

**Journée du 1/10/2010
Luxembourg Grand Duché**

Chutes de blocs et trajectographies

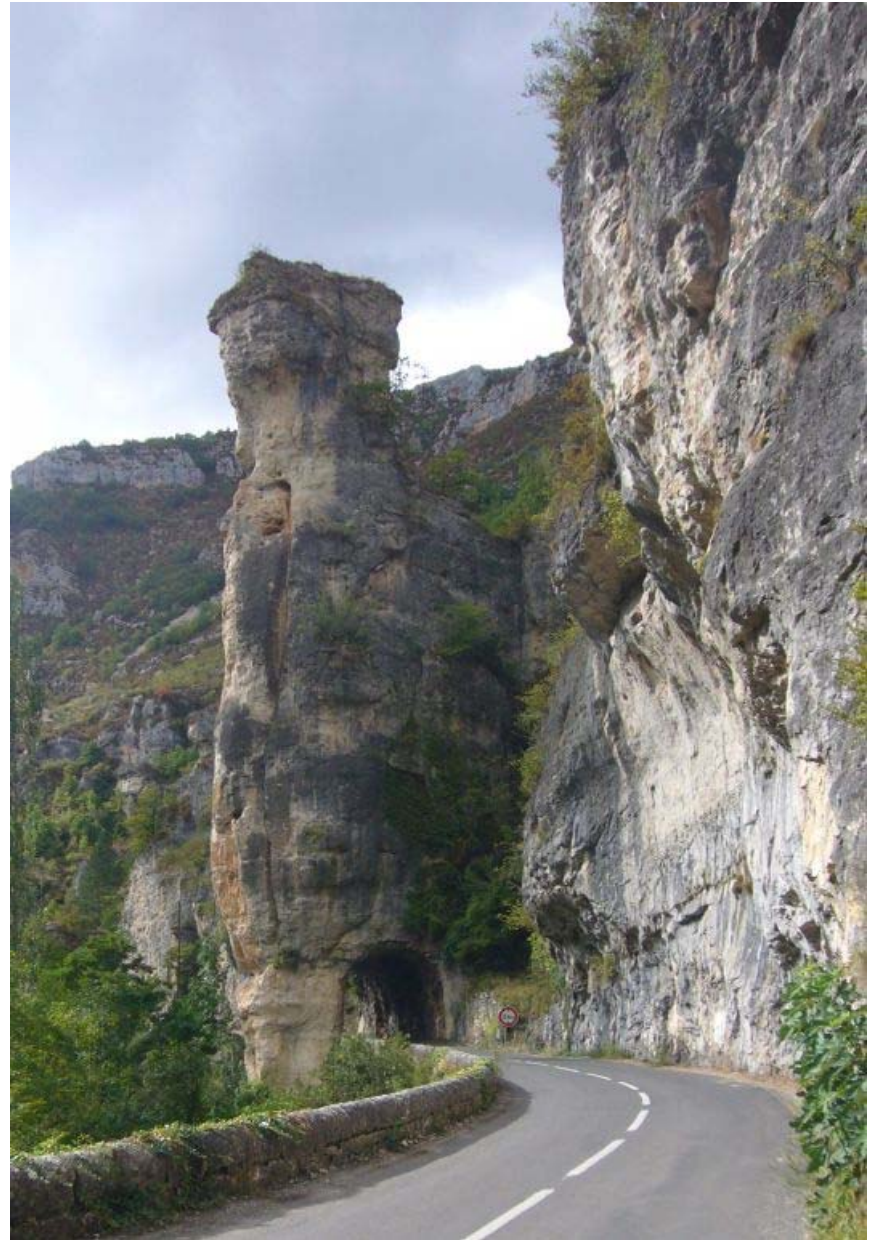
