

---

# **Erosion régressive des falaises du fort Génois de Tabarka. Diagnostic géotechnique des aléas et projet de confortement**

Stéphane CURTIL (1), Slah Edinne HAFFOUDHI (2)

(1) *GEOS Ingénieurs Conseils, Courbevoie, France (Terrasol lors de l'étude), [stephane.curtil@geos.fr](mailto:stephane.curtil@geos.fr)*

(2) *Hydrosol Fondations, rue Haroune Errachid ZI Ksar Said Manouba 2086 Tunisie, [hydrosol@gnet.tn](mailto:hydrosol@gnet.tn)*

---

**Abstract.** Noticing disorders on Genoese fort of Tabark (Tunisia), the Tunisian agency of development of the heritage and the cultural promotion, required an expertise of the stability of the underlying cliffs.

During the construction, the risk of regressive evolution of cliffs underlying was doubtless under estimated so that the conservation of the historical heritage imposes big scale works on the cliff.

Practicing a geotechnical expertise, Mr CURTIL led a detailed structural analysis of the massif which determined the most likely mechanisms of break.

The historic study of the works of extension of the fort and the excavation of a nearby rock career allowed to describ the scenario at the origin of the disorders. On the most critical part of the fort, reinforcement works on the rock mass and on the fort were sized and executed so as to insure the safety and the perpetuity of the site which was forbidden to the public since the appearance of these disorders.

**Keywords:** *rock mass, break, fort of Tabarka, cliff, regressive erosion, reinforcement*

---

## **1. Introduction**

Constatant des désordres inquiétants sur la structure du fort Génois de Tabarka (Tunisie) construit au XVI<sup>e</sup> siècle, l'Agence tunisienne de mise en valeur du patrimoine et de promotion culturelle a engagé une expertise des conditions de fondation et des falaises de plus de 70 m de haut situées à l'aval. Cette analyse constitue la suite logique des travaux de confortement réalisés en 2008 et 2009 sur la partie Sud du fort par la société tunisienne de travaux spéciaux Hydrosol Fondation.

Le risque lié à l'évolution régressive des falaises supportant le fort n'avait pas été intégré à la démarche de conception de l'ouvrage.

Les observations successives du fort et des falaises (2008 et 2009) mettent en évidence des ruptures récentes au niveau de la falaise pour des volumes rocheux de l'ordre 30 à 50 m<sup>3</sup> susceptibles de déstabiliser certaines parties du fort.

Ainsi la préservation du patrimoine historique impose aujourd'hui des travaux de grande ampleur sur la falaise.

Une analyse structurale détaillée du massif rocheux a permis de déterminer les mécanismes de rupture les plus probables.

La singularité de l'édifice impose d'avoir simultanément une approche de type mécanique des roches pour traiter de la stabilité du massif rocheux et des falaises, et une approche de type génie civil des ouvrages anciens pour intégrer le comportement spécifique de l'ouvrage en maçonnerie.

## 2. Contexte géologique et structural

### 2.1 *Présentation du site*

Le fort de Tabarka se localise en bordure de mer au Nord de la Tunisie et domine la baie de Tabarka. Les fortifications encore présentes sur le site ne constituent qu'une fraction de l'ensemble de l'édifice a été construit. La photographie suivante présente une vue générale des falaises qui bordent le site côté Nord-Ouest.



