

establishing a classification of the potentials of swelling and shrinkage of each site. In the second part, the study focuses on the analysis of previous geotechnical parameters on studied sites and others more specifics (CEC, MO, C_s). This study apprehends more accurately optimum parameters directing the susceptibility of soils facing to swelling-shrinkage for a same geological formation and at a large scale, that of a district.

Key words: Clay, swelling, shrinkage, identification, hazard, geotechnical characterization, statistic, ACP.

1

Introduction

En France, les sinistres occasionnés aux habitations par des mouvements différentiels liés à la présence de sols argileux ont représenté depuis 1989 une part importante et croissante des indemnisations versées au titre de catastrophes naturelles. Ces phénomènes, mis en évidence par des désordres affectant le bâti lors des sécheresses exceptionnelles des étés 1976 et 1989, puis plus récemment au cours des étés 2003 et 2005, ont montré un manque de connaissance du phénomène de retrait/gonflement de certaines formations géologiques argileuses régionales et l'absence d'une méthodologie de reconnaissance prédictive du phénomène.

Le phénomène de retrait et de gonflement se manifeste lorsqu'un sol voit sa consistance se modifier en fonction de sa teneur en eau et subir d'importantes variations de volume. Ces variations peuvent s'exprimer soit par un gonflement lors d'une humidification des pores qui vont se saturer progressivement en permettant l'entrée plus ou moins facile de l'eau entre les feuillets argileux, soit par un retrait (diminution de volume). Ces phénomènes sont spécifiques de certaines familles d'argiles et, en particulier, des smectites qui sont des minéraux argileux dits « gonflants ». Sous climat tempéré, les argiles situées à faible profondeur sont le plus souvent proches de la saturation et déconsolidées, induisant un faible potentiel de gonflement. Mais suite aux périodes de sécheresse, ces sols ont des consistances qui les rapprochent de leur limite de retrait avec une teneur en eau à partir de laquelle toute nouvelle perte d'eau provoquera l'apparition de fissures par dessiccation à la surface du sol. Dans ce contexte, les sinistres surviennent dans la majorité des cas à la suite de périodes de sécheresse intenses et/ou prolongées.

Cette problématique recoupe les préoccupations d'un programme de recherche national financé par l'Agence nationale de la recherche, dit « ARGIC » pour Analyse du phénomène de Retrait Gonflement et Incidences aux Constructions, thème de recherche auquel nous participons pour la partie géotechnique et méthodologique en région Aquitaine et plus particulièrement en Gironde (commune de Pessac). Ce programme de recherche regroupe de nombreux partenaires français¹. Nous présentons ici les premiers résultats de ces travaux qui s'orientent vers la détermination des paramètres géotechniques de formations régionales à risque par rapport à la « sécheresse » dans des secteurs très urbanisés de la région bordelaise. Il a été choisi de

¹ Partenaires du projet ARGIC : Armire-CGI ; École centrale de Paris-LSSMAT ; ENPC-CERMES ; ESIP-HydrASA ; INERIS ; INPL-LAEGO ; INRA ; Insavalor-URGC ; LCPC et Météo-France ; université Bordeaux 1-GHYMAC, ex. CDGA.

travailler sur la commune de Pessac (Gironde, 33), sur un secteur limité d'aléa connu et à partir des cartes éditées par le BRGM, là où se concentrent la majorité des sinistres sur des formations quaternaires classées à aléa moyen à faible mais peu identifiées du point de vue géotechnique.

Le travail consiste à analyser le phénomène de retrait/gonflement de deux formations argileuses locales à l'origine de sinistres sur une petite échelle à l'aide des paramètres d'identification géotechniques en laboratoire classiques tels que l'indice de plasticité, la valeur de bleu et la teneur en argiles, pour les principaux, mais aussi d'autres paramètres moins utilisés (CEC, MO), tout en tenant compte de l'influence du bâti existant. Nous proposons une première identification des paramètres géotechniques les plus pertinents pour l'élaboration à terme d'une méthodologie de reconnaissance prédictive du phénomène de retrait/gonflement.

2

Contexte de l'étude

2.1

Localisation de l'étude

L'étude est réalisée sur la commune de Pessac (Gironde, 33), située au sud de l'agglomération bordelaise (Fig. 1), où plus de 200 sinistres ont été déclarés durant les 20 dernières années. La commune a fait l'objet de six arrêtés de « catastrophe naturelle » liés aux mouvements de terrain par tassements différentiels, suite aux différentes périodes de sécheresse survenues entre 1989 et 2003. Ces sinistres mettent en cause plusieurs formations géologiques du Quaternaire sur l'ensemble de la commune (terrasses alluviales, colluvions et complexe fluvial landais).

L'étude porte sur deux formations géologiques argileuses responsables de nombreux sinistres : il s'agit de la formation de Brach et de la formation de Belin (Piatel, 2004). Ces deux formations recouvrent toute la partie ouest de la commune de Pessac (Fig. 2) et représentent environ 40 % de la superficie totale de la commune. L'occurrence des sinistres localisés sur ces deux formations représente 42 % de ceux recensés sur l'ensemble de la commune. Pour la formation de Brach, les sinistres observés se concentrent particulièrement au niveau d'un quartier à l'ouest de la commune fortement urbanisé, dit quartier de « Cap de Bos » (Fig. 1). Ce quartier se situe au droit de la formation de Brach et à la limite avec la celle de Belin. Il constitue notre zone d'étude.

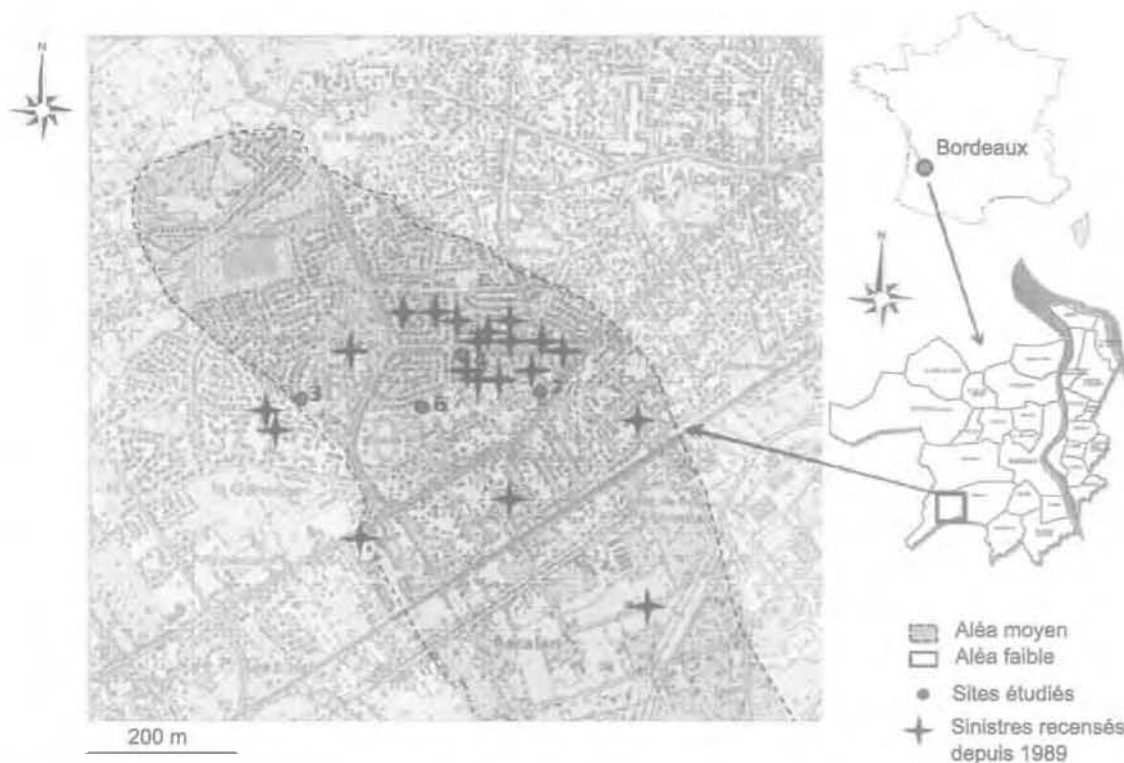


FIG. 1 Carte de l'aléa retrait/gonflement des argiles sur le quartier de Cap de Bos à Pessac (33) avec localisation des sites étudiés et des sinistres recensés depuis 1989 sur le quartier.
Map of shrinkage - swelling clay hazard on Cap de Bos area in Pessac (33) with location of studied area and damaged buildings established since 1969 on this area.

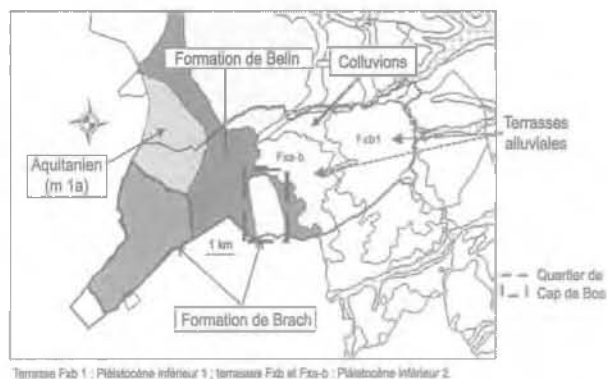


FIG. 2 Contexte géologique de Pessac avec position des terrasses alluviales et de la zone à l'étude.
Geological map of Pessac with position of alluvial terraces and studied area.

