

Désordres dus à l'infiltration des eaux Cas de la ville d'El-Affroun

R. BAHAR

Département de génie civil
Université Mouloud
Mammeri de Tizi-Ouzou
BP 17 RP
15000 Tizi-Ouzou, Algérie
bahar_rm@yahoo.fr

S. KENAI

Département de génie civil
Université de Blida
BP 270, 09000 Blida, Algérie
sdkenai@yahoo.com

Résumé

Des désordres ont été constatés dans plusieurs édifices publics dans une ville au sud d'Alger. Cet article présente une description de ces désordres et de leurs causes probables. Les études géologique, hydrogéologique et géotechnique ont montré que la région de la ville est géologiquement stable et le sol est de bonne résistance. La cause principale des désordres est liée à l'infiltration des eaux dans les sols argileux provenant des pluies et des réseaux d'assainissement défectueux. La présence d'arbres et arbustes très proches des constructions ainsi que le manque de dallage périphérique autour des bâtiments ont contribué à l'accélération de ces désordres.

Mots-clés : désordres, maçonnerie, fissures, tassement, sol argileux, eau, infiltration, géologie, hydrogéologie.

Damages due to water infiltration case of El-Affroun town

Abstract

Damages were observed in several public buildings in a city in the south of Algiers. This paper presents a description of these damages and their probable causes. The geological, hydrogeological and geotechnical investigations had shown that the area of the city is geologically stable and that the soil has a good resistance. The main cause of the damages is related to the infiltration of rain and water from defective sanitary lines through the clay soils. The presence of trees and plants very close to constructions as well as the lack of aprons around the buildings contributed to the acceleration of these damages.

Key words : damages, masonry, cracks, settlement, clayey soil, water, infiltration, geology, hydrogeology.

Introduction

A la suite de l'apparition de désordres importants sur un grand nombre de constructions à usage d'habitation ainsi que des édifices publics dans la ville d'El-Affroun, une expertise a été demandée par la Direction du logement et des équipements publics (DLEP) de la wilaya de Blida dans l'objectif de mieux connaître les causes des désordres et de proposer les solutions adéquates. La ville d'El-Affroun est située à une soixantaine de kilomètres au sud d'Alger. Elle fait partie de la Mitidja occidentale, vaste plaine s'étendant sur 1300 km² (Fig. 1).

Après présentation de la méthodologie proposée pour analyser ces désordres et son approbation par la commission technique désignée à cet effet par décision du préfet de la wilaya de Blida, l'expertise a démarré en mars 1999. L'équipe d'ingénieurs experts qui a pris en charge le projet est composée de spécialistes dans les domaines suivants : géotechnique, géologie, hydrogéologie, pathologie des constructions et réparation, statique et dynamique des structures et architecture. Sept sites choisis par les services techniques de la DLEP et situés sur plusieurs zones de la ville ont été soumis à l'expertise (Fig. 2) : un centre culturel, deux Centres d'enseignement moyen (CEM), une salle omnisports, une école primaire, un lycée et le siège du tribunal.

L'ampleur et le nombre important d'édifices endommagés et l'apparition des désordres à la même période de sécheresse dans les années 80 et en particulier lors du séisme qui a touché la région en 1989, a amené l'équipe chargée de l'expertise à proposer une approche globale basée sur trois études fondamentales, géologique, hydrogéologique et géotechnique, pour cerner les causes principales des désordres observés.

L'article que nous proposons présente les désordres observés et commente les résultats de l'expertise (Kenai et Bahar, 1999).

Désordres observés

Les sept bâtiments affectés sont des édifices publics construits au début des années 80. Il s'agit en majorité de bâtiments en rez-de-chaussée ou R + 1 constitués d'un ou de plusieurs blocs séparés par des joints de dilatation. L'ossature de ces bâtiments est en portiques autostables en béton armé avec une maçonnerie en parpaings ou en briques. Les planchers des étages et des terrasses sont en poutrelles et corps creux avec dalle de compression et les planchers RDC sont en dalles flottantes. Les fondations sont des semelles isolées ancrées entre 0,80 et 1,50 m de profondeur. Au sud de la ville, le terrain est en pente ; les édifices sont construits sur plusieurs plates-formes nécessitant des terrassements et la réalisation de murs de soutènement.

Les premiers désordres ont été observés deux à trois ans après l'inauguration des ouvrages. Les principaux désordres observés sont :

- affaissement des dallages du plancher RDC et fissuration horizontale de la maçonnerie (Figs. 3 et 4) ;
- fissures diagonales apparaissant principalement dans les endroits sensibles comme des angles de baies, des fenêtres et des portes (Figs. 5, 6 et 7) ;
- fissures verticales à la jonction maçonnerie-poteau en béton armé ;
- ouverture des joints de dilatation (Fig. 8) ;
- déplacement important et rupture partielle d'un mur de soutènement (Fig. 9) ;
- cisaillement de poteaux courts (Fig. 10).

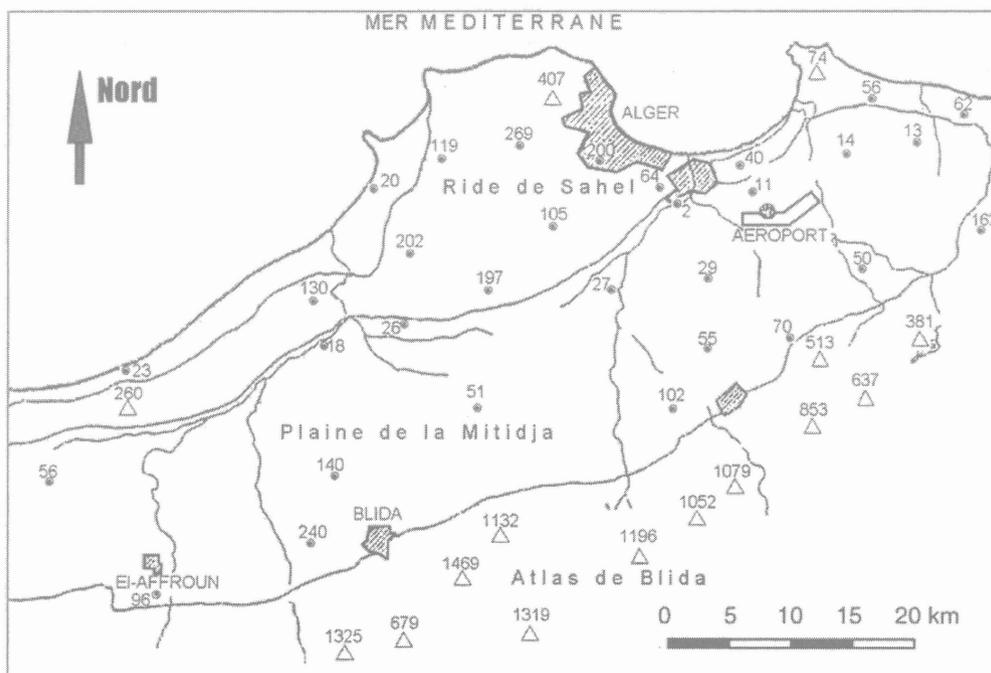


FIG. 1 Carte montrant la région d'El-Affroun.
Map showing the region of El-Affroun town.

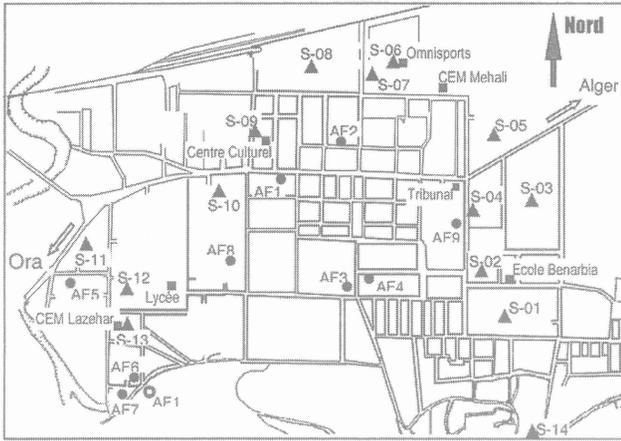


FIG. 2 Position des sites et ouvrages endommagés.
Site and damaged buildings positions.

