

CONSÉQUENCES DU GLISSEMENT DE TERRAIN D'AIN EL HAMMAM SUR LE BÂTI

CONSEQUENCES OF AIN EL HAMMAM LANDSLIDE ON THE BUILD

B. MELBOUCI¹ & L. DJERBAL¹

¹Laboratoire Géomatériaux, Environnement et Aménagement, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou

RÉSUMÉ

Le glissement de terrain d'Ain El Hammam est caractérisé par une structure très complexe. Les mécanismes induits par cette instabilité sont très difficiles à étudier du fait de la superposition et de l'emboîtement des mouvements. Cette forte instabilité est caractérisée par des phases de calme et d'accélération du mouvement. Ce travail permet non seulement de présenter ce glissement mais aussi d'estimer les dommages aux bâtis induits par ce mouvement de terrain. En effet, ces conséquences sur le bâti entraînent une contrainte forte pour l'aménagement et le développement urbain.

Mots clés : Glissement, endommagement, bâti, caractérisation, pathologie.

ABSTRACT

The Ain El Hammam landslide is characterized by a very complex structure. Mechanisms induced by this instability are very difficult to study because of the superposition of the movements and interlocking. This high instability is characterized by phases of calm and acceleration movement. This work allows not only this landslide but also the estimation of the damage to the build-induced ground movement. Indeed, the consequences on the build lead a strong constraint for the urban development.

Keywords: Landslide, damage, build, characterization, pathology.

1. INTRODUCTION

La ville d'Ain El Hammam, localisée à environ 50 km au Sud-Est de Tizi-Ouzou, est caractérisée par un climat de type méditerranéen continental. Elle est affectée, depuis décembre 1969, par un mouvement de terrain actif et étendu. L'activité et l'étendue de ce glissement de terrain ont connu une nette accélération durant ces dernières années. Cette dernière est due aux hivers rudes que connaît la région depuis quelques années. Il s'étale sur une superficie supérieure à 23 ha, Ref. [1]. Il affecte une formation métamorphique composée principalement de schistes satinés et altérés.

Dans ce travail, nous nous intéresserons aux désordres affectant les structures des ouvrages situés sur le versant instable du site d'Ain El Hammam. En effet, l'endommagement dû aux glissements de terrain est souvent difficile à caractériser compte tenu de l'extrême diversité des mécanismes propres aux phénomènes générateurs. Cette complexité d'après *Leone et al* (1995), Ref. [2] entraîne un caractère très varié et dispersé dans l'espace et dans le temps des dommages associés.

Les mouvements de terrain conduisent à des taux d'endommagements importants. La réaction des constructions exposées résulte de l'intensité des efforts générés par les déplacements imposés du sol, des interactions sol-structure et de la capacité de résistance de celle-ci vis-à-vis des efforts qui lui sont transmises, Ref. [3].

2. CARACTÉRISATION DU GLISSEMENT D'AIN EL HAMMAM

Le glissement de terrain d'Ain El Hammam affecte une pente collinaire abrupte et fortement urbanisée. Ce mouvement est favorisé par la nature du terrain et les conditions hydro-climatiques de la région. L'analyse des résultats des sondages carottés a montré l'existence de sols de faible résistance, remaniés et altérés en profondeur ainsi qu'une couche superficielle (d'une épaisseur de 1.70 m à 9.70 m) constituée de remblais et d'éboulis de faibles caractéristiques. Le régime climatique de la région d'Ain El Hammam est caractérisé par de fortes précipitations qui s'étalent sur une période de cinq à six mois. L'hydrologie de cette ville se caractérise par la présence de cours d'eau d'écoulement de type torrentiel et semi-permanent traversant tout le versant instable et l'existence de plusieurs sources d'eau dans celui-ci.

Les études réalisées à ce jour ont permis de déceler quelques causes pouvant être à l'origine de ce mouvement de terrain qui sont liées principalement à :

- La lithologie du versant affecté par l'instabilité ;
- L'action de la pente raide ;
- L'action de l'eau (eau de pluie et de ruissellement, la couverture neigeuse et les eaux accidentelles) ;
- L'action de la sismicité de la région ;
- L'effet des surcharges importantes de la crête du glissement ;
- L'effet des terrassements et des jets anarchiques de remblais ;
- L'effet du déboisement.

