

**SECTEUR DE LA  
ROCHAILLE SUR  
LA ROUTE DU  
COL DE LARCHE  
TECHNOLOGIE DE  
POINTE CONTRE  
LES CHUTES DE  
PIERRES**

**Epc France et Géolithe**

ont mis en œuvre une technologie Maccaferri pour protéger des chutes de pierres la route départementale du col de Larche entre la France et l'Italie.

Le dispositif fourni par Maccaferri France allie des structures de protection de pointe, des systèmes de détection sophistiqués et une planification méticuleuse. (Voir article page 78).





# PROTECTION CONTRE LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX DE LA RD 900 SUR LE SECTEUR DE LA ROCHAILLE (04)

AUTEURS : ÉLÉNA METZ, INGÉNIEUR GÉOLOGUE RISQUES NATURELS, GÉOLITHE - ALBERTO GRIMOD, DIRECTEUR GÉNÉRAL ET RESPONSABLE DU DÉPARTEMENT RISQUES NATURELS, FRANCE MACCAFERRI

SITUÉE DANS LE DÉPARTEMENT DES ALPES-DE-HAUTE-PROVENCE, LA ROUTE DÉPARTEMENTALE RD900 RELIE LA VALLÉE DE LA DURANCE À L'ITALIE PAR LE COL DE LARCHE. LE SECTEUR DIT DE LA ROCHAILLE, SITUÉ ENTRE LES PR103+160 ET PR 106+090, EST SOUMIS À DE FRÉQUENTES CHUTES DE PIERRES ET DE BLOCS AINSI QU'À DES COULÉES DE BOUE ET DES AVALANCHES. L'ITINÉRAIRE JOUE UN RÔLE IMPORTANT DANS LE TRANSPORT ROUTIER INTERNATIONAL ENTRE LA FRANCE ET L'ITALIE AINSI QUE POUR LE TOURISME ET CONTRIBUE AU DÉVELOPPEMENT DE L'ACTIVITÉ ÉCONOMIQUE LOCALE. ET LORSQUE CE TRONÇON DE ROUTE EST BARRÉ, LES HABITANTS DE VAL D'ORONAYE SE RETROUVENT ISOLÉS DU RESTE DE LA VALLÉE.

## HISTORIQUE ET LOCALISATION

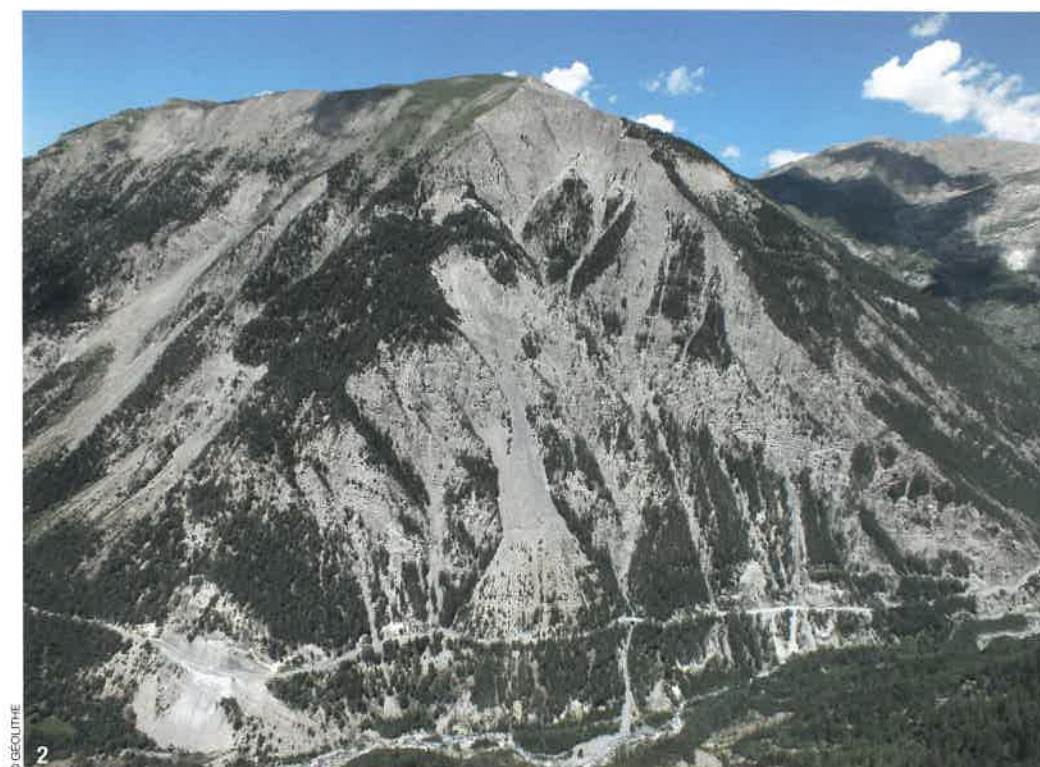
De nombreux événements sont recensés sur le secteur de la Rochaille, dont plusieurs éboulements de volume supérieur à 500 m³. On déplore deux accidents mortels dus à des chutes de pierres en 1959 et 1987. Dès 1994, la récurrence des événements