**Figure.1.** *Vue générale des falaises sous le fort de Tabarka. General view of Tabarka's cliff*

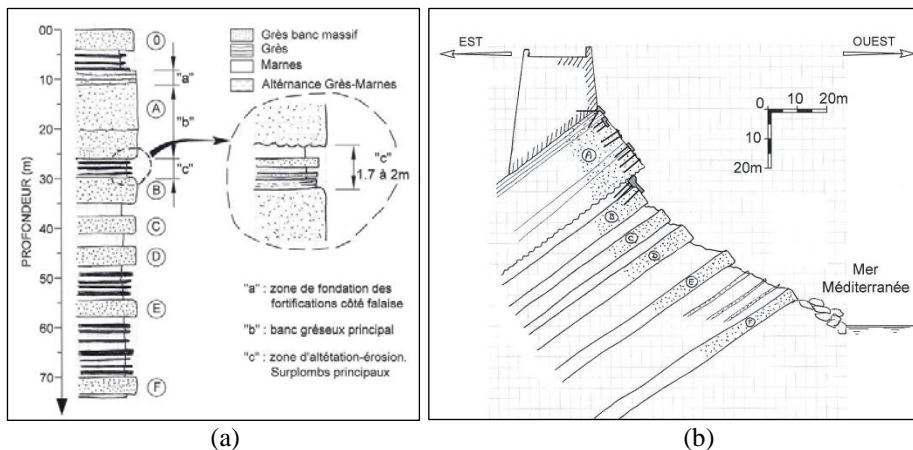
### 2.2 *Données stratigraphiques*

Le site du fort de Tabarka présente une alternance de bancs compétents (gréseux) et de bancs marneux moins compétents et plus sensibles à l'altération météorique et marine. Au niveau de la falaise visible sur la figure n° 1, le pendage

général de la stratigraphie, de  $38^\circ$  à  $40^\circ$  vers l'Est, conduit à une géométrie où les formations plus résistantes forment des surplombs au-dessus de niveaux marneux qui ont subi une érosion régressive marquée.

La colonne litho-stratigraphique présentée sur la figure suivante illustre la structure du massif sous le fort, fondé au toit du banc gréseux principal, noté A. Ce banc massif, d'une vingtaine de mètre de puissance, forme actuellement une géométrie en surplomb du fait de l'érosion des terrains marneux sous-jacents. La coupe stratigraphique permet de visualiser, à la fois la nature des terrains mais également leur résistance à l'érosion selon la représentation classique des bancs les moins sensibles à l'érosion qui apparaissent en relief sur la représentation. Les bancs gréseux principaux sont identifiés par les lettres A à F.

On constate que la partie basse de la falaise, la plus soumise à l'érosion marine est à dominante marneuse alors que la partie supérieure est à dominante gréseuse.



**Figure.2. (a)** Colonne litho-stratigraphique des terrains rencontrés sous le fort de Tabarka. Lithographic column of grounds encountered under the fort of Tabarka.

**Figure.2. (b)** Coupe stratigraphique schématique sous le fort selon une direction E-W. Les principes du projet de renforcement sont également figurés. Stratigraphic cross section EW.

### 2.3 Données structurales

Les falaises sous le fort sont orientées  $N45^\circ E$ . A grande échelle, la série sédimentaire présente une structure orientée Nord-Sud avec un pendage en direction de l'Est variant de  $33^\circ$  à  $45^\circ$ . Deux failles ont été identifiées sur le site, correspondant aux directions principales de fracture du massif : une faille (F1), de direction  $N95^\circ-70^\circ S$ , recoupant le massif au Nord et une faille (F2) de direction  $N155^\circ-80^\circ W$  située sous la tour Est du fort.

Deux familles de fractures principales sont relevées sur le site, de pendage important ( $> 65^\circ$ ) et de direction similaire aux deux failles principales. Elles découpent ainsi les bancs gréseux en colonnes de section losangée qui contrôlent les mécanismes de déformation et de rupture du banc gréseux supérieur : glissements plans ou dièdres, sur une ou deux faces.

#### 2.4 Comportement mécanique des grès et des marnes

Les formations gréseuses sont plus résistantes que les marnes à l'altération et ont un comportement mécanique par rupture fragile avec apparition de fractures. Les niveaux marneux sont sensibles à l'eau et à l'érosion météorique. En profondeur dans le massif, les marnes ont un comportement de roche tendre ; en surface, après saturation, elles perdent leur résistance mécanique pour présenter un comportement de type sol.

L'alternance de niveaux gréseux compétents et de niveaux marneux plus ductiles confère à la série stratigraphique et à la falaise un comportement singulier caractérisé par l'érosion privilégiée des niveaux marneux et par la rupture fragile des bancs de grès à la faveur des familles de fractures et de la stratification.