En effet, toutes les phases de réactivation du mouvement sont liées à des événements climatiques exceptionnels ou à des conditions hydriques particulières (telle que la rupture d'un réseau d'assainissement). L'eau agit de différente manière sur la stabilité de ce versant :

- Action de l'eau sur l'effort moteur (augmentation du poids des formations et des pressions interstitielles) ;
- Action de l'eau sur la géométrie du versant (effet du ruissellement) ;
- Action de l'eau sur la formation schisteuse.

Les premiers signes morphologiques d'instabilité ont été relevés en décembre 1969. Au niveau du Boulevard Amirouche et de la rue Bounouar, les premiers indices d'instabilité remontent à 1990 suite à la construction des immeubles APC/CNEP. Par ailleurs, des indices d'instabilité du versant sont recensés un peu plus tard : une fissure de traction a été observée pour la première fois au niveau de la ruelle qui mène vers Ait Sidi Saïd après la fonte de la neige de l'hiver 2004-2005. D'autres indices d'instabilité plus marqués ont été observés en mars 2009 ; ces derniers étaient d'ordres décimétriques à métriques. Les dégradations continuent à ce jour. Le récapitulatif de l'évolution de ce glissement est synthétisé au tableau 1 et à la figure 1, Ref. [1].

Table 1: Evolution of the Ain El Hammam landslide between 1969 and 2014.

Tableau 1 : Récapitulatif de l'évolution du glissement d'Ain El Hammam entre 1969 et 2014.

Paramètres du mouvement	En 1969	En 2014
- Longueur maximale de la zone instable	Environ 100 m	Supérieure à 700 m
- Largeur maximale de la zone instable	70 à 90 m	Environ 590 m
- Dénivellation de la zone instable	Environ 20 m	Environ 295 m
- Profondeur maximale de la ligne de rupture au niveau la ville.	Inférieure à 10 m	Supérieure à 45 m
- Nombre de surfaces de glissement	Une seule surface	Plusieurs surfaces emboîtées et superposées

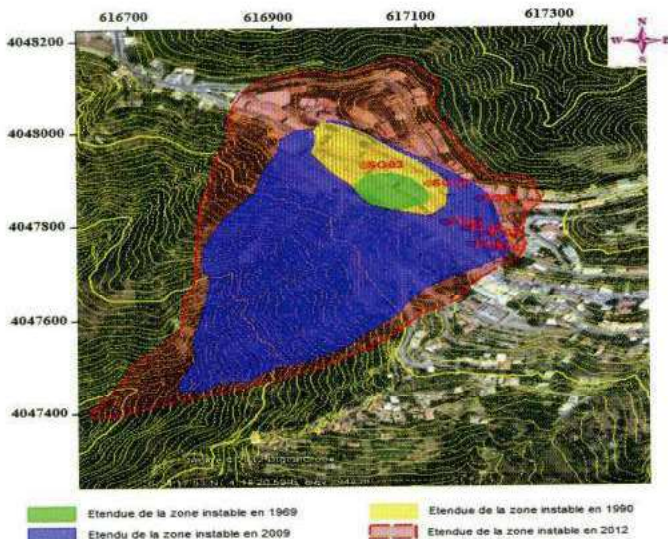


Figure 1. Carte de l'évolution du mouvement entre 1969 et 2014.

Figure 1. Map of the Ain El Hammam landslide evolution between 1969 and 2014.

3. CARACTÉRISATION DE L'ENDOMMAGEMENT DU BÂTI

La détermination des degrés d'endommagement nécessite la combinaison de trois types de facteurs : la typologie des constructions exposées, la nature des mouvements et l'intensité de ces mouvements. Leur gravité peut être graduée en 4 niveaux définis en fonction de l'intensité des phénomènes mais aussi en fonction de la vitesse de propagation et, pour les mouvements rapides, de l'importance des masses mises en jeu. Les mouvements lents du type affaissement progressif induisent aussi des désordres au niveau des structures.

