

LUTTE CONTRE LES INSTABILITES SUPERFICIELLES DE TALUS: LE PAREMENT **ELITE®**

ELITE® FACING SYSTEM: A NEW APPROACH FOR SUPERFICIAL ROCK SLOPE STABILISATION

Philippe ROBIT ¹, Daniel DIAS ²

¹ NGE Fondations

² 3SR Grenoble

RÉSUMÉ – NGE Fondations a développé son propre système de parement pour lutter contre les instabilités de surface. Ce parement est dimensionné sur la base d'un modèle géotechnique spécifique qui a été élaboré en partenariat avec le laboratoire 3SR. Une campagne expérimentale a permis de déterminer les valeurs de résistances caractéristiques nécessaires pour justifier l'ouvrage.

ABSTRACT – NGE Fondations has developed its own facing system to prevent superficial instabilities. ELITE® facing is designed with a specific geotechnical model developed in partnership with the 3SR laboratory at the University of Grenoble-Alpes. An experimental campaign has rated the mechanical characteristics used for the dimensioning calculation.

1 Introduction

Les petits éboulements liés aux instabilités superficielles des talus anthropiques perturbent quotidiennement la viabilité des infrastructures routières et ferroviaires. Ces désordres de surface, mineurs mais nombreux, pèsent sur les coûts de maintenance des Maîtres d'Ouvrages. La plupart du temps, ils sont traités à base de grillage pendu, fascines, revégétalisation ou purge des matériaux, en suivant des règles empiriques dont l'application aléatoire conduit régulièrement à des défauts de fonctionnement des ouvrages réalisés, ce qui se traduit par des coûts de maintenance supplémentaires.



Figure n°1 : Exemple de talus affectés de désordres superficiels

Face à ce constat, NGE Fondations a voulu développer une solution complète intégrant un parement spécialement conçu pour cette application, un outil expérimental destiné à en caractériser les performances mécaniques et un modèle de calcul simple et robuste permettant de sortir de la préconisation « à dire d'expert ».

2 Description du parement ELITE®

Le parement est constitué de trois composants :

- un grillage qui assure le plaquage du terrain sur toute sa surface,
- un maillage de câble qui renforce le grillage,
- une platine de jonction qui transmet les efforts aux ancrages.



Figure n°2 : Parement ELITE®

L'homogénéité du parement s'appuie sur cette combinaison entre un composant surfacique, un composant linéaire et un composant ponctuel. Ce principe de transfert progressif de l'action du terrain vers le réseau d'ancrage permet de diminuer les sur-contraintes locales et rend le système efficient, soit efficace à moindre coût.

La platine de jonction du parement a plusieurs fonctions :

- elle transmet les efforts du maillage de câbles vers les ancrages,
- elle bloque le coulisement des câbles afin de maintenir leur tension même en cas de rupture du câble,
- elle permet la mise en place de câbles complémentaires sur l'ancrage.

Les constituants des platines sont galvanisés à chaud suivant la norme ISO1461, y compris cavaliers et écrous. Pour une meilleure traçabilité, l'ensemble de ces éléments est fabriqué en France.

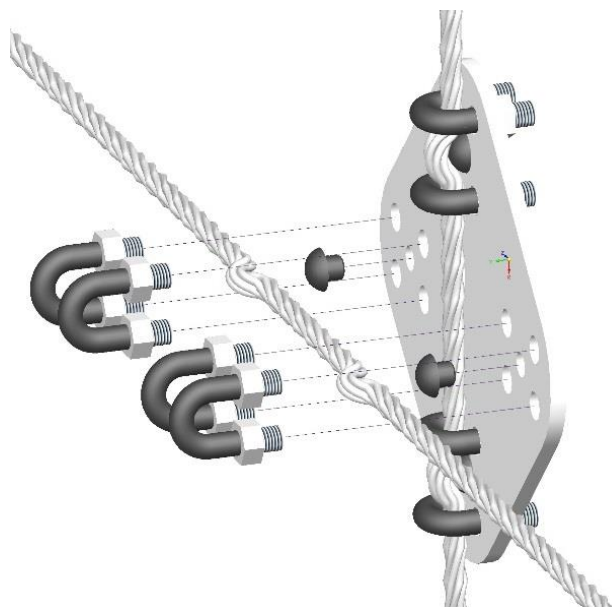


Figure n°3 : Principe de fixation du câble

Sa mise en œuvre est simplifiée par rapport aux pontages de câble et serre-câbles préconisés jusqu'à présent. Les rendements de pose s'en trouvent augmentés et les coûts de maintenance sont réduits.