La figure n°5 illustre la structure typique du site, formée d'un banc gréseux reposant sur un banc marneux exposé, dans le versant, aux effets de l'altération météorique : saturation, dessiccation, érosion éolienne, etc. Le banc marneux après érosion et phénomène de retrait n'assure plus de fonction de butée de pied au bloc gréseux sus-jacent : des glissements de type plans ou dièdres sont alors possibles.



**Figure.5.** Base du banc gréseux B : le contact stratigraphique entre le grès et la marne subit une forte altération météorique (hydratation/dessiccation). Bottom of sandstone: the stratigraphic contact between sandstone and marl is weathered.

### 3. Diagnostic de stabilité des falaises sous le fort

#### 3.1 Principe de l'analyse

Le diagnostic a été conduit à partir d'un relevé géologique et structural sur site par moyens acrobatiques en falaise avec identification systématique des mécanismes de rupture et de déformation. La détermination des niveaux de risque pour la falaise et pour le fort a été conduite en combinant les risques de rupture avec les conséquences probables pour l'édifice. Le niveau de risque prend alors en compte :

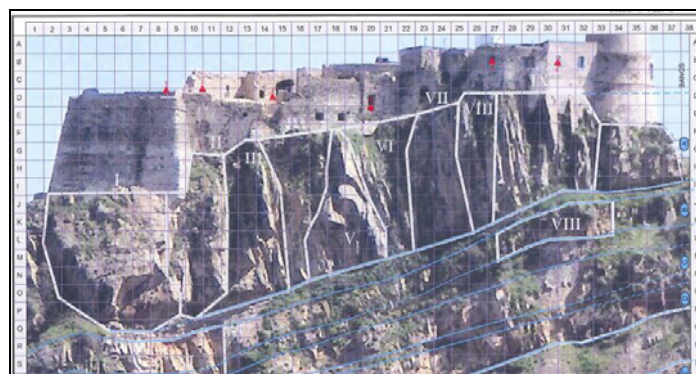
- la géométrie du massif rocheux et la présence des plans de discontinuité et de fractures du massif ;
- le volume rocheux mobilisable par les ruptures potentielles identifiées ;
- la possibilité d'avoir un élément extérieur déclenchant tel que de fortes pluies ou un séisme.

Ces analyses ont permis la définition des principes généraux de confortement pour assurer un niveau de sécurité acceptable pour le fort, et la définition des travaux de confortement à réaliser selon différents niveaux de priorité.

#### 3.2 Sectorisation

La sectorisation de la falaise s'appuie principalement sur les densités de fracturation puisque les orientations des familles sont assez constantes. Le long des 110 m de falaise situés à l'aval du fort on distingue 13 secteurs différenciant la densité de facturation et la géométrie de la falaise.

La figure 6 présente le carroyage utilisé pour le repérage sur site (colonne de 1 à 38 et lignes de A à W), la sectorisation utilisée (nombres romains I à XII) ainsi que les bancs gréseux A à E (figuré bleu).



**Figure.6.** Sectorisation et structure géologique du site. Zoning and geological structure.

### 3.3 Mécanismes de déformation et de rupture identifiés

Les bancs gréseux entrent en rupture lorsque les bancs marneux inférieurs qui assurent la butée de pied disparaissent par érosion ou entrent eux-mêmes en rupture. Les bancs marneux se déforment et entrent en rupture par altération et érosion sous l'effet des agents météoriques, mais également lorsque les bancs gréseux inférieurs qui les supportent entrent eux-mêmes en rupture.

Des ruptures progressives sont ainsi susceptibles de se développer de l'aval vers l'amont avec mobilisation d'un volume de matériaux de plus en plus important : une rupture mineure sur un banc gréseux à l'aval peut ainsi entraîner une rupture majeure de plusieurs dizaines de m<sup>3</sup> sur la partie supérieure gréseuse de la falaise.

