

Les remontées capillaires et la dégradation du rempart de Sidi Baba (Médina de Meknès)

[The capillary rise and degradation of Sidi Baba rampart (Medina of Meknes)]

Rabha Ajakane

Département de Géologie, Université Moulay Ismaïl, Meknès, Maroc

Copyright © 2016 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The city of Meknes is rich of various cultural heritages built between the XVIth and the XIXth centuries and notably it's most important ramparts (more than 40 km length). It was protected in 1995 by UNESCO as World Heritage. These earthen walls are between 1.20 to 3 m wide and 7 to 12 m high. The ramparts have been constructed in rammed earth according to a traditional Moroccan method. A detailed observation of the ramparts of the city revealed that they suffer from many different damages and they are in very bad state, some of them are disappeared. We noted that they show some alterations like fissures and more important detachment. The study of the origins of the alterations shows that they mainly depend on the environment, like the water impact, the building techniques and the nature of the bedrock. In order to point out the importance of capillary rising of water in the degradation of walls built of rammed earth, we took the example of Sidi Baba rampart. The analysis of the degradation of Sidi Baba rampart shows that he mostly suffered from a disorder related to a wet pathology. Thus, the solutions circulations, highlighted by the test water levels and changes in petrophysical parameters and the mobility of chemical elements along this profile are responsible for the phenomena of dissolution and crystallization. Alteration and loss of construction material, on the first meters from the ground, are attributed to capillary rising.

KEYWORDS: Medina, Meknes, cultural heritages, rammed-earth, characterization, degradation, capillarity.

RÉSUMÉ: Riche de ses ressources naturelles et par sa situation géographique au centre du pays, Meknès l'est autant par son histoire. Grâce à son précieux héritage architectural, cette cité impériale dont les origines remontent au IX^{ème} siècle a été classée par l'UNESCO en 1996 comme patrimoine mondial de l'humanité. Parmi ces édifices se trouvent des remparts imposants qui clôturent la Médina sur plus de 40 Km de long. Ces édifices construits en pisé mesurent entre 1.20 à 3 m de large sur 7 à 12 m de hauteur. La plupart de ces remparts montrent des désordres caractéristique d'une pathologie humide dont les actions se traduisent par une évolution qui modifie la surface visible du monument (changement de patine, efflorescences, desquamations, désagrégrations sableuses, fracturations, effondrement) dont les répercussions peuvent les menacer de ruine. L'étude menée sur le rempart de Sidi Baba a permis de montrer que les circulations de solutions, mises en évidence par le test des teneurs en eaux, par les fluctuations des paramètres pétrophysiques et par la mobilité des éléments chimiques sont responsables des phénomènes de dissolutions et de cristallisations. L'altération et la perte du matériel de construction, sur les premiers mètres depuis le sol, sont liées à des phénomènes de remontées des eaux par capillarité. L'action des remontées capillaires conduit à des transformations : (1) dans l'aspect générale des remparts exprimé par l'apparition de plusieurs formes de dégradations, les menaçant de disparition, (2) dans la structure concrétisée par le développement de macro-fissures et de macro-pores, et (3) dans la composition matérialisée par l'apparition de nouvelle phases minérales (dissolution / recristallisation).

MOTS-CLEFS: Médina, Meknès, patrimoine, pisé, caractérisation, dégradation, capillarité.

1 INTRODUCTION

La Médina de Meknès est l'une des plus grandes villes impériales marocaines qui retrace à travers ces monuments, l'histoire de la ville depuis sa fondation au IX^{ème} siècle [1]. La Médina se subdivise en deux entités architecturales distinctes : la médina proprement dite qui constitue le noyau de la ville et dont les origines remontent au IX^{ème} siècle et la ville impériale ou ville royale édifiée à l'époque de Moulay Ismail au XVII^{ème} siècle [2]. L'ensemble est clôturé par des remparts imposants élevés sur près de 40 km et mesurant entre 1,20 à 3 m de large sur 7 à 12 m de hauteur [3]. Ces remparts qui constituent la fierté de la ville souffrent de problèmes de dégradations alarmantes [4].

Les remparts de la Médina de Meknès présentent des dégradations plus ou moins importantes dont les répercussions peuvent les menacer de ruine. Le degré de délabrement de ces murailles est très largement ressenti. Malgré la diversité des dégradations qui touchent ces édifices, elles donnent lieu à de nombreuses formes de pathologies : fissurations, désordres dans les maçonneries, érosion, effritement et désagrégation sableuse du pisé, fissuration et décollements en plaque d'enduit [5], [6].