2.2

Contexte géologique du site

D'après la carte géologique de Pessac à l'échelle 1/50 000, la commune de Pessac se situe à la limite entre la grande région naturelle des Landes girondines à l'ouest et les terrasses alluviales de la Garonne à l'est. Les Landes girondines montrent à l'affleurement le sable des Landes (Pléistocène supérieur) qui s'étale sans rupture morphologique importante sur les formations de Brach et de Belin. Le substratum tertiaire n'affleure que sporadiquement à la faveur du creusement et de l'érosion de la couverture plio-quadernaire par les affluents de la rive gauche de la Garonne tel que le Peugue. Deux domaines se distinguent alors, avec à l'est les alluvions

graveleuses à argilo-graveleuses de la Garonne (Fig. 2) notées terrasses alluviales Fxa-b et Fx1b sur la carte géologique de Pessac (Thierry *et al.*, 2006), et à l'ouest les dépôts plio-quadernaires argilo-sableux du complexe landais (Fig. 3). Des colluvions issues des hautes terrasses s'intercalent entre les terrasses alluviales. Les deux formations géologiques étudiées sont celles qui affleurent sous une couverture sableuse d'épaisseur variable à l'ouest de la commune. Les formations de Belin et de Brach correspondent à des étapes de comblement de la plaine deltaïque des Landes. Dans le détail, la formation de Brach s'est déposée du Médoc jusqu'au sud de Bordeaux. Elle se caractérise par des sols à faciès argileux gris bleu à gris noir, à marbrures ocre lorsqu'elle est peu altérée (Fig. 4). Cette formation est un témoin des anciennes nappes alluviales du Pléistocène inférieur, avec une puissance variant entre 2 et 10 m, voire atteignant 12 m à Saucats (Platel et Astruc, 2000). Ces dépôts sont souvent sous forme de lentilles de sables argileux et d'argiles silteuses plastiques, dont la teneur en argile peut atteindre entre 70 et 90 % ; les minéraux sont essentiellement composés de kaolinite (30 à 80 %) et d'interstratifiés I/S (10 à 20 %) (Platel, 2004). Des débris ligniteux peuvent y être observés. Cette formation, d'âge Pléistocène, représente la partie sommitale de la formation de Belin, et correspond aux « sables et graviers de base » du Médoc (Dubreuilh, 1976 ; Dubreuilh *et al.*, 1995). La formation de Belin est principalement constituée de graviers très arrondis blanchâtres et de sables grossiers emballés dans une matrice argileuse kaolinique plus ou moins abondante (5 à 20 %) (Dubreuilh *et al.*, 1995). Le passage entre ces deux formations n'est pas toujours bien identifiable, à cause de changements de faciès liés aux fortes altérations locales des horizons argileux et à la présence de passées sableuses réparties de façon aléatoire dans la zone d'étude.

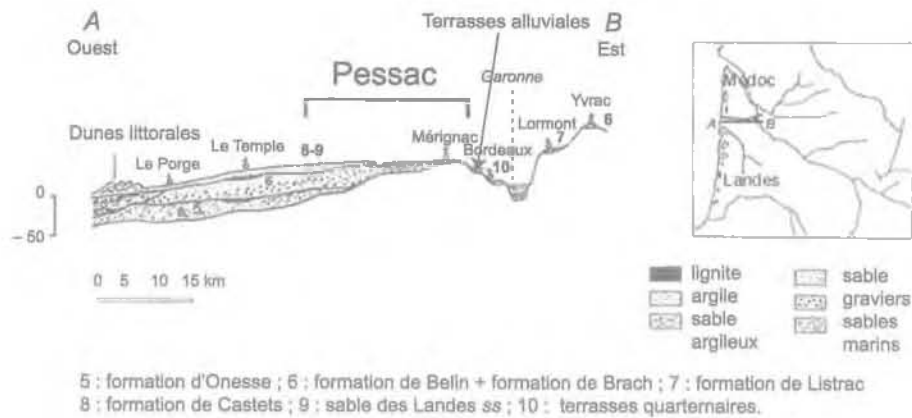


FIG. 3 Coupe des formations continentales landaises au travers du Médoc.
Cross-section of continental formations within the Landes domain through the Médoc area.

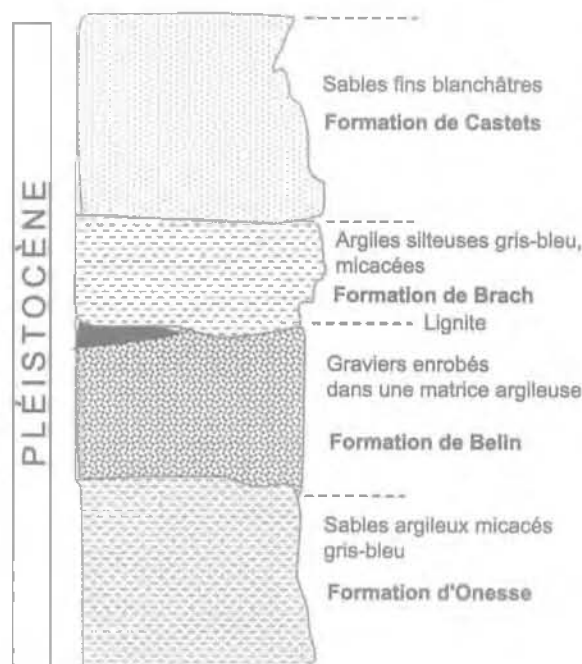


FIG. 4 Coupe lithostratigraphique synthétique des formations continentales landaises du Pléistocène.
Lithostratigraphic log of Pleistocene continental formations within the Landes domain.

2.3

Carte de l'aléa retrait/gonflement sur le secteur étudié

La partie de la carte de l'aléa retrait/gonflement des sols argileux de la Gironde éditée par le BRGM (Platel *et al.*, 2004), relative au secteur d'étude du quartier de Cap de Bos (Fig. 1), montre que le quartier repose sur des formations reconnues d'aléa moyen à faible.

La carte d'aléa établie par le BRGM consiste, en s'appuyant sur les cartes géologiques à l'échelle 1/50 000, à délimiter les zones d'affleurement des formations argileuses. Une fois ces formations identifiées, elles sont hiérarchisées en fonction de critères lithologiques, minéralogiques (nature des minéraux argileux) et géotechniques, en se basant sur des résultats d'essais d'identification de l'argilosité tels que la valeur de

bleu (VBS) et l'indice de plasticité (I_p). Les critères géotechniques utilisés pour la réalisation de cartes départementales à petite échelle (1/25 000) sont peu nombreux. Aussi l'estimation de l'aléa se base sur quelques données d'essais géotechniques courants, énumérés précédemment, fournies par quelques bureaux d'études de sol lors d'expertises de sécheresse (Vincent, 2003). Cette hiérarchisation des formations argileuses permet d'établir une carte de susceptibilité vis-à-vis du retrait/gonflement. La carte départementale d'aléa résulte alors de la combinaison de la carte de susceptibilité et celle de densité des sinistres recensés par formation, ramenée à la surface d'affleurement effectivement urbanisée de chaque formation (Vincent, 2003). L'affichage de cette carte à une plus petite échelle se fait sans étude complémentaire, elle reste donc une donnée indicative.

Les sinistres dans leur contexte géotechnique

3.1

Types de sinistres rencontrés

Les phénomènes de retrait/gonflement se manifestent par l'apparition de désordres principalement sur les habitations individuelles. Ces habitations sont pour la plupart des maisons en simple rez-de-chaussée construites dans les années 1980. Elles reposent sur des fondations superficielles par semelles filantes ou radier général, ancrées entre 0,50 m et 0,80 m de profondeur, sans sous-sol ni vide sanitaire, avec un dallage sur terre-plein non solidarisé aux fondations. Des défauts structurels inhérents à la construction tendent à aggraver la prédisposition aux désordres des bâtis : chaînages bas et haut absents, absence de joints de rupture entre les différents corps de bâtiments, etc. Certaines de ces habitations sont des maisons mitoyennes comme décrites précédemment, solidaires entre elles par le garage, et présentant le même type de désordres. L'habitation du site n°3 présente une particularité par rapport aux autres sites : une reprise en sous-œuvre partielle par micropieux réalisée en 1990, ancrée dans un niveau sablo-argileux à graveleux vers 4,00 m de profondeur ; cette reprise n'a pas permis de stabiliser les désordres de troisième génération en 2006. Les principaux désordres observés (Fig. 5) sont typiques de tassements différentiels de fondations (Mouroux *et al.*, 1988), avec :

a) fissure verticale de traction par flexion en partie haute de l'habitation. Ce type de fissure est dû à un gonflement différentiel avec une intensité maximum au centre du bâtiment. Ces fissures ont tendance à s'ouvrir à la suite d'épisodes pluvieux ;

b) 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 ;

c) fissures horizontales, obliques et verticales des cloisons intérieures. Ces fissures sont provoquées par le décollement des cloisons par rapport au plafond et sont dues au tassement central (ou au gonflement) du dallage ;

d) fissures de cisaillement, en diagonale, dues à un tassement différentiel en coin du bâtiment. Le pignon est soumis, dans ce cas, alternativement au gonflement et au tassement suivant les saisons. Cela se traduit par des cycles d'ouverture et de fermeture visibles à périodes régulières et saisonnières par les habitants.