3 Caractérisation du parement

En dehors des considérations de durabilité, le parement ELITE® est dimensionné à l'Etat Limite Ultime. Pour l'intégration de son action résistante dans le calcul, on fait appel aux valeurs caractéristiques qui correspondent aux trois modes de ruptures suivants :

1. Rupture par poinçonnement orthogonal au droit de l'ancrage,
2. Rupture par cisaillement du parement en tête d'ancrage sous l'action de frottement tangentiel du sol,
3. Rupture par pression orthogonale du terrain sur le parement entre le maillage de câble (déchirement du grillage sans prise en compte du renforcement du câblage).

3.1 Banc d'essai spécifique aux parements souples

Les parements souples n'étant pas régis par les eurocodes, deux protocoles d'essais ont été développés afin de caractériser les modes de rupture 1 et 3 qui découlent tous deux d'une action du terrain sous forme de pression homogène orthogonale.

Pour retranscrire ce type de sollicitation, un banc d'essai a été conçu selon les principes suivants :

- Un cadre métallique permet de fixer un échantillon de parement de taille représentatif d'une maille standard (3mx3m).
- Un ancrage est disposé au centre du cadre. Il permet d'appliquer un effort normal au centre de l'échantillon par l'intermédiaire d'un vérin creux.
- Sous le cadre est disposé un réservoir rigide contenant deux poches d'eau en membrane souple disposées de part et d'autre de l'ancrage. Les poches ont une contenance volumique supérieure à celle du réservoir pour éviter toute mise en tension de la membrane qui interférerait sur l'essai. Les deux poches d'eau communiquent entre elles afin d'assurer l'équilibre des pressions. Le volume d'eau est ajustable en fonction de la nature de l'essai à réaliser.

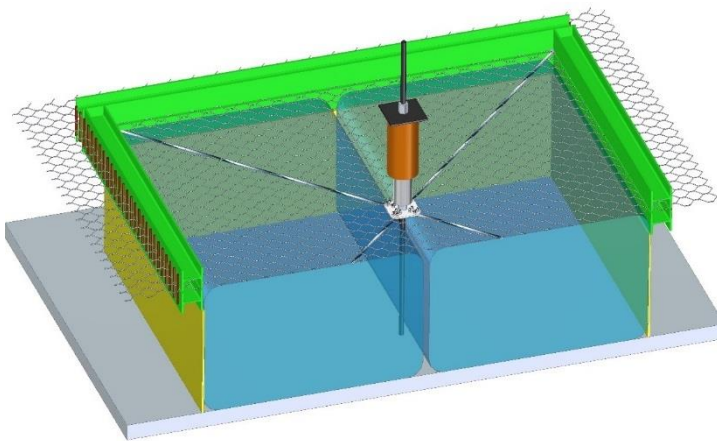


Figure n°4 : Vue en coupe du banc d'essai et essai de poinçonnement en cours

Ce banc d'essai est instrumenté comme suit :

- Effort central appliqué par le vérin par une cellule creuse à jauge de contrainte,
- Déplacement orthogonal du centre de l'échantillon par un extensomètre à fil,
- Pression au niveau du parement par capteur de pression branché sur la partie supérieure de la membrane.

3.2 Résultats des essais de poinçonnement

En plus de la configuration classique d'un parement muni de deux câbles sur ancrage (courbes bleues), des essais ont été réalisés avec un seul câble (courbes vertes) puis sans câble (courbes oranges). Ils mettent en évidence l'intérêt d'un système combinant grillage et câblage par rapport à un grillage simple sur ancrage.