Par R.M. Faure
France



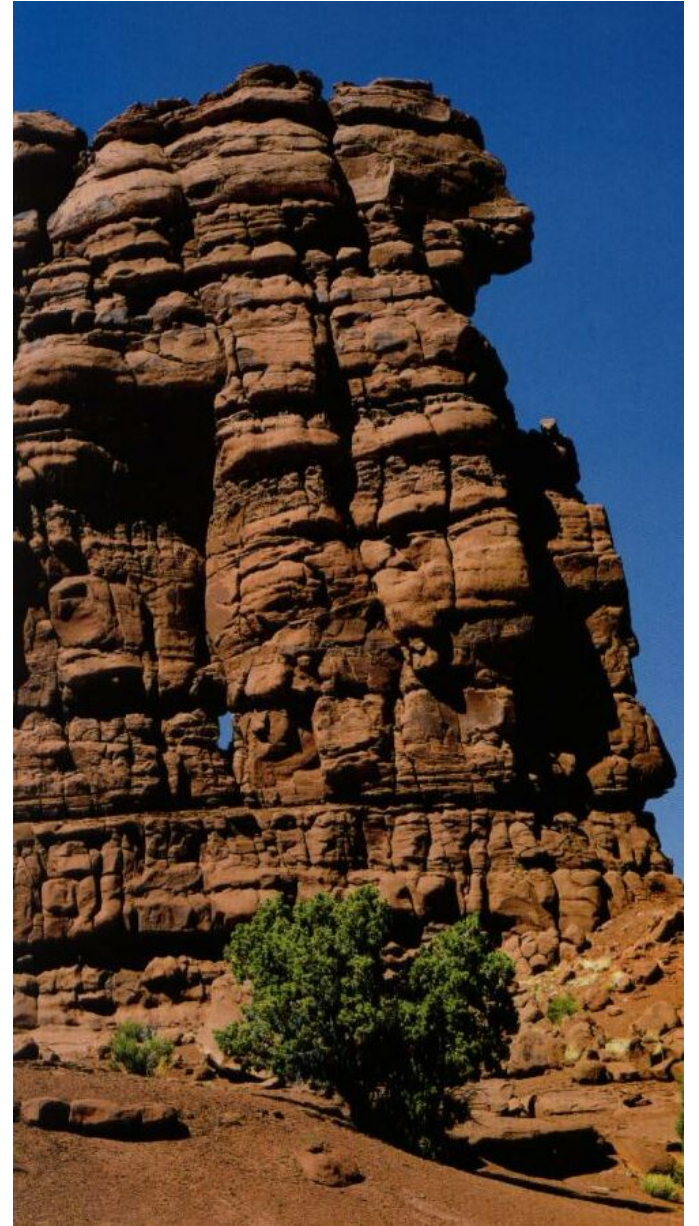
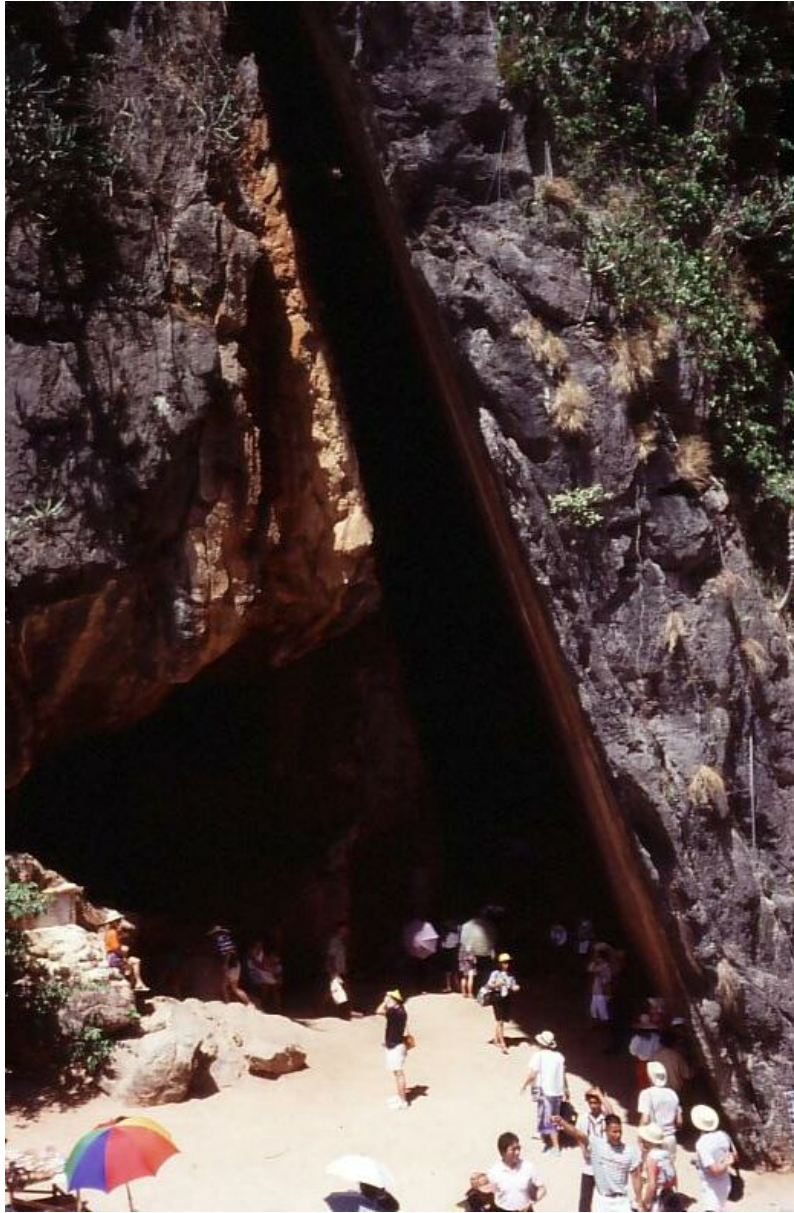
La menace