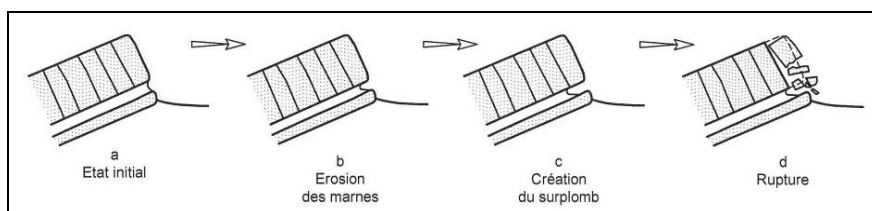
L'observation de la falaise au Nord-Est du fort permet d'identifier le mécanisme de rupture du banc gréseux supérieur (banc A). Lorsque le banc marneux sous-jacent a été totalement érodé ; la perte de la butée de pied associée à la fracturation permet le développement d'un mécanisme de glissement plan. La photo suivante montre un bloc de 120 m<sup>3</sup> environ à la limite de la rupture, qui a déjà subi un glissement de 3 à 5 cm sur le plan de glissement.

Ce bloc a connu dans une période récente un facteur de sécurité vis-à-vis du glissement sur la discontinuité de base, proche ou faiblement inférieur à 1 qui lui permis un déplacement de quelques centimètres avant de retrouver un état d'équilibre limite avec un facteur de sécurité légèrement supérieur à 1, probablement par mobilisation de dilatance et par augmentation de la résistance au cisaillement liée à l'effets stabilisants, pour partie de la rugosité et pour partie de l'irrégularité de la surface de rupture.



**Figure.7.** Mécanisme de rupture par glissement plan/dièdre par perte de la butée de pied. La personne à la base du bloc donne l'échelle. Plan failure mechanism.

La figure suivante illustre ce mécanisme de rupture. Le risque de rupture par glissement de ce bloc est élevé : le glissement peut être déclenché par une faible sollicitation extérieure telle qu'un séisme ou la chute d'un bloc provenant de l'amont et rebondissant sur ce bloc instable. Ce mécanisme de déclenchement de la cinématique et de rupture est déjà observé sur la falaise à l'aplomb du fort.



**Figure.8.** Principe de rupture du banc gréseux A par perte de butée de pied après érosion des marnes sous-jacentes. Principle of failure of the sandstone bed due to erosion of underlying marls.

La géométrie locale des surplombs est conditionnée par la densité de fracturation du massif. Ainsi, moins les fractures sont nombreuses et plus les surplombs sont importants : les volumes unitaires des ruptures sont alors plus importants selon des fréquences plus faibles. A contrario, plus le massif est fracturé et moins les surplombs sont importants : les ruptures concernent alors des volumes unitaires plus faibles selon des fréquences plus élevées.

### 3.4 Qualification de l'aléa

L'aléa prend en compte à la fois le niveau d'occurrence et l'impact prévisible en termes de volume rocheux susceptible d'entrer en rupture afin de qualifier les conséquences pour la falaise et le fort. Deux échelles sont conjuguées : la probabilité d'occurrence qui dépend de la géométrie et de conditions locales de site et une échelle de volume qui est adaptée à la problématique du fort.

Probabilité d'occurrence		Qualification du volume		
			Volume pour la falaise	Volume pour le fort
1	négligeable	1	< 1 m <sup>3</sup>	quelques pierres
2	faible	2	1 à 10 m <sup>3</sup>	1 à 2 m <sup>3</sup>
3	moyen	3	10 à 50 m <sup>3</sup>	2 à 5 m <sup>3</sup>
4	fort	4	> 50 m <sup>3</sup>	> 5 m <sup>3</sup>

**Tableaux. 1 et 2.** Echelle de probabilité d'occurrence et échelle de volume d'effondrement rocheux. Occurrence probability scale and rock volume scale.

L'analyse combine ensuite ces deux échelles afin de définir les conséquences pour la falaise et le fort. Cette analyse permet de définir le degré de priorité pour les interventions qui sont synthétisées dans les tableaux suivants :

		Probabilité d'occurrence			
		1	2	3	4
Volume	1	faible	faible	moyenne	moyenne
	2	faible	élevée	élevée	élevée
	3	moyenne	élevée	forte	forte
	4	moyenne	élevée	forte	forte

**Tableau.3.** Analyse croisée de l'aléa et du risque définissant les priorités d'intervention. Cross analysis of risk and hazard defining retaining works.