Dans le bâti, les fissures se traduisent par une fente qui affecte des éléments de construction tels que les murs, plafonds et planchers, les poutres, les poteaux, les voiles. Cette fissuration peut se manifester sous diverses formes (tableau 2), Ref. [4].

Table 2 : Characterization of the frames cracking: Ref. [4].

Tableau 2 : Caractérisation de la fissuration du bâti : Ref. [4].

Orientation	-longitudinale; transversale; verticale; diagonale; aléatoire.
Occurrence	-fissures multiples; fissure unique.
Profondeur	de surface; profonde; traverse la membrure au complet.
Ouverture	-très fine < 0.5 mm; -fine : 0.5 mm à 1 mm; -moyenne : 1 à 2 mm; -large > 2 mm.
État	Active : s'ouvre et se referme selon les conditions; Morte : pas d'évolution ou se stabilise avec le temps ; progressive : s'élargit avec le temps.

Les niveaux d'endommagements potentiels et de dangerosité sont mal connus dans le domaine des mouvements de terrains, Ref. [5]. Une tentative du CSTB de Marne la Vallée a été présentée où cinq niveaux

d'endommagement ont été établis, par ordre croissant de sinistralité (N1 à N5). Du niveau N1 à N3, les désordres prévisibles ne provoquent aucun effondrement. A partir du niveau N4, des effondrements sont possibles et menacent la sécurité des occupants. Les niveaux d'endommagement peuvent être reliés à la variation de longueur du bâtiment (en %, ou cm/m) par le tableau 3.

Table 3: Damage levels depending on the frame's length change.

Tableau 3 : Niveaux d'endommagement en fonction du changement de longueur du bâtiment.

Niveau d'endommagement	Variation de longueur du bâtiment	Importance du dommage
N1 : Fissures d'aspect	jusqu'à 0,1 % 0,1 à 0,2 %	très léger ou négligeable léger
N2 : Fissures légères dans les murs		
N3 : Portes coincées et canalisations rompues	0,2 à 0,3 %	appréciable
N4 : Poutres déchaussées et murs bombés, sécurité des occupants menacée	0,3 à 0,4 %	sévère
N5 : Planchers et murs désolidarisés	au-delà de 0,4 %	très sévère

Le transfert des déformations du sol vers les bâtis en surface résulte du frottement en dessous des fondations et de la pression du sol sur les côtés des fondations ou sur les murs enterrés. Cette transmission des déformations du sol vers le bâti dépend de la configuration et du type de fondation ainsi que de son orientation par rapport à l'affaissement. Elle dépend également des propriétés du sol sous la fondation, Ref. [6].

Les dégradations attendues, provoquées par les déformations de traction du terrain sont verticales dans la superstructure et concentrées autour des ouvertures qui sont des éléments de faiblesse de l'ouvrage, Ref. [7]. Les dégradations attendues, provoquées par les déformations de compression sont horizontales dans les soubassements, Ref. [8]. Si la structure n'est pas parallèle au sens de la déformation, des phénomènes de torsion peuvent avoir lieu, Ref. [9].

La raideur de l'ouvrage vis-à-vis de celle de terrain est un paramètre crucial du comportement d'ensemble du bâtiment. Un bâtiment souple aura tendance à suivre les déplacements verticaux du terrain ce qui limite les pertes d'appui au niveau des fondations mais présentera des déformations internes importantes pouvant gêner son utilisation correcte. Un bâtiment très rigide par contre présentera des accumulations de contraintes au niveau de points durs. Cela pourrait endommager les ouvrages si les efforts développés deviennent trop importants.

4. LES PATHOLOGIES OBSERVÉES SUR LES OUVRAGES À AIN EL HAMMAM

Le cadre du bâti d'Ain El Hammam date en majeure partie de la période des années 80 et 90. Il est constitué de constructions en maçonnerie et en béton armé achevées,

avec un gabarit de quelques niveaux généralement.