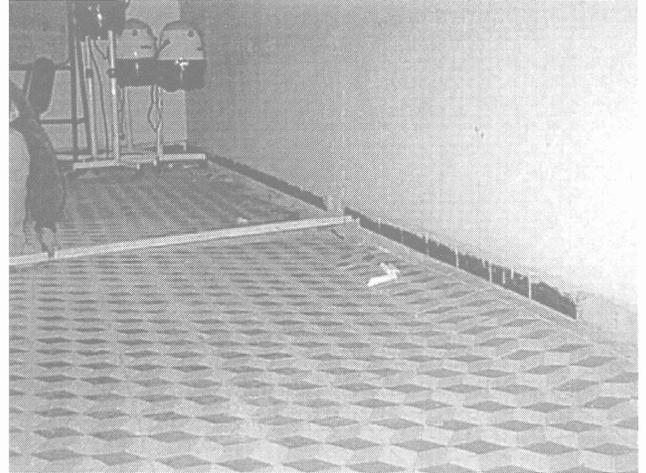


FIG. 3 Affaissement du plancher RDC (la règle montre l'affaissement du côté extérieur).
Settlement of ground slab (the rule shows the settlement on the external side).

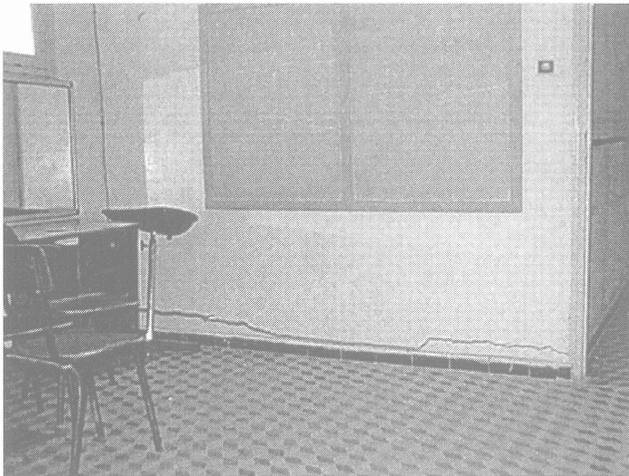


FIG. 4 Fissure horizontale due au tassement du plancher.
A horizontal crack due to settlement of the ground slab.

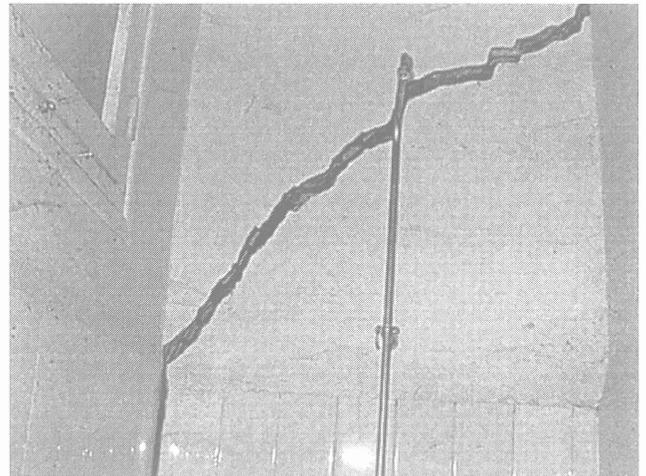


FIG. 5 Fissuration de la maçonnerie dans les sanitaires.
Cracking of masonry in the sanitarries.



FIG. 6 Fissures dans la maçonnerie.
Cracks in masonry.

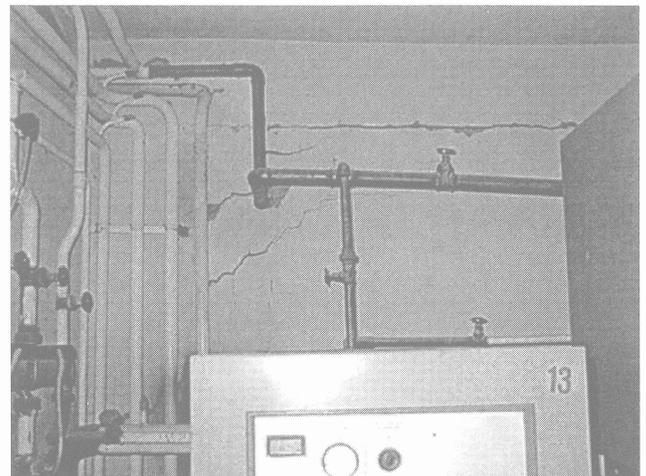


FIG. 7 Fissuration de la maçonnerie dans la chaufferie.
Cracking of masonry in the boiler room.



FIG. 8 **Ouverture du joint de dilatation.**
Expansion joint opening.



FIG. 9 **Rupture partielle d'un mur de soutènement.**
Partial failure of a retaining wall.

Ces désordres sont principalement concentrés au voisinage d'installations sanitaires, chaufferies, cuisines et dans les blocs très proches d'arbres adultes où des murs de maçonnerie se sont détachés complètement de la structure porteuse.

3

Étude géologique

L'étude géologique, basée sur la documentation existante et les visites de terrain, a été réalisée dans le but de localiser les limites d'affleurements de certaines formations, de vérifier la nature lithologique de ces formations, d'analyser des échantillons prélevés sur le terrain et d'identifier les pendages des couches.

La ville d'El-Affroun est limitée au nord, par la ride du Sahel d'Alger dont l'altitude maximale est de 260 m et au sud par l'Atlas tellien dont les altitudes dépassent les 1 600 m (Fig. 1). El-Affroun, ville de piémont à 100 m d'altitude, se trouve située dans une zone où se superposent une aire de subsidence ou d'affaissement (plaine) et un bloc ascendant, l'Atlas, qui se transforme

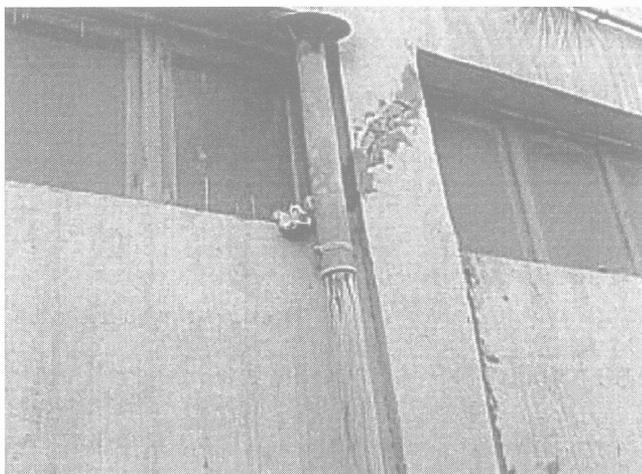


FIG. 10 **Cisaillement d'un poteau court.**
Shear cracking of a short column.

en reliefs. A l'est et à l'ouest, deux oueds (Bouroumi et Djer) issus de la chaîne atlasique cernent la ville avant d'atteindre leur point de confluence plus au Nord. Enfin, l'évolution de la ville sur le plan urbanistique tend vers un ensemble non structuré. L'extension vers le sud, sur le flanc de la colline dominant la ville, a tendance à modifier les paramètres naturels tels que : couvert végétal, pentes, drainage des eaux de ruissellement, etc.