a conduit le département des Alpes de Haute-Provence à mettre en place 300 m d'écrans de filets pare-blocs sur une partie du linéaire. La fréquence des éboulements reste néanmoins importante sur l'itinéraire avec une trentaine d'événements significatifs recensés depuis 2010 et des chutes

1- Ligne d'écrans EPFM 5000.

1- Line of EPFM 5000 screens.

régulières de pierres et petits blocs. Au niveau de la Rochaille, la route se situe à une altitude de 1 400 m, en pied d'un versant raide de 1 000 m de dénivelé, dominé par le sommet de la Tête de l'Homme. Les formations géologiques correspondent au flysch à Helminthoïdes composant la nappe du



Parpaillon. La morphologie de la zone est marquée par des escarpements rocheux fortement plissés et fracturés, recoupés par de grands couloirs orientés nord-sud. En partie centrale de la Rochaille se trouve un vaste éboulis actif de plus de 400 m de dénivelé, s'étendant sur un linéaire de 300 m au niveau de la route. En 2001, suite à un événement important ayant détruit les

2- Vue générale du secteur de La Rochaille.  
3- Sectorisation du linéaire étudié.

2- General view of La Rochaille sector.  
3- Sectoring of the length in question.

écrans de filets existants, un dispositif de détection des éboulements a été installé sur cette zone (figure 3). En 2018, le département des Alpes-de-Haute-Provence a décidé d'engager des travaux de sécurisation de la RD900. Le principe de sécurisation retenu consiste en la réalisation de galeries génie civil pare-blocs au droit des couloirs principaux et la mise en

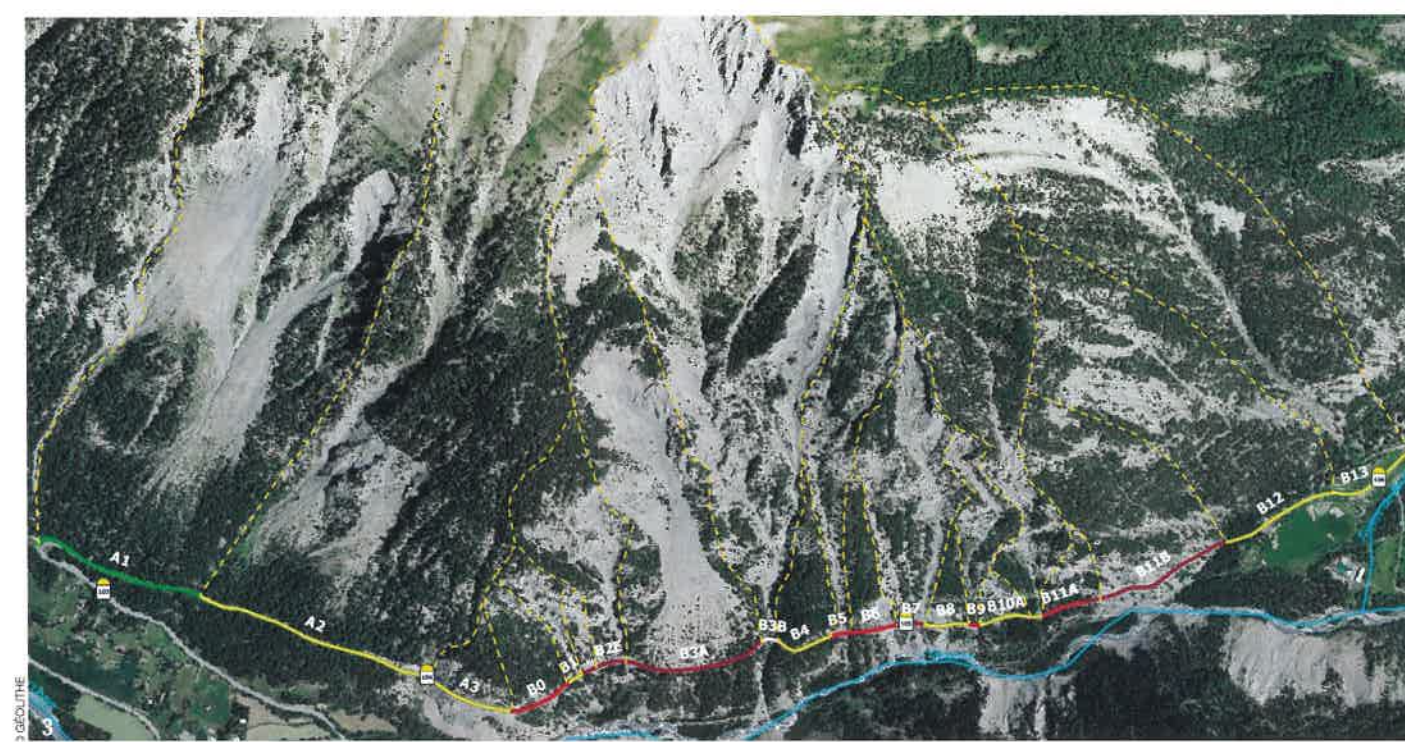
place de parades de type écrans de filets pare-blocs, écrans déflecteurs ou parades actives (confortement ou déroctage) dans les versants situés entre les couloirs. Le bureau d'études Géolithe a été missionné pour réaliser les études de conception des parades de protection contre les éboulements rocheux.