La prévention



Les faits

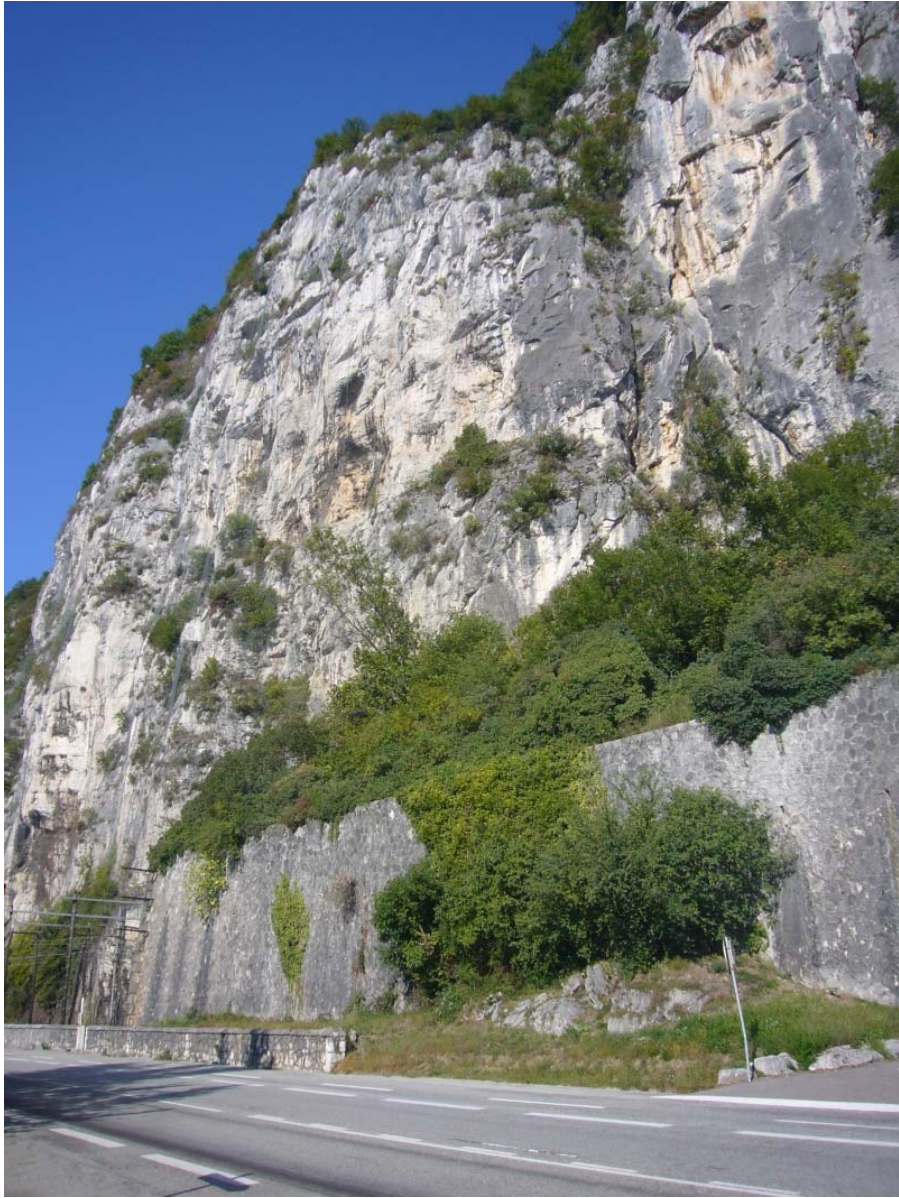






La prévention







Une parade calculée

- Pir3d (France, 1995, 2006)
- Rockfall (USA, 1998)
- Star3d (solide anguleux, Lcpc)
- Eboul (EPFL)
- Stone 3D (Italie, 2002)
- Rotomap (Italie, 1990)
- Massi (Italie, 1988)
- RockyFor 3D 2006
- LR Lyon (Rochet, 1987)
- CRSP (Colorado) 1989 : Colorado Rockfall Simulation Program
- RHRA (Canada, 1996) : Rockfall Hazard and Risk Assessment)



Pir3d : un code de calcul

Simplifications introduites dans le logiciel

- La résistance de l'air est négligée
- Le bloc n'a pas de forme
- Le roulement n'est pas pris en compte directement dans les calculs
- Il n'y a pas d'interaction entre les blocs
- On ne considère pas la fragmentation
- On ne s'intéresse pas aux conditions de rupture de la paroi

Types de mouvement autorisés

- La chute libre
- La trajectoire parabolique
- Le glissement



Paramètres de la propagation

La pierre

Le bloc n'a pas de forme propre.