L'étude de la nature des différentes formations géologiques rencontrées dans la région d'El-Affroun et ses alentours a permis de mettre en évidence quatre époques et périodes (Fischeur et Biarreau, 1896 ; Glangeaud, 1932 ; Glangeaud et Aymé, 1935). La figure 11 montre une coupe géologique dans le sens SSW-NNE. Ces périodes sont :

- *Miocène*. Cette formation, essentiellement marneuse se rencontre au sud de la ville ;
- *Miocène moyen*. La série de roches éruptives reconnue au sud d'El-Affroun est une série interstratifiée dans les couches du miocène. Elle s'étend en bordure du massif créacé vers l'ouest et elle est constituée par des roches de teintes foncées tantôt massives tantôt décomposées. L'analyse des caractères physico-minéralogiques d'échantillons prélevés a permis d'identifier la nature de la roche en mettant en évidence l'un de ses principaux composants : l'andésite augitique. Cette roche est d'âge tertiaire ;
- *Pliocène*. Il se caractérise par trois formations essentielles. L'une, composée de marnes grises ou bleuâtres parfois sableuses, de forte épaisseur, l'autre, hétérogène composée de marnes jaunes, de faciès gréseux, calcaire et calcaire-gréseux, puissant de 100 m en moyenne ; cette formation affleure et constitue l'essentiel du long bourrelet du Sahel et une partie du remplissage de la plaine (Astien) ; cette formation est de nature fluvio-lacustre. A la limite sud de la Mitidja (bordure atlasique), le relèvement des couches est important : des terrains antérieurs au Pliocène apparaissent ;
- *Quaternaire*. Il se subdivise en quatre unités lithologiques : le Quaternaire ancien, mal représenté dans la Mitidja et inexistant dans la zone d'étude, le quaternaire moyen qui est une épaisse couverture d'alluvions de dépôts grossiers, le Quaternaire récent qui est marqué, au débouché de la cluse de l'oued du Mazafran, par le

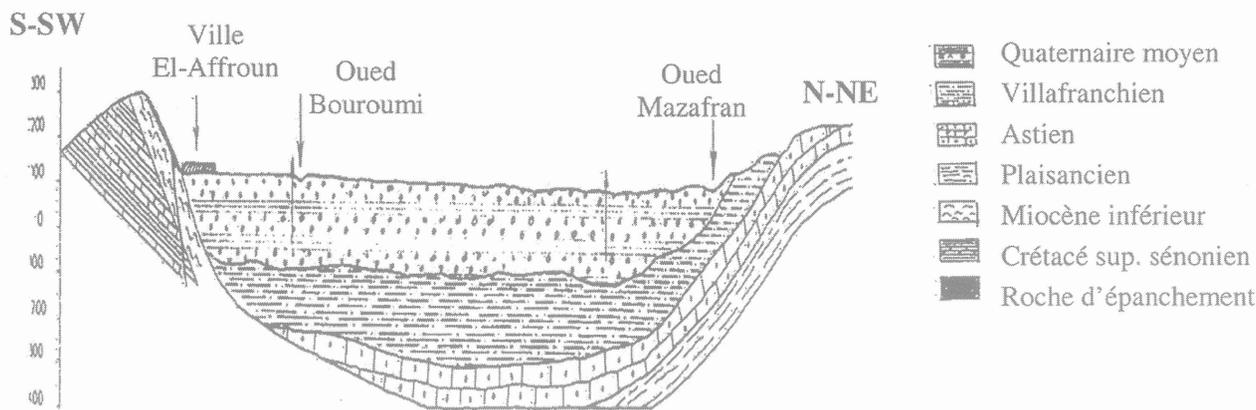


FIG. 11 Coupe géologique SSW-NNE.
Geological cross-section along SSW-NNE.

dépôt d'alluvions récentes, argileuses, limoneuses et graveleuses et le quaternaire actuel limité aux lits majeurs et mineurs des oueds.

A travers les stades successifs de la formation de la plaine et de son évolution, il convient de remarquer que les principaux mouvements tectoniques qui ont donné à la région sa structure actuelle, se résument essentiellement par la formation d'un pli en forme de cuvette à grand rayon de courbure. Cette cuvette est formée d'un matériel sédimentaire d'âge Plio-Quaternaire, dans lequel aucune particularité de tectonique cassante n'est apparente. Ceci permet d'affirmer que la zone étudiée a hérité d'un passé lointain relativement stable et que dans cette stabilité, aucun indice ne permet d'affirmer que celle-ci risque d'être perturbée. Cependant, il faut souligner que la zone étudiée fait partie d'une région sismique qui couvre tout le Nord du pays. En conséquence, le risque pour qu'un séisme se produise dans cette région n'est pas à écarter. Sur ce plan la région n'est connue que par son activité sismique historique. La carte des intensités maximales, observées entre 1716 et 1990, indique que la région de la Mitidja-Ouest a toujours été le siège d'une intense activité sismique. On y dénombre, en un siècle plus d'une vingtaine, de magnitude supérieure à 5 sur l'échelle de Richter (CGS, 1999).

Sur toute la région d'El-Affroun, un grand nombre de sondages ont été réalisés. L'analyse et l'interprétation de toutes les coupes lithologiques de sondages disponibles ont permis d'établir des coupes corrélatives de sols et de déterminer un profil lithologique type pour chaque site étudié. A partir de ces profils types, des corrélations spatiales ont permis d'établir des coupes orientées nord-sud et est-ouest. La figure 12 présente une coupe orientée nord-sud. La morphologie du terrain de toute la région d'El-Affroun peut être subdivisée en deux zones :

- zone de piémont dont la pente varie de 10 à 20 % ;
- zone subhorizontale dont la pente est très faible.

L'examen de ces coupes permet de distinguer les principales formations qui composent le sol :

- la formation I correspond à la tranche supérieure du sol (0-4 m). Elle est rencontrée sur toute la région d'étude. Sur le piémont, cette formation est représentée par des limons et argiles plastiques brunâtres noirâtres ; elle subit une variation latérale de faciès vers le nord (sous le centre de la ville) où la fraction fine de limons disparaît. Son épaisseur est variable de 2,5 à 4,5 m ;

- la formation II correspond à la tranche du sol comprise entre 4 m et 12 m de profondeur. Cette formation sous-jacente d'une épaisseur variable, 6 à 8 m, est représentée sur le piémont par des argiles compactes gris clair à jaunâtres et subit une variation latérale de faciès vers le nord (sous le centre de la ville) où elle devient des argiles plastiques carbonatées jaunâtres ;

- la formation III est une formation argilo-marneuse fortement indurée, massive qui peut être assimilée à un substratum rigide et qu'on rencontre à partir de 12 à 14 m de profondeur. Sur la coupe corrélatrice de la figure 12, cette formation se situe en position sous-jacente par rapport à la formation II et n'a pas été représentée.

Cette étude montre que, sur le plan géologique et structural, la région étudiée est considérée comme stable et ne poserait *a priori* pas de problèmes aux constructions. Sur le plan sismique, la ville, qui historiquement est très active, ne présente pas un caractère spécifique à l'échelle de la chaîne tellienne.

4 Étude hydrogéologique

Dans la phase préliminaire de l'étude, on a été conduit à considérer le facteur eau comme pouvant être un facteur fondamental parmi les causes ayant provoqué les fissurations dans les différentes constructions. Par conséquent, l'aspect hydrogéologie devenait une nécessité. L'inventaire des points d'eau revient à identifier, repérer et recueillir toutes les informations sur les puits d'eau, les sources, les captages et les forages. Les points d'eau identifiés et appartenant à des particuliers sont tous des puits traditionnels dont la profondeur varie entre 10 et 50 m (Tableau I). Pour mener à bien cette opération et mesurer les niveaux d'eau dans les puits au repos, nous avons donné consigne de ne pas pomper l'eau 12 heures avant la campagne de prélèvement.