Le mouvement de terrain de cette ville est très complexe. Il entraîne des types de pathologies variés, expliqués par l'allure irrégulière du substratum schisteux et la complexité de la lithologie du site. Les constructions ont été réalisées sur des pentes importantes et sur la tête du talus.

Dans le versant abrupt, une multitude de fissures de traction et d'escarpements sont recensés. Les escarpements sont continus et parallèles (ils donnent au versant une allure en gradins). L'ampleur du mouvement dans cette zone est facilement observable à l'œil nu (d'ordres décimétriques à métriques par an). Le mouvement est accentué par l'effet des eaux usées issues des réseaux d'assainissement non raccordés qui se déversent directement dans les escarpements longitudinaux du glissement. En effet, cette eau, qui contient plusieurs substances chimiques qui agressent le substratum, réalimente directement la surface de rupture et contribue à l'activité du mouvement de terrain.

4.1- Les indices observés en crête de la colline

Tous les ouvrages de cette zone ont été fortement endommagés. Certains ouvrages ont été complètement démolis par le mouvement de terrain (tel que le marché d'Ain El Hammam) et d'autres affectés par d'importants désordres dans la structure et l'infrastructure. Les désordres observés sur le bâtiment correspondent à des fissures, des épaufrures, des efflorescences, la corrosion, etc. Ces anomalies affectent l'apparence et la durabilité de la construction, mais également, la sécurité des exploitants et des riverains.

Lors de l'affaissement de l'assise du bâtiment, sous les fondations, des fissures apparaissent et s'agrandissent généralement en douceur d'année en année ; ce qui a engendré des fissures orientées de 45° dans le cloisonnement (figure 2a) et désorganisation des planchers et des dallages. Nous avons, en outre, distingué des fissures dans les façades principales et postérieures généralement sous forme d'un réseau (figure 1b). Des fragments se détachent ainsi de la masse de béton. Ce sont des dégâts mécaniques à la surface d'un élément sous forme d'éclat (figure 2b). Des fissures importantes dans quelques poutres des planchers et éclatement des nœuds (poteau-poutre) ont été observées sur certaines constructions (figure 3).

Il est opportun de mettre sous observation l'évolution de ces fissures. La pause de témoins est alors conseillée. Elle permet de suivre l'évolution ou la stabilisation de la fissure.



Figure 2 : (a) Des fissures obliques apparentes au niveau des fenêtres « bâtiment de la cité du marché », rue colonel Amirouche d'Ain el Hammam. (b) fissures en réseau d'une maison individuelle.

Figure 2: (a) Apparent oblique cracks in the windows "of the market city building", Colonel Amirouche Street of the Ain el Hammam (b) Networking cracks of a house.





Figure 3 : Éclatement des nœuds (Poteau-poutre).
Figure 3: Bursting nodes (pole-beam).

4.1.1.-Basculement de blocs

Le basculement des blocs provoqué par l'instabilité de terrain a touché plusieurs blocs avoisinants, comme le montre la figure 4. Des déplacements de constructions au niveau du joint de dilatation, la rotation et le balancement de certaines constructions et des décollements du béton et des gonflements du dallage ont été recensés.



Figure 4: Basculement des blocs : (a) au niveau de la rue colonel Amirouche ; (b) de l'immeuble APC/CNEP.

Figure 4: Switching blocks: (a) at the Colonel Amirouche street; (b) at the APC / CNEP building.

4.1.2.-Ouverture des joints

Il s'agit de constructions anciennes en (R+ 3) où l'on a constaté des déplacements de constructions au niveau du joint de dilatation (ouverture du joint de dilatation) (figure 5a). Au niveau de l'école, celle-ci a subi une instabilité lors de la construction des immeubles APC/CNEP (en 1990) situés en aval de celle-ci. La réactivation du glissement de terrain d'Ain El Hammam en 2009 a causé à cette école d'importants désordres dont l'ouverture du joint (Figure 5b), dus au glissement du sol de fondation, qui sont apparents sur la structure et la maçonnerie. Vu l'aléa qu'elle constituait, l'école a été démolie en 2010.