La pierre est représentée par un point qui est son centre de gravité. La pierre est donc un point matériel caractérisé par : sa position, sa masse, sa vitesse et son type de mouvement

Le terrain

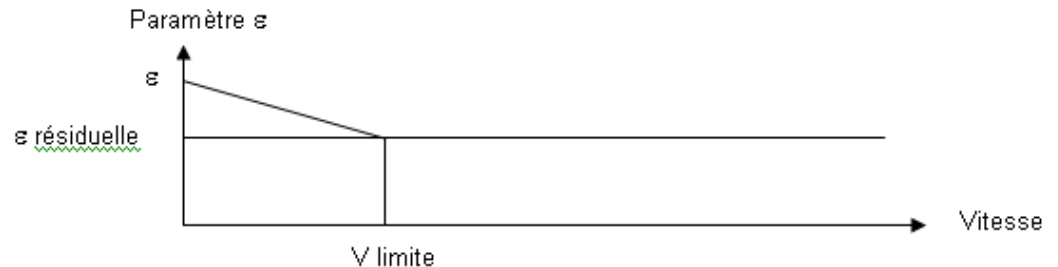
Le modèle de terrain est constitué de facettes triangulaires. A chacune de celles-ci, on affecte un type de sol qui caractérise les propriétés du terrain.

PiR3D exploite ces données en associant à chaque type de sol six coefficients :

- le coefficient de restitution final sur la composante **normale** de la vitesse
- le coefficient de restitution final sur la composante **tangentielle** de la vitesse
- l'angle de rebond vertical
- l'angle de rebond horizontal
- le coefficient de glissement final
- l'angle limite de glissement

Gestion de l'aléatoire

- Variabilité des coefficients en fonction de la vitesse



- Variabilité Uniforme

Dans Pir3D, la variabilité uniforme s'exprime au moyen de la fonction Valeat (x,y), qui retourne un nombre aléatoire choisi entre x et y (équiprobabilité). Aussi appelée Méthode de Monte Carlo, car elle traduit que toutes les trajectoires possibles peuvent arriver avec la même probabilité (tirage aléatoire) dans l'intervalle xy défini.

- Variabilité Normale

Elle permet d'étudier la distribution des trajectoires autour de leur moyenne. La variabilité porte alors sur l'écart-type

Application des variabilités aux coefficients des sols

- **Les coefficients de restitution final C_n et C_t**

Ils relient vitesse incidente (normale et tangentielle) et vitesse de rebond et sont soumis à la loi de variabilité choisie

- **Les coefficients s'appliquant aux angles du rebond**

Ils relient angles d'incidence (vertical et horizontal et angle de rebond) et sont soumis à la loi de variabilité choisie

- **Le coefficient de glissement final k**

Il traduit le frottement de la pierre qui glisse et il est soumis à la loi de variabilité choisie

- **L'angle limite de glissement .**

Lorsqu'une pierre arrive sur une facette, on connaît sa vitesse avant impact. Pour déterminer le type de mouvement après impact, on s'intéresse à l'angle entre la vitesse incidente et la facette. Si cet angle est inférieur à une valeur donnée, la pierre ne rebondit plus, elle glisse sur le terrain : on passe d'une trajectoire parabolique à une trajectoire de glissement rectiligne, uniformément décéléré.

Calcul de la trajectoire

- **Le départ**

Chaque bloc est lâché aléatoirement sur une ligne de chute préalablement définie, avec deux conditions possibles :

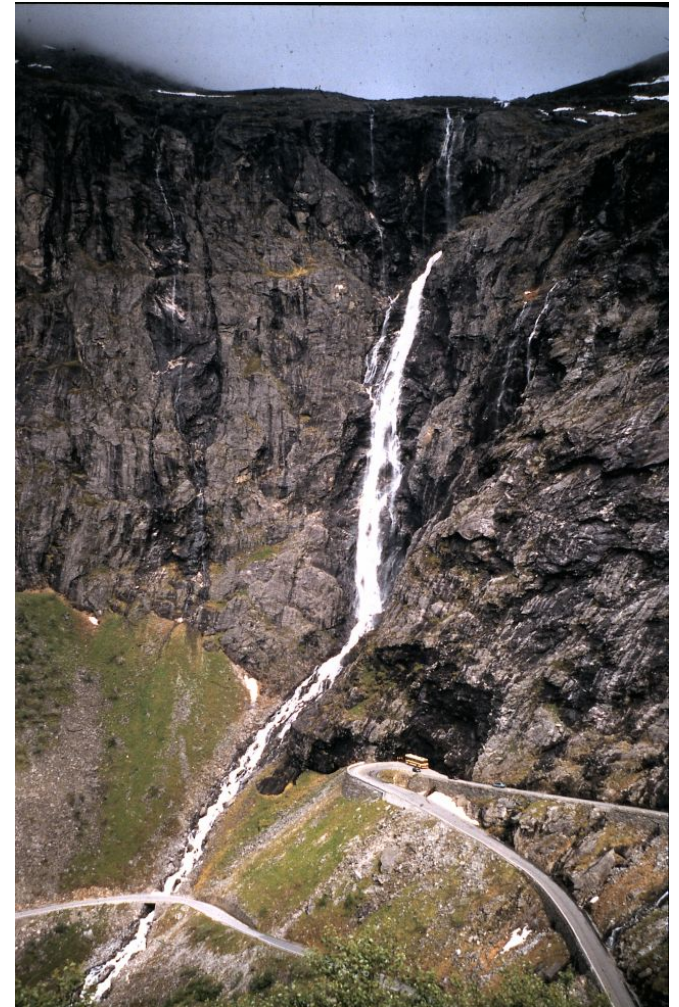
- soit d'une hauteur Δz , à une vitesse initiale nulle, à la verticale de son point de départ.
- soit avec une vitesse initiale définie par ses coordonnées.