Les conclusions de l'étude géologique avaient mis en évidence l'existence de niveaux carbonatés et argilo-carbonatés sur toute l'étendue du sous-sol de la ville d'El-Affroun. De ce fait, l'examen minéralogique, la composition chimique et la relation eau-carbonate devaient être examinés, afin de pouvoir étudier le phénomène de la dissolution des carbonates et ses réper-

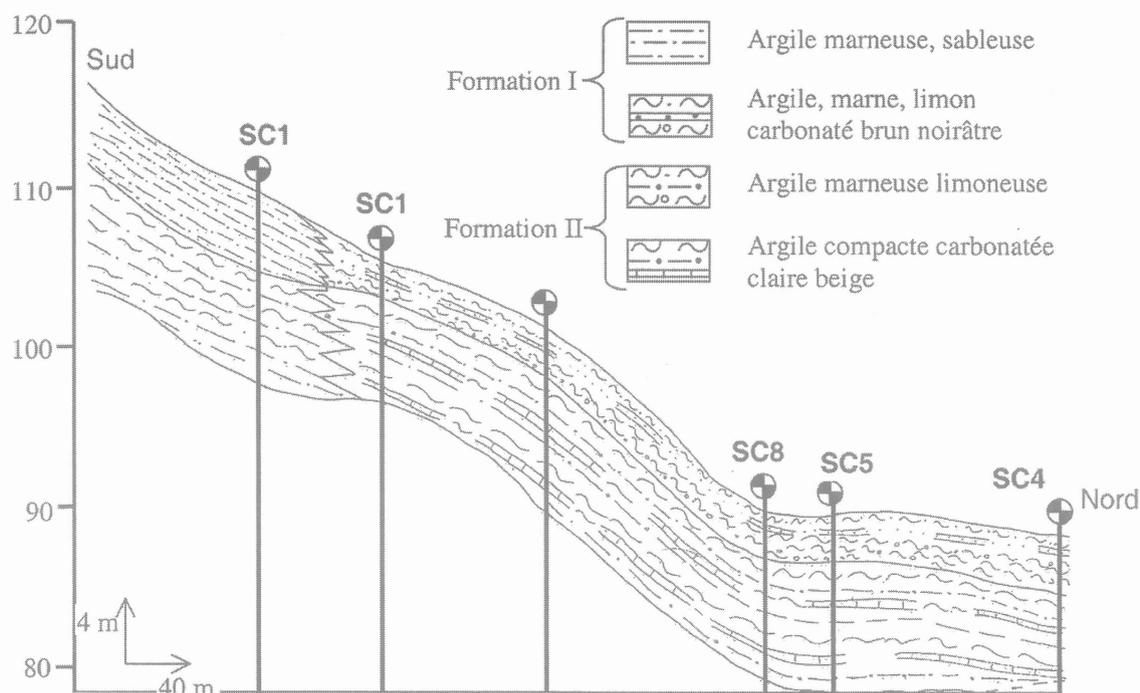


FIG. 12 Coupe lithologique du sol.
Cross section stratigraphy of the soil.

cussions sur les tassements constatés au niveau de certains édifices. A cet effet, nous avons effectué une campagne de prélèvement d'échantillons d'eau et de sol pour analyses chimiques. Les résultats sont donnés dans le tableau II.

En utilisant les données disponibles nous avons établi une esquisse piézométrique. Ces courbes ont permis de distinguer deux niveaux aquifères différents. Le premier est situé à l'est de la ville et comprend les points AF1, AF3, AF4, AF9 (Fig. 2) dont le drainage principal s'effectue du S vers le NNE et où le gradient hydraulique a une valeur relativement forte ($I_H = 15\%$). Le deuxième, comprenant les points AF5, AF6, AF7, AF8, se rencontre sur la partie ouest de la ville et admet une direction d'écoulement du sud vers le NNE et un gradient hydraulique plus fort ($I_H = 20\%$). L'existence de ces deux niveaux aquifères entraîne les remarques suivantes :

- la différence remarquable entre les niveaux statiques des points d'eau laisse supposer l'existence de discontinuités lithologiques qui peuvent donner lieu à des niveaux aquifères lenticulaires restreints ;
- les profondeurs d'eau dans les puits augmentent du sud vers le nord, puisque l'écoulement souterrain se fait dans cette direction. Le premier niveau aquifère se rencontre à une profondeur de 6 mètres par rapport au sol, ce qui permet d'affirmer que les édifices dont les fondations ne sont pas très profondes ont peu de chance d'être affectés par les eaux de ce niveau aquifère.

Les eaux de la ville d'El-Affroun se caractérisent par des températures relativement homogènes ($18^\circ-20^\circ\text{C}$). On peut remarquer que ce sont les eaux prélevées dans les horizons aquifères superficiels (6-7 m) qui possèdent les températures les plus basses. Les valeurs des

TABLEAU I Caractéristiques des puits d'eau.
Water parameters from the wells.

Points d'eau	Profondeur du puits (m)	Profondeur du niveau d'eau (m)	Cote du puits en (m/NGM)	Niveau statique (m/NGM)	Observations
AF1	50	48	97,5	49,5	/
AF3	10	7	111	104	\
AF4	10	6	111,9	105,9	/
AF5	34,5	31	102	71	/
AF6	20	14	140	126	/
AF7	12	7	135	128	/
AF8	37	35	110	75	/
AF9	17	14	100	126	/
AF10 (source)	/	/	/	150	débit 0,5 m ³ /h

TABLEAU II Analyse chimique de l'eau des puits.
Chemical analysis of water from wells.

Échantillon	Conductivité (µs/cm)	Temp. (°C)	PH	HCO ₃ ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	K ⁺ (mg/l)
AF1	1840	20	8,3	451,5	237,9	299,4	8,16	200	50,2	183,3	4,99
AF3	2220	18	8,2	515	284	299,4	8,66	340	90,3	165,9	0,66
AF4	2100	17,8	8,4	517,3	312,4	312,3	8,74	260	72	176,4	0,7
AF5	1670	19	8,2	473,4	284	325,5	7,82	240	43	133,7	1,1
AF6	1430	19,2	8,2	532	399,4	147	8,31	200	47,9	101,6	1,53
AF7	2250	18,2	8,3	626	301,8	73,7	9,69	500	65	165,5	4,19
AF8	1700	18,7	8,2	275	394	335,5	8	180	13,6	233,7	20,2
AF9	3000	18,5	8,4	304	436,7	254	9,1	500	93,4	259,7	6,57
AF10	2170	20	8,5	385,5	301,8	367,5	9	260	61,2	203,5	3,98

PH sont assez homogènes mais légèrement basiques (PH moyen = 8,3), ce qui témoigne d'une mise en solution des carbonates. La conductivité d'une eau souterraine renseigne sur sa minéralisation (salinité) ainsi que sur le contact eau-roche et par conséquent sur les zones à perméabilité différente. Les valeurs de la conductivité des eaux d'El-Affroun sont plus ou moins dispersées (1 400-3 000 µs/cm) ce qui témoigne d'une hétérogénéité lithologique latérale dans le sous-sol de la ville. Cette constatation confirme donc les données piézométriques. La circulation des eaux souterraines et leur contact avec la matrice carbonatée entraînent la mise en solution et la dissolution de celle-ci. Ce processus se déroule jusqu'à ce qu'un équilibre se produise entre les différentes phases. Cet équilibre est mesuré par l'indice de saturation (I_s). Les réactions d'équilibre du système calco-carbonique peuvent être résumées par l'équation principale de dissolution du calcaire suivante:



L'indice de saturation, qui renseigne sur l'état de saturation d'une solution par rapport à un minéral donné, est donné par la formule suivante :

$$I_s = \log (\text{PAI}/K_s) \quad (2)$$

avec :

PAI : produit des activités ioniques ($\text{Ca}^{2+}(\text{CO}_3^{2-})$), paramètre sans dimension ;

K_s : produit de solubilité défini en fonction du minéral et de la température de l'échantillon, paramètre sans dimension.

Pour $I_s = 0$, l'eau est en équilibre avec le minéral ; pour $I_s > 0$, l'eau est sursaturée, elle a dépassé la capacité de dissolution des carbonates ; pour $I_s < 0$, l'eau est sous-saturée, elle dissout encore les carbonates.