3.2

Essais d'identification

Des essais d'identification ont été effectués sur des échantillons prélevés à différentes profondeurs sous et à proximité des bâtis endommagés situés sur les formations de Brach et de Belin. Les résultats des essais en laboratoire sont rassemblés dans le tableau 1 et ont

été acquis sur les quatre parcelles du quartier de Cap de Bos repérées sur la figure 1.

Sur les parcelles sinistrées, différentes mesures ont été réalisées afin d'identifier le potentiel gonflant et rétractant des sols argileux, ce sont :

- les limites d'Atterberg : limite de liquidité (w_L) et indice de plasticité (I_p) ;
- la granulométrie : passants à 80 μm et 2 μm (C_2) ;
- la teneur en eau (w_{nat}) ;
- la valeur de bleu (VBS) ;
- la capacité d'échange cationique (CEC) ;
- le pH de l'eau ;
- la teneur en matière organique (MO) ;
- la teneur en carbonates (CaCO_3) ;
- l'activité : $A_C = I_p/C_2$ (Skempton, 1953) et $A_{CB} = (100 \cdot \text{VBS})/C_2$ (Lautrin, 1989) ;
- la surface spécifique des argiles contenues dans le sol (SS).

L'essai au bleu de méthylène (VBS) est un essai simple et rapide qui permet de quantifier la capacité d'absorption en eau des particules argileuses d'un sol, et de le relier indirectement à la surface spécifique développée par les minéraux argileux (SS). Une relation directe [1] apparaît entre la surface spécifique et la valeur de bleu, mise en évidence par Gaillabaud et Cinot (1982) et citée par Bultel (2001) :

$$SS \text{ (m}^2\text{/g)} = 20,93 \times \text{VBS (0/D}_{\text{max}}) \quad (1)$$

avec D_{max} : diamètre maximal des grains contenus dans la fraction globale du sol.

D'autres essais en laboratoire sur des échantillons non remaniés sont en cours de réalisation (essais de gonflement, essais œdométriques, retrait linéaire) pour compléter les données, ainsi qu'une analyse minéralogique (diffraction RX) pour l'identification des différentes familles d'argile des formations de Brach et de Belin. Les premiers résultats qualitatifs indiquent que les argiles silteuses grises-ocres du site n° 3 sont essentiellement riches en illite/muscovite puis en kaolinite et très peu en smectites. Les argiles ocres moins silteuses du site n° 4 sont au contraire riches en smectites et interstratifiés I/S puis kaolinite.

4

Résultats de l'étude

Dans le cadre des sinistres sur habitations, on cherche dans un premier temps à connaître la structure du bâtiment puis à déterminer le comportement des sols d'assises des fondations pour en déduire si c'est bien la nature du sol qui est responsable des désordres observés. Nous nous intéressons principalement aux caractéristiques géotechniques des sols dans les trois premiers mètres, soit dans la zone active du sol agissant sur les fondations. Les formations ont été étudiées à partir de sondages à la tarière descendus jusqu'à 5,20 m de profondeur et réalisés le long d'un transept d'environ 800 m de longueur à travers les formations et passant par les quatre parcelles étudiées. Dans ce travail, 22 échantillons ont été prélevés sur les quatre parcelles sinistrées avec quatre profils type représentatifs des formations de Brach et de Belin. Les coupes lithologiques montrent des argiles dominantes sur une épaisseur d'environ 2,50 m à 4,20 m, alternant



FIG. 5 Exemples de désordres dans les constructions localisées sur le quartier de Cap de Bos à Pessac : a) Fissure verticale haute ; b) Fissures horizontales au niveau du soubassement et des fenêtres ; c) Fissures en diagonale et verticale ouvertes au niveau des cloisons intérieures ; d) Fissures en diagonales.
 Examples of disorders in buildings localized on Cap de Bos area in Pessac.

avec des sables argileux (Fig. 6). Les profils hydriques réalisés sur les quatre sites de l'étude entre juillet et novembre 2006 (Fig. 7) indiquent que les sols sont fortement déshydratés sur les deux premiers mètres de profondeur.

Les essais géotechniques montrent une granulométrie à dominante argileuse avec une proportion d'argile (passant à $2\ \mu\text{m}$ C_2) variant de 19,8 % à 48,4 % (Tableau I et Fig. 8). Les couches les plus argileuses se situent entre 1,00 et 3,00 m de profondeur. Notons que les sondages sont destructifs et qu'un remaniement des terrains lors du prélèvement influence les résultats, notamment sur la proportion en sable. Les sols étudiés s'étendent des argiles moyennement plastiques jusqu'à des argiles très plastiques. Sur les profils d'indice de plasticité (I_p) (Fig. 9), on constate que la plasticité

augmente significativement à partir d'1,00 m de profondeur et reste élevée jusqu'à 3,10 m de profondeur dans la majorité des cas. Les valeurs élevées de l'essai au bleu de méthylène (VBS) des échantillons confirment leur plasticité élevée. En terme de surfaces spécifiques (SS) reliées par calcul aux valeurs de bleu, ce sont les sols argileux des sites n° 4 et 7 qui possèdent les surfaces spécifiques les plus élevées et supérieures à $130\ \text{m}^2/\text{g}$. Ces horizons semblent être riches en minéraux gonflants du type smectites et interstratifiés illite-smectite (Platel, 2004). Pour les sites n° 3 et 6, les valeurs de SS indiqueraient des horizons argileux à dominante de kaolinite et d'illite. Les premières analyses minéralogiques qualitatives tendent à confirmer ces résultats indirects.

TABIEAU I Caractéristiques d'identification des sols étudiés sur le quartier de Cap de Bos à Pessac.
Geotechnical properties of soils studied on Cap de Bos area, Pessac.

Site	Ech.	Profondeur (m)	Faciès	W _{nat} (%)	Ip	VBS (fraction 0/50 mm)	Granulométrie		AC	ACB	SS m ² /g	CEC cmole.kg ⁻¹	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	8,03	0	22,3	A1	Formation de Belin, en limite Formation de Brach
	2	0,60	A	26,8	24	3,3	44,6	30,0	0,8	11,0	69,1	—	—	—	—	A2	
	3	1,00	A	19,8	39	3,5	48,3	42,7	0,9	8,2	73,3	12,2	5,95	0	9,7	A2/A3	
	4	2,00	A	23,7	40	4,1	52,0	45,7	0,9	9,0	85,8	12,8	6,75	0	14,9	A2/A3	
	5	2,50	A	24	37	5,0	50,3	48,9	0,8	10,2	104,7	11,3	5,45	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	39	3,5	89,1	23,2	1,7	15,1	73,3	8,9	4,6	1,0	2,1	A2/A3	
	4	2,40	A	24	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	45	8,4	78,0	36,9	1,2	22,8	175,8	16,0	7,1	4,1	0,9	A4	
	8	3,80	A	39	42	7,5	70,0	39,9	1,1	18,8	157,0	15,0	8,1	15,8	1,1	A3/A4	
Parcelle n°6	3	1,00	S	—	—	0,7	—	< 7	—	—	14,7	—	—	—	—	B5/B2	Formation de Brach en limite Formation de Belin
	4	1,30	As	12	16	1,7	—	< 20	—	—	35,6	—	—	—	—	A1/A2	
	5	1,50	A	13	40	2,7	56,4	37,2	1,1	7,3	56,5	11,9	5,63	1,75	3,2	A2/A3	
	6	2,00	A	18	39	3,7	50,8	41,3	0,9	9,0	77,4	10,1	5,23	0,93	1,8	A2/A3	
	7	2,50	As	16	22	1,6	—	< 20	—	—	33,5	—	—	—	—	A1/A2	
	8	3,00	SA	—	—	1,3	—	< 20	—	—	27,2	—	—	—	—	B5	
Parcelle n°7	1	1,30	As	16	38	3,8	—	20,0	1,9	19,0	79,5	—	—	—	—	A2/A3	Formation de Brach
	2	1,50	As	19	39	6,5	63,7	33,2	1,2	19,6	136,0	9,8	6,6	3,5	2,9	A3	
	3	2,00	A	24	59	9,0	58,9	48,4	1,2	18,6	188,4	21,6	7,3	5,0	3,6	A4	
	4	3,00	A	24	45	7,5	59,4	42,3	1,1	17,7	157,0	19,6	8,1	83,0	2,4	A3/A4	
	6	3,95	As	27	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.

Faciès : As, argile sableuse/silteuse ; A, argile ; SA, sable argileux/silt argileux ; S, sable ; SG, sable graveleux ; Sc, argile carbonatée du substratum ;

avec : W_{nat}, teneur en eau naturelle (%) ; Ip, indice de plasticité ; VBS, valeur de bleu (g/100 g de sol sur la fraction 0/50 mm) ; < 0,08 mm, passant à 80 µm (%) ; < 2 µm, teneur en particules argileuses inférieures à 2 µm C₂ (%) ; Ac, activité de Skempton ; ACB, activité de Lautrin ; SS, surface spécifique (m²/g) ; CEC, capacité d'échange cationique (cmole.kg⁻¹) ; Ca, teneur en carbonates (g/kg) ; MO, teneur en matières organiques (g/kg).