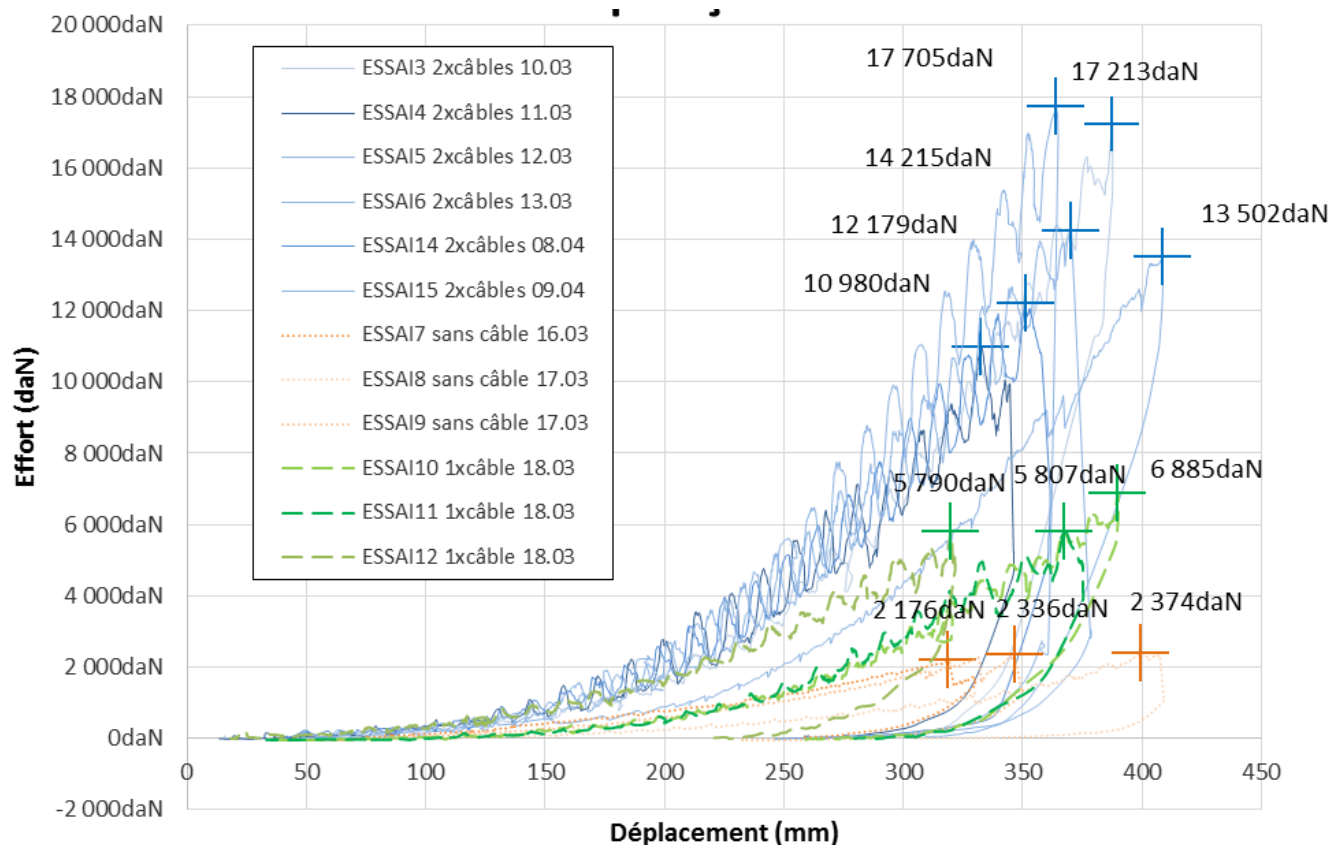


Figure n°5 : Courbe d'essai de poinçonnement

3.3 Résultats des essais de pression sur grillage



Figure n°6 : Essai et courbe de mise en pression

En intégrant les pressions maximales obtenues sur les tailles de maillage classique (ex : 3m x 3m), on constate que ce mode de rupture n'est que rarement dimensionnant au vu des résistances au poinçonnement observées.

4 Dimensionnement

Parmi les diverses techniques de traitement de talus naturels, les ouvrages en grillages représentent sans conteste la plus grande surface cumulée. Pour autant, c'est sans doute dans ce domaine que l'approche du dimensionnement est la plus pauvre : la plupart des sujets sont traités en suivant des préconisations basées non pas sur une note de calcul mais sur le retour d'expérience du maître d'œuvre. Ce principe peut mener à des dérives si le sujet n'est pas pleinement maîtrisé par le préconisateur.