Figure 5: Ouverture des joints de dilatation : a)-construction à 3 niveaux ; b) au niveau de l'école d'Ain El Hammam.

Figure 5: Opening expansion joints: a) –at the building of 3 levels; b) at the school of the Ain El Hammam.

4.1.3.-Destruction des bâtiments APC/CNEP

Les bâtiments APC/CNEP ont subi des désordres importants qui ont conduit à leur démolition par les instances réglementaires en juin 2009. Les immeubles 14 et 15 ont subi un important déplacement vers le Sud, une

rotation vers l'Ouest et un affaissement (Figure 6a). La rotation de l'immeuble est due à l'irrégularité du substratum qui engendre des poussées latérales sur l'immeuble (le substratum est moins profond en se rapprochant de la limite Est du mouvement). L'immeuble N° 19 a également subi un affaissement important (Figure 6b). Vu l'ampleur importante des pathologies et le danger que ces ouvrages constituaient, ces derniers ont été démolis en juin 2009.



Figure 6 : destruction des bâtiments APC/CNEP : a)- bâtiments N°14 et 15 ; b)-bâtiment N°19.

Figure 6: Destruction of APC / CNEP buildings a) -Buildings No.14 and 15; b) -building No. 19

4.1.4.-Dommage des immeubles Timssiline

Il s'agit de deux constructions anciennes appartenant à un particulier. Les maisons ont subi d'importants désordres qui ne peuvent pas être confortés (vu la dégradation totale de la structure) ; elles ont alors été démolies (Figure 7). Les pathologies reconnues sur ces immeubles sont dues principalement au tassement différentiel engendré par le glissement de terrain (ils sont traversés par une zone d'arrachement de terrain).



Figure 7. Les pathologies observées sur les immeubles Timssiline.

Figure 7. The pathologies observed in Timssiline buildings.

4.1.5.-Dommage de l'immeuble Taleb Ghozali (menuiserie)

Il s'agit d'un immeuble en RDC + 2 sous-sols construit en 1983. Il a subi plusieurs désordres dans la maçonnerie et la structure (figure 8a). Les désordres sont dus aux tassements différentiels des fondations (une ligne d'arrachement traverse l'immeuble). De plus, une niche d'arrachement, d'une épaisseur d'environ 1.50 m, est observée à la limite aval de la maison (Figure 8b). L'affaissement du terrain induit le glissement des fondations vers le Sud causée par la suppression de butée.



Figure 8 : a)-Vue globale de l'immeuble Taleb Gozali b)-niche d'arrachement à la limite aval de la construction.

Figure 8: a) Overview of the Taleb Gozali building b) peel -niche the downstream boundary of the construction.

4.1.6.-Dommage de l'immeuble Taleb Ahcène

L'immeuble subit un tassement différentiel dû à la perturbation du sous-sol par le glissement de terrain. Des fissures sont observées sur les poteaux, sur les poutres, sur la maçonnerie et sur les planchers de cette construction. Une inclinaison des planchers vers le Sud est également notée. Cet immeuble est en effet encasté au niveau des planchers à une maison en pierres (figure 9). La partie encastée dans la construction en pierres (à partir du premier étage) reste fixe mais les fondations et le rez-de-chaussée sont tirés dans le sens du mouvement de terrain (l'immeuble est traversé par une niche d'arrachement). Ceci explique le cisaillement des bases des poteaux du premier niveau (Figure 10). La partie endommagée (les étages encastés dans la maison en pierres) a été démolie en 2010.



Figure 9 : Image de l'immeuble Taleb Ahcène.

Figure 9: Taleb Ahcène building Image.



Figure 10 : Poteaux cisailés de l'immeuble Taleb Ahcène.

Figure 10: poles sheared of the Taleb Ahcène building.

4.1.7.-Dommages des murs de soutènement

Par ailleurs, un escarpement de terrain a été observé le long de la route. Celle-ci a subi d'importants désordres et le mur de soutènement qui la maintenait a été partiellement démoli

par l'instabilité (Figure 11a). Il en est de même pour le mur en gabion (figure 11b) qui a été complètement cisailé par un glissement superficiel.