Ces pathologies sont souvent associées entre elles et témoignent vraisemblablement de la relation étroite entre leurs causes, elles sont le résultat du cumul et d'enchevêtrement de divers facteurs qui ne se limitent pas au bâti proprement dit, mais également à son environnement naturel tels que les remontées capillaires, les écarts thermiques, la sismicité et la nature des assises [7], [8], [9], [5]. Les remparts ont manifesté surtout des désordres caractéristiques d'une pathologie humide [5]. Le degré d'évolution d'une même pathologie varie entre la base, le milieu et le sommet, mais aussi entre les deux façades de la même muraille suivant leur exposition.

Dans ce papier, nous mettrons en exergue l'importance des phénomènes de remontée des eaux capillaires dans la dégradation des matériaux de construction des remparts de la Médina de Meknès. Nous prenons l'exemple du rempart de Sidi Baba.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

Afin de mettre en évidence les facteurs responsables de la dégradation des remparts de la Médina de Meknès et de déterminer les altérations qui les affectent, plusieurs campagnes de terrains ont eu lieu. Pour cette étude, nous avons pris l'exemple de la muraille de Sidi Baba qui se situe à la périphérie Nord-Ouest de la ville. Cette muraille est orientée Nord-Ouest / Sud-est et épaisse de près de trois mètres. Sa hauteur varie de 7 à 12 mètres en fonction de la topographie (Figure 1). La muraille de type aqueduc est surmontée d'une canalisation ouverte très faiblement inclinée vers le Sud par laquelle une partie de la Médina était approvisionnée en eau. Une route menant au quartier de Sidi Baba longe la face ouest de la muraille alors que la face est est adossée à un cimetière. La partie basale de la muraille, jusqu'à 3 mètres de hauteur, qui constitue l'objectif de ce travail est la plus attaquée par l'altération.

Les échantillons ont été prélevés à différentes hauteurs jusqu'à 3m de haut en découpant délicatement la surface de l'enduit dans toute son épaisseur ainsi que son support terreux. Différentes techniques d'études ont été utilisées :

- examen pétrographique au microscope polarisant complété par des analyses minéralogiques par diffraction des rayons X (DRX). L'appareil utilisé est de type Panalytical MPD XPert Pro de 40KV 55mA à anode de Cu ;
- analyses chimiques par ICP (inductively coupled plasma emission spectrometry) au laboratoire d'analyses chimiques du CEREGE d'Aix Marseille ;
- dosages des carbonates par calcimétrie ;
- mesure de la porosité et de l'humidité par pycnomètre ;
- détermination de la teneur en eau suite à des pesées successives après être mis à l'étuve à 60°C.