Les résultats des indices de saturation obtenus sont reportés sur le tableau III. On constate que toutes les eaux de la ville d'El-Affroun sont saturées vis-à-vis de la calcite (carbonate de calcium), que l'indice de saturation I_s déterminé est positif ($+ 1,48 \leq I_s \leq + 1,91$) et, donc ces eaux ont dépassé leur capacité de dissolution. Nous remarquons également que la sursaturation par rapport à la dolomite, qui est un carbonate de magnésium,

est largement dépassée ($+ 1,55 \leq I_s \leq + 3,22$). Par contre les eaux sont sous-saturées par rapport au gypse qui est un sulfate de calcium hydraté ($- 1,50 \leq I_s \leq - 0,62$). Nous pouvons admettre donc que la dissolution a bien lieu dans les niveaux carbonatés intercalés dans les dix premiers mètres du sol d'El-Affroun.

5

Étude géotechnique

Afin d'élaborer une carte géotechnique de la région d'El-Affroun et cerner les causes d'ordre géotechnique des désordres observés, nous avons mené :

- une collecte de données géotechniques à partir des archives des laboratoires de sol algériens. Plus de 60 sondages, de profondeurs variables, ont été analysés ;

TABLEAU III Résultats des indices de saturation des différents points d'eau.

Results of saturation indexes for different water point.

Échantillon	Indice de saturation I_s			
	Calcite	Dolomite	Gypse	Log Pco ₂
AF1	+ 1,48	+ 2,67	- 0,9	- 2,76
AF3	+ 1,65	+ 3,01	- 0,78	- 2,69
AF4	+ 1,68	+ 3,08	- 0,84	- 2,83
AF5	+ 1,51	+ 2,56	- 1,15	- 2,65
AF6	+ 1,54	+ 2,75	- 1,50	- 2,67
AF7	+ 1,91	+ 3,22	- 0,64	- 2,65
AF8	+ 1,91	+ 1,55	- 1,08	- 2,93
AF9	+ 1,68	+ 2,92	- 0,62	- 3,11
AF10	+ 1,70	+ 3,08	- 0,89	- 3,08

– des campagnes de reconnaissance complémentaires en septembre et octobre 1999, l'une géotechnique et l'autre géophysique. Elles consistent en trois sondages carottés, de 15 m de profondeur, neuf sondages presiométriques et dix profils sismiques.

Les résultats d'essais d'identification physique, mesurés sur l'ensemble des échantillons prélevés sur la ville, mettent en évidence une gamme de sols fins étendue allant des argiles aux limons. La classification des sols basée sur la limite de liquidité et l'indice de plasticité classe les sols d'El-Affroun dans les argiles moyennement à très plastiques (Fig. 13). Les figures 14 et 15 présentent quelques caractéristiques des argiles d'El-Affroun. Les paramètres de compressibilité obtenus à l'œdomètre traduisent un sol surconsolidé moyennement à assez fortement compressible, consistant, à potentiel de gonflement moyen à élevé. Les paramètres mécaniques indiquent un sol de bonne à très bonne résistance mécanique.

5.1

Caractérisation du potentiel de gonflement des argiles d'El-Affroun

Les sols gonflants occasionnent des désordres importants aux ouvrages qu'ils supportent. De nombreux cas de pathologie d'ouvrages dus au gonflement de sols ont été recensés dans différentes régions de l'Algérie (Ameur, 1989 ; Derriche *et al.*, 1999 ; Hachichi et Fleureau, 1999), ce qui nous a amenés à nous intéresser à ce phénomène dans le cas de la région d'El-Affroun. De nombreuses méthodes ont été proposées dans la littérature pour évaluer le potentiel de gonflement d'un sol à partir de la mesure des paramètres de plasticité et de granulométrie (Seed *et al.*, 1962 ; Dakshnamurphy et Raman, 1973, *in* Hachichi et Fleureau, 1999 ; Williams et Donaldson, 1980 ; Chen, 1988). Pour

ces auteurs, un potentiel de gonflement très élevé correspond à un gonflement libre (exprimé en pourcentage) supérieur à 25 %, un potentiel élevé, à un gonflement compris entre 5 et 25 %, un potentiel moyen, à un gonflement compris entre 1,5 et 5 % et un potentiel faible, à un gonflement inférieur à 1,5 %.

Le potentiel de gonflement des argiles d'El-Affroun est analysé à l'aide des méthodes de Seed *et al.* (1962), Dakshnamurphy et Raman (1973), Williams et Donaldson (1980) et Chen (1988). Seed *et al.* (1962) proposent une classification des sols en fonction de la teneur en argile F_2 (éléments inférieurs à 2 μm) et l'activité corrigée, définie par $A_{cor} = I_p / (F_2 - 10)$. Dakshnamurphy et Raman (1973) et Chen (1988) relient le potentiel de gonflement respectivement à la limite de liquidité et l'indice de plasticité I_p . Pour ces auteurs, un potentiel de gonflement très élevé correspond à une limite de liquidité supérieure à 70 et un indice de plasticité supérieur à 35. Williams et Donaldson (1980) considèrent que le caractère expansif des argiles est fortement lié à l'activité et propose une classification donnant le potentiel de gonflement en fonction de l'indice de plasticité et la teneur en argile. Le tableau IV donne la comparaison des résultats obtenus à partir de ces différentes méthodes. La figure 16 représente la classification des potentiels de gonflement de Seed *et al.* (1962) pour l'ensemble des échantillons analysés. On constate un bon accord entre ces classifications à l'exception de la classification de Dakshnamurphy et Raman (1973) qui conduit à des potentiels de gonflement plus faibles que les autres. Les potentiels de gonflement élevés correspondent à des indices de gonflement C_s supérieurs à 0,04. Des essais de gonflement libre réalisés à l'œdomètre sur des échantillons de sols prélevés sur le site S-03 à différentes profondeurs (Fig. 2) ont donné des pressions de gonflement variant de 300 à 650 kPa et un taux de gonflement compris entre 10 et 13 %. Ces résultats confirment le caractère potentiellement gonflant des argiles d'El-Affroun.

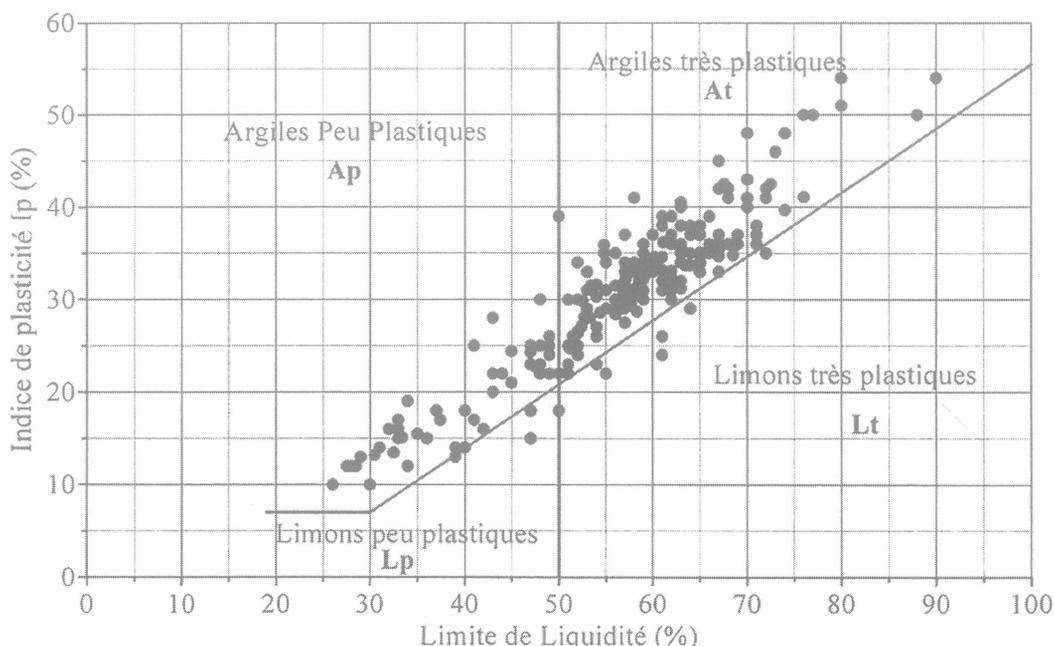


FIG. 13 Limites d'Atterberg des argiles d'El-Affroun. Atterberg limits of El-Affroun clays.

