrélation entre I_p et VBS sur les sols argileux étudiés, quartier de Cap de Bos.

Mis en forme : Justifié,
Tabulations : 0 cm, Gauche +
11,99 cm, Droite

Supprimé :

Supprimé : IV

En effet, sur le diagramme de la figure 4 les deux regroupements de sols correspondent, pour le premier (sols de type A1/A2), à celui des sols situés entre 1,00 et 2,00 m de profondeur, pour le second (sols de type A3/A4), à celui des sols situés à plus de 2,00 m de profondeur. Pour le premier regroupement de points (sols de type A1/A2), les deux paramètres font apparaître une bonne corrélation, et une faible corrélation pour l'autre (Figure 4). Ces observations permettent de proposer pour les sols de Pessac Ouest (quartier de Cap de Bos) les remarques suivantes :

Supprimé : IV

- Des sols fins argileux de type A1 et A2, suivant la classification GTR (1992), qui se situent soit proches de la surface entre 1,00 et 2,00 m de profondeur, soit sur au moins trois mètres d'épaisseur (site n° 3). Ils sont considérés comme à risque modéré vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement et ont un caractère moyennement gonflant avec une VBS variant entre 2,5 et 5,0 et un I_p compris entre 25 et 40 %. Précisons que les sites n° 3 et 6 se situent en limite des deux formations étudiées ici. Sur ces sites sinistrés, les fissurations des habitations sont comparables aux autres sites, voire supérieures. Ici, les teneurs en argile sont comprises entre 30 et 50 %, comme pour les autres sites, mais la fraction sableuse y est plus importante que pour les autres sites ($> 40\%$) ;
- Des sols fins argileux de type A3 et A4 selon la classification GTR, à caractère gonflant avec des $VBS > 6$ et $I_p > 38\%$ pour des profondeurs comprises entre 1,50 et 3,00 m. Ces sols argileux correspondent aux sites n° 4 et 7.

L'ensemble de ces résultats demande à être confirmé par d'autres analyses géotechniques en cours. Mais on peut déjà synthétiser quelques informations intéressantes pour une définition plus fine de l'aléa retrait et gonflement sur la Commune de Pessac à l'échelle d'un quartier. Tout d'abord, on constate que les sols du site n° 3 ont un potentiel de gonflement moyen, estimé à partir de la VBS et de l'indice de plasticité (I_p). Ces sols de type A1/A2 sont tout aussi dommageables aux constructions individuelles que les sols montrant des valeurs de VBS et d' I_p élevés (sols de type A3/A4). Ceci peut aisément s'expliquer à partir d'une vision en trois dimensions de la problématique, c'est-à-dire à partir du facteur épaisseur de la couche argileuse. En effet, sur le site n°3, l'argile est diluée dans du sable contrairement aux autres sites sur au moins trois mètres d'épaisseur sous les fondations. Sur les autres sites l'argile, en proportion équivalente, est présente sur des épaisseurs plus faibles. Par ailleurs sur le site n°3 on observe une très forte proportion de matière organique (M.O. ; Tableau I), ce qui accentue encore la compressibilité et/ou le tassement du sol lors des périodes de fluctuation saisonnière de la nappe. On comprend alors que les paramètres géotechniques habituellement utilisés dans l'estimation du potentiel de gonflement d'un sol argileux (VBS, I_p) doivent être complétés par l'estimation en profondeur de la variabilité des couches géologiques, leur nature et la profondeur d'ancrage des fondations de l'habitation.

6. Conclusion

Dans ce travail, on montre que les sinistres survenus sur les sols argileux d'un quartier de la commune de Pessac se manifestent sur une formation argileuse hétérogène faite d'une alternance de passées argileuses, intercalées avec des niveaux sableux sur des épaisseurs d'investigation de 5 mètres. Pour l'estimation des sinistres la hauteur de sols argileux à prendre en compte pour un sinistre se situe dans la zone non saturée, soit dans les trois premiers mètres. Les paramètres géotechniques permettant d'estimer le potentiel de retrait et gonflement des sols argileux indiquent que les sinistres sont tout aussi importants sur un sol argileux de trois mètres d'épaisseur, riche en sable fin (> 40%), que sur un sol argileux de deux mètres d'épaisseur à faible fraction sableuse (< 25%) et pour des habitations en RdC avec semelles filantes ancrées vers 0,70 m de profondeur. Ceci explique pourquoi la carte de l'aléa retrait-gonflement de la commune de Pessac englobe à la fois la formation de Brach et celle sous-jacente de Belin. Dans ces conditions, sur la commune de Pessac, les zones de transition lithologique ne sont pas sans risque pour les habitations. D'autres observations indiquent que les paramètres géotechniques des formations étudiées ont, en surface, un comportement très différent de celles sous-jacentes. Ceci provient généralement d'un remaniement naturel au Quaternaire des formations Pléistocène de Brach et de Belin sur le premier mètre. Ce fait est à prendre en compte pour l'établissement d'une carte d'aléa plus détaillée. Une redéfinition de la hiérarchisation de l'aléa à l'échelle du quartier peut ainsi être proposée à l'aide de critères géotechniques plus spécifiques au sein d'une même formation géologique.

7. Bibliographie

- Dubreuilh J.P., Capdeville J.P., Farjanel G., Karnay G., Platel J.P. et Simon-Coinçon R. (1995). Dynamique d'un comblement continental néogène et quaternaire : l'exemple du bassin d'Aquitaine, *Géologie de la France* n°4, pp. 3-26
- Mouroux P., Margron P., Pinte J.C. (1988). La construction économique sur sols gonflants, *Manuels et Méthodes* n°14, éd. BRGM, 125 pages.
- Platel J.P., Astruc J.G. (2000). Cartographie des principales formations argileuses et marneuses affleurantes dans la région Aquitaine, BRGM RP-50181, 108 pages
- Platel J.P., Estève A., Tomera L. (2004). Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles du département de la Gironde, BRGM/RP-53382, 223 pages.
- Thierry P. et Breysse D. avec la collaboration de E. Vanoudheusden, A. Marache, S. Dominique, B. Rodière, B. Bourguin, P. Régaldou-Saint Blancard, Ch. Piette, F. Rivet, R. Fabre (2006) Le projet RIVIERA : Risques en ville : Equipements, Réseaux, Archéologie Rapport final. BRGM/RP-55085-FR 247 p. 144 fig., 30 tableaux, 3 annexes
- Tourenq C., Tran Ngoc Lan (1989). Mise en évidence des argiles par l'essai au bleu de méthylène – Application aux sols, roches et granulats, *Bull. liaison Labo P. et Ch.* N°159, pp 79-92.