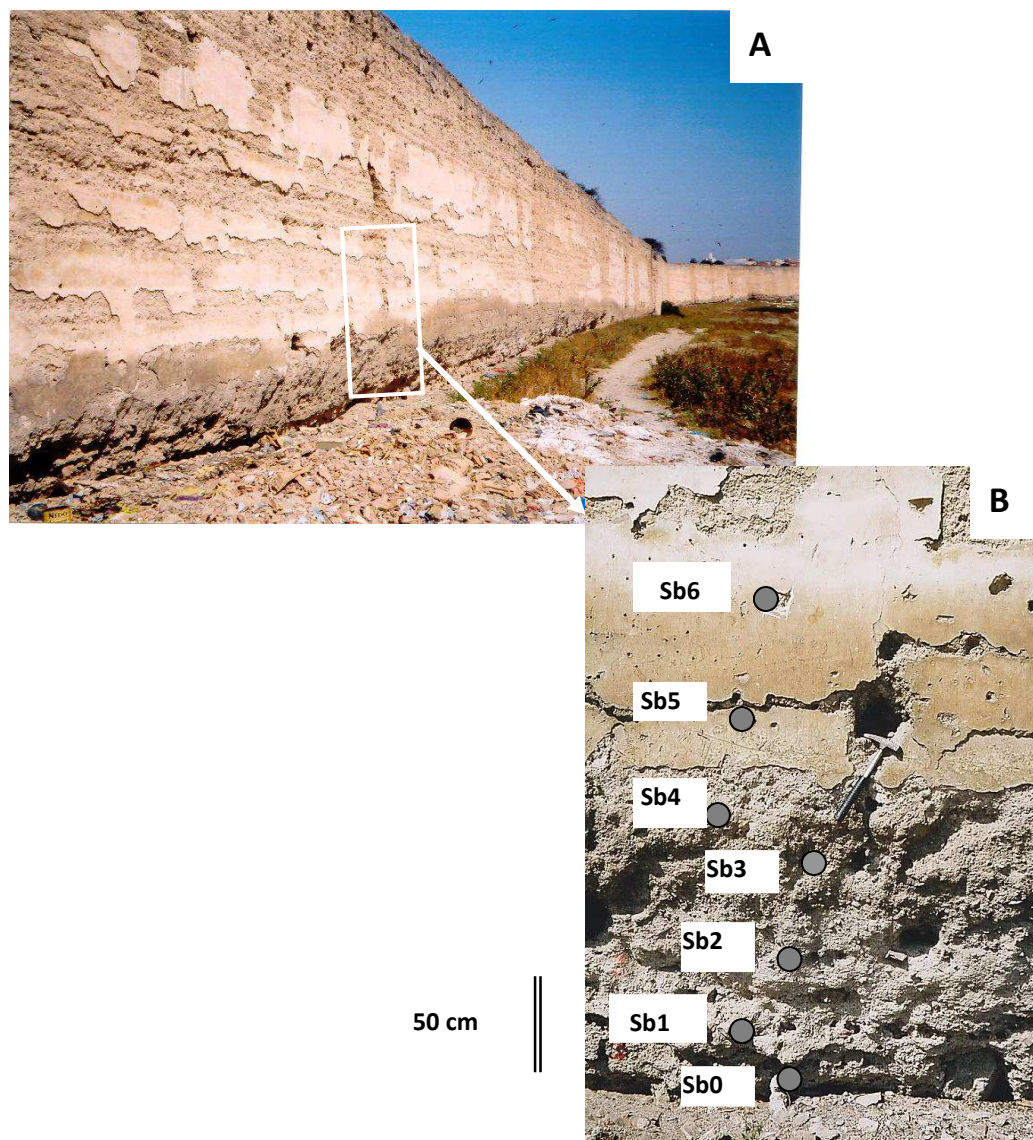


Fig. 1. Le rempart de Sidi Baba ; A : Vue d'ensemble, B : localisation des échantillons du pisé étudié.

3 ETUDE PÉTROGRAPHIQUE

Des lames minces ont été réalisées dans les différents échantillons prélevés sur la muraille de Sidi Baba. Les observations au microscope polarisant (figure 2) montrent une matrice micritique dans laquelle baignent des éléments figurés constitués d'agrégats de calcaire fin, de grains de quartz, de calcaire cristallin, de calcaire gréseux et de fragments de bois. Le quartz se présente en grains anguleux à sub-anguleux de taille variable. A la base du rempart, la proportion des grains de quartz est plus importante par rapport au sommet du profil. La base du profil est riche en vides, on y rencontre des vacuoles et des fissures développant une porosité ouverte importante [5].

