

Filets de câbles INOX et grillage à haute résistance en Galfan+PVC plaqués: l'étude de cas du Port de Al Hoceima, Maroc.

Secured drapery with Stainless Steel cable panels and Galfan+PVC coated high resistance mesh: the Al Hoceima case study, Morocco.

Alberto Grimod¹, Mostafa M'Haber², Marco Vicari¹

¹*Marita Maccaferri Morocco S.A. Route de l'Oulja km 0,6 - Sale, Maroc*

²*Maharat Ingénierie. Rue Gibraltar Res. Jabal Tarik Etage 1 App n° 4, Tanger, Maroc.*

Résumé

Un nouveau type de filets et grillage plaqué ont été dimensionnés et installés avec succès par l'Agence Nationale des Ports (ANA) pour la protection du port de Al Hoceima, Maroc. Les grillages/filets plaqués sont généralement constitués d'un grillage/filet métallique pare-pierre associé à un système d'ancrage ayant pour but de stabiliser la portion superficielle d'une paroi rocheuse. Pour protéger la partie nord du port de Al Hoceima contre les chutes de blocs, la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre ont porté leur choix sur des filets et grillages plaqués. Des filets type H.E.A. (High Energy Absorption) INOX et un grillage à haute résistance en PVC ont été plaqués sur tout le talus grâce à un système d'ancrage composé de barres en acier. Le dimensionnement a été complexe vu le contexte géomécanique de la zone. Grâce au logiciel MacRO 1 il a été possible de définir la solution la plus adaptée au site, d'un point de vue technique et économique. Le calcul a été fait à l'état limite ultime (vérification des composants du système avec leurs résistances maximales) et à l'état limite de service (déformation maximale du grillage et filet). Plus de 16000 m² de filets de câbles INOX (fabriqués et testés selon la norme ISO 17746) associés à environ 24000 m² de grillage à haute résistance revêtu de Galfan et PVC (fabriqué et testé suivant la norme EN 10223-3 et UNI 11437) ont été installés sur une période d'environ un an par une entreprise spécialisée dans les travaux acrobatiques en falaise. Les filets de câble et le grillage à haute résistance ont été plaqués à la falaise rocheuse avec plus de 30km de barres pleines d'acier à haute résistance de 32 et 40mm de diamètre. La protection contre la corrosion des filets et grillage a été un choix fondamental lors du projet, car elle devait garantir une durée de vie de 100 ans. Pour cette raison, des filets HEA INOX ont été produits et testés (selon la norme ISO 17746) spécifiquement pour ce projet. L'article décrit toutes les phases du projet : du dimensionnement à la réalisation de cette solution innovante.

Mots clef: grillage plaque, filet plaque, test, dimensionnement, filet à haute absorption d'énergie (HEA), grillage à haute résistance (HR), protection contre la corrosion, étude de cas.

Abstract

A new type of secured drapery system for the Moroccan National Agency of Ports (ANA) was successfully designed and installed to protect the Al Hoceima Harbour, in Morocco. Secured draperies consist of rockfall netting combined with a pattern of nails aimed at stabilizing surficial portions on an exposed rock face. To stabilize the northern rockface of the Al Hoceima port a protection composed with high energy absorption (HEA) stainless steel cable panels, PVC coated high resistance (HR) mesh and steel bar anchors, has been designed and installed. The design was complicated due to the complexity of the geomechanical model of the area. The software MacRO 1 has been used to define the most cost-effective solution. The design has been carried out at the ultimate limit state (verification of breaking loads

of the system components), and serviceability limit state (maximum permissible deformation of the facing). More than 16000 sqm of stainless steel panels (manufactured and tested according to ISO 17746) coupled with approximately 24000 sqm of PVC-coated HR mesh (manufactured and tested according to EN 10223-3 and UNI 11437), has been installed in approximately 1 year by a specialized ropes access contractor. The cable panels and the HR mesh have been fixed to the rock surface with more than 30 km of high tensile strength full-thread rod bars 32 and 40 mm diameters in diameter. The corrosion protection of the proposed nets was an important criteria in order to guarantee a lifespan of 100 years. Special stainless steel panels have been manufactured and tested, according the most recent standard ISO 17746, specifically for this project. The paper describes the design approach as well as the installation phases of this innovative solution.

Keywords: secured drapery, test, design, high energy absorption (HEA) panels, high resistance (HR) mesh, corrosion protection, case study.

Introduction

La zone de plaisance créée dans le port d'Al-Hoceima se situe en pied d'une falaise rocheuse, ce qui la rend prédisposée à des chutes de blocs rocheux, susceptibles d'impacter la sécurité et les biens des usagers de la plateforme portuaire. Dans le cadre du marché « Etude de confortement de la falaise adjacente à la zone de plaisance du port d'Al-Hoceima », l'Agence Nationale des Ports (ANP) a confié à un bureau d'ingénieurs conseils l'étude de confortement de la falaise.