Figure 11: Désordre des murs de soutènement : a)-rupture du mur de soutènement dû à l'escarpement ; b)-cisaillement du mur en gabion.

Figure 11: Retaining walls disorder a) - breaking of the retaining wall due to the escarpment; b) - gabion wall shear.

4.1.8.-Désordre des chaussées d'Ain El Hammam

Sur le terrain, nous avons remarqué des déformations et des affaissements autour des constructions ainsi que la dégradation des trottoirs et des rues. La rue Bounouar a subi plusieurs lézardements et affaissements (figure 12a) qui ont nécessité dans certains endroits le recours au confortement (la construction de deux murs de soutènement pour maintenir la route en service). Plusieurs autres dégradations ont touché le réseau routier d'Ain El Hammam, nous pouvons citer :

- Un affaissement important et remarquable de la chaussée longeant les immeubles appartenant à l'agence foncière / APC.
- Un affaissement et une dégradation totale de la rue de l'ex-marché d'Ain El Hammam (figure 12b).
- Différentes lignes d'arrachement (affaissements) ou de bombement ont été affectés sur le boulevard « colonel Amirouche ».



Figure 12 : Vue globale des désordres de la rue Bounouar et de la zone du marché.

Figure 12: Overview of Bounouar Street and the market area disorders.

4.2.-Effet de la longueur du bâti

L'endommagement peut être relié à la variation de longueur du bâtiment. Selon la rigidité du terrain et de l'ouvrage et selon l'importance de la courbure, la structure peut se retrouver décollée à ses extrémités ou en son centre. En effet, Wagner et Shumann (1991), Ref. [10] ont présenté un abaque de prévision de dommage en fonction de la longueur de l'ouvrage et de la déformation horizontale du terrain.

Par conséquent, ces mouvements du sol ne sont pas uniformes sous les bâtiments de grandes longueurs. Des efforts différentiels importants apparaissent donc entre le centre des constructions et leur périphérie, d'où tassement différentiel et apparition de fissures ou de lézardes (figure 13).



Figure 13: Dommage des cloisons et des poteaux des structures longues d'Ain El Hammam.

Figure 13: Walls and poles disorders of the Ain El Hammam long structures.

4.3.-Effet de la pente

Le pendage des couches et les plans de schistosité de la roche sont orientés dans le sens de la pente du versant. En effet, les plans de schistosité d'orientation moyenne sont d'ENE-WSW avec un pendage de 40° à 60° vers le sud dans le sens de la pente. Ainsi, la relation géométrique entre la pente du versant et l'inclinaison des formations géologiques constitue un facteur de prédisposition au glissement. Cette inclinaison engendre deux phénomènes : l'augmentation des contraintes de sol et la mise en traction des façades. Ainsi, la structure s'incline, la descente de charge s'en trouve modifiée. Les éléments porteurs de côté de l'inclinaison se trouvent comprimés par rapport à ceux de l'autre côté. En outre, Une courbure convexe a un grand effet sur la fissuration où celles-ci sont orientées du centre de l'ouvrage vers les périphéries (figure 14).



Figure 14: Conséquence de l'effet de la pente sur deux structures à Ain El Hammam.

Figure 14: Consequently the effect of the slope on the Ain El Hammam structures.

4.4.-Effet cuvette

Dans ce cas, le bâti est à la fois soumis à la compression et à la traction. Les déformations de traction et de compression peuvent causer des dommages au bâti, mais les déformations de traction sont plus difficiles à accommoder puisque presque tous les éléments du bâti sont moins résistants en extension qu'en compression. La transmission des déformations dépend également des propriétés du sol sous la fondation. L'effet cuvette engendre une traction sur les dallages et une compression en haut des murs. Cette alternance de tassements et de soulèvements provoque des dégâts dans les murs. Dans les cas graves, les fissures peuvent atteindre une largeur de 30 à 40 mm : on parle alors de lézardes. Toutes les fissures engendrées se recoupent en haut du mur (figure 15a). Dans le cas de la figure 15b, le désordre se traduit par l'apparition d'un vide entre le revêtement de sol et le début du mur. Des petites fissures dans les cloisons et les revêtements de sol l'accompagnent.