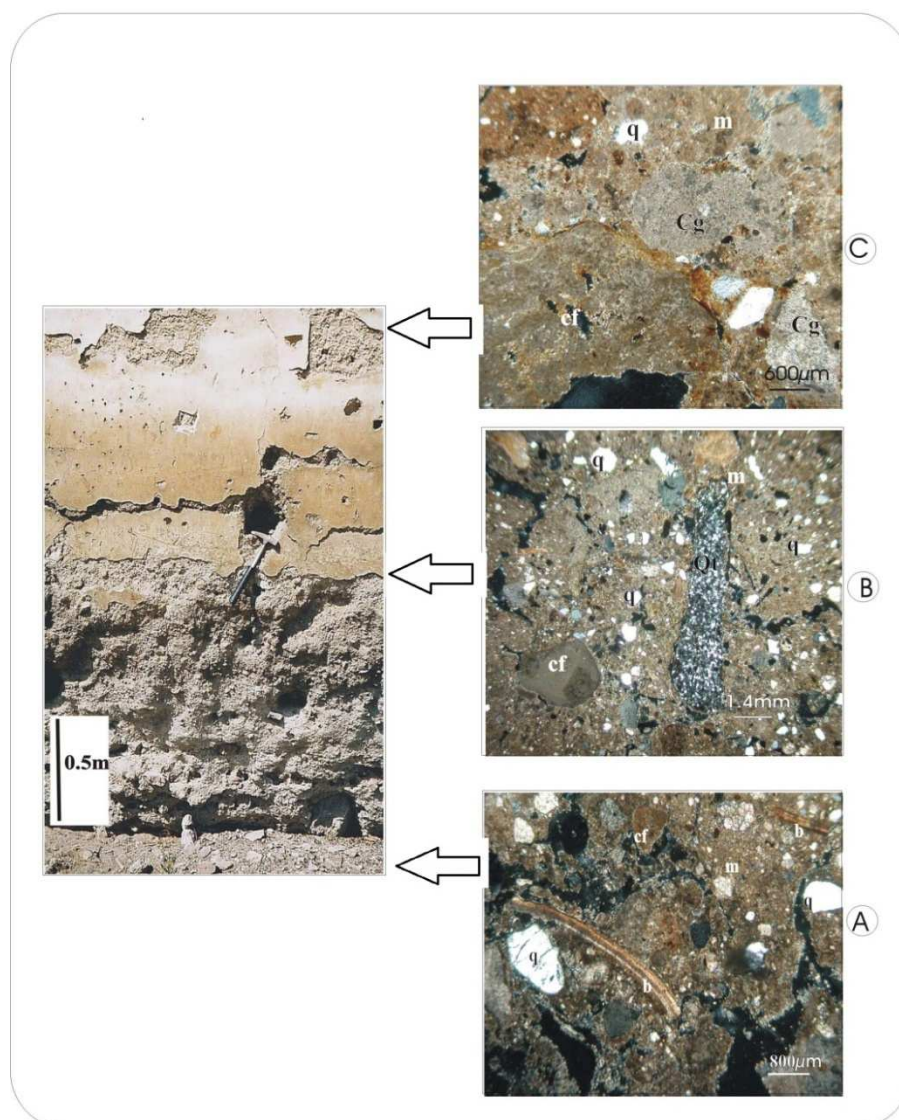


Fig. 2. Caractères microscopiques du pisé du rempart de sidi baba (A : la base, B : milieu, C : sommet du profil)

4 MINÉRALOGIE

4.1 ROCHE TOTALE

Six échantillons (Sb1 à Sb6) de roche totale ont été prélevés pour la diffraction aux rayons X. Les spectres obtenus (Figure 3), mettent en évidence des pics caractéristiques de la calcite et du quartz avec une dominance de cette première.