La première phase de travaux a débuté en mars 2021 et concerne la sécurisation des zones de versant.

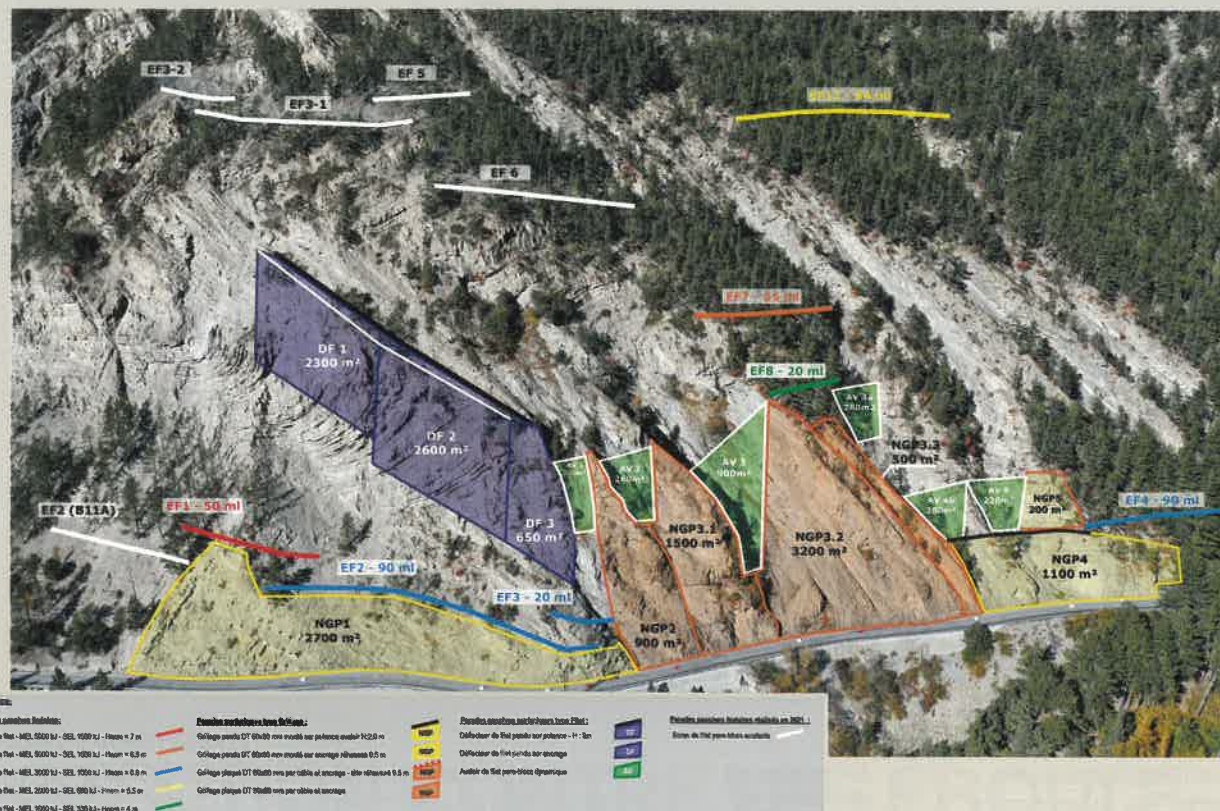
Les travaux sont réalisés par l'entreprise Epc France. Sept secteurs ont déjà été sécurisés, représentant un linéaire total de route de 830 m environ. En parallèle, les études de conception des galeries pare-blocs réalisées par Géolithe permettent de préparer la deuxième phase de travaux dont le démarrage est prévu en 2024. Le montant global de l'opération (sécurisation des versants et galeries pare-blocs) est estimé à 40 M€ TTC. Il est financé à hauteur de 52 % par le département, 24 % par la Région et 24 % par l'État.