Quelques modèles de dimensionnement ont vu le jour (Bertrand et al., 2008) notamment pour les grillages à haute résistance (Justo et al., 2014). Basé sur des principes de glissements plans ou dièdres, ils n'ont aujourd'hui jamais été mis en défaut mais leur association exclusive à un produit donné empêche la mise en concurrence lors des consultations.

Se basant sur son expérience dans le domaine des travaux d'accès difficile, des parois clouées et plus généralement des ouvrages géotechniques, NGE Fondations propose une nouvelle approche de dimensionnement de ces ouvrages basée sur trois préceptes principaux :

- prise en compte d'un gradient de surface sur les caractéristiques mécaniques du sol,
- intégration du modèle Bishop-Fellenius qui fait ses preuves depuis maintenant 60 ans,
- modélisation de l'action de renforcement du parement par un couple résistant extérieur.

4.1 Modèle géotechnique du sol

Pour modéliser le phénomène d'instabilité superficielle, on définit une couche de sol de surface parallèle à la pente au sein de laquelle les paramètres de résistance (cohésion et angle de frottement) sont affectés d'un gradient :

- En limite inférieure de la couche, ces paramètres prennent des valeurs C_{nom} , ϕ_{nom} représentatives du sol constitutif du talus réputé stable dans son ensemble.
- En limite supérieure de la couche, on fixe un deuxième jeu de paramètres C_{min} , ϕ_{min} représentatives du terrain dégradé de surface. Les valeurs prennent en compte la perte de cohésion et la décompression du terrain induite par les facteurs d'érosion.

Par défaut, le gradient entre ces valeurs limites est considéré linéaire. Un mode expert permet d'étudier d'autres types de gradient.

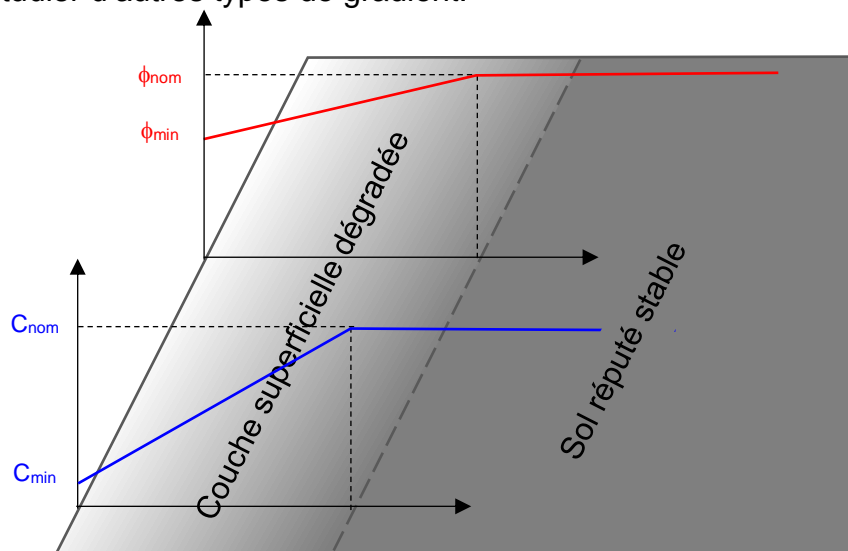


Figure n°7 : Gradient de la cohésion et de l'angle de frottement sur la couche superficielle

Généralement, les enjeux relativement modestes de ces ouvrages ne permettent pas de mener les investigations géotechniques nécessaires pour quantifier ces paramètres de surface par des essais. Le modèle peut donc être simplifié en considérant que C_{\min} est nul et ϕ_{\min} est égal à ϕ_{nom} ce qui correspond au cas classique des petites chutes de blocs superficiels par perte de cohésion sans décompression du terrain. En fonction des observations faites sur le terrain, les paramètres C_{nom} et ϕ_{nom} peuvent être calés par rétrocalcul sur la stabilité du talus.