Coupe géologique		n° 3	
Cote (m) :	0,00 m		Ech.
Terre végétale	0,15 m	Tv	
Argile sableuse ocre-gris	0,45 m	As	1
Argile noire	0,80 m		2
Argile bariolée ocre-gris	1,20 m		3
Argile bleutée à marbrures ocre, avec copeaux de bois	2,00 m	A	4
Argile bleue riche en MO	2,80 m		
Sable limono-graveleux gris, humide	3,50 m	SG	
<i>Observations :</i> Arrêt volontaire du sondage à 3,50 m Niveau d'eau en cours et fin de sondage à 3,50 m			

Coupe géologique		n° 4	
Cote (m) :	0,00 m		Ech.
Terre végétale sableuse	0,80 m	Tv	
Sable argileux gris avec galets	1,40 m	SA	2
Argile grise à marbrures ocre sableuses, à quelques graviers	2,30 m	As	3
Argile grise	2,80 m	A	4
Sable jaunâtre humide, à nodules carbonatés	3,00 m	S	6
Argile marron, très compacte	3,75 m		
Argile bleue, très compacte	3,90 m	A	8
Argile silteuse grise à blanchâtre	5,20 m		
<i>Observations :</i> Arrêt volontaire du sondage à 5,20 m Niveau d'eau en cours et fin de sondage à 3,10 m			

Coupe géologique		n° 6	
Cote (m) :	0,00 m		Ech.
Terre végétale sableuse	0,50 m	Tv	
Sables marron clairs	1,00 m	S	3
Argile sableuse grise à marbrures marron	1,30 m	As	4
Argile gris-marron, très compacte	2,20 m	A	5
Argile grise peu sableuse et peu compacte	3,00 m	As	6
Sable argileux gris, sec	3,20 m	SA	7
Argile grise très compacte	3,30 m	A	8
<i>Observations :</i> Arrêt volontaire du sondage à 3,30 m Pas de présence d'eau en cours et en fin de sondage			

Coupe géologique		n° 7	
Cote (m) :	0,00 m		Ech.
Terre végétale sableuse	0,90 m	Tv	
Argile sableuse marron	1,60 m	As	1
Argile bleue à marbrures marron, compacte	2,50 m	A	2
Sables ocre grossiers carbonatés	2,80 m	S	3
Argile bleue à marbrures marron, compacte	3,00 m	A	4
Sables ocre grossiers carbonatés	3,40 m	S	
Argile sableuse grise compacte, avec nodules carbonatés	4,20 m	As	6
Argile carbonatée, avec débris coquilliers	4,70 m	Sc	
<i>Observations :</i> Arrêt volontaire du sondage à 4,70 m Niveau d'eau en cours et fin de sondage à 4,40 m			

FIG. 6 Coupes lithologiques des sols argileux de la Formation de Brach, quartier de Cap de Bos à Pessac.
Lithological logs of clayey soils from Brach Formation, Cap de Bos area in Pessac.

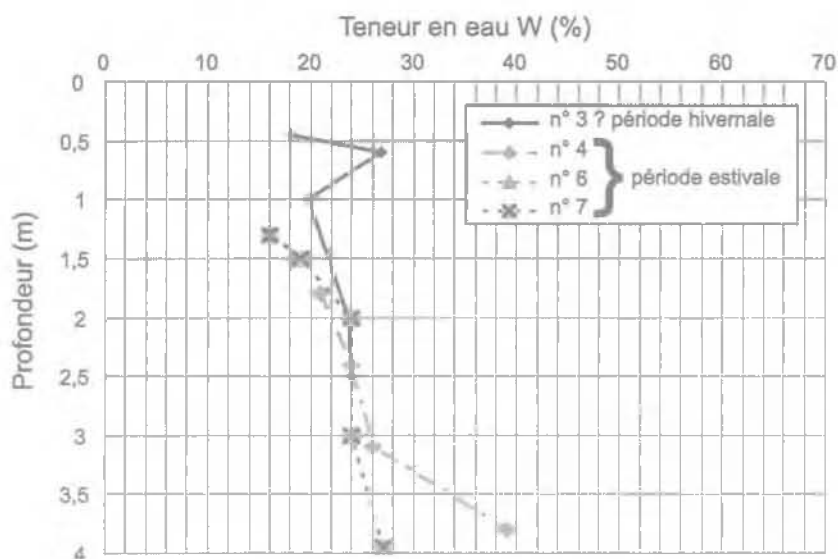


FIG. 7 Profils hydriques des sites étudiés sur la Formation de Brach, quartier de Cap de Bos.
Profiles of moisture content of studied soils from Brach Formation, Cap de Bos area.

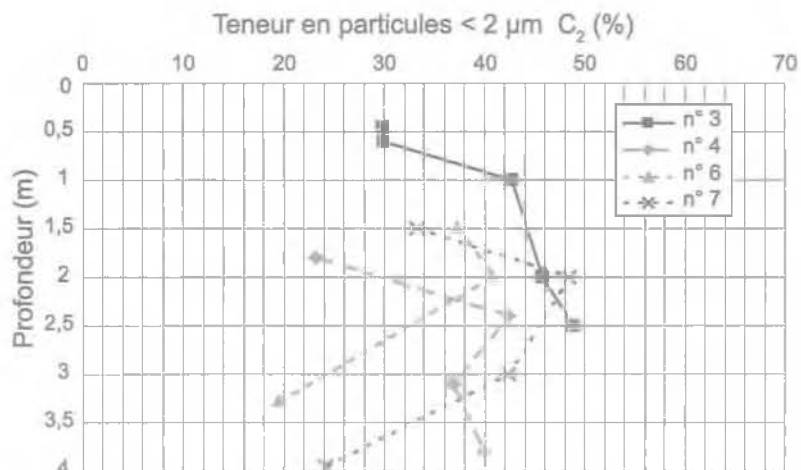


FIG. 8 Profils de la teneur en argile des sites étudiés sur la Formation de Brach, quartier de Cap de Bos.
Profiles of clay content of studied soils from Brach Formation, Cap de Bos area.

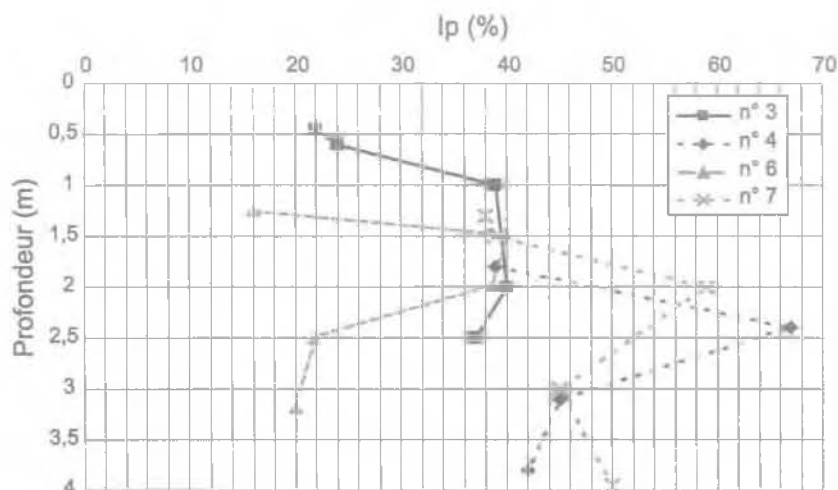


FIG. 9 Profil de l'indice de plasticité des sols argileux étudiés sur la formation de Brach, quartier de Cap de Bos.
Profile of plasticity index of clay studied soils from Brach formation, Cap de Bos area.

Caractérisation du potentiel de gonflement et de retrait.

La littérature contient un nombre considérable de méthodes empiriques pour évaluer le potentiel de gonflement et de retrait des sols argileux à partir de la mesure des paramètres de plasticité et de granulométrie complète. Nous avons reporté les points expérimentaux obtenus sur les sols argileux des deux formations étudiées en les comparant à ces quelques classifications (Fig. 10 et 11) :

- classification de Seed *et al* (1962) : les auteurs estiment le taux de gonflement (en %) d'un sol à partir de la proportion en particules argileuses (C_2) et de « l'activité » de Skempton A_c (1953), définie par $A_c = I_p/C_2$;

- classification de Dakshanamurphy et Raman (1973) et Chen (1988) : il est possible d'apprécier le potentiel de gonflement soit à partir de la limite de liquidité w_L , soit à partir de l'indice de plasticité I_p ;

- classification de Williams et Donaldson (1980) et du Building Research Establishment (1980) : suivant cette classification la teneur en particules argileuses de diamètre inférieur à $2 \mu\text{m}$ (C_2) en fonction de l'indice de plasticité permet d'estimer le potentiel de gonflement et le potentiel de retrait ;

- diagramme de plasticité avec la position du domaine des argiles gonflantes défini par Philipponnat (1978).