## CONCEPTION DES STRUCTURES DE PROTECTION

En 2019 et 2020, le bureau d'étude Géolithe a réalisé les études de conception des parades de protection contre les éboulements rocheux. L'étendue importante de la zone d'étude et les difficultés d'accès a conduit à combiner des reconnaissances hélicoptères, pédestres, sur corde et au moyen de drones.



## EXTRAIT DE L'ÉTUDE DE PROJET DE GÉOLITHE : IMPLANTATION DES PARADES



4

Le diagnostic s'est également appuyé sur un Modèle Numérique de Terrain (MNT) dérivé d'un levé photogrammétrique géoréférencé de l'ensemble du versant. Les parades de protection ont été conçues pour chaque secteur en prenant en compte les phénomènes en présence, la morphologie du versant et les contraintes propres à la zone d'étude, avec pour objectif d'aboutir à un aléa résultant faible au niveau de la route. Plusieurs secteurs présentent une morphologie relativement simple caractérisée par une barre rocheuse en amont d'un versant boisé encadré par deux couloirs, avec un talus raide en pied. Sur ces secteurs, le principe de parade retenu consiste en la mise en place d'écrans de filets pare-blocs en partie inférieure du versant associée au traitement individuel par confortement ou déroctage des compartiments rocheux dépassant les capacités des écrans. L'objectif a été de limiter au maximum les traitements individuels de compartiments sur les barres rocheuses, celles-ci étant difficiles d'accès et très actives. Sur certains secteurs, le dimensionnement réalisé à l'aide de simulations trajectographiques a donc conduit à recommander des écrans de filet à haute capacité d'énergie (5 000 kJ).



4- Extrait de l'étude de projet de Géolithe : implantation des parades.

5- Avaloirs composés de dissipateurs d'énergie et filets à anneaux MacRing.

6- Écrans pare-blocs EPFM 5000 en versant.

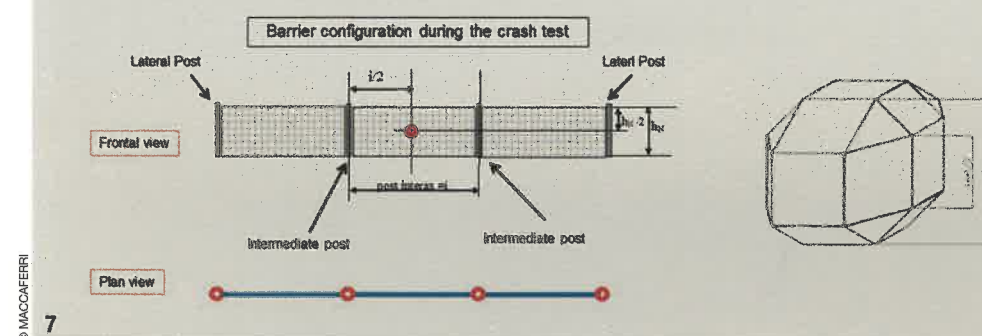
4- Excerpt from the Géolithe design study: layout of safety systems.

5- Road gullies consisting of energy dissipators and MacRing ring nets.