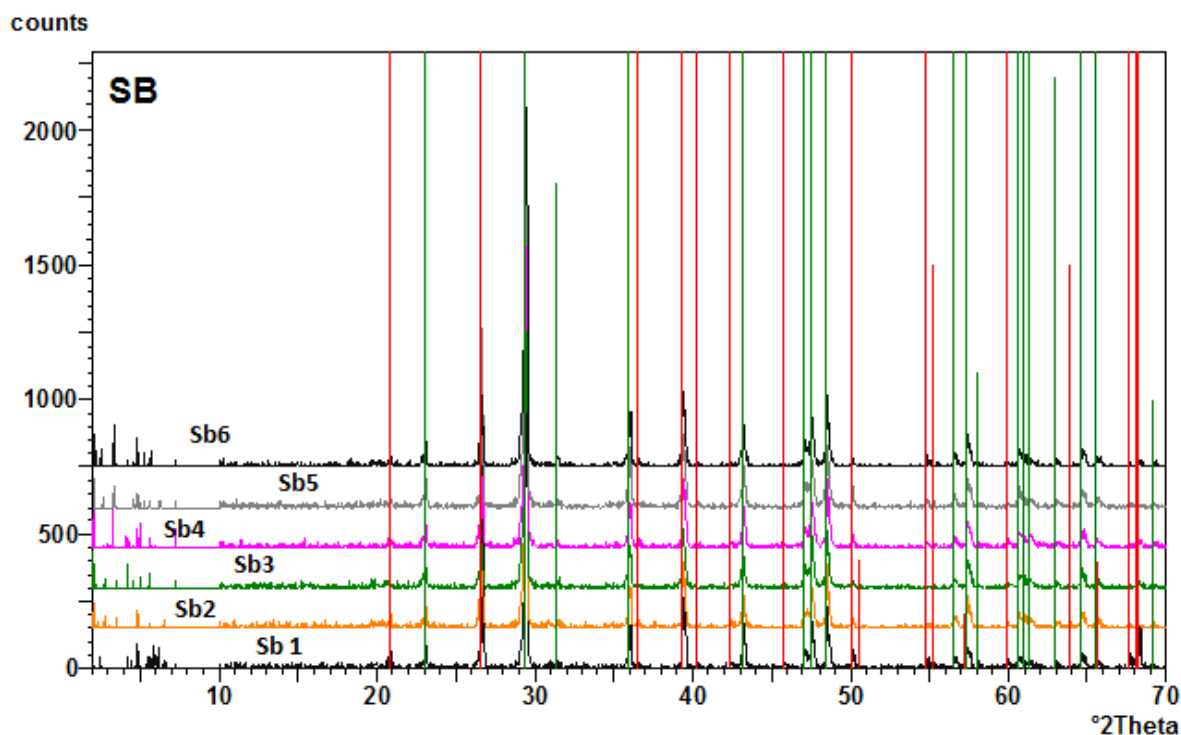


Fig. 3. Diffractogrammes de la roche totale des échantillons du rempart de Sidi Baba (en vert : calcite, en rouge : quartz).

4.2 LA FRACTION ARGILEUSE

La phase argileuse rencontrée dans le pisé du profil du rempart de Sidi-Baba a été également analysée par la diffraction aux rayons X. Elle montre deux pics : un pic situé au environ de 7.2 Å qui disparaît au chauffage et persiste au traitement à l'éthylène glycol (Figure 4), un tel comportement caractérise la kaolinite. Le second pic apparaît aux environs de 15 Å et passe à 17.03 Å après la saturation à l'éthylène glycol puis il se rabat à environ 10 Å après le chauffage, il caractérise la smectite (argile gonflable). Cette dernière représente plus de 80% (tableau 2).

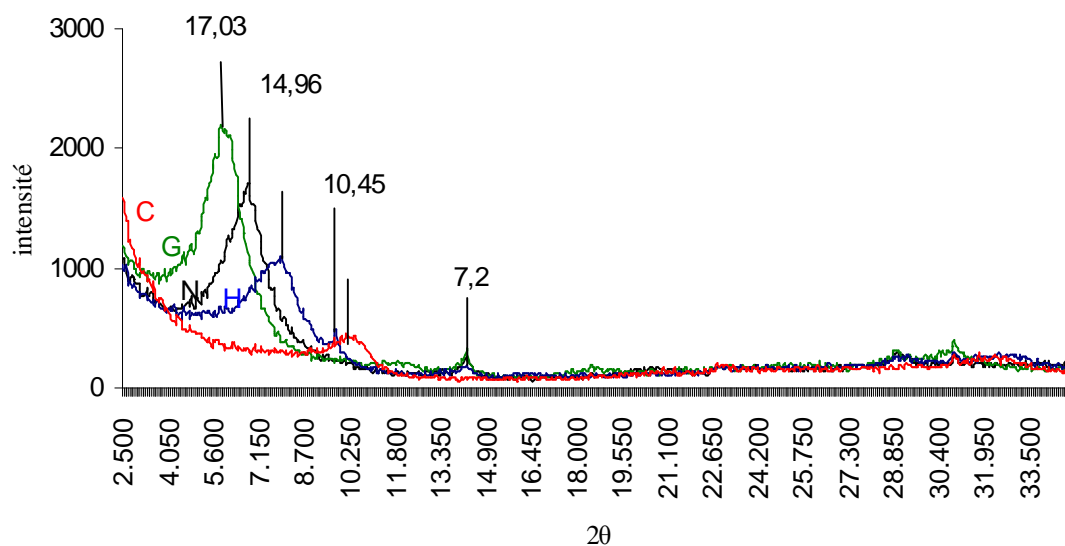


Fig. 4. Exemple de diffractogramme de la fraction argileuse du rempart de Sidi-Baba. (N : normal, G : glycolé, C : chauffé, H : hydrazine)

Tableau 1 : Pourcentage semi-quantitative en minéraux argileux dans le rempart de Sidi-Baba.