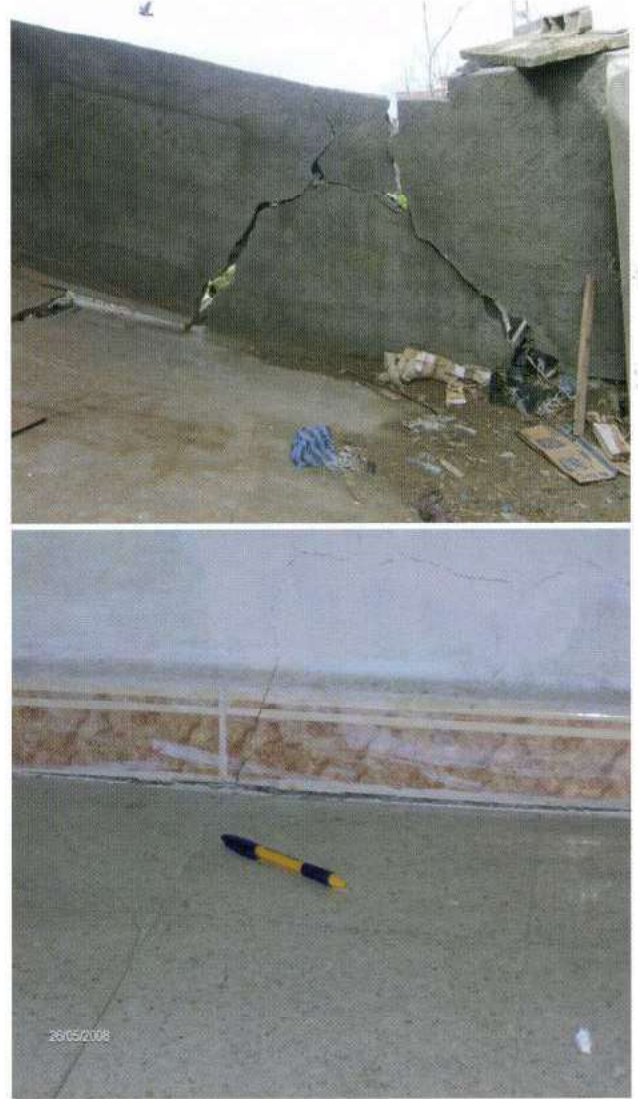


Figure 15 : a)-Conséquence de l'effet de cuvette sur les constructions ; b)- Tassement du dallage.

Figure 15: a) -Consequence of the cup effect on buildings; b) - compaction paving.

4.5.-Effet de l'orientation des constructions

Le sens du bâtiment peut être parallèle ou perpendiculaire aux courbes de niveau. Dans le cas d'une construction perpendiculaire aux courbes de niveau, l'influence du ruissellement et d'accumulation de neige seront moindre, par rapport aux bâtiments parallèles (figure 16).

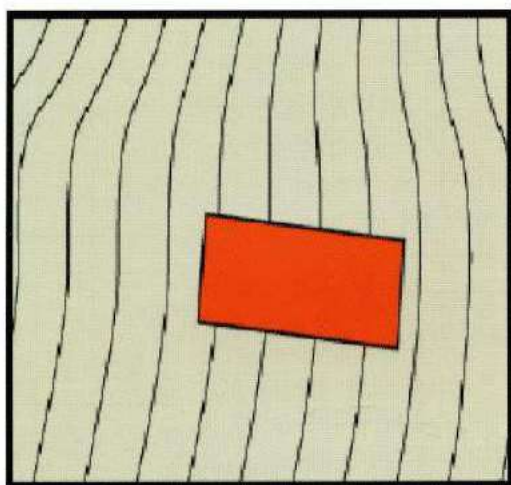
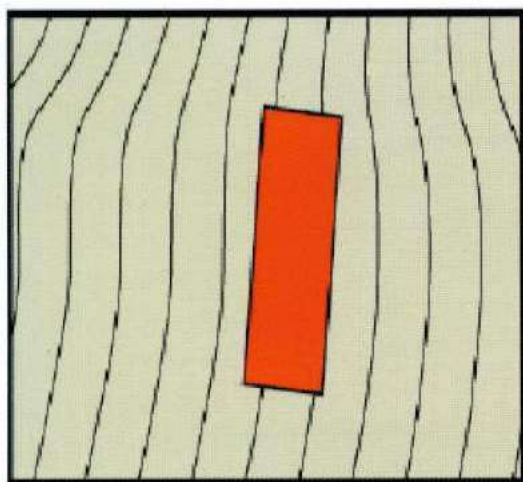