6- EPFM 5000 rock fall protection barriers on the slope.

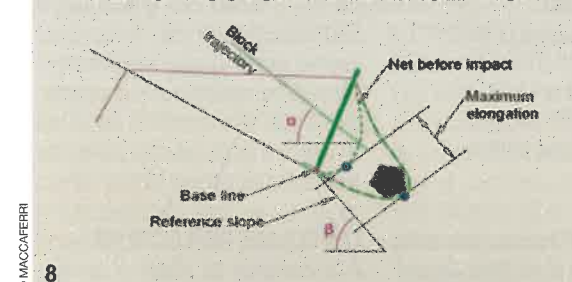
Sur les cinq secteurs concernés, les écrans de filets pare-blocs mis en place présentent des capacités énergétiques entre 750 et 5 000 kJ et des hauteurs entre 3 et 7 m (figure 1). Les talus ont été traités par purge puis mise en place de parades surfaciques

## CONFIGURATION DE LA BARRIÈRE LORS DES ESSAIS



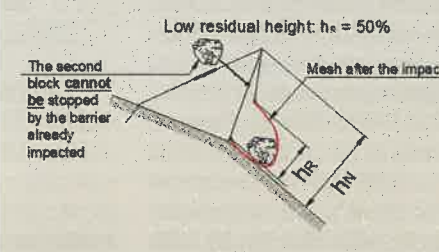
7

## ALLONGEMENT MAXIMAL DYNAMIQUE DE LA STRUCTURE D'INTERCEPTION



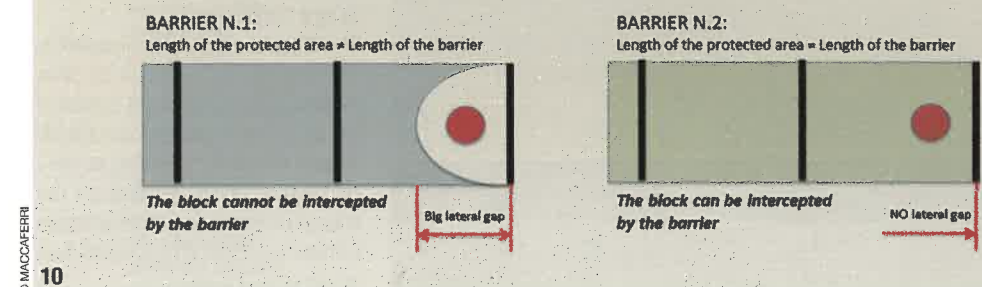
8

## HAUTEUR RÉSIDUELLE



9

## OUVERTURE LATÉRALE MAXIMALE DE LA STRUCTURE D'INTERCEPTION



10

de type grillages plaqués ou pendus. Pour les secteurs de morphologie plus complexe, une stratégie alternative de sécurisation a été adoptée. En particulier, le secteur situé entre les PR105+360 et 105+650 présente une pente de plus en plus raide de l'amont vers l'aval. En partie amont, ce secteur est caractérisé par un versant boisé raide avec plusieurs grandes zones rocheuses. En aval, le versant est subvertical sur 40 à 60 m de dénivelé, il est entièrement rocheux et entaillé par 5 profonds couloirs débouchant sur la route. Cette zone très active domine directement la RD900. Sur ce secteur, des écrans de filets pare-blocs ont été mis en place en partie haute du versant, avec pour but de stopper la propagation des phénomènes potentiels avant la zone raide en aval. En partie basse du versant, chaque grand couloir a ensuite

été fermé à l'aide de déflecteurs avaloirs freinés de capacité d'absorption d'énergie variant entre 1 000 et 3 000 kJ. Les éperons rocheux situés entre les couloirs ont quant à eux été sécurisés à l'aide de grillages plaqués. Les compartiments rocheux dépassant les capacités des parades passives ont été confortés à l'aide de boulons d'ancrage, de câblages ou de filets de câbles plaqués (figures 4, 5 et 6).