4.2 Méthode de calcul

4.2.1 Coefficient de stabilité global

Le calcul de stabilité du parement ELITE® part de la méthode des tranches Bishop-Fellenius simplifiée dont la robustesse a été éprouvée dans le domaine voisin des parois clouées. Son principe est basé sur le bilan des forces agissantes le long de surfaces de rupture de forme circulaire. Pour chaque cercle étudié, on calcule C_s , le coefficient de stabilité global, égal au rapport entre les moments des forces résistantes et des forces motrices par rapport au centre du cercle. Le cercle réputé le plus instable est celui dont C_s est le plus petit. Pour prendre en compte l'imperfection du modèle, on applique le coefficient partiel de modèle $\gamma_{R;d}$ égal à 1.10. Avant mise en place du parement, C_s est donné par la formule suivante :

$$C_s = \frac{1}{\gamma_{R;d}} \times \frac{\sum \text{moments frottement} + \sum \text{moments cohésion}}{\sum \text{moments poids propre du sol}}$$

4.2.2 Prise en compte de l'action résistante du parement

Le postulat d'un mouvement circulaire implique les points suivants :

- la portion de talus au-dessus du point B se déplace vers l'intérieur du massif donc n'applique aucune pression contre le parement,
- la portion de talus en dessous du point B applique une pression sur le parement qui s'accroît linéairement quand on s'en éloigne,
- l'orientation de cette pression est parallèle à la tangente au cercle au point A de sortie du cercle.

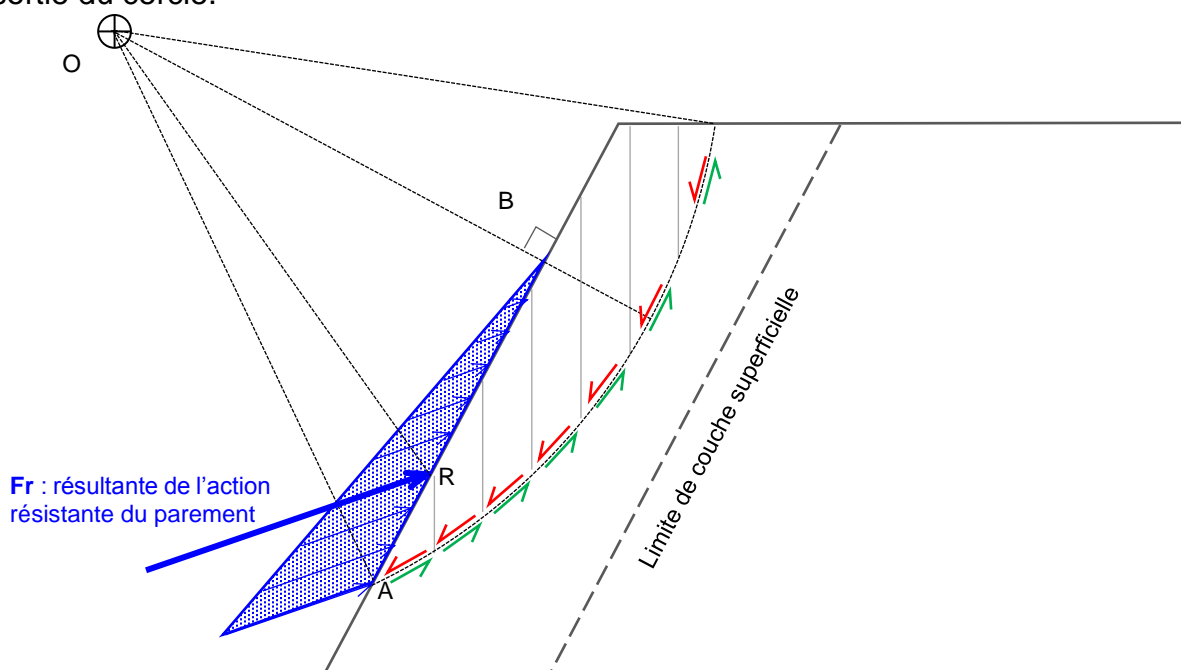


Figure n°8 : Modèle de calcul intégrant la pression du parement

L'action du parement peut donc être modélisée par une pression triangulaire appliquée entre B et A et orientée suivant la tangente au cercle en A. La résultante Fr de cette action résistante est appliquée au point R positionné au tiers de AB. Le moment correspondant à Fr peut alors être intégré à la fraction de calcul du coefficient de stabilité global :

$$C_s = \frac{1}{\gamma_{R;d}} \times \frac{\sum \text{moments}_{\text{frottement}} + \sum \text{moments}_{\text{cohésion}} + Fr \times \|\overline{OR}\|}{\sum \text{moments}_{\text{poids propre du sol}}}$$

Cette équation permet de déterminer **Fr.1** : l'action minimale du parement nécessaire pour équilibrer les moments moteurs et résistants c'est-à-dire permettant de remonter C_s à 1.0.