- **L'impact**

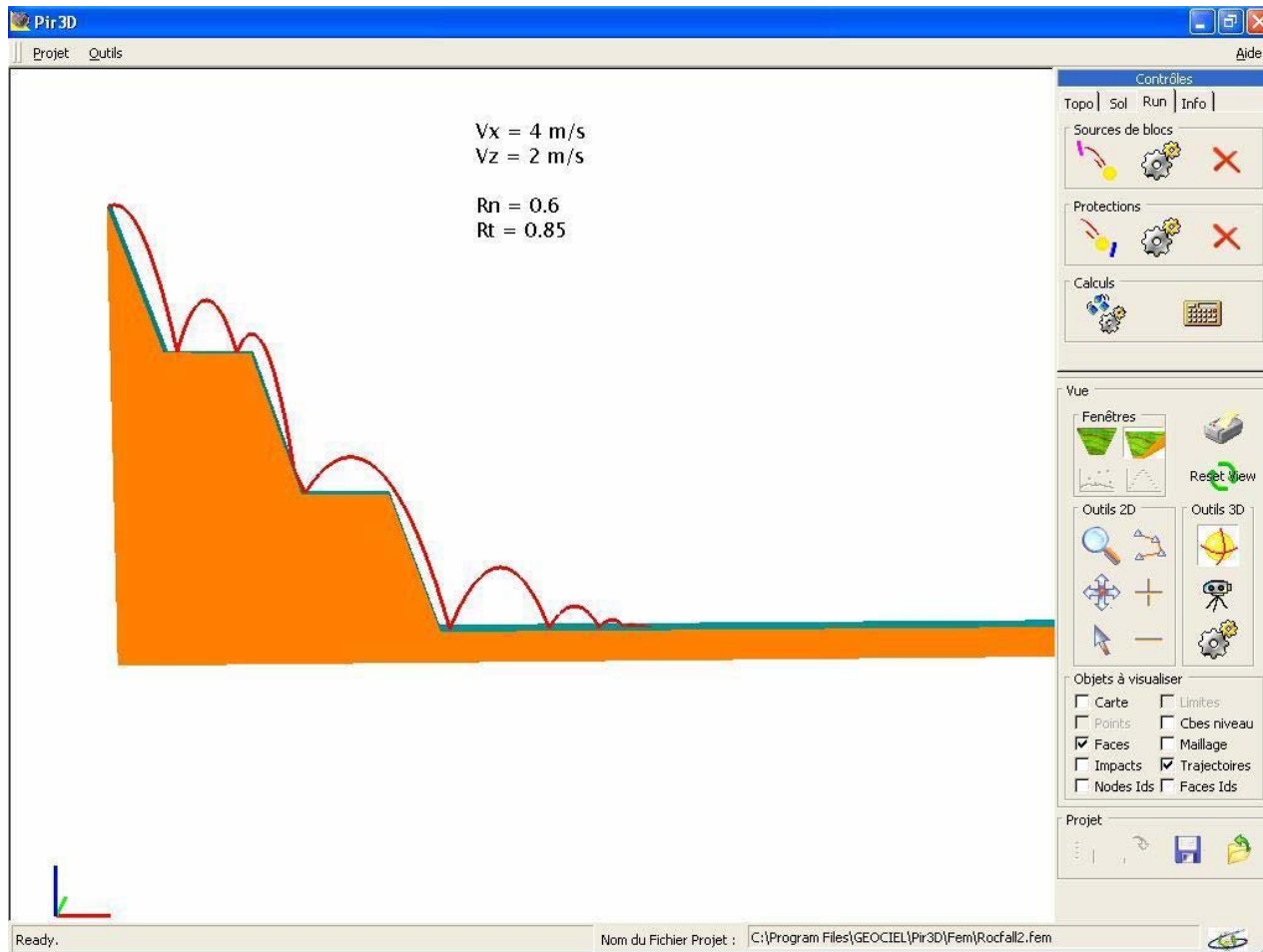
Connaissant la vitesse incidente, les coefficients attachés au sol permettent le calcul de la vitesse de rebond (valeur et direction), le calcul du point d'impact suivant est alors fait. Le calcul s'arrête quand la vitesse est inférieure à un seuil.