Figure 16: Disposition des bâtiments par rapport au sens de la pente.

Figure 16: Arrangement of buildings by contribution 'within the meaning of the slope.

Dans le cas d'Ain El Hammam, toutes les constructions sont parallèles aux courbes de niveau, ce qui engendre des difficultés des ruissellements des eaux et surtout que les réseaux de drainage réalisés en 1969 afin de stabiliser le versant et d'éviter la mise en pression des terrains ont été totalement supprimés et colmatés par les travaux d'urbanisation et les jets anarchiques de remblais.

5. CONCLUSION

Les conséquences des mouvements de terrain sur les bâtis entraînent une contrainte forte pour l'aménagement et le développement urbain. Le jugement du comportement des éléments exposés aux glissements de terrain et très difficile en général. En effet, les résultats obtenus ont abouti à une meilleure compréhension du problème d'interaction sol-structure et ont montré l'importance de cet effet qui doit

être pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité du bâti. Ainsi, le diagnostic efficace d'une dégradation du béton passe par une bonne interprétation de la pathologie de la détérioration ainsi que par la prise en considération des conditions auxquelles est soumise la structure.

Ces objectifs doivent contribuer à l'élaboration de plans de prévention des risques et participer à la recommandation de règles de constructions pour les structures à construire en zones potentiellement soumises aux mouvements de terrain.

Références bibliographiques

- [1] Djerbal L. et Melbouci B., Le glissement de terrain d'Ain El-Hammam (Algérie) : causes et évolution. Bulletin of Engineering Geology and environment. Vol. 71 – N°3, pp. 587-597, (2012).
- [2] Leone F., Aste JP., Velasquez E., Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes du mouvements de terrain. Bulletin Association des géographes français, (1996).
- [3] Hor, B., «Conséquences des mouvements de terrains sur les structures en surface.» Rapport d'étude, N° DRS-10-95557-R01, (2010), INERIS, France.
- [4] Mailvaganam, N. P., Repair and protection of concrete structures. C. R. C. Press, Ottawa, Opt., (1991), Canada.
- [5] Toulemont, M., Qualification de l'aléa « mouvement de terrain » dans le cadre des études préalables à la cartographie réglementaire des risques naturels prévisibles. Géologie Alpine, Mém. H. S. N°15, pp231-249, (1990).
- [6] Deck, O., «Etude des conséquences des affaissements miniers sur le bâti: proposition pour une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité du bâti.» thèse, Institut National Polytechnique de Lorraine, (2002), France.
- [7] Soots, P., «Le phénomène des affaissements miniers et la prévention de ses conséquences dommageables.» Cahier du CSBT (1996), (96, Cahier 836).
- [8] Marino G.G., Gamble W., "Mine subsidence damage from room and pillar mining in Illinois. « International Journal of Mining and Geological Engineering, No. 4, pp. 129- 150, (1986).
- [9] Lesage G., «Etude des fondations. « Annales des mines de Belgique, Tome LIII, 4^e livraison, pp.514-527, (1954).
- [10] Wagner, H. et Schümann, E. H. R., "Surface effects of total coal-seam extraction by underground mining methods." J.S. Afr. Inst. Min. Metall, 91(7), 221-231, (1991).