Remarque : compte tenu de la faible densité du maillage d'ancrage et de l'absence d'information sur la résistance diamétrale du sol dégradé soumis au cisaillement de l'ancrage, l'action résistante des ancrages au niveau de la ligne de rupture n'est pas prise en compte.

4.2.3 Descente de charge sur les constituants du parement

A partir de $Fr.1$, on déduit la descente de charge sur les éléments constitutifs du parement comme suit :

- p_{\max} pression maximale appliquée au parement : $p_{\max} = \frac{1}{2} \frac{F_{r.1}}{A1B \cdot \Delta x}$
- F_{\max} l'effort maximal appliqué en tête d'ancrage : $F_{\max} = p_{\max} \cdot \Delta x \cdot \Delta z$

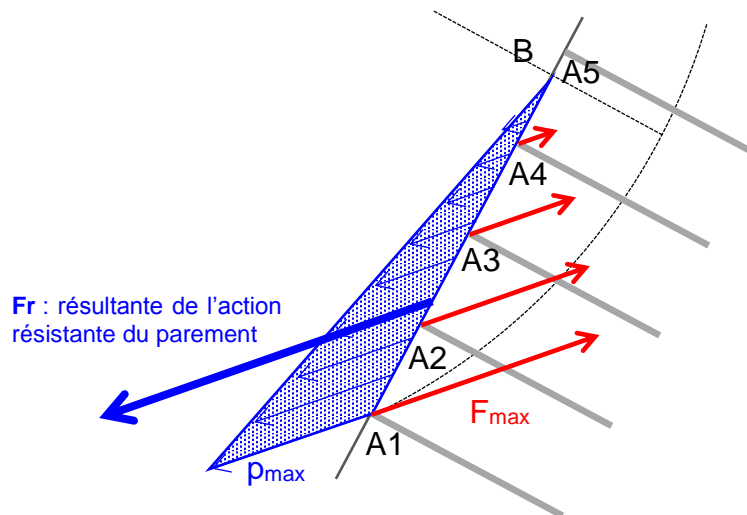


Figure n°9 : répartition des efforts et pression sur les éléments constitutifs du parement

Remarque : Dans une configuration avec un sol superficiel fortement dégradé, le coefficient de stabilité C_s le plus faible correspond à des cercles très proches de la surface, là où la cohésion est très faible. Ce n'est pas forcément ces cercles qui vont engendrer les plus grands efforts sur le parement. C'est pourquoi l'itération du calcul recherche le cercle qui donne non pas la valeur C_s la plus faible mais la valeur de F_{\max} la plus grande.

Les coefficients de sécurité partiels sur les constituants sont ensuite établis en comparant les valeurs de sollicitations maximales aux résistances caractéristiques établies par les campagnes expérimentales. Enfin, on calcule l'effort maximal que peut mobiliser le parement à partir de la projection des résistances caractéristiques du parement sur la tangente au cercle. En injectant cette valeur dans la formule du coefficient de stabilité global, on obtient **Cs.r**, le coefficient de stabilité du talus renforcée.