En positionnant les paramètres géotechniques d'identification des sols du quartier de Cap de Bos, on constate un bon accord d'ensemble entre ces classifications, à l'exception de celle de Dakshanamurphy et Raman (1973) qui conduit à des potentiels de gonfle-

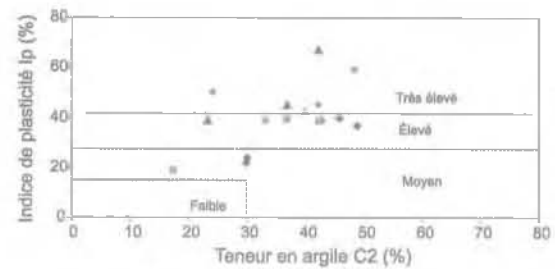
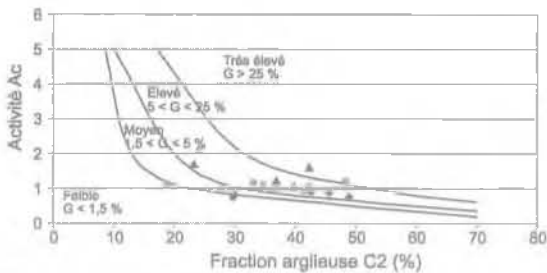
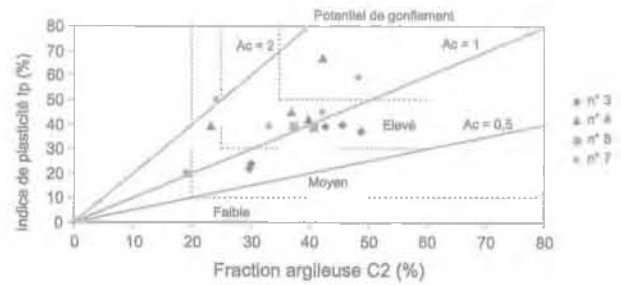
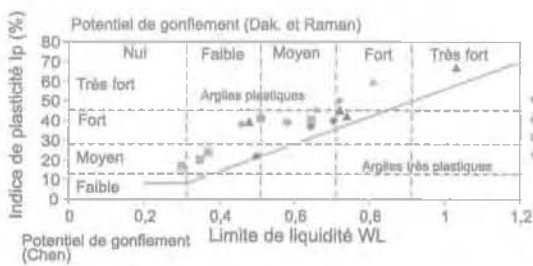


FIG. 10 Classification du potentiel de retrait et de gonflement des sols de la formation de Brach en fonction des paramètres géotechniques d'identification.

a) Classification du potentiel de gonflement de Dakshanamurphy et Raman (1973), et Chen (1988) ; b) Abaque de Williams et Donaldson (1980) ; c) Classification du potentiel de gonflement (Seed *et al.*, 1962) ; d) Classification du potentiel de retrait du Building Research Establishment (1980).

Classification of swelling or shrinkage potentials of soils from Brach formation as a function of geotechnical identification parameters

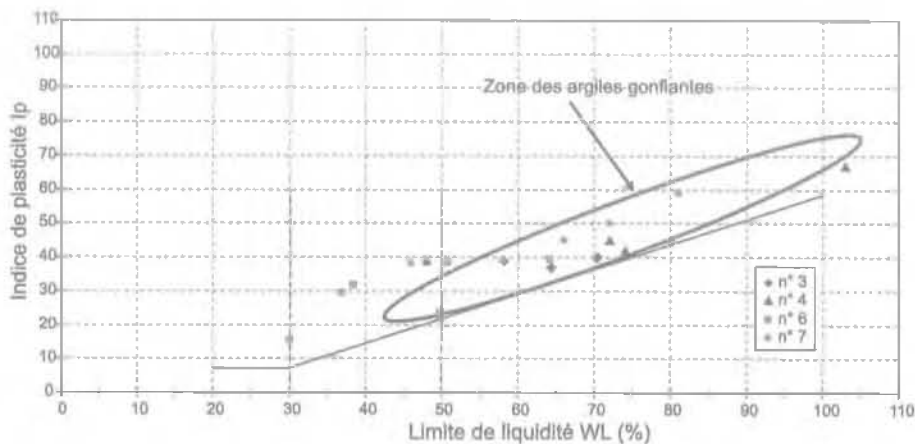


FIG. 11 Diagramme de plasticité de Casagrande avec report des échantillons étudiés sur la formation de Brach, quartier de Cap de Bos.

Plasticity diagram of Casagrande, with localization of studied samples from Brach formation, Cap de Bos area.

ment plus faibles que les autres. La majorité des échantillons des deux formations étudiées ici se situent dans le domaine des argiles gonflantes défini par Philipponnat (1978) (Fig. 11). Cependant, les mesures réalisées par Philipponnat n'ont été validées que pour les sols argileux parisiens et ne peuvent s'appliquer ici car les points expérimentaux replacés sur le diagramme de Casagrande indiquent que ce domaine descend vers des I_p de 30 % environ (Fig. 11). Ainsi, le classement des potentiels de gonflement et de retrait des sites étudiés, par ordre croissant, est le suivant (Tableau II) :

- parcelle n° 6 en limite de formation de Brach et de formation de Belin, dont le sol est le moins sensible au potentiel de retrait et gonflement ;
- parcelle n° 3 en limite de formation de Brach et de formation de Belin ;
- parcelle n° 4 située sur la formation de Brach ;
- parcelle n° 7 située sur la formation de Brach, dont le sol est le plus sensible au potentiel de retrait et gonflement.

Ce classement met en évidence un rapprochement en termes de comportement géotechnique entre les différents sites. En effet, on note que les sites n° 3 et 6 en limite de formations ont des caractéristiques assez similaires, avec des indices de plasticité ($I_p < 30\%$) et des valeurs de bleu (VBS < 4) relativement faibles. Ces caractéristiques géotechniques sont similaires à celles fournies au BRGM pour l'établissement de la carte d'aléa, avec des valeurs de bleu (VBS) moyennes de 2,6 g/100 g de sol et un indice de plasticité (I_p) moyen de 30 % (Platel, 2004). A l'inverse, les parcelles n° 4 et 7 présentent des potentiels de gonflement et de retrait plus élevés avec des valeurs de bleu (VBS) supérieures à 6 g/100 g de sol et des indices de plasticité (I_p) supérieurs à 40 %. L'environnement des parcelles est un facteur prépondérant. Il peut changer les conditions initiales du sol et expliquer partiellement des différences de comportements de sols, notamment avec l'influence de paramètres tels qu'une remontée de nappe, la présence de dépôts ligniteux compressibles sous le bâti ou l'existence de chenaux sableux drainants au niveau des fondations.

D'autres critères permettent de caractériser la différence de comportement au sein d'une même formation, comme la capacité d'échange cationique (CEC) et la teneur en matières organiques (MO) (Tableau I). En effet, les propriétés de rétention en eau des sols argileux ont été mises en relation avec la CEC ainsi qu'avec les teneurs en matières organiques et en carbonates (Bigorre et Tessier, 2000). La CEC mesure la charge électrique globale du sol et dépend en premier lieu de la nature des constituants du sol et notamment de l'existence de charges électriques permanentes, indépendantes du pH (Bigorre et Tessier, 2000).

Les CEC varient de 4 à 22 cmole.kg⁻¹, et les horizons à valeurs de bleu élevées possèdent les plus fortes valeurs de CEC pour des teneurs en matières organiques relativement faibles (1 g/kg $< MO < 3,5$ g/kg). L'analyse de la figure 12 fait apparaître un comportement sensiblement différent du site n°3 par rapport aux autres sites : des valeurs de CEC constantes sur les deux premiers mètres, absence de carbonates, mais forte concentration en matières organiques (10 g/kg $< MO < 22$ g/kg). Les valeurs de bleu pour ce site sont assez moyennes (1,4 $< VBS < 5,0$) pour des argiles à l'origine de graves sinistres liés au retrait et gonflement des couches argileuses sous jacentes. On sait 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 avec, par exemple, la présence de matières organiques (Tourenq et Tran Ngoc Lan, 1989). Par ailleurs, de nombreux auteurs dans la littérature (Uniform Building Code, 1997) ont tenté de relier les valeurs de CEC et de VBS d'un sol à la nature minéralogique des minéraux argileux, mais également aux charges électriques développées par les matières organiques. Ainsi, les valeurs de la CEC des argiles et des matières organiques seraient additives, ce qui expliquerait des valeurs élevées et assez constantes sur les horizons du site n° 3 (Yuan *et al.*, 1967 ; Parfitt *et al.*, 1995 ; Curtin et Rostad, 1997 cités par Bultel, 2001). L'autre facteur susceptible d'influencer ce comportement est la granulométrie. L'analyse granulométrique (Tableau I) indique que les sols du site n° 3 sont à la fois les plus argileux et les plus sableux ($> 40\%$ de sable fin) des sites étudiés.

4.2

Étude des paramètres d'identification géotechniques

Une étude statistique est menée à partir des résultats obtenus (Tableau I) sur les sols argileux de la formation de Brach, afin de voir si d'éventuelles corrélations existent entre les paramètres géotechniques d'une même formation et à l'échelle d'un quartier. L'objectif de l'étude consiste à voir si les critères d'identification géotechnique des sols fins (indice de plasticité et valeur de bleu) utilisés par la classification GTR, permettent d'apprécier réellement le caractère gonflant et rétractant des sols compte tenu de l'hétérogénéité des sols.