La roche présente dans le site est un calcaire caractérisé par des grosses discontinuités et des failles qui peuvent définir des masses instables de l'ordre de quelques centaines de mètre cubes. La roche est très altérée par l'effet des événements tectoniques, sismiques et par l'action des agents atmosphériques et chimiques et par l'action de la mer.

Ci-dessous on présente la vue de la falaise, avec l'individuation des 2 zones ayant des caractéristiques communes au niveau du type de lithologie et de risque potentiel : Zone 1 (falaise pseudo-verticale) et Zone 2 (plateau).



Fig. 1 – individuation des zones en fonction des caractéristiques géomorphologiques du site et de la taille des blocs instables

Les masses en mouvement et l'analyse du risque

Les masses susceptibles de s'effondrer peuvent être découpées par des plans de nature différente. Les principaux types de discontinuités qu'on peut trouver sur site sont du type : diaclases (plans de discontinuités, d'extension métrique à décamétrique, sans déplacement relatif des compartiments, elles favorisent un débit en blocs de la roche) et fractures (plans de discontinuités, plus ou moins ouverts, de continuité et d'extension variable, sans cisaillement relatif des épontes).

Ces discontinuités peuvent générer des ruptures qui peuvent être attribués à des sollicitations externes liés à l'eau (pression interstitielles), à des actions sismiques ou autres phénomènes de vibration (ex. utilisation d'explosifs, etc) et aux agents climatiques (cycles de gel-dégel, érosion, etc). Les forces résistantes mobilisables proviennent de la résistance de la roche et surtout de la résistance au cisaillement des discontinuités. Ces forces évoluent avec le temps, contribuant au vieillissement des ponts rocheux des discontinuités, donc à la chute progressive de la cohésion qui conduit à la rupture après un délai très variable.

Sur la base de ces éléments une analyse du risque a été faite. Le risque est défini comme le produit entre l'aléa (la probabilité que le phénomène se produise) et la vulnérabilité (le capital exposé à un certain aléa, ex. population, infrastructures, maisons, etc). Un risque très élevé a été identifié dans la zone d'étude vu la présence de grosses masses instables surplombant la zone du port.

La solution de mitigation

Compte tenu du souhait du Maître d'Ouvrage de ne pas utiliser des écrans dynamiques, pour des questions esthétiques, et des merlons, pour des difficultés d'implantation et manque d'espace entre le pied de la falaise et les bâtiments du port, les solutions retenues pour protéger le port de Al Hoceima contre la chute de blocs et les éboulements rocheux ont été :

- Un système de filet de câble à haute absorption d'énergie (HEA) associé à un grillage à haute résistance plaqué avec des barres d'acier pleines de nuance 670/800 MPa galvanisés à chaud. Le filet/grillage plaqué a la fonction de stabiliser la partie superficielle plus instable (~1-1.5m d'épaisseur) et contenir les blocs rocheux de dimension de 1 m³ environ qui peuvent se détacher de la falaise sub-v verticale ;
- Des ancrages ponctuels de confortement pour stabiliser les masses instables plus importantes et profondes.

Lors du dimensionnement on doit définir :

- Le type de grillage et de filet ;
- Le système d'ancrage : type de barre d'acier (nuance de l'acier), diamètre et longueur de la barre, l'espacement entre les barres et le diamètre de forage.

Le grillage a été dimensionné à l'état limite ultime (résistance à la traction) et à l'état limite de service (déformation). Des coefficients partiels de sécurité pour augmenter les forces motrices et réduire les forces stabilisatrices ont été introduits. Afin d'obtenir une bonne coopération entre le grillage et les ancrages, il est fondamental d'utiliser un grillage peu déformable.

Le calcul a été fait avec le logiciel MacRO 1 (Grimod et al, 2013) qui se base sur le principe logique de calcul présenté dans le schéma suivant :