Etude de trajectographie

- Principes
- Le modèle de terrain
- Les paramètres du calcul
 - Le sol
 - Ligne de départ
- La parade
- Le rendu



Pir3d : Mode 2D (comparaisons)



Principes d'une étude de trajectographie

- Connaître le site (Topographie, états des surfaces)
- Connaître la menace (départ des blocs, blocométrie)
- Envisager et étudier des parades (comparaisons, étude financière)

Modélisation du terrain

- A partir d'une carte
 - Rapide, bonne maîtrise des phénomènes, thalwegs et crêtes
- A partir d'un profil
 - A des fins de comparaison
- A partir d'un MNT
 - Ajustements nécessaires

Modélisation du terrain 1

Modéliser à partir d'une carte

- Créer l'échelle
- Digitaliser les courbes de niveau (les points)
- Créer le maillage (Delaunay)
- Corriger (détails) et visualiser

Modéliser à partir d'un profil de points

- Créer les points du profil
- Créer la largeur du terrain
- Créer le maillage . .

Modélisation du terrain 2

Modéliser à partir d'un MNT importé

- Créer le projet .
- Importer le fichier du MNT .
- Ajouter une image sur le MNT
- Créer le maillage
- Obtenir les informations sur le maillage. Ajuster le MNT importé
- Justification de l'ajustement du MNT
- Ajuster le nombre de points du fichier
- Ajuster les paramètres de calcul du maillage

Modélisation du terrain 3

- Définir les zones de sol

Par facettes ou par lasso

- Donner les paramètres des sols

Bibliothèque de sols

Création des sols

- Zonage
 - Etude géologique, nature de la végétation
- Paramètres des sols
 - Bibliothèque de sols
 - Etude de trajectoire

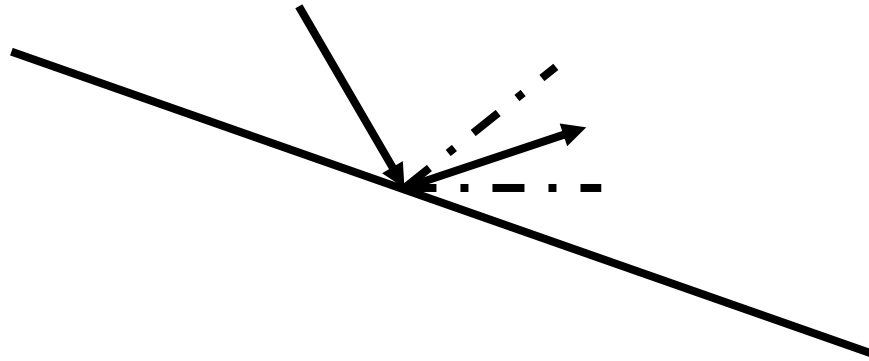
Etude paramétrique

Calcul des trajectoires

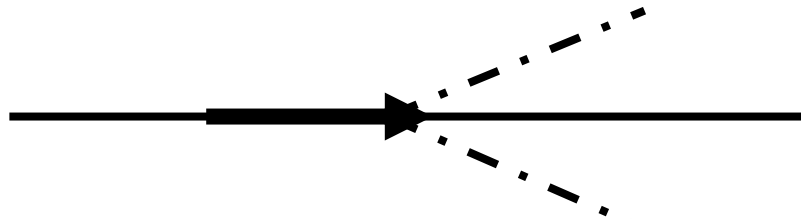
- Positionner la ligne de départ des blocs
- Saisir les données initiales des blocs
- Modifier le modèle physique des rebonds
- Lancer le calcul des trajectoires
- Obtenir les informations générales sur les trajectoires
- Trajectoires singulières
- Calculer sans les variables aléatoires
- Modifier la génération des nombres aléatoires
- Modifier la tolérance sur le glissement
- Analyser la variation de l'énergie le long de la trajectoire
- Exporter les trajectoires au format DXF