## ÉCRANS PARE-BLOCS DYNAMIQUES

Les écrans pare-blocs dynamiques se distinguent par leur capacité à absorber l'énergie cinétique, principalement par la déformation, développée par des blocs rocheux en chute. Ces systèmes sont catégorisés comme des mesures passives de protection, car ils sont généralement installés à une distance considérable de la source potentielle

de chute de blocs. Leur utilisation est justifiée lorsque les zones de départ des blocs sont dispersées et que des contraintes topographiques ou économiques limitent le recours à d'autres types de dispositifs de protection. L'objectif principal des écrans pare-blocs dynamiques est de ralentir et d'arrêter la propagation de blocs rocheux susceptibles de posséder une énergie cinétique significative, variant de 100 kJ à plus de 11 MJ. La faible empreinte au sol de ces écrans permet leur installation sur des pentes abruptes, telles que des falaises verticales, des éboulis ou des couloirs sujets aux chutes de blocs rocheux. Un écran pare-blocs dynamique se compose des éléments suivants :

→ La structure de soutien, généralement constituée de poteaux métalliques, a pour rôle de maintenir la structure d'interception en place.

7- Configuration de la barrière lors des essais.

8- Allongement maximal dynamique de la structure d'interception.

9- Hauteur résiduelle.

10- Ouverture latérale maximale de la structure d'interception.

7- Configuration of the barrier during testing.

8- Maximum dynamic elongation of the interception structure.

9- Residual height.

10- Maximum side opening of the interception structure.

→ La structure d'interception, qui peut prendre la forme d'une nappe de filet (de câble ou à anneaux) ou d'un grillage métallique, est chargée de supporter directement l'impact de la masse en se déformant élastiquement et/ou plastiquement, tout en transmettant les forces à la structure de soutien et aux composants de liaison ;

→ Divers composants de liaison, tels que des câbles et des freins, sont responsables de la transmission des forces vers les fondations (ancrages). Il convient de noter que les fondations ne sont pas incluses dans le kit, car leur dimensionnement relève de la responsabilité du concepteur, qui doit se conformer aux normes nationales et aux caractéristiques du sol.

## ESSAIS EN GRANDEUR RÉELLE (EAD 340059-00-0106)

Afin d'évaluer les performances et de comparer le comportement des écrans pare-blocs dynamiques, l'Organisation Européenne pour les Évaluations Techniques (EOTA) a publié en 2008 le Guide ETAG 027, lequel a été remplacé en juillet 2018 par le Document d'Évaluation Européenne EAD 340059-00-0106. Ce dernier constitue aujourd'hui la référence mondiale en matière d'écrans pare-blocs, exigeant des tests en grandeur réelle pour garantir une comparaison objective.

De plus, il assure la qualité des produits testés, car les fabricants obtiennent le marquage CE pour leurs kits de protection en se conformant aux spécifications édictées par l'ETAG.

L'ETAG 027 a standardisé le processus de réalisation des essais en conditions réelles sur les écrans pare-blocs (kits). Cette standardisation inclut les éléments suivants (figure 7) :

- La forme, les dimensions et la densité du bloc utilisé lors des tests ;
- La géométrie de l'écran à évaluer ;
- Les caractéristiques de l'impact ;
- Une vitesse minimale d'impact d'environ 90 km/h (25 m/s) ;
- Le site de test, qui doit avoir la capacité de propulser le bloc d'essai à la vitesse d'essai contre le kit. Le site peut être vertical ou incliné, à condition qu'il soit garanti qu'aucune interférence ne se produira entre le bloc et le terrain pendant l'impact ;
- La réalisation de trois essais sur deux écrans distincts : le premier kit doit être en mesure d'arrêter l'énergie maximale absorbable par le kit (Niveau d'Énergie Maximum : MEL, par exemple 3000 kJ), tandis que le deuxième kit (équivalent au premier) doit stopper deux impacts consécutifs à l'énergie de service (Niveau d'Énergie de Service : SEL, par exemple 1000 kJ).

Lors de ces essais (MEL et SEL), les performances à enregistrer incluent :

- L'énergie d'impact (à la fois pour le MEL et le SEL) ;
- L'allongement maximal dynamique de la structure d'interception (figure 8) ;
- La hauteur résiduelle, représentant la distance minimale entre le câble de rive inférieur et le câble de rive supérieur (figure 9) ;
- L'ouverture latérale maximale de la structure d'interception, mesurant la distance maximale entre le poteau latéral et la structure d'interception (figure 10) ;
- Les forces agissant sur les fondations ;
- La documentation photographique et les descriptions des dommages subis par le kit de protection pendant le test.