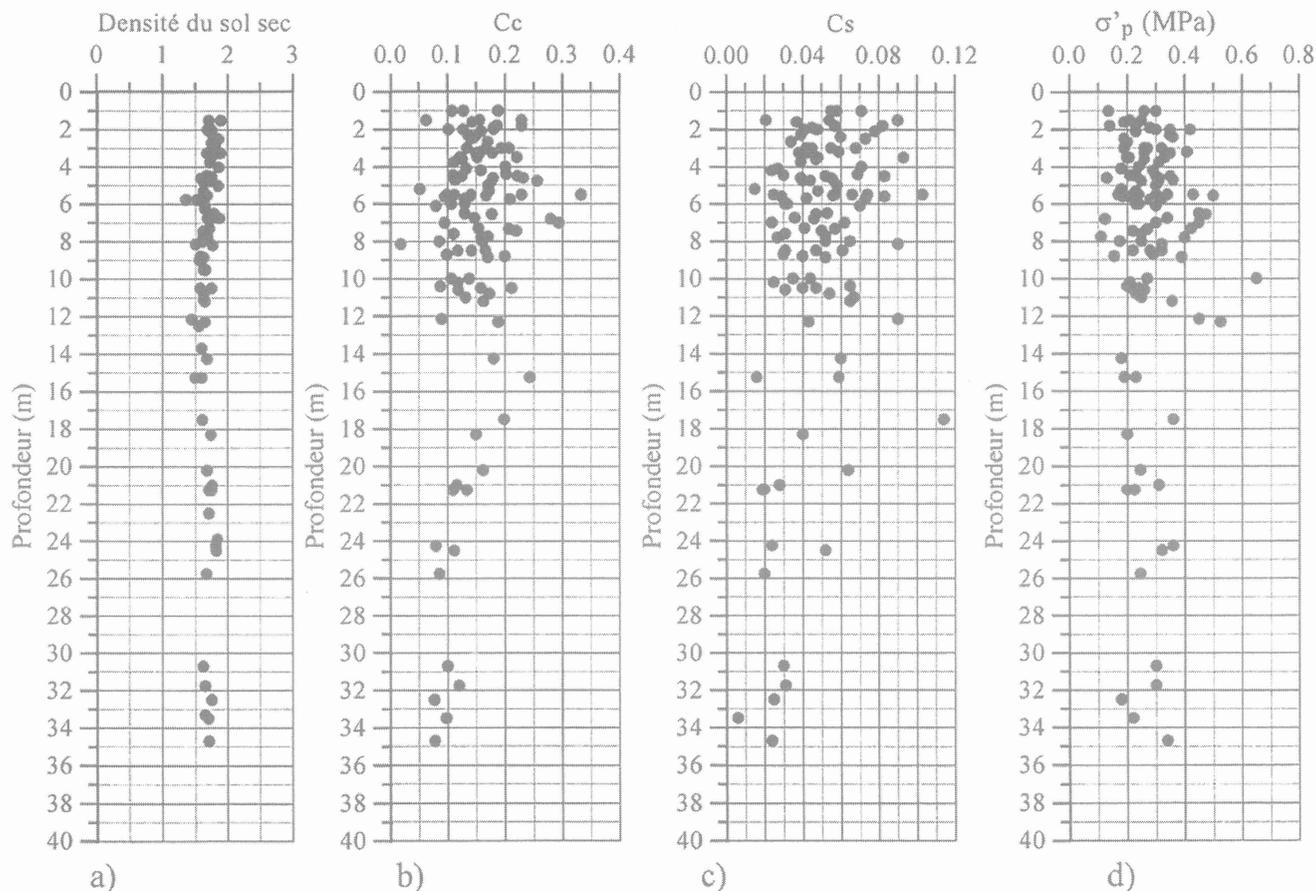


FIG. 14

Caractéristiques des argiles d'El-Affroun.

a) densité sèche; b) indice de compression; c) indice de gonflement; d) pression de préconsolidation.

Properties of El-Affroun clays.

a) dry density; b) compression index; c) swelling index; d) preconsolidation pressure.

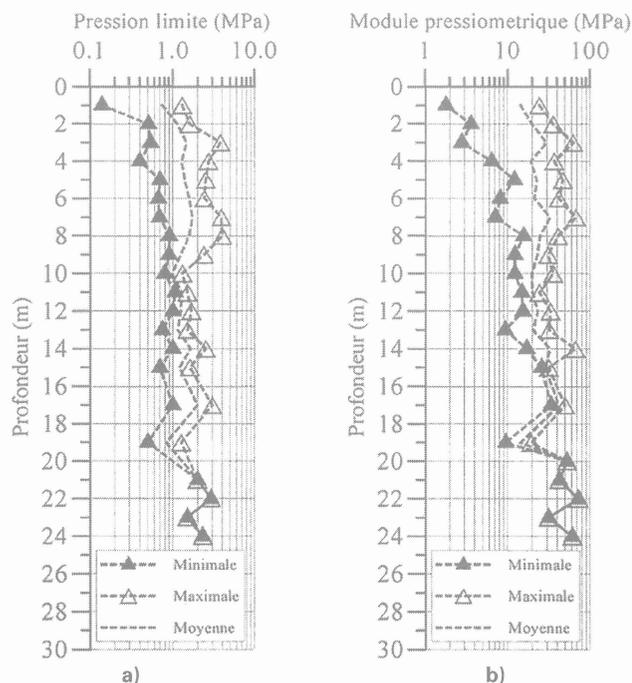


FIG. 15

Caractéristiques pressiométriques.

a) pression limite; b) module pressiométrique.

Pressuremeter parameters.

a) limit pressure; b) pressuremeter modulus.

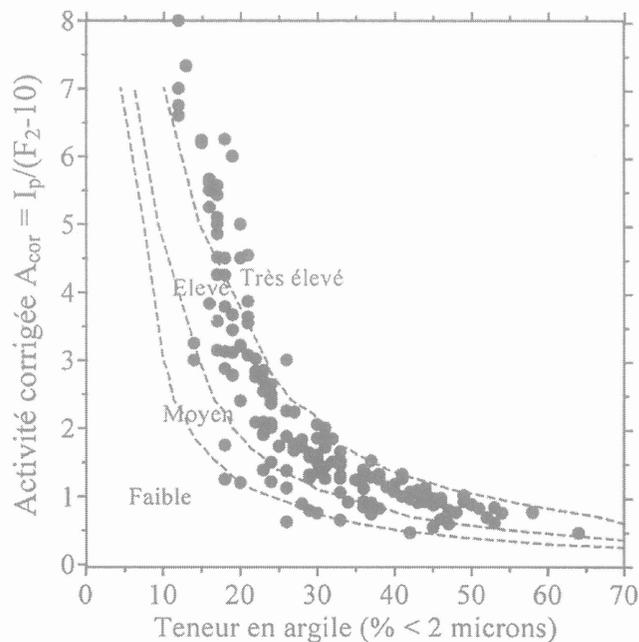


FIG. 16

Classification des potentiels de gonflement des argiles d'El-Affroun de Seed *et al.* (1962).

Swelling potentials of El-Affroun soils after Seed *et al.* (1962) classification.

TABLEAU IV

Comparaison des prévisions de potentiels de gonflement par quelques méthodes.
Comparison of predictions of swelling potential with different methods.