TABLEAU II Comparaison des potentiels de gonflement et de retrait obtenus par des méthodes indirectes.
Comparison between swelling and shrinkage potentials obtained by indirect methods.

Site	Potentiel de gonflement				Potentiel de retrait
	Classification de Dakshnamurphy et Raman (1973)	Classification de Chen (1988)	Classification de Williams et Donaldson (1980)	Classification de Seed <i>et al.</i> (1962)	Classification du BRE (1980)
Parcelle n° 3	Faible à moyen	Moyen à fort	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Moyen à élevé
Parcelle n° 4	Faible à très fort	Fort à très fort	Moyen à très élevé	Élevé à très élevé	Très élevé
Parcelle n° 6	Faible à moyen	Moyen à fort	Faible à élevé	Fort à élevé	Moyen à élevé
Parcelle n° 7	Faible à fort	Fort à très fort	Moyen à très élevé	Élevé à très élevé	Très élevé

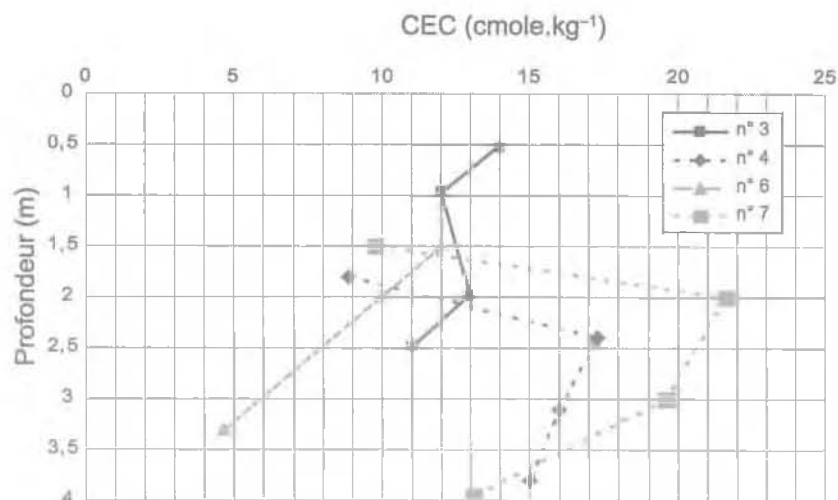


FIG. 19 Profil de la CEC des sols argileux étudiés sur la Formation de Brach, quartier de Cap de Bos. Profile of CEC of clay studied soils from Brach Formation, Cap de Bos area.

4.2.1

Étude statistique

Elle est faite sur les données des sols étudiés le long du transect au travers des formations de Brach et de Belin (parcelles n° 3, 4, 6, 7 ; figure 1), avec le détail des paramètres de position (minimum, maximum, moyenne) et de dispersion (variance, étendue, coefficient de variation), (Tableau III). Afin de réaliser une étude statistique fiable, les échantillons dont les données sont incomplètes ont été éliminés, laissant une population de 15 individus sur les 22 échantillons de l'étude (Tableau III). On détermine au préalable les variables qui correspondent aux propriétés du sol influençant le plus leur comportement plastique, avec : la teneur en eau naturelle (w_{nat}), l'indice de plasticité (I_p), la valeur de bleu (VBS), les passants à 80 μm et 2 μm (C_e), la CEC, la teneur en matières organiques (MO) et la teneur en carbonates (Ca).

Pour compléter l'analyse statistique des données, une analyse en composantes principales (ACP) est réalisée dans le but de caractériser les quatre sites étudiés et de mettre en évidence d'éventuelles corrélations entre paramètres.

4.2.2

Analyse statistique

Les résultats du tableau III montrent que les sols de la formation de Brach sont des sols assez argileux (passant à 2 μm > 35 %, d'après la classification GTR), avec des proportions en sable et silt non négligeable et une plasticité moyenne (I_p moyen de 40 %).

L'analyse du tableau III indique que la teneur en carbonates est le paramètre le plus variable parmi les 8 paramètres étudiés. Pour la formation de Brach on note un coefficient de variation très élevé en carbonates (228 %), qui s'explique par la présence de deux échantillons du site n° 7 vers 3 et 4 m de profondeur qui se rapproche de celui du substratum carbonaté sous-jacent. Dans la suite de l'étude, ces échantillons sont éliminés puisqu'ils correspondent plus aux marnes du substratum miocène et non aux formations étudiées ici. On remarque également un coefficient de variation élevé pour la matière organique (101 %) qui suggère l'influence de ce paramètre sur l'analyse.

TABLEAU III Résultats de l'analyse statistique effectuée sur les paramètres géotechniques de la formation de Brach. Results from the statistic analysis realized on geotechnical parameters of Brach formation.

		W_{nat} (%)	I_p (%)	VBS (g/100g sol)	% < 80 μm	% < 2 μm	CEC (cmole.kg ⁻¹)	Ca (%)	MO
Paramètres de position	Observations N	15	15	15	15	15	15	15	15
	Min	13,00	20,00	1,50	35,20	19,20	4,50	0,00	0,90
	Max	39,00	67,00	9,00	89,10	48,90	21,60	151,00	22,30
	Moyenne	22,51	41,53	5,15	61,49	37,01	13,21	17,95	5,94
Paramètres de dispersion	Variance	33,14	129,72	6,96	224,65	80,19	17,46	1678,08	36,04
	Écart type	5,76	11,39	2,64	14,99	8,95	4,18	40,96	6,00
	Étendue	26,00	47,00	7,50	53,90	29,70	17,10	151,00	21,40
Coef. Variation		26 %	27 %	51 %	24 %	24 %	32 %	228 %	101 %
Nombre d'individus		15							
Nombre de variables		8							

Avec : W_{nat} , teneur en eau naturelle (%); I_p , indice de plasticité; VBS, valeur de bleu (g/100 g de sol sur la fraction 0/50 mm); < 0,08 mm, passant à 80 μm (%); < 2 μm , teneur en particules argileuses inférieures à 2 μm C_e (%); CEC, capacité d'échange cationique (cmole.kg⁻¹); Ca, teneur en carbonates (g/kg); MO, teneur en matières organiques (g/kg).

Régressions linéaires entre paramètres géotechniques de la classification GTR

Dans la littérature, il est fréquent de commencer une étude statistique en cherchant à établir une relation entre les deux paramètres d'identification géotechnique les plus couramment employés qui sont : l'indice de plasticité (I_p) et la valeur de bleu (VBS). Dans la formation argileuse de Brach, on obtient une régression relativement peu satisfaisante sur l'ensemble des échantillons entre l'indice de plasticité (I_p) et la valeur de bleu (VBS) (Fig. 13). Deux regroupements de sols apparaissent suivant la valeur de bleu. Ce regroupement de sols par comportement géotechnique est confirmé lorsqu'on les identifie suivant la classification GTR, déterminée selon le Fascicule II du SETRA-LCPC *Réalisation des remblais et couches de forme* (1992). La distinction suivant la valeur de bleu (VBS) est considérée ici car ce paramètre est celui le plus fréquemment utilisé, voire le seul, par les bureaux d'étude pour identifier les sols suivant la classification GTR.

On distingue principalement deux sols à comportement différent :

– ceux à caractère gonflant avec des VBS > 6 et $I_p > 38$ % pour des profondeurs comprises entre 1,50 et 4,00 m, avec des teneurs en particules argileuses comprises entre 30 et 50 %. Ces sols se classent parmi les sols fins de type A3 et A4 selon la classification GTR. Les sols argileux des sites n°4 et 7 correspondent à ce type de comportement ;

– ceux à caractère moyennement gonflant avec des VBS comprises entre 2,5 et 5,0, ayant des plasticités moyennes de l'ordre de 30 à 40 % et des teneurs en argiles moyennement à très élevées de 20 à 50 %. Les sables fins représentent plus de 40 % des autres éléments. Ces sols, classés A2 selon la classification GTR, sont considérés comme à aléa modéré vis-à-vis du phénomène retrait/gonflement. Toutefois, les caractéristiques géotechniques et l'épaisseur des couches d'argiles des sites n°3 et 6 (en limite de formations), situées entre 0,50 et 2,50 m de profondeur, ont induit une importante fissuration aux habitations.

Un troisième regroupement de sols est identifiable avec des sols à caractère peu gonflant, avec des VBS < 2, peu plastiques ($15 < I_p < 25$), faiblement argileux et

classés A1 selon la classification GTR. On constate que les sols classés A2 et A4, bien qu'ils diffèrent de part leur plasticité et leur valeur de bleu, ont une argilosité similaire comprise entre 30 % et 42 % (Tableau 1). La teneur en sable et silt conditionne leur classement dans la classification GTR et modifie leurs paramètres géotechniques. On aboutit alors à deux types de comportement de sols argileux au sein de la formation de Brach, ceux où l'argile est mélangée au sable (sites n° 3 et 6), et ceux où la fraction argileuse reste dominante (sites n° 4 et 7). Avec ces observations, il apparaît ainsi que la classification GTR n'est pas adaptée à l'identification des sols sensibles au retrait et gonflement à l'échelle de la parcelle, dans la mesure où elle identifie les sols des sites n° 3 et 6 à faible risque géotechnique (sols de type A1/A2) alors que le sinistre est constaté.