### LES ÉCRANS PARE-BLOCS INSTALLÉS À LA ROCHAILLE

L'entreprise Epc France, pour ce chantier de protection de la RD900, a choisi des écrans pare-blocs certifiés CE. Cette décision a été prise dans le but de simplifier l'installation, réduisant ainsi



le risque d'exposition des ouvriers aux éventuelles chutes de blocs rocheux. Parmi les avantages de pose, on souligne l'absence d'ancrages en pied de poteaux (pour les écrans RB 3000 WGC et EPFM 5000), la présence de marches sur les poteaux (RB 2000 et RB 3000 WGC), l'ouverture en rideaux des filets de la structure principale (RB 1000, RB 1500, RB 2000, RB 3000 WGC et EPFM 5000). De plus, ces écrans se distinguent par d'excellentes performances en termes de hauteurs résiduelles, d'élongations

**11- Ligne d'écrans  
RB 3000.  
12- Avaloirs.**

**11- Line of  
RB 3000 screens.  
12- Road gullies.**

dynamiques et d'espacement latéral entre les poteaux et les filets. On souligne aussi que les écrans RB 2000 et RB 3000 WGC ont été testés, avec succès, avec un troisième test SEL sur

**TABEAU A : CARACTÉRISTIQUES DE PERFORMANCE  
DES ÉCRANS INSTALLÉS SUR LE SITE  
(PERFORMANCES BASÉES SUR LES ESSAIS MEL)**

| Écran       | Énergie  | Déformation | Hauteur résiduelle | Ouverture latérale |
|-------------|----------|-------------|--------------------|--------------------|
| RB 750      | 774 kJ   | 4,21 m      | 58 %               | aucune             |
| RB 1000     | 1 092 kJ | 4,63 m      | 70 %               | aucune             |
| RB 1500     | 1 637 kJ | 5,80 m      | 62 %               | aucune             |
| RB 2000     | 2 060 kJ | 6,42 m      | 71 %               | aucune             |
| RB 3000 WGC | 3 024 kJ | 7,06 m      | 69 %               | aucune             |
| EPFM 5000   | 5 500 kJ | 8,25 m      | 51 %               | aucune             |



la structure déjà impactée et déformée par les 2 essais SEL prévus par le EAD 340059-00-0106.

Dans le tableau A, nous présentons en détail les caractéristiques de performance des écrans installés sur le site en question (performances basées sur les essais MEL) (figure 11).

### LES ÉCRANS DÉFLECTEURS

À la demande du maître d'ouvrage, l'entreprise Epc France a fait appel à l'entreprise France Maccaferri pour la conception de dispositifs de protection de type "déflecteur".

Un déflecteur est un système passif de protection contre les chutes de blocs rocheux, composé d'un filet à anneaux (ou de câbles) suspendu à un câble de support horizontal, maintenu au-dessus de la surface d'une pente par des poteaux ou suspendu par des ancrages à travers un couloir et directement fixés au rocher.

L'objectif principal des déflecteurs est de contrôler la descente des rochers en atténuant leur énergie et leur vitesse grâce à la structure d'interception.

De plus, leur installation peut se faire plus en amont sans engendrer de coûts d'entretien supplémentaires, tout en étant capable de capturer des blocs de plus grande énergie avec une infrastructure de clôture moins robuste (Badger et al. 2008, Smerekanicz et al. 2008, Badger 2007).

La bonne efficacité de ces ouvrages et leur facilité de mise en œuvre sont indéniables. Cependant, il convient de noter qu'à la différence des écrans pare-blocs, ces structures ne font pas l'objet de tests selon un protocole standardisé.

Sur ce point, Maccaferri a su concevoir avec succès les déflecteurs qui ont été installés dans plusieurs couloirs identifiés par le bureau d'étude Géolithe. Cette réussite découle de l'expérience solide de Maccaferri dans les



13

essais relatifs aux écrans pare-blocs, des essais de caractérisation de ces grillages et filets selon les normes EN 10223-3, ISO 17745, ISO 17746, UNI 11437, ainsi que des essais menés par le Colorado Department of Transportation (Arndt et al., 2009) (figure 12).

### LA TECHNOLOGIE AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ POUR LES USAGERS DE LA ROUTE

Au-delà de l'utilisation de structures de protection rigoureusement testées et certifiées (écran pare-blocs EAD 340059-00-0106) ou calculés selon des procédés avancés (déflec-

teurs), le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre ont également embrassé les dernières innovations technologiques pour renforcer la sécurité.