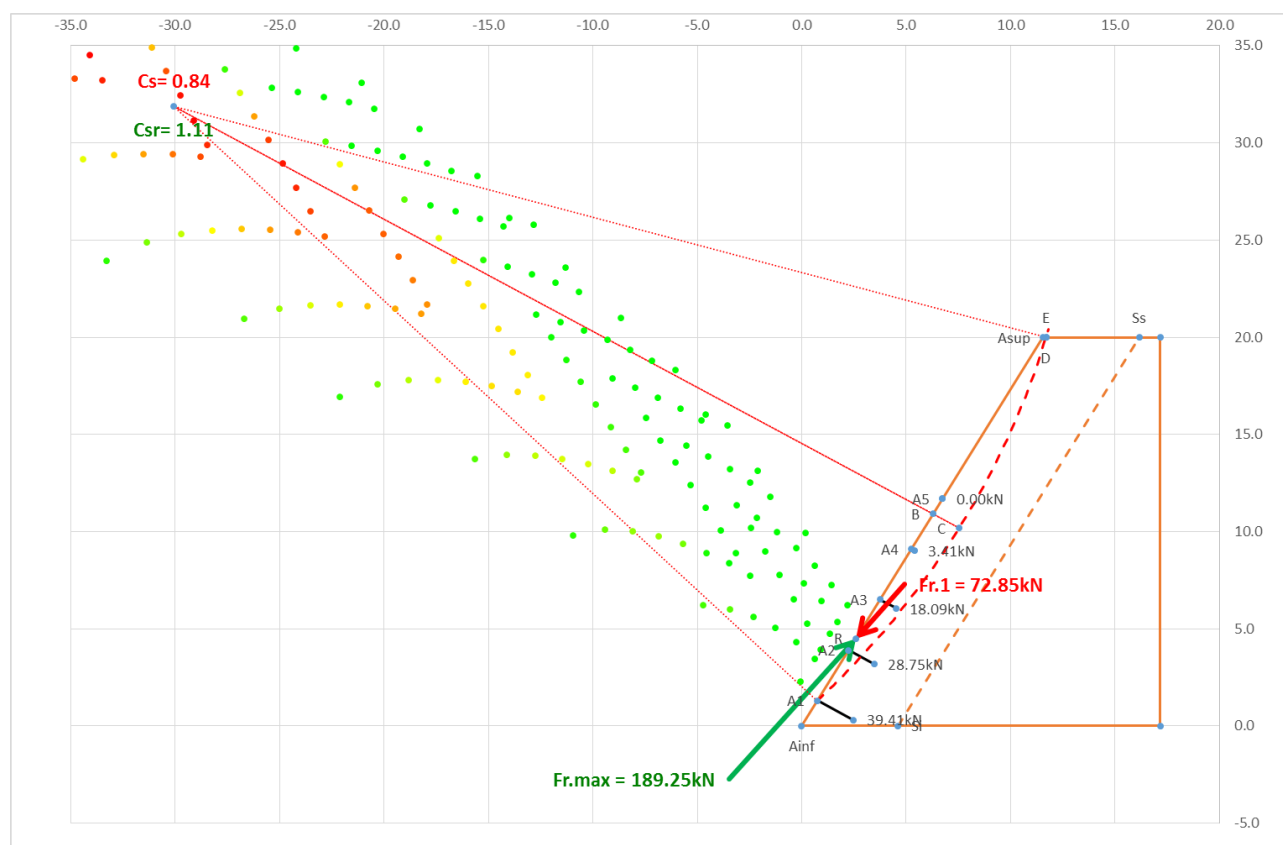


Figure n°10 : Sortie graphique du calcul de stabilité

5 Conclusion

Face aux instabilités superficielles de talus, le parement ELITE® propose aujourd'hui une solution complète qui intègre un parement spécifique, une méthode de caractérisation de ses performances et un modèle de dimensionnement. Cette solution peut aujourd'hui être confrontée aux autres solutions existantes sur le marché afin d'en apprécier les avantages techniques et financiers.

Un sujet connexe doit cependant encore progresser : le comportement des ancrages qui soutiennent ces parements (ainsi que d'autres ouvrages de protection contre les risques naturels) est mal appréhendé. Les réglementations existantes n'apportent pas de solutions satisfaisantes dès lors que la sollicitation intervient en tête d'ancrage avec une forte composante de cisaillement. Il s'ensuit des dimensionnements qui s'appuient sur des méthodes diverses, souvent simplificatrices et parfois dangereuses. Au sein du projet national C2ROP (Chutes de blocs, Risques Rocheux et Ouvrages de Protection), l'ensemble des acteurs de cette thématique travaille à faire progresser ce sujet à travers des campagnes expérimentales et des modélisations numériques qui déboucheront sur des recommandations plus matures.

6 Références bibliographiques

- Bertrand D, Nicot F, Gotteland P, Lambert S. (2008) Discrete element method (DEM) numerical modeling of double-twisted hexagonal mesh. Canadian Geotech J pp1104-1117
- Jose L. Justo Daniel Castro Jose M. Azanon (2014) Environmental and mechanical aspects of an anchored mesh for stabilisation of a cliff at La Alhambra. Bulletin of Engineering Geology and the Environment - Volume 73, pp 667–685