L'apport de relations avec d'autres paramètres géotechniques (CEC, minéralogie, retrait linéaire, coefficient de gonflement) est à rechercher pour améliorer une méthodologie de reconnaissance plus précise des sols sensibles au phénomène de retrait/gonflement.

Corrélations pour l'ensemble des paramètres géotechniques

La matrice des corrélations (Tableau IV) laisse apparaître des corrélations significatives, au risque 5 % sur un échantillon de 14 observations si $\rho > 0,53$, entre les paramètres d'identification suivants : W_{lim}/VBS , I_p/VBS , I_p/C_c , I_p/CEC , CEC/C_c , VBS/C_c , VBS/MO et $80 \mu m/MO$.

Une analyse en composantes principales (ACP) réalisée sur l'ensemble des échantillons montre que trois axes suffisent pour exprimer 82 % de variance totale. Les résultats de l'ACP sont présentés au travers de deux figures (les individus étudiés sont identifiés sur les graphiques par un premier numéro correspondant au site puis par un second, croissant avec la profondeur (Tableau I)) :

– la projection des variables sur le plan F1-F2 (70,6 % de variance absorbée) du cercle des corrélations (Figure 14), permet de visualiser les corrélations entre les variables. On remarque que les paramètres $2 \mu m$, CEC, I_p , VBS, MO et $80 \mu m$ sont éloignés du centre du cercle, ce qui montre qu'ils s'expriment bien selon le

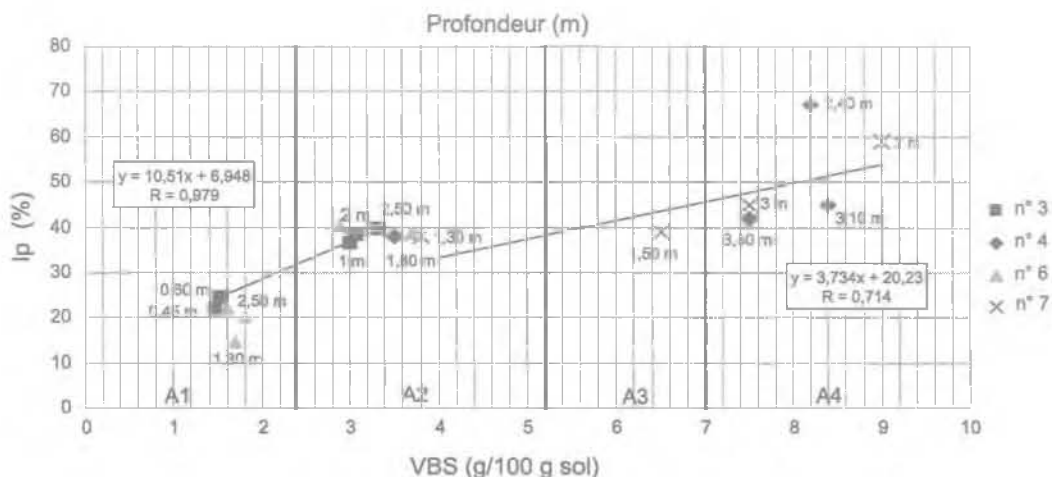


FIG. 13

Corrélation entre I_p et VBS sur les sols argileux étudiés de la Formation de Brach, quartier de Cap de Bos. Correlation between I_p and VBS on clayey studied soils from Brach Formation, Cap de Bos area.

TABLEAU IV Matrice des coefficients de corrélation obtenue sur l'ensemble des échantillons.
Matrix of correlation coefficient obtained on all samples.

	W_{nat}	I_p	VBS	80 μm	2 μm	CEC	Ca	MO
W_{nat}	1,00	0,35	0,59	0,28	0,34	0,44	0,24	-0,18
I_p	0,35	1,00	0,78	0,30	0,60	0,71	0,14	-0,36
VBS	0,59	0,78	1,00	0,44	0,39	0,74	0,38	-0,51
80 μm	0,28	0,30	0,44	1,00	-0,43	-0,08	0,04	-0,72
2 μm	0,34	0,60	0,39	-0,43	1,00	0,64	0,16	0,13
CEC	0,44	0,71	0,74	-0,08	0,64	1,00	0,46	0,03
Ca	0,24	0,14	0,38	0,04	0,16	0,46	1,00	-0,22
MO	-0,18	-0,36	-0,51	-0,72	0,13	0,03	-0,22	1,00

Nombre d'individus : 15

Avec : W_{nat} , teneur en eau naturelle (%); I_p , indice de plasticité; VBS, valeur de bleu (g/100 g de sol sur la fraction 0/50 mm); < 0,08 mm, passant à 80 μm (%); < 2 μm , teneur en particules argileuses inférieures à 2 μm C₂ (%); CEC, capacité d'échange cationique (cmole.kg⁻¹); Ca, teneur en carbonates (g/kg); MO, teneur en matières organiques (g/kg).

plan F1-F2. Les variables I_p , CEC et VBS sont caractérisées par des fortes valeurs selon F1 et 2 μm par des fortes valeurs à la fois sur F1 et sur F2. Les paramètres MO et 80 μm s'expriment quant à eux suivant l'axe F2 et sont diamétralement opposés indiquant une forte corrélation négative; de plus, ces deux paramètres sont faiblement corrélés avec les autres paramètres. Le paramètre Ca s'exprime peu ici selon F1 et F2, le reste de l'étude montre qu'il est caractérisé par des fortes valeurs selon F3 (VBS). Plus les individus ont des composantes positives suivant l'axe F2, plus la teneur en matière organique augmente pour ces échantillons tandis que la granulométrie devient moins grossière. Plus un individu a des composantes négatives suivant l'axe F2, plus ce dernier aura tendance à être moins riche en matière organique mais ses paramètres géotechniques I_p , CEC et VBS augmenteront;

- la projection des individus sur le plan des composantes F1-F2 (Fig. 15), permet d'identifier d'éventuels regroupements entre individus. On note un regroupement des individus du site n°3, ce qui s'explique par l'influence prépondérante du paramètre MO sur ces échantillons confirmée par la position du paramètre MO sur le cercle des corrélations (Fig. 14). Un deuxième regroupement d'individus apparaît pour les échantillons des sites n° 4 et 7 qui possèdent les paramètres géotechniques I_p , VBS et CEC les plus élevés.

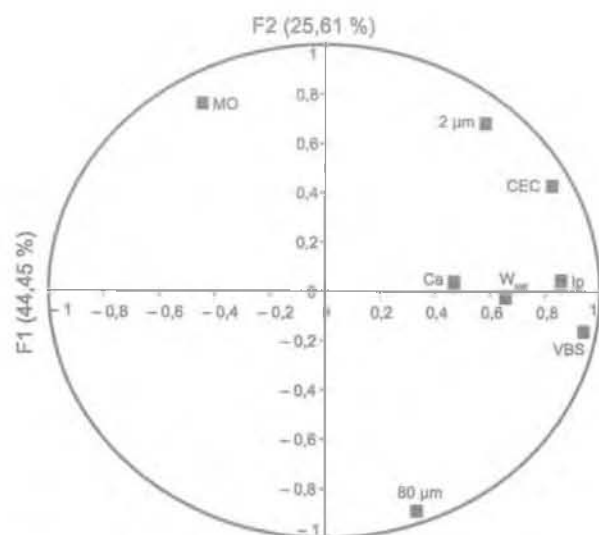


FIG. 14 Cercle des corrélations F1F2 résultant de l'ACP sur l'ensemble des échantillons.
Correlations circle F1F2 obtained after ACP on all samples.

L'analyse en composantes principales permet de confirmer un comportement différent du site n° 3 par rapport aux autres sites. Ce site a un effet perturbateur sur l'analyse globale des variables mais reste une réalité de terrain. Cette différenciation peut provenir

TABLEAU V Matrice des coefficients de corrélation obtenue sans les échantillons du site n°3.
Matrix of correlation coefficient obtained without samples of site n° 3.

	W_{nat}	I_p	VBS	80 μm	2 μm	CEC	Ca	MO
W_{nat}	1,00	0,31	0,65	0,26	0,33	0,47	0,23	-0,32
I_p	0,31	1,00	0,75	-0,03	0,77	0,82	0,06	0,66
VBS	0,65	0,75	1,00	0,00	0,71	0,86	0,30	0,24
80 μm	0,26	-0,03	0,00	1,00	-0,58	-0,22	-0,24	-0,32
2 μm	0,33	0,77	0,71	-0,58	1,00	0,86	0,28	0,49
CEC	0,47	0,82	0,86	-0,22	0,86	1,00	0,46	0,44
Ca	0,23	0,06	0,30	-0,24	0,28	0,46	1,00	0,00
MO	-0,32	0,66	0,24	-0,32	0,49	0,44	0,00	1,00

Nombre d'individus : 15

Avec : W_{nat} , teneur en eau naturelle (%); I_p , indice de plasticité; VBS, valeur de bleu (g/100 g de sol sur la fraction 0/50 mm); < 0,08mm, passant à 80 μm (%); < 2 μm , teneur en particules argileuses inférieures à 2 μm C₂ (%); CEC, capacité d'échange cationique (cmole.kg⁻¹); Ca, teneur en carbonates (g/kg); MO, teneur en matières organiques (g/kg).