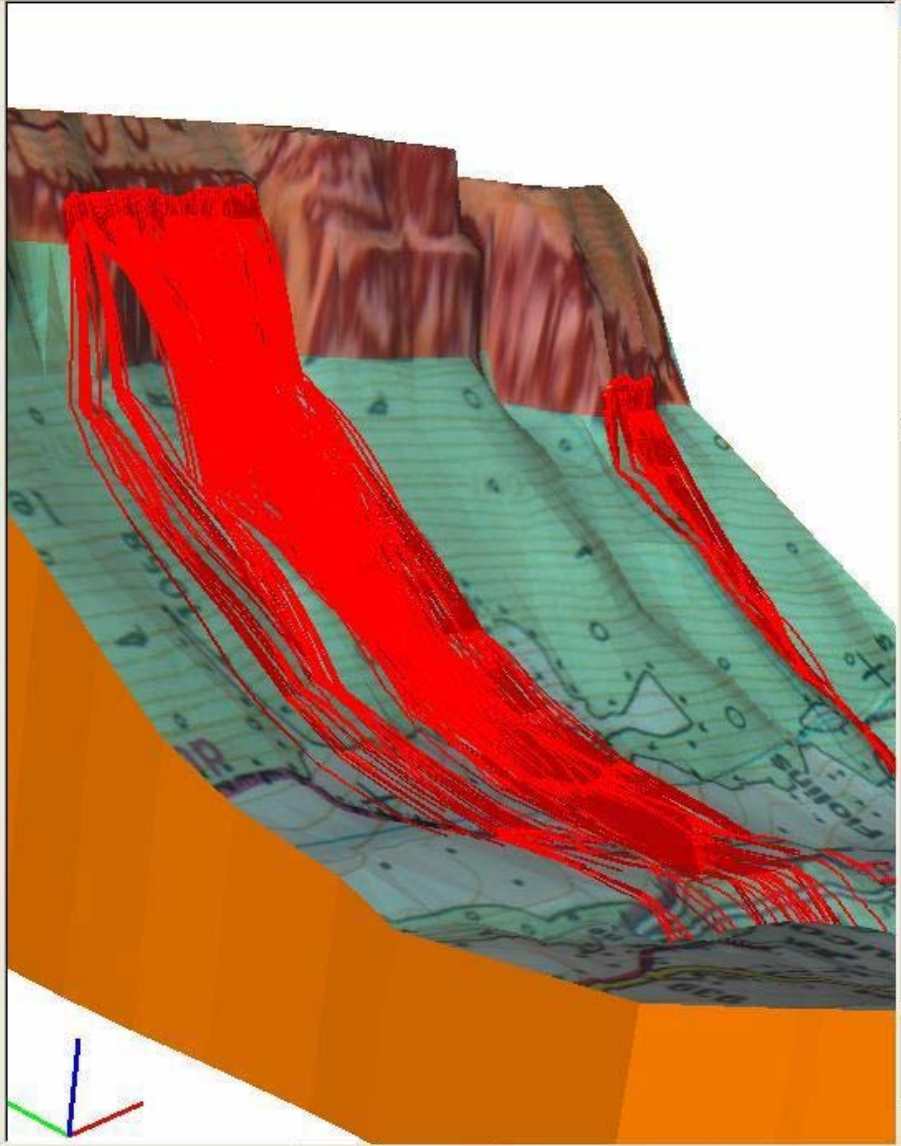
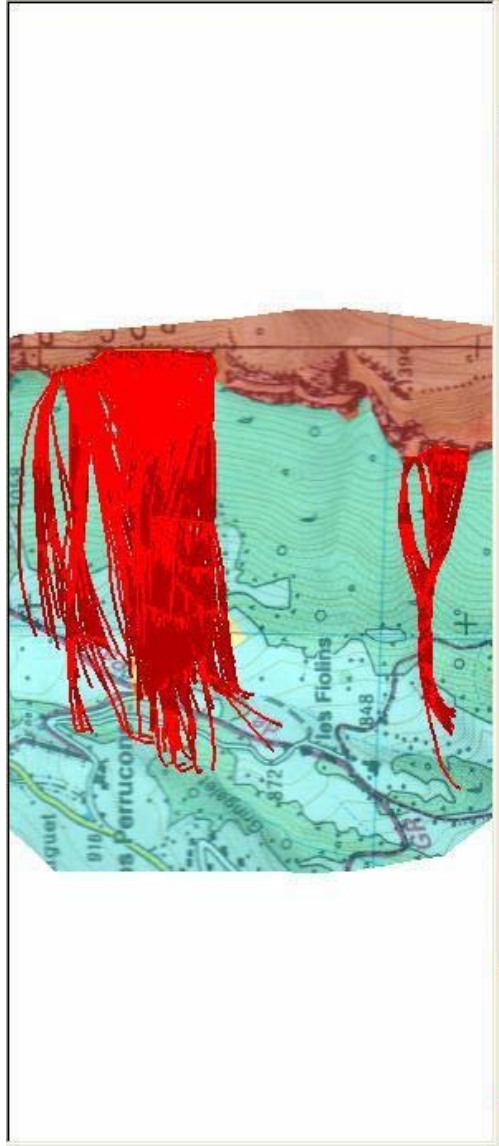
Angles