Site	w_l	I_p	C_s	Potentiel de gonflement			
				Dakshanamurphy & Raman (1973)	Chen (1988)	William & Donaldson (1980)	Seed <i>et al.</i> (1962)
S-01	47-74	24-41	0,04-0,083	Moyen	Moyen à élevé	Moyen à très élevé	Élevé
S-02	51-72	24-38	0,056-0,103	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Moyen à très élevé	Élevé
S-03	58-65	31-37	0,049-0,069	Moyen	Élevé	Élevé à très élevé	Élevé
S-04	51-67	29-38	0,041-0,056	Moyen	Élevé	Élevé à très élevé	Élevé
S-05	29-73	10-43	0,02-0,09	Faible à élevé	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Élevé à très élevé
S-06	31-69	13-37	0,036-0,073	Faible à moyen	Moyen à élevé	Moyen à très élevé	Moyen à élevé
S-07	47-67	22-43	0,024-0,065	Faible à moyen	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Élevé à très élevé
S-08	26-34	10-19	0,028-0,051	Faible	Faible à moyen	Moyen	Faible à moyen
S-09	41-61	25-39	0,042-0,074	Faible à moyen	Moyen à élevé	Élevé à très élevé	Élevé à très élevé
S-10	45-63	24-41	-	Faible à moyen	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Élevé à très élevé
S-11	34-56	12-26	0,038-0,09	Faible à moyen	Moyen	Faible à élevé	Moyen à élevé
S-12	51-61	24-36	0,029-0,052	Moyen	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Élevé
S-13	47-53	22-33	0,039-0,047	Faible à moyen	Moyen à élevé	Moyen à élevé	Élevé
S-14	42-50	16-22	0,032	Faible	Moyen	Moyen	Moyen

5.2

Prospection géophysique

Une campagne de prospection géophysique a été réalisée en 1999 et consiste en l'exécution de 10 profils de sismique réfraction de 65 m de longueur. Chaque profil comporte 5 points de tir. L'appareillage utilisé est composé d'un sismographe « BISON modèle 8012 A », d'une tresse sismique de 65 m de longueur, de 12 géophones verticaux à fréquence propre de 8 Hz disposés tous les 5 mètres et connectés à la tresse sismique et, un générateur de chocs constitué par une chute d'une masse de 25 kg. La profondeur explorée est de 20 m. Cette campagne a permis, en général, d'identifier trois types de terrain :

– les terrains de surface appartenant à la Formation I, d'épaisseur d'environ 2 à 6 m, constitués essentiellement de remblais ou de zones altérées de vitesses sismiques très lentes de l'ordre de 400 à 800 m/s pour l'onde de compression ;

– le second terrain appartenant à la formation II, composé essentiellement de marnes schisteuses altérées possédant des vitesses de compression variables entre 1 000 et 1 400 m/s. Le toit de ces terrains, d'épaisseur variable entre 4,50 et 9 m, est localisé entre 2 et 6 m de profondeur ;

– le substratum schisteux ou marneux appartenant à la formation III, localisé à partir de 10 m de profondeur dans tous les profils sismiques réalisés. Les vitesses de compression oscillent entre 1 600 et 2 100 m/s.

L'étude géotechnique a permis de distinguer quatre zones : une première zone constituée d'un sol argileux très plastique $w_l > 50\%$, moyennement à

assez fortement compressible ($0,1 < C_c < 0,33$), gonflant ($C_s > 0,04$). La force portante est variable. Dans cette zone, les fondations superficielles sont envisageables moyennant précautions et dispositions constructives spécifiques relatives aux sols gonflants (Mouroux *et al.*, 1988 ; Philipponnat, 1978) ; une deuxième zone où le sol est argileux de plasticité variable, moyennement compressible ($0,1 < C_c < 0,20$), légèrement gonflant (C_s est de l'ordre de 0,04). La force portante est variable et des fondations superficielles sont envisageables ; une troisième zone où le sol est argileux marneux plastique, moyennement compressible ($0,1 < C_c < 0,20$), non gonflant ($C_s < 0,04$). La force portante est variable et des fondations superficielles sont envisageables et une quatrième zone constituée de schiste peu plastique de très bonnes caractéristiques mécaniques (pression limite $p_l > 1,5$ MPa, module pressiométrique $E_p > 22,0$ MPa).

Les analyses chimiques montrent que les échantillons analysés présentent une agressivité nulle vis-à-vis des bétons (le pourcentage des sulfates $SO_4^- < 0,17$) et un pourcentage de carbonates élevé dans les sols.

6

Causes des désordres

• Fissures horizontales

Les fissures horizontales observées sont dues à l'affaissement des planchers RDC. Cet affaissement a été causé par l'infiltration des eaux pluviales, des fuites des eaux potables et usées sous le dallage extérieur posé sur remblai généralement mal compacté sur un sol argileux.

Pour le centre culturel, les eaux pluviales sur le toit de la construction sont collectées et évacuées par des descentes d'eau qui déversent directement sur le trottoir périphérique le long de la façade principale dont la pente ne permet pas l'évacuation des eaux le long du bâtiment ; bien au contraire elle les achemine sous le dallage du bâtiment (Fig. 17).

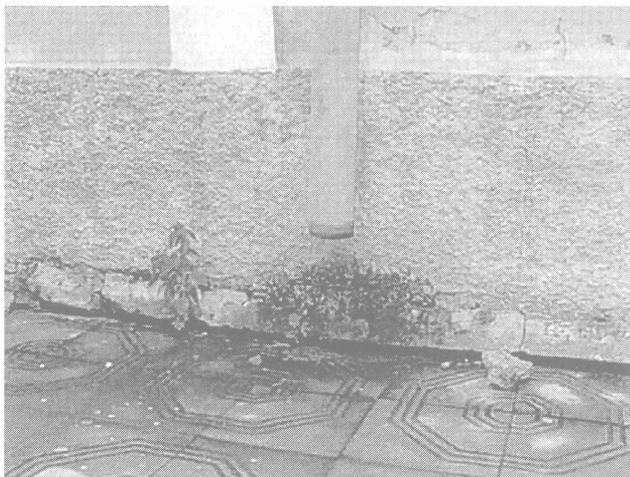


FIG. 17 Descente d'eau évacuant l'eau au-dessous du plancher.
Roof downspout draining water underneath slab.

Pour le tribunal, la vérification du réseau extérieur et des regards a montré des déformations au niveau du dallage périphérique à proximité des regards (tassement ou gonflement), un affaissement du sol d'assise des conduites et la présence des terres dans les regards en béton. Les racines d'une rangée de huit abricotiers de plus de six mètres de hauteur, à moins de 1,20 m du bâtiment, ont probablement affecté le réseau d'assainissement induisant des venues d'eau dans le sol argileux et modifiant son comportement et provoquant le tassement de la dalle flottante du RDC construite sur un remblai de plus d'1 m d'épaisseur, mal compacté.

Les fissures horizontales les plus importantes ont été observées dans la cuisine du CEM Mehali. Ces fissures sont dues principalement au tassement du dallage qui a provoqué la rupture de canalisation accentuant ainsi les désordres.

• Fissures diagonales

Les fissures très larges observées dans la chaufferie et les sanitaires du CEM Mehali sont dues à un mouvement important du sol entraînant le fléchissement des longrines, donc l'affaissement appréciable du plancher. Ce sol a subi un changement dans sa teneur en eau causé probablement par les fuites d'eau des canalisations des sanitaires, des infiltrations des eaux pluviales qui se déversent près du bâtiment. La présence d'arbres adultes de 8 à 20 m de hauteur situés à proximité du bâtiment (entre 4 et 6 m) a probablement accentué les variations de la teneur en eau du sol, donc les désordres, principalement durant les périodes sèches.

Les fissures inclinées aux angles des ouvertures et verticales en bas des fenêtres et à la jonction maçonnerie-poteaux sont dues à la dilatation thermique et au retrait des grands panneaux en maçonnerie, aux variations dimensionnelles d'origine thermiques des

poteaux et au fléchissement des dalles. La cause principale est l'absence de joints verticaux pour isoler les murs du mouvement de l'ossature (poteaux et poutres).