### 3.5 Principes de confortement par zones

Les principes de confortement retenus pour la falaise sont :

- un clouage systématique, adaptée en maille et longueur selon la densité et l'orientation des fractures qui permet de solidariser les blocs susceptibles de subir des glissements plans et dièdres. Ces travaux apportent un confinement de la surface des falaises et permettent de stopper les évolutions régressives des ruptures vers l'amont.
- une poutre longitudinale en base des fondations du fort qui permet de reprendre les efforts verticaux et les transmettre au massif, soit par appui direct, soit par des ancrages passifs. Cet ouvrage en béton armé apporte une butée de pied, supprime les risques de rupture par glissements plans et dièdres des blocs situés juste sous les fondations du fort.
- la projection d'une épaisseur de 5 à 7 cm de béton projeté fibré avec épingles qui permet de stopper l'érosion des bancs marneux les plus sensibles à l'érosion.

La surveillance du site constitue une alternative possible à certains travaux, mais uniquement dans la mesure où elle s'accompagne d'un programme de mesures et travaux d'urgence mobilisables très rapidement dès que les seuils d'alerte sont dépassés.

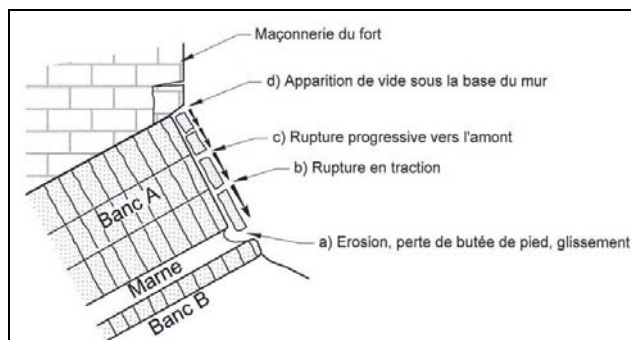
Un exemple de résultats de l'analyse des priorités de travaux est présenté dans le tableau suivant :

Zone	Sous zone	Travaux	Priorités	Commentaire
I	Amont de la zone 3.3 et son voisinage	Purge Clouage systématique Ouvrage de butée de pied sous surplombs	4 Forte	Intervention impérative avant intervention en 3.3 : Sécurité des personnes
VI	-	Béton projeté de protection	1 Faible	Surveillance impérative jusqu'à réalisation des travaux

**Tableau.6.** Exemples de résultats d'analyse multicritère. Examples of multicriteria analysis.



L'application des mécanismes généraux de rupture au cas particulier de la falaise au droit de la zone IX (extrémité Sud-Ouest de la falaise) est illustrée par la figure suivante.



**Figure.11.** Exemple de mécanisme de rupture régressive au droit de la zone IX (extrémité Sud-Ouest de la falaise). Example of regressive failure break on IX zone.

#### 4. Diagnostic et confortement du promontoire Sud du fort

Le fort de Tabarka a connu plusieurs phases de construction au XVI<sup>e</sup> siècle avec en particulier une extension vers l'Ouest sur laquelle on relève des indices de désordres anciens mais également récents. Les désordres anciens ou défauts de stabilité sont révélés par les adaptations de géométrie de la construction marquées par l'élargissement de la base du mur d'enceinte. Dans les années 1960, un promontoire de confortement a été ajouté à l'extrémité Sud du fort.

Les désordres récents apparaissent sous formes de fissures ouvertes (2 à 10 cm) dans les maçonneries des murs d'enceinte.

##### 4.1 Diagnostic des principaux désordres

Des fissures ouvertes caractérisant de grandes déformations sont visibles sur les murs d'enceinte Est et Sud. L'ensemble des fissures et zones de rupture identifiées délimitent une partie de l'ouvrage (environ 1000 m<sup>3</sup>) susceptible de présenter une rupture brutale par glissement dans la pente.

Sur le mur d'enceinte Est, les principaux désordres sont constitués par deux fissures ouvertes de 5 à 7 cm affectant l'ouvrage sur toute sa hauteur.