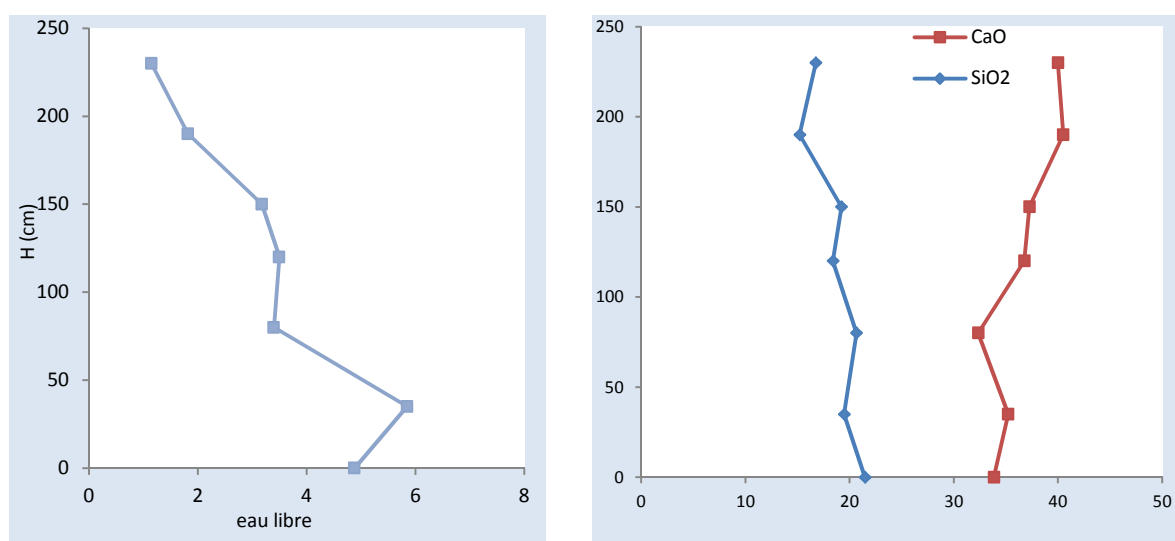
Echantillon	Hauteur en	smectite en	kaolinite en
Sb6	230	88	12
Sb5	190	78	22
Sb4	150	82	18
Sb3	120	80	20
Sb2	80	89	11
Sb1	35	89	11
Sb0	0	89	11

5 LA COMPOSITION CHIMIQUE

La teneur en éléments majeurs du matériau de construction du rempart de Sidi-Baba est consignée dans le tableau ci-dessous. La composition chimique de ce profil montre des teneurs élevées en CaO et SiO₂ (Tableau 2, Figure 5). Ces deux oxydes représentent à eux seuls près de 60 % de la composition chimique globale du matériau. Les autres éléments chimiques sont présents en de faibles quantités avec de légères variations le long du profil étudié. Contrairement à SiO₂ qui montre une diminution de la base vers le sommet du profil, le CaO montre plutôt une évolution inverse. Les oxydes Fe₂O₃, Al₂O₃, TiO₂ et K₂O ne montrent quand à eux aucune variation significative (tableau 2). De la base au sommet du profil, les teneurs en MgO et Na₂O diminuent légèrement.

Tableau 2 Teneurs en éléments majeurs des échantillons du pisé du profil de la muraille de Sidi Baba

N° éch	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	MnO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	eau libre	Loi
Sb6	16,76	40	4,07	1,9	0,97	0,03	0,27	0	0,27	0,2	1,15	34,87
Sb5	15,21	40,5	3,65	1,75	0,85	0,02	0,19	0	0,19	0,17	1,82	35,9
Sb4	19,21	37,26	3,5	1,5	0,87	0,02	0,31	0,1	0,31	0,26	3,18	34,1
Sb3	18,4	36,77	3,55	1,61	0,91	0,03	0,25	0,23	0,25	0,26	3,5	34,24
Sb2	20,65	32,34	3,82	1,6	1,82	0,02	0,23	0,54	0,23	0,16	3,4	33,5
Sb1	19,48	35,22	3,78	1,8	1,35	0,02	0,22	0,36	0,22	0,18	5,85	32,31
Sb0	21,47	33,85	3,26	1,38	1,6	0,02	0,24	0,54	0,21	0,16	4,88	32,8


 Fig. 5. Evolution de SiO₂, CaO et eau libre le long du profil étudié.

L'eau libre (Figure 5), d'origine météorique, semble être plus abondante à la base du profil (6%) qu'à son sommet (1%). Cette configuration indique que la circulation des eaux météoriques dans le profil se fait de manière ascendante par capillarité.

6 CARACTÈRES PÉTROPHYSIQUES

6.1 POROSITE ET TENEUR EN EAU

Le long du profil du rempart de Sidi Baba, la porosité et la teneur en eau évoluent dans le même sens. La porosité est de 40% à la base et diminue à moins de 20% au sommet. De la même manière le pourcentage d'eau à la base du profil dépasse 4%, alors qu'il avoisine 1% vers 2m de hauteur. L'évolution et la variation de la porosité précédemment décrites est certainement à mettre en relation avec les remontées capillaires responsables des teneurs élevées en eau à la base du profil.