Parmi ces avancées significatives, se distingue le système HelloMac, une solution d'alerte intelligente conçue pour détecter des incidents graves



14

tels que les impacts, les chutes de blocs et les déformations des talus le long des écrans pare-blocs. HelloMac offre la possibilité de réagir instantanément face à des menaces potentielles (figure 13).

Le chantier de La Rochaille marque un tournant décisif en devenant le premier en France à intégrer le système HelloMac. Cette technologie innovante a été déployée aussi bien sur les écrans fournis par France Maccaferri que sur ceux déjà en place depuis 2019. En cas d'impact, une série de niveaux d'alerte est activée, ce qui permet une réaction rapide et adaptée aux menaces. Cette technologie avancée réduit de manière significative les délais d'intervention et renforce la sécurité sur la route de La Rochaille.

Le système a été minutieusement calibré par les techniciens de Maccaferri pour détecter, en fonction de l'emplacement de la ligne d'écran sur le versant, tout impact potentiel au niveau de l'énergie maximale absorbable (MEL) et/ou de l'énergie de service (SEL).

Les HelloMac, directement intégrés aux structures de protection passives, sont connectés via une liaison radio à deux centrales d'acquisition (Hubir). En cas d'incident, ces centrales déclenchent des signaux d'alerte directement situés sur la route (feux, panneaux de signalisation et sirènes) et envoient un message instantané aux équipes en charge de la gestion, de l'entretien et de la sécurité de la route, via une application sur smartphone. Étant donné la localisation géographique du site et les défis liés au réseau téléphonique, les centrales Hubir communiquent avec un serveur central par satellite (figure 14). □

### PRINCIPALES QUANTITÉS

**ÉCRANS PARE-BLOCS : 1500 m**  
**FILETS À ANNEAUX : 1900 m²**  
**HELLOMAC : 18 u**

### PRINCIPAUX INTERVENANTS

**MAÎTRE D'OUVRAGE ET MAÎTRE D'ŒUVRE :**  
**Département des Alpes-de-Haute-Provence**  
**ÉTUDE DE CONCEPTION ET SUPERVISION GÉOTECHNIQUE**  
**D'EXÉCUTION : Géolithe**  
**ENTREPRISE MANDATAIRE : Epc France**  
**FABRICANT ET FOURNISSEUR : France Maccaferri**

### ABSTRACT

#### PROTECTION AGAINST ROCK FALLS ON COUNTY ROAD RD900 IN THE LA ROCHAILLE SECTOR (04)

ÉLÉNA METZ, GÉOLITHE - ALBERTO GRIMOD, FRANCE MACCAFERRI

Ensuring the safety of the La Rochaille passage represents a major challenge, essential for the whole region. This project, focusing on the protection of travellers and local residents and on maintaining economic and tourist activities, represents the apogee of contemporary engineering and technological innovation. The combination of cutting-edge protection structures, sophisticated detection systems and meticulous planning marks a significant milestone in ensuring safety along this strategic highway linking France and Italy. Even while works are continuing, La Rochaille stands out as an example in the use of new technologies to increase the level of protection from natural risks in sensitive areas that are hard to access. □

#### PROTECCIÓN DE LA RD900 CONTRA LOS DESPRENDIMIENTOS DE ROCAS EN EL SECTOR DE LA ROCHAILLE (DPTO. 04)

ÉLÉNA METZ, GÉOLITHE - ALBERTO GRIMOD, FRANCE MACCAFERRI

La protección del paso de la Rochaille supone un reto considerable, esencial para el conjunto de la región. Este proyecto, centrado en la protección de los viajeros y los residentes locales y en la preservación de las actividades económicas y turísticas, encarna el apogeo de la ingeniería contemporánea y la innovación tecnológica. La alianza de estructuras de protección punteras, sofisticados sistemas de detección y una meticulosa planificación marca un hito importante en términos de garantía de seguridad a lo largo de esta carretera estratégica que une Francia e Italia. Con la obras actualmente en curso, la Rochaille se impone como un ejemplo de utilización de nuevas tecnologías para mejorar el nivel de protección contra los riesgos naturales en zonas sensibles y de difícil acceso. □

# Engineering a Better Solution

**Rejoignez notre  
communauté technique !**



**MACCAFERRI**



**Ouvrages de soutènement :**

En haut : Échangeur de La Paoute (06)  
TerraMesh® System

En bas : Sécurisation et consolidation  
du talus des Bergers (38)  
ReadyMac