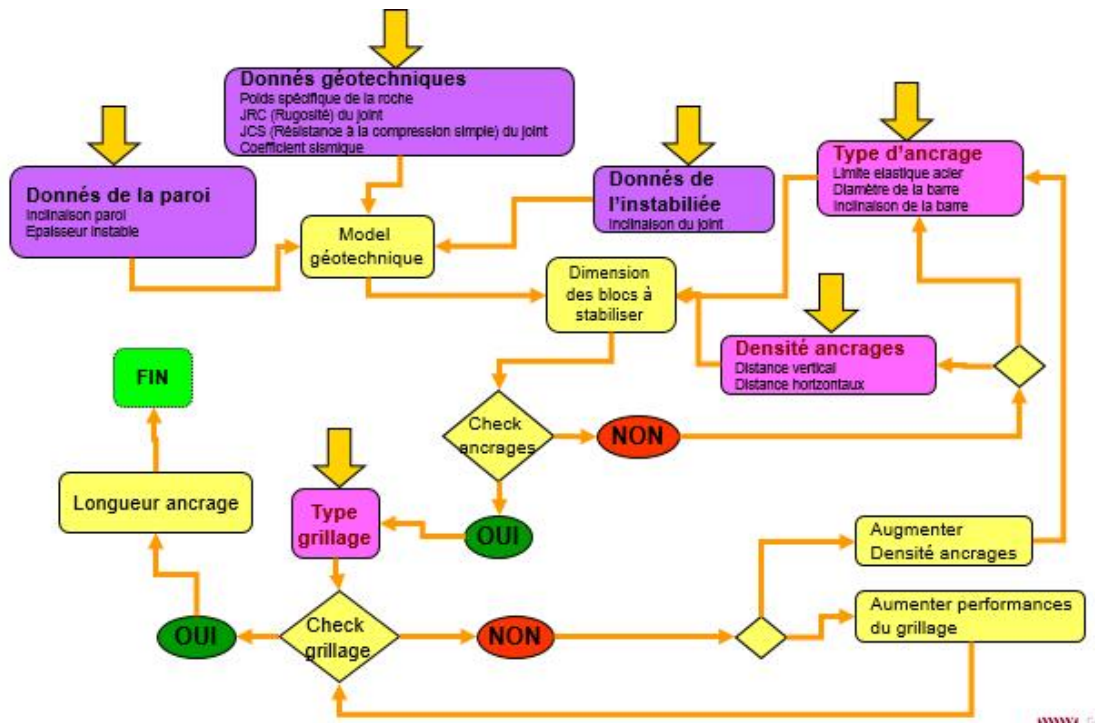


Fig. 2 – Principe conceptuel à la base du calcul avec le logiciel MacRO 1

L'approche de calcul utilisé dans MacRO 1 est basée sur les Eurocodes EC7 (EN 1997 :1-2005), et il peut être décrit comme :

$$\frac{\text{Forces stabilisatrices}}{\gamma_{RW}} + R \geq \text{Forces motrices } \gamma_{DW}$$

Où :

- Forces stabilisatrices (FSslp) = forces qui donne une contribution favorable à la stabilité du talus ;
- γ_{RW} = coefficient partiel de réduction des forces stabilisatrices ;
- R = contribution de l'ancrage à la stabilité du talus ;
- Forces motrices (FDslp) = forces qui provoquent l'instabilité du talus ;
- γ_{DW} = coefficient partiel qui augmente les forces motrices.

Durée de vie du système de protection

Le niveau environnemental du site du Port de Al Hoceima peut être classifié en catégorie C4 (selon la norme ISO 9223 : 2012), qui définit un environnement très agressif comme : zone tempérée, environnement atmosphérique très pollué ou effet important des chlorures, par exemple zones urbaines, zones industrielles et régions côtières polluées, sans brouillard salin, exposition à un effet important des sels de déverglaçage. Zone subtropicale et tropicale, atmosphère avec des zones industrielles, régions côtières et emplacements protégés sur le littoral moyennement pollué.

La durée de vie envisagée pour les solutions techniques proposées dans le projet était de 100 ans.

En utilisant l'Annexe A de la norme EN 10223-3, ISO 17745 et ISO 17746 est possible de comprendre le type de revêtement du fil métallique à spécifier. En accord avec le tableau ci-dessous présenté on souligne la nécessité d'utiliser un revêtement organique appliqué sur un alliage Zn/Al (alliage Zinc5%-Aluminium5% de Classe A selon la norme EN 10244-2 + PVC ou alliage Zinc5%-Aluminium5% + PA6) ou l'INOX.

Annexe de la norme EN 10223-3			
Condition environnementale (ISO 9223)	Revêtement métallique	Revêtement organique	Durée de vie présumée du produit en service
Environnement fortement agressif du type C4	Zinc 95% + Aluminium 5% Classe A (selon la norme EN 10244-4)	Aucun	10 ans
	Zinc 90% + Aluminium 10% Classe A (selon la norme EN 10244-4)	Aucun	25 ans
	Zinc 95% + Aluminium 5% Classe A (selon la norme EN 10244-4)	PVC	120 ans
	Zinc 95% + Aluminium 5% Classe E (selon la norme EN 10244-4)	PA6	120 ans
	Zinc 90% + Aluminium 10% Classe A (selon la norme EN 10244-4)	PVC	>120 ans
	Zinc 90% + Aluminium 10% Classe E (selon la norme EN 10244-4)	PA6	>120 ans