- Plan vertical



- Plan horizontal





Contrôles

Topo | Sol | Run | Info | Stat

Sources de blocs

Protections

Calculs

Export

Vue

Fenêtres

Reset View

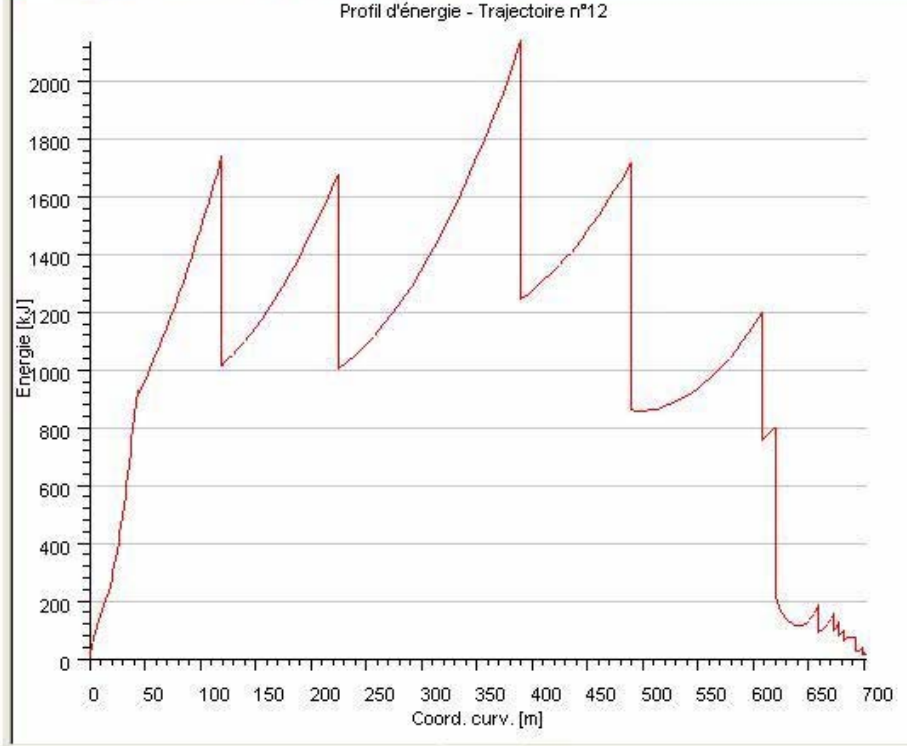
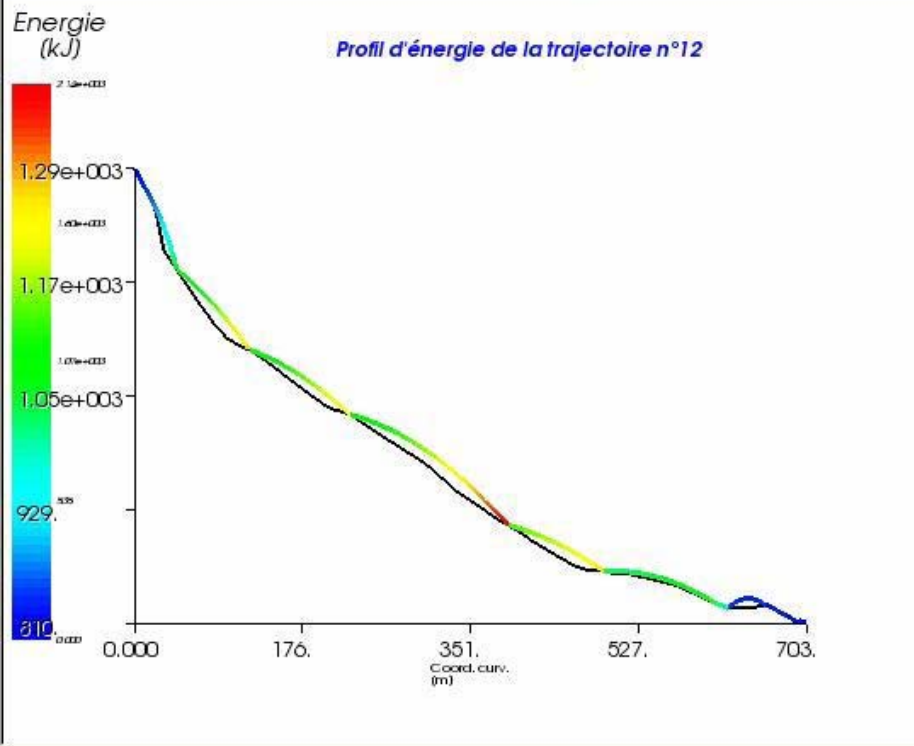
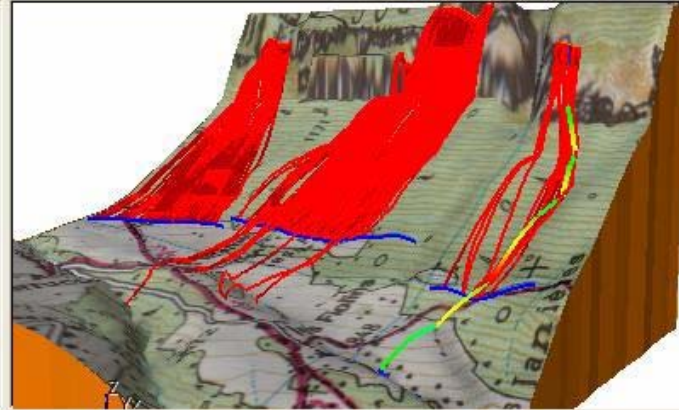