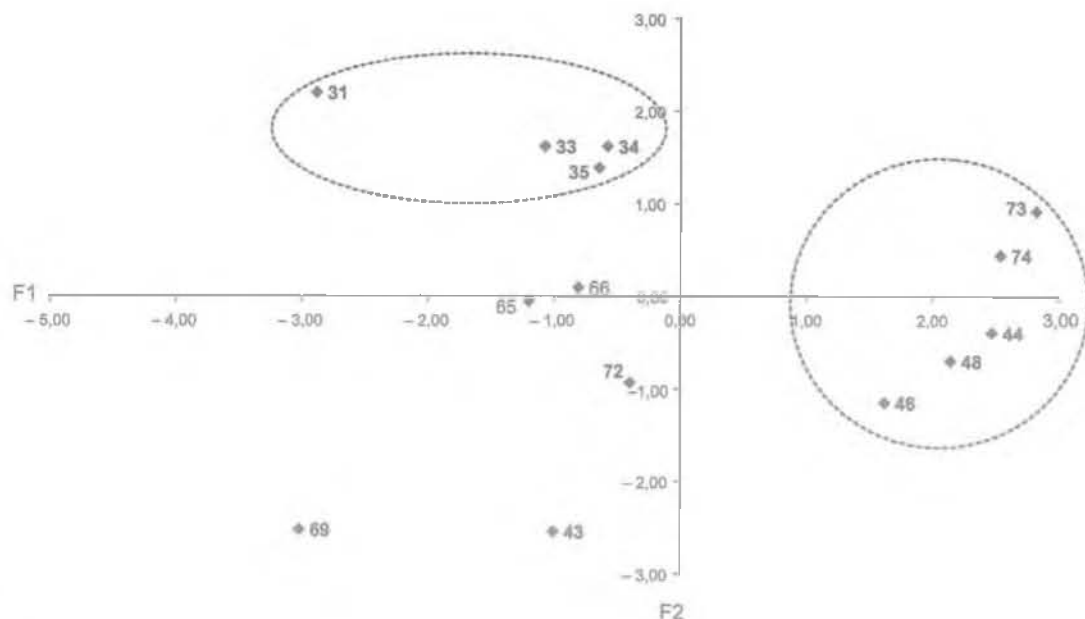


FIG. 15 Plan F1F2 des individus résultant de l'ACP sur l'ensemble des échantillons.
Plan F1F2 of samples obtained after ACP on all samples.

de l'influence de la matière organique (MO). Globalement les sols argileux de la formation de Brach présentent des corrélations significatives entre paramètres géotechniques mais traduisent une forte hétérogénéité spatiale de ces mêmes paramètres au sein d'une même formation géologique, sur une petite surface et en fonction de la profondeur.

5

Conclusion

Dans le but de mieux comprendre et de prévenir des risques liés au phénomène de retrait/gonflement des sols argileux, quatre parcelles sinistrées dans un même quartier et sur une même formation géologique d'une même commune ont été étudiées du point de vue lithologique et géotechnique. Les résultats obtenus montrent que pour une même formation géologique quaternaire au sein d'un quartier d'une commune, les propriétés des sols et de leurs fractions granulométriques peuvent être différentes d'une parcelle à l'autre et une identification du comportement mécanique des sols à partir de la classification GTR trouve vite ses limites.

L'analyse statistique des données montre des corrélations significatives avec des paramètres moins couramment utilisés comme la CEC, reliée indirectement

à la surface spécifique et à la teneur en argiles (C_2), qui apparaissent comme de bons indicateurs complémentaires de la taille des particules et de leur nature minéralogique. Ces paramètres permettent de caractériser et de classer les sols suivant de nouveaux critères par rapport à l'aléa retrait/gonflement. Ces premiers résultats traduisent également l'influence de paramètres tels que l'alternance de passées sableuses au sein des argiles (drain pour l'eau) et surtout de la teneur en matière organique qui semblent jouer le rôle de facteur aggravant sur le pouvoir gonflant et rétractant des argiles.

Cette étude à l'échelle d'un quartier, bien que spécifique aux formations de Brach et de Belin, met en évidence la forte variabilité spatiale et en profondeur des valeurs des paramètres d'identification dans les formations alluvionnaires, et la nécessité de préciser l'aléa retrait/gonflement à l'échelle du site de construction. Dans la pratique, les seuls critères actuels de la classification GTR semblent inadaptés pour identifier clairement les sols sensibles au retrait et au gonflement et une classification des sols s'appuyant sur des paramètres complémentaires tels que la capacité d'échange cationique, la nature minéralogique et la teneur en matières organiques nous semble très prometteuse et apporterait une aide précieuse aux bureaux d'étude. L'autre intérêt de cette étude est d'apporter aux responsables municipaux des connaissances géotechniques sur cette formation qui occupe l'extrémité ouest de la commune, actuellement en cours d'urbanisation.

Bibliographie

- Bigorre F., Tessier D. - *Contribution des argiles et des matières organiques à la rétention de l'eau dans les sols. Signification et rôle fondamental de la capacité d'échange en cations*. Thèse Univ. Nancy I, 2000, 178 p.
- Bultel F. - *Prise en compte du gonflement des terrains pour le dimensionnement des revêtements de tunnels*, Thèse École nationale des ponts et chaussées, 2001, 298 p.
- Chen F.H. - *Foundations on expansive soils. Developments in Geotechnical Engineering* vol. 54, Elsevier Publishing Co, Amsterdam, 1988, p.40-48.
- Dakshanamurthy, Raman V. - *Identification of expansive soils from the Plasticity and the Shrinkage Index Data*, *Indian Eng.*, 1973, p.11-22.
- Dubreuilh J.-P. et al. - *Dynamique d'un comblement continental néogène et quaternaire : l'exemple du bassin d'Aquitaine*. *Géologie de la France* n° 4, 1995, p. 3-26.
- Dubreuilh J.-P. - *Contribution à l'étude sédimentologique du système fluviale Dordogne-Garonne dans la région bordelaise. Les ressources en matériaux alluvionnaires du département de la Gironde*. Thèse Univ. Bordeaux 1 n° 91, 1976, 326 p.
- Favre J.-L. 2004. *Géotechnique, sécurité des ouvrages, risque. Modélisation de l'incertain, fiabilité, analyse des risques*, éd. Ellipses, 2004, p. 88.
- Lautrin D. - *Utilisation pratique des paramètres dérivés de l'essai au bleu de méthylène*, *Bulletin de liaison des ponts et chaussées* n° 160, 1989, p.53-67.
- Mouroux P., Margron P., Pinte J.-C. - *La construction économique sur sols gonflants*, *Manuels et Méthodes* n° 14, éd. BRGM, 1988, 128 p.
- Philipponnat G. - *Désordres dus à la présence de sols gonflants dans la région parisienne*. *Annales de l'ITBTP* n° 159 série Sols et Fondations, 1978, p.1-15.
- Platel J.-P., Astruc J.-G. - *Cartographie des principales formations argileuses et marneuses affleurantes dans la région Aquitaine*, BRGM RP-50181, 2000, 108 p.
- Platel J.-P., Estève A., Tomera L. - *Cartographie de l'aléa retrait/gonflement des argiles du département de la Gironde*, BRGM/RP-53382, 2004, 224 p.
- Seed et al. - *Prediction of swelling potential for compacted clays*. *J. Soil Mech. and Found. Eng. Div. ASCE* n° 88, 1962, p. 107-131.
- Skempton A.W. - *The colloidal activity of clays*, *Proceeding of the Third International Conference of Soils Mechanics and Foundation Engineering*, 1953, p. 57-61.
- Thierry P., Breyse D. avec la collaboration de E. Vanoudheusden, A. Marache, S. Dominique, B. Rodière, B. Bourguine, P. Régaldo-Saint Blancard, Ch. Piette, F. Rivet, R. Fabre - *Le projet RIVIERA. Risques en ville : équipements, réseaux, archéologie* Rapport final. BRGM/RP-55085-FR, 2006, 248 p. ; 144 fig., 30 tableaux, 3 annexes.
- Tourenq C., Tran Ngoc Lan - *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, 1989, p. 79-92.
- Uniform Building Code - Appendix A (A procedure for estimation of the amount of climate controlled differential movement of expansive soils), Section 1817, Chap. 18, Div. III, 1997, p. 60.
- Vincent M. - *Retrait/gonflement des sols argileux : méthode cartographique d'évaluation de l'aléa en vue de l'établissement de PPR*. 3^e Conférence SIR-NAT Forum des journées pour la Prévention des risques naturels. Orléans. *Actes du colloque*, 2003.
- Williams A.B, Donaldson G.W. - *Developments related to building on expansive soils in South Africa: 1973-1980*. *Proc.4th Int. Conf. on Expansive Soils*, Denver, vol. 2, 1980, p. 834-844.