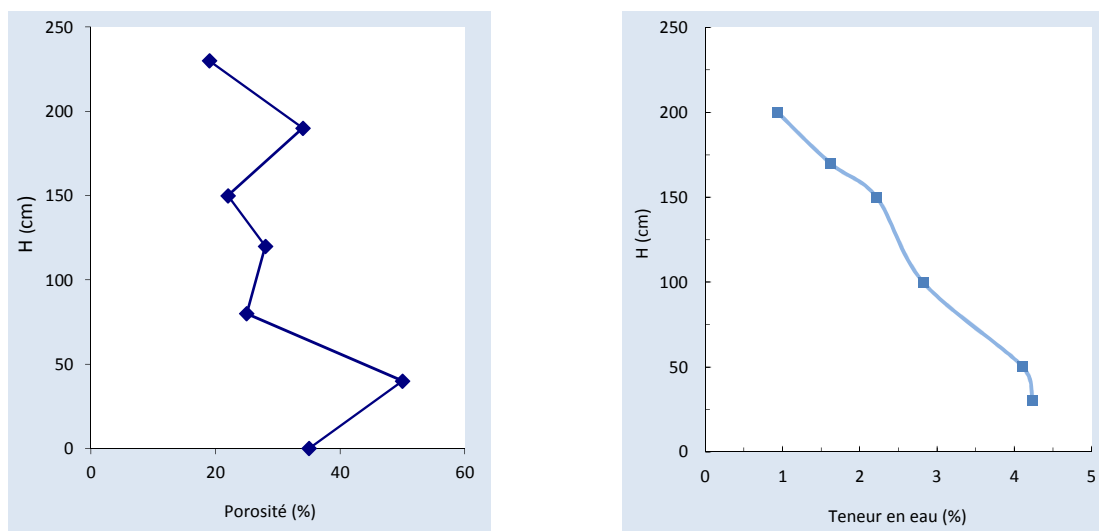


Fig. 6. Evolution de la porosité et de la teneur en eau le long du profil de la muraille de Sidi Baba

6.2 CALCIMETRIE

Tableau 3. Pourcentage des carbonates dans le profil de la muraille de Sidi Baba

Echantillon	Hauteur (cm)	Carbonates (%)
Sb6	230	70,21
Sb5	190	67,02
Sb4	150	62,23
Sb3	120	63,82
Sb2	80	55,31
Sb1	35	57,97
Sb0	0	57,44

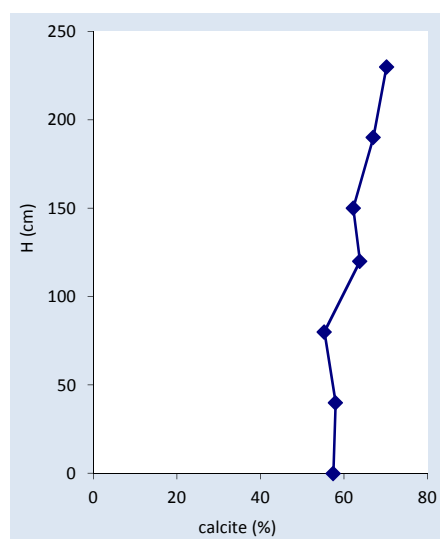


Fig. 7. Teneur en carbonates le long du profil de la muraille de Sidi Baba.

Le tableau ci-dessus (tableau 3) donne le pourcentage des carbonates dans chaque échantillon du pisé du profil de Sidi Baba. Le pourcentage des carbonates dans ces échantillons montre une augmentation régulière de la base vers le sommet. Il avoisine 57.5 % à la base et augmente progressivement pour atteindre 70% vers 2,3 m de hauteur. On retiendra que le pourcentage des carbonates est inversement proportionnel à celui de la porosité ainsi qu'à la teneur en eau. Cette évolution corrobore l'hypothèse d'une dissolution du matériau suite à des circulations ascendantes des eaux.