Sur le mur d'enceinte Sud, les principaux désordres sont constitués par deux fissures anciennes qui ont fait l'objet de réparations et deux zones de rupture plus récentes ouvertes de 5 à 7 cm. Ces fissures montrent des ouvertures mais également des déformations perpendiculairement au plan du mur qui créent des décalages pouvant atteindre 10 à 15 cm.

L'éperon de renforcement, probablement construit dans les années 1960, est également fortement endommagé puisqu'il a déjà perdu une première fois son massif de fondation.



**Figure.12.** Ensemble de fissures des fortifications Sud. Cracks of the south fortifications.

Avant les travaux d'urgence conduits en 2009, cette partie de l'édifice était donc dans un état de stabilité critique et n'était pas en mesure de remplir sa fonction de soutènement et de renforcement de la structure.

Plusieurs témoins posés sur les fissures révèlent que les déformations sur le mur d'enceinte Sud ont eu une amplitude de 1 à 1,5 cm depuis les années 1970. Des déformations millimétriques des fissures ont affecté la zone depuis 2005.

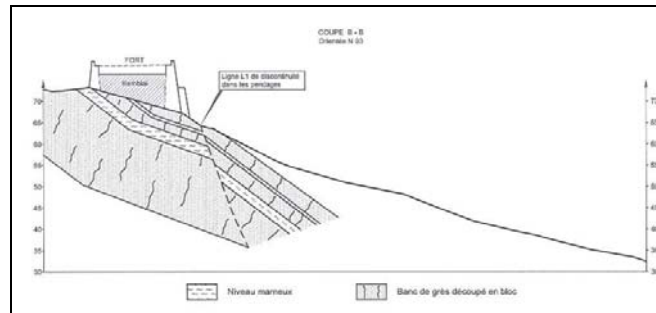
#### **4.2 Origine des désordres**

Les reconnaissances géotechniques nécessaires au diagnostic ont pris la forme de deux sondages carottés et de puits manuels de reconnaissance des fondations.

Les reconnaissances par puits manuel ont montré que :

- la stratigraphie, identifiée dans le forage SC2, est formée d'une succession de bancs de grès jaunâtres durs et fracturés avec, à 10 m de profondeur, une couche d'argile limoneuse de 1,7 m de puissance ;
- la partie interne du fort a connu une phase de remblaiement avec des argiles saturées en eau, sur une épaisseur de plus de 9 m, qui modifie la descente de charge et la poussée sur les murs d'enceinte ;
- les ruptures qui affectent le fort se poursuivent en profondeur jusqu'aux fondations (puits F6) : les ruptures observées résultent de déformations du

substratum rocheux. Une zone d'extraction de matériaux en pied de versant explique les déformations observées. L'extraction de matériaux est à l'origine de la réduction la butée de pied des dalles gréseuses formant la surface topographique du versant.



**Figure.13.** Coupe géologique et structurale Est-Ouest au droit de l'éperon Sud. Cross section EW under south part of the fort.

Le mur d'enceinte Est est fondé au rocher sur une dalle de grès d'orientation : N06°-22E à N35°-26E. Le mur d'enceinte Sud repose sur une dalle de grès de pendage, N178°-39S, dont la puissance et la géométrie n'ont pas pu être observées.

Dans cette zone le fort repose sur une alternance de bancs de grès et de bancs marneux. Il s'agit d'une zone historiquement instable puisque des travaux importants d'adaptation de la construction initiale ont été réalisés par le passé : élargissement de la base de la fortification et ajout d'un éperon de confortement de l'extrémité Sud du fort.