Tab. 1 – Extrait de la norme EN 10223-3: durée de vie estimée des filets et grillages en fonction de l'agressivité de l'environnement et de la protection contre la corrosion du fil métallique

Vu la proximité avec la mer, et la durée de vie imposée par le maître d'ouvrage (100 ans), des filets HEA (haute absorption d'énergie) en INOX et un grillage HR (haute résistance) revêtu de

Galfan+PVC ont été fabriqués et installés sur site. Ces filets+grillages ont été plaqués à la falaise rocheuse avec des barres en acier (de longueur variable entre 3 et 22m) de nuance 670/800 MPa de 32 à 40mm de diamètre qui ont été galvanisés à chaud à l'usine.

Les filets H.E.A. sont composés par des câbles en INOX de 10mm qui forment une maille en losange de 300x300mm. La connexion entre les câbles se fait grâce à un double nœud qui permet d'atteindre des résistances mécaniques beaucoup plus élevées par rapport aux broches classiques. Le filet H.E.A. est testé selon la norme ISO 17746 et dispose d'un marquage CE.

Le grillage H.R. est un système associant un géocomposite métallique fabriqué avec du grillage à mailles hexagonales double torsion et des câbles métalliques tissés longitudinalement dans la maille au cours de la fabrication. Les câbles et les fils constituant le grillage HR sont revêtus en Galfan + PVC. Grâce à la présence de la double torsion ce grillage est indémaillable, même si un câble ou fil est coupé. Le grillage à haute résistance est testé selon la norme UNI 11347, ISO 17745, ISO 17746 et dispose d'un marquage CE et de la certification NF-Acier.

Mise en œuvre des systèmes de confortement

La zone de la falaise à sécuriser longe le port d'Al Hoceima du côté Nord et s'étale sur une longueur de 250m environ, dans le sens Est-Ouest. Les travaux ont commencé en début 2017 et ils sont terminés avant fin 2017. L'entreprise qui a réalisé les travaux (spécialiste dans le secteur des travaux acrobatiques en falaise avec accès sur corde) a pu installer, en moins d'une année, plus de 16000 m² de filets HEA INOX, 24000 m² de grillage à haute résistance en PVC et 30km de barres pleines d'acier avec des longueurs entre 3.0 et 22m.



Fig. 3 – Vue de la falaise confortée par des filets HEA INOX, du grillage HR en PVC et barres d'ancrage



Fig. 4 – Détail du système de confortement

Conclusion

La zone de plaisance créée dans le port d'Al-Hoceima se situe en pied d'une falaise rocheuse, ce qui la rend prédisposée à un risque de chutes de blocs, susceptibles d'impacter la sécurité et les biens des usagers de la plateforme portuaire. Dans le cadre d'un marché intitulé « Etude de confortement de la falaise adjacente à la zone de plaisance du port d'Al-Hoceima », l'Agence Nationale des Ports (ANP) a confié à des bureaux d'études spécialisés l'étude de confortement de la falaise. La zone de la falaise à sécuriser longe le port d'Al-Hoceima du côté Nord et s'étale sur une longueur de 250m environ, dans le sens Est-Ouest.

Le plus gros chantier de confortement de falaise réalisé au Maroc jusqu'à présent a été conçu grâce au logiciel MacRO 1, et il a été installé par une entreprise spécialisée dans les travaux acrobatiques en falaise en moins d'une année.

Lors de la conception des ouvrages, un aspect très important a été celui de trouver des solutions capables d'assurer une durée de vie de 100 ans dans un environnement agressif comme celui du port de Al Hoceima : des filets à haute absorption d'énergie (HEA) INOX et du grillage à haute résistance (HR) ont été utilisés.

Bibliographie

EN 1997 1, 2005. Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules. European Norm.

EN 10223-3, 2013. Steel wire and wire products for fencing and netting. Part 3: Hexagonal steel wire mesh products for civil engineering purposes

- EN 10244-2, 2009. Steel wire and wire products - Non-ferrous metallic coatings on steel wire. Part 2: Zinc or zinc alloy coatings. European Norm.
- Grimod A. & Giacchetti G., 2013. A new approach to design pin drapery systems, GeoRegina, Regina, Canada 2013.
- ISO 9223, 2012. Corrosion of metals and alloys - Corrosivity of atmospheres -- Classification, determination and estimation. International standard.
- ISO 17745, 2017. Steel wire ring net panels - Definitions and specifications. International standard.
- ISO 17746, 2017. Steel wire rope net panels and rolls - Definitions and specifications. International standard.
- UNI 11437, 2012. Rockfall protection measures : Tests on meshes for slope coverage. UNI Ente Nazionale Italiano di Unificazione.