7 DISCUSSION

Le rempart de Sidi Baba montre une frange humide très importante à sa base (Figure 1). Les paramètres petrophysiques mis en évidence dans ce travail montrent des fluctuations importantes tout au long du rempart, avec cependant une augmentation significative de la teneur en eau et de la porosité à la base qui s'accompagne d'une diminution des concentrations en carbonates. Du point de vue chimique, l'évolution du pourcentage pondéral de CaO et H₂O libre est similaire à celle de CaCO₃ et des teneurs en eau ; en revanche, il est inversement proportionnel à celui de la porosité. Par ailleurs, l'évolution des teneurs en SiO₂ diminue de la base vers le sommet du profil en accord avec les conclusions de l'étude pétrographique qui montre une relative abondance des grains de quartz à la base du rempart par rapport à son sommet. Cette configuration indique que la circulation des eaux météoriques dans le profil se fait de manière ascendante par capillarité. L'analyse par DRX de la phase argileuse a mis en évidence la prédominance de la smectite (80%), argile gonflante par excellence par rapport à la kaolinite (20%). Un tel pisé riche en smectite, lorsqu'il est imbibé d'eau, peut faire apparaître d'importantes dilatations différentielles. Ce phénomène est à l'origine de nombreux décollements qui affectent le matériel le long de la muraille et qui est largement répandue au-dessous de la frange capillaire.

L'abondance des vides et des fissures (figure 1 et 2) ainsi que les faibles teneurs en carbonates relativement à celles du quartz dans la base du profil sont autant d'arguments en faveur d'une importante dissolution et lessivage des carbonates par les phénomènes de capillarité dans cette partie basale de la muraille. Les remontées capillaires mettant en solution le matériau à la base du rempart seraient responsables de la recristallisation et de la concentration de la calcite à des niveaux supérieurs tout en colmatant la porosité.

8 CONCLUSION

L'analyse de la dégradation du rempart de Sidi Baba révèle que ce dernier a surtout manifesté des désordres caractéristiques d'une pathologie humide liée aux infiltrations des eaux. Ainsi, les circulations de solutions, mises en évidence par le test des teneurs en eau et par les fluctuations des paramètres petrophysiques ainsi que la mobilité des éléments chimiques le long de ce profil, sont responsables des phénomènes de dissolutions et de cristallisations le long de la muraille. L'altération et la perte du matériel de construction, sur les premiers mètres du rempart depuis le sol, sont liées à des dissolutions par des remontées capillaires. L'ensemble de ces observations nous permet de mettre en évidence l'importance des phénomènes de capillarité dans les processus de dégradation des constructions en terre.

REFERENCES

- [1] Barrucand M. : Urbanisme princier en islam : Meknès et les villes royales islamiques post-médiéval, Paris, 1985.
- [2] Barrucand M. : L'architecture de la Qasba de Moulay Ismail à Meknès. Etude et travaux d'Archéologie marocaine. Vol. 6, 139p. 1976.
- [3] Guillaud H. : Rapport de mission à Meknès Maroc- *CRATERRE-EAG (Grenoble)*, 18p, 2003
- [4] Ajakane R., Kamel S., Mahjoubi R., Vallet J. M., Bromblet P., Bouabid R., Meunier J.D., Noack Y., Borschnek T., Guillaud H. : Preliminary studies on the degradations of the medina's ramparts of Meknes (Morocco). Kwiatkowski D. & Lofvendahl R. Ed, 10th international congress on deterioration and conservation of stone. Stockholm, June 27 – July 2, Sweden, 809- 815, 2004
- [5] Ajakane R. : caractérisation et diagnostic des matériaux de construction des monuments historiques : cas des remparts de la Médina de Meknès, Maroc. Thèse de l'Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 226p. 2006.
- [6] Bromblet P., Vallet J.M, Ajakane R, Kamel S., Mahjoubi R., Meunier J.D. : Caractérisation des enduits dégradés des remparts de la Medina de Meknès (Maroc). 26-28 septembre, rencontre Internationale sur le Patrimoine Architectural Méditerranéen (RIPAM), Université Moulay Ismail, Meknès, Maroc, 2005
- [7] Tadili B. : Etude du risque sismique dans le Maroc Nord. Doctorat d'Etat. Oujda. 250p. 1991.
- [8] Taltasse P. : Recherches géologiques et hydrogéologiques dans le bassin de Fès –Meknès. Notes et mém. serv. Géol. Maroc, n° 115, 300p. 1953.
- [9] Documents du schéma directeur d'aménagement urbain de Meknès (SDAU), ministère de l'intérieur, direction de l'urbanisme et de l'architecture, 1995.