L'exploitation des données de sondage conduit à retenir les origines suivantes aux désordres constatés sur cette zone du fort :

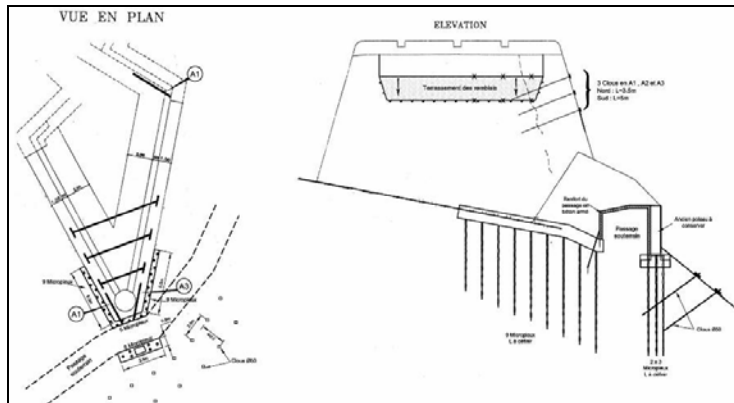
- rupture de l'assise de fondation du contrefort de renforcement de l'ouvrage par glissement d'un banc gréseux sur une « couche savon ». Un mécanisme de rupture régressive s'est développé depuis la base du versant vers le sommet ;
- rupture interne des maçonneries du fort qui font office de soutènement aux remblais de comblement.

#### 4.3 *Projet de confortement de la zone Sud*

Le projet de confortement de la zone Sud du fort traite de la stabilité interne des fortifications et de la stabilité des fondations. Il est synthétisé sur la figure suivante :

Renforcement des murs de fortification : L'analyse numérique a montré un défaut de stabilité des fortifications qui subissent des efforts de poussée trop importants au regard de leur géométrie. L'ouverture des fissures verticales dans les murs de fortification a permis un écartement relatif des deux murs et donc une

relaxation des contraintes de poussée aboutissant à un équilibre limite des ouvrages. La solution de confortement retenue consiste à réaliser des tirants reliant les murs Sud et Est, associées au terrassement d'une partie des remblais intérieurs. Cela confère à l'ouvrage un niveau de stabilité comparable à celui qu'il avait lors de sa construction.



**Figure.14.** *Vue en plan et élévation du projet de travaux de confortement. Reinforcing works project.*

Une série de clous passifs de 4 à 5 m de longueur sont implantés au niveau de l'éperon Sud de manière à le solidariser au reste des fortifications. Ils sont associés à un traitement de régénération de la maçonnerie par injection de coulis de ciment.

Confortement des fondations : afin de stabiliser le massif rocheux de fondation et stopper les glissements banc sur banc, il a été réalisé les travaux suivants :

- renforcement de la base des fortifications maçonnées Sud et Est au moyen de longrines permettant le transfert des charges vers des micropieux ;
- reprise des fondations de l'éperon maçonné par longrine et micropieux et renforcement de l'ouvrage par une voûte en béton armée ;

Confortement du massif rocheux de fondation : Le clouage systématique du talus rocheux à l'aval du fort apporte le complément de résistance nécessaire à la stabilité des dalles gréseuses ayant perdu la butée de pied ; en supplément de la mobilisation de la résistance au cisaillement des armatures des micropieux

#### **4.4 Réalisation des travaux**

Les travaux de confortement du massif rocheux et des fortifications ont été réalisés par l'entreprise Hydrosol Fondations sous la maîtrise d'œuvre du Ministère de l'Équipement de l'Habitat et de l'Aménagement du Territoire (Direction Régionale de Jendouba) au printemps 2009. Les études d'exécution ont été

conduites en intégrant les contraintes architecturales du site qui imposent que tous les travaux soient réalisés sans dénaturation visuelle de l'ouvrage.

Le site est caractérisé par la difficulté d'accès aux zones de travail, le caractère historique de l'ouvrage. Ainsi tous les travaux réalisés ont dû être « habillés » par des matériaux similaires à ceux du fort afin de ne pas dénaturer l'ouvrage et préserver son cachet.

Des échafaudages de grande hauteur ont été utilisés, en particulier pour les travaux de clouage en hauteur sur les murs d'enceinte et pour la mise en place des croix de profilés en têtes des tirants intérieurs. De petites machines modulaires pour lesquelles seuls le mât et le distributeur, reliés à la centrale disposée en bas du fort, ont été utilisées sur les échafaudages. Pour leur sécurité, les ouvriers et techniciens étaient harnachés par des câbles sécurisés, afin de pallier tous risque d'accident.