• Fissures verticales

Les fissures dans la maçonnerie peuvent être attribuées à plusieurs causes : mouvement relatif entre deux matériaux de caractéristiques différentes (différence de comportement du béton armé et la maçonnerie), qualité des blocs de maçonnerie et sa mise en œuvre et la non-prise en considération de l'effet de dilatation thermique dans les grands panneaux de maçonnerie.

• Ouverture des joints

La cause la plus probable de l'ouverture excessive des joints de dilatation est le tassement différentiel entre les différents blocs. Pour la salle omnisports, ce tassement différentiel est dû à l'hétérogénéité du sol et à la différence de charge sur les semelles des deux files provenant des deux structures (salle de compétition et annexe). La décente de charge a montré que les charges permanentes sur les deux files mitoyennes sont respectivement de 162 kN et 787 kN. Pour le CEM Lazehar, le basculement de la cage d'escalier par rapport au bloc enseignement (Fig. 8) est dû au mouvement du sol causé par la modification des caractéristiques du sol argileux des fondations due aux venues des eaux pluviales aux fondations (Fig. 18). En été, les arbres, très proche (moins d'1 m) de la cage, accentuent le séchage du sol. Ce phénomène de dessiccation peut causer des tassements (Cutler et Richardson, 1989 ; Day, 1991). La réalisation de fouilles à cet endroit a montré la présence de racines des arbres sous le dallage et les longrines.

• Rupture partielle du mur de soutènement

La rupture partielle du mur de soutènement est due à l'absence totale d'un drainage autour du mur, l'insuffisance de barbacanes et l'absence d'un dallage périphérique adéquat le long du mur pour recueillir et évacuer les eaux pluviales provenant de la colline. L'effet de ces eaux de ruissellement est illustré sur la figure 19. On notera aussi qu'une source d'eau, se trouvant à proximité du mur en partie haute du terrain et formant une source de ruissellement qui s'écoule dans le sens du mur de soutènement jour et nuit, a accentué la poussée des terres sur le mur.

• Cisaillement de poteaux courts

Les fissures de cisaillement des poteaux courts de l'école primaire Benarbia sont dues à l'action sismique (principalement le séisme de 1989) combinée à la mauvaise conception (présence de poteaux courts) et à une mauvaise qualité du béton.

7

Réparation et confortement

Les différentes expertises effectuées ont permis de diagnostiquer les causes des désordres et de proposer des solutions de confortement (Kenai et Bahar, 2001). La cause principale des désordres est due aux venues d'eaux pluviales ou des réseaux d'assainissement défectueux. La réparation de ces dégradations s'est articulée sur :

- la construction de dallage périphérique ;
- l'abattage des arbres ;



FIG. 18 Descente d'eau défectueuse au niveau des fondations d'un poteau et présence d'arbres très proches de la structure.
Roof downspout drop on top of the foundation of a column and presence of trees very close to the structure.



FIG. 19 Effet de l'eau provenant de la colline sur le mur de soutènement.
Effect of water from a hill on the retaining wall.

- la réparation des regards et des descentes d'eaux pluviales défectueux ;
- le colmatage des fissures après stabilisation ;
- la couverture des joints de dilatation ;
- la reconstruction des murs de soutènement avec un système de drainage approprié et un dallage périphérique ;
- le renforcement des longrines, poteaux et poutres.

Le coût estimatif des travaux de réparation de ces bâtiments est environ 330 000 euros. Un guide comportant des recommandations pour éviter des désordres similaires à ceux rencontrés dans les constructions expertisées a été élaboré au profit du maître de l'ouvrage (Bahar et Kenai, 2000). Il traite les cas des constructions sur sols compressibles ou gonflants, des règles de mise œuvre des maçonneries et la maintenance des ouvrages.

8

Conclusion

Les cas pathologiques présentés dans cet article sont très similaires et montrent que la cause principale

des désordres survenus sur les différents édifices publics est due à l'infiltration des eaux dans les sols argileux provenant des pluies et des réseaux d'assainissement défectueux. Ces sols se ramollissent induisant un accroissement de tassements, donc l'apparition de désordres dans les constructions. Ces cas pathologiques montrent l'importance de la surveillance et de la maintenance régulière des ouvrages pour éviter à l'avenir ce type de désordres.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient la Direction du logement et des équipements publics (DLEP) de Blida pour leur permission de publier les résultats présentés dans cet article. Ils remercient également les Dr M. Benredouane, N. Bourahla et A. Guendouz pour leur contribution à la réalisation de ce travail.

Bibliographie

- Ameur B. – « Sols gonflants : étude de cas ». *Comptes rendus du Symposium international de mécanique des sols*, Laboratoire des travaux publics de l'Ouest (LTPO), Tiaret, Algérie, 1989, tome 1.
- Bahar R., Kenai S. – *Guide technique pour les bâtiments, maintenance et erreurs à éviter*. Rapport interne, Direction du logement et des équipements publics (DLEP) de Blida, 2000, 28 p.
- Chen F.H. – *Foundations on expansive soils. Developments on geotechnical Engineering*. Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 1988, vol. 54, 464 p.
- Cutler D.F., Richardson I.B.K. – *Tree roots and buildings*. Longman Scientific & Technical, second edition, London, 1989.
- Day R.W. - « Damage of structures due to tree roots ». *Journal of Performance of Constructed Facilities*, vol. 5, n°3, 1991, p. 200-207.
- Derriche Z., Iguechtal L., Tas M. – « Comportement des ouvrages dans les argiles expansives d'In-Amenas ». *Revue française de géotechnique*, n° 89, 1999, p. 55-65.
- CGS - DTR BC 248, *Règles parasismiques algériennes RPA 99*. Publication du Centre national de recherche appliquée en génie parasismique, ministère de l'Habitat, 1999, 91 p.
- Fischeur E., Biardeau M. – *Carte géologique des régions de Blida et Médéa au 1/50 000*. 1896, Feuilles inédites.
- Glangaud L. – « Étude géologique de la région littorale de la province d'Alger ». *Bulletin des Services de la carte géologique Algérie*, 2^e série, stratigraphie, n° 8, 1932, 608 p.
- Glangaud L., Aymé A. – « Notice détaillée de la carte géologique au 1/50 000 de l'Arba (département d'Alger) et essai d'hydrologie de la Mitidja ». *Bulletin des Services de la carte géologique Algérie*, 2^e série, stratigraphie, n° 11, 1935, 52 p.
- Hachichi A., Fleureau J.-M. – « Caractérisation et stabilisation de quelques sols gonflants d'Algérie ». *Revue française de géotechnique*, n° 86, 1999, p. 37-51.
- Kenai S., Bahar R. – *Étude géotechnique d'El-Affroun et expertise des constructions endommagées*. Rapport interne, Direction du logement et des équipements publics (DLEP) de Blida, 1999, 300 p.
- Kenai S., Bahar R. – « Assessment and repair of cracked buildings affected by water infiltration in clay soil ». *Proceeding of the 7th International Conference on inspection, appraisals, repairs and maintenance of buildings and structures*, vol. 2, Nottingham, UK, 2001, p.99-106.
- Mourroux P., Margron P., Pinte J.-C. – *La construction économique sur sols gonflants*. Manuels et Méthodes, n° 14, BRGM, 1988, 125 p.
- Philipponnat G. - « Désordres dus à la présence de sols gonflants dans la région parisienne ». *Annales de l'ITBTP*, n° 364, 1978, p. 1-15.
- Seed M.B., Woodward R.J., Lundgren R. – « Prediction of swelling potential for compacted clays ». *Journal of Soil Mechanics and Foundation Engineering Division*. ASCE, 88, 1962, p. 107-131.
- Williams A.B., Donaldson G.W. – « Developments related to building on expansive soils in South Africa ». *Proceeding of 4th International Conference on Expansive Soils*, Denver, vol. 2, 1980, p.834-844.