Les travaux de forage ont été réalisés au marteau fond de trou à l'air, et ce afin d'éviter l'utilisation de fluides de forages, pouvant aggraver l'instabilité de l'ouvrage.



**Figure.15.** *Travaux de confortement des maçonneries par clouage. Nailing works.*

Par ailleurs, au cours des travaux de déchargement du remblai situé dans l'enceinte du fort, pour la mise en place des tirants intérieurs, nous avons découverts d'anciens madriers en bois, sans doute mis en place à des fins de stabilisation du fort. Il est à préciser que le remblai dégagé de l'intérieur du fort présentait une forte humidité, confirmant l'hypothèse d'une poussée des remblais sur les murs d'enceinte.

La majorité des fissures dans le fort ont été colmatées, injectées et traitées avec un mortier naturel afin de préserver le cachet initial du fort.

## **5. Synthèse et conclusions**

Les études et analyses réalisées lors de l'implantation initiale du fort Génois au XVI<sup>e</sup> siècle avaient très certainement bien intégré les contraintes géologiques et géotechniques du site en évitant d'implanter l'ouvrage sur les deux principales failles recoupant le site, mais certainement sans appréhender les risques d'évolution de la stabilité des falaises sous les effets de l'érosion et de l'altération renforcés par la proximité et l'exposition à la mer.

L'analyse structurale du site a constitué la base du diagnostic des désordres observés au Sud du fort sur l'extension réalisée peu de temps après la construction (XVI<sup>e</sup> siècle) et a permis de finaliser le projet de confortement des fortifications et des fondations et la réalisation de travaux de réparation.

L'analyse structurale de la falaise Ouest a mis en évidence une situation de risque de ruine forte à très forte pour les fortifications, résultant de ruptures régressives initiées en pied de falaise. Les études ont montré que des confortements par ancrages et par protections passives contre l'érosion seront à même de restituer un niveau de sécurité acceptable pour le fort Génois.

## 12. Bibliographie

- Rapport Terrasol n° 22740\_02, en date du 03/04/07 : « Fort de Tabarka - Sinistre des murs d'enceinte de la zone Sud-est/ Visite du 21 et 22 février – Rapport d'expertise ».
- Rapport Terrasol n° 22740\_03, en date du 31/08/07 : « Fort de Tabarka - Sinistre des murs d'enceinte de la zone Sud-est / Résultats des reconnaissances de juillet 2007 ».
- Rapport Terrasol n° 22740\_04, en date du 25/05/08 « Rapport de Visite des 15 et 16 avril 2008 : analyse des risques et principes de confortements ».
- Guide SETRA « Fondations au rocher – Reconnaissances des massifs rocheux, Conception et dimensionnement des fondations » octobre 2009
- CFMR, « Manuel de mécanique des roches - Tome 1 – Les fondements », Presse de l'Ecole des Mines de Paris, 2000.
- CFMR, « Manuel de mécanique des roches - Tome 2 – Les applications », Presse de l'Ecole des Mines de Paris, 2003.
- AFTES, « Caractérisation des massifs rocheux utile et à la réalisation des ouvrages souterrains », recommandations du GT1, TOS n° 177, 2003.
- Bieniawski Z.T., « Engineering rock mass Classification » John Wiley & Sons, 1989.
- Cojean R. « Les mouvements de versant et la stabilité des talus », Cours de l'Ecole des Mines de Paris, 106 pp, 1993.
- Hoek E, Brown E.T., « Underground Excavations in rock » Institution of Mining and metallurgy, 527 pp, 1980.
- Hoek E., Bray J.W., « Rock slope engineering », 2<sup>nd</sup> Ed., Institution of Mining and metallurgy, 1977.
- Homand F. « Morphologie et comportement mécanique des joints. Acquisition des principales caractéristiques », Séminaire de modélisation des massifs rocheux fracturés en blocs, Nancy, 26-30 mars 1990.
- Priest S.D. « Discontinuity analysis for rock engineering » Chapman & Hall, 473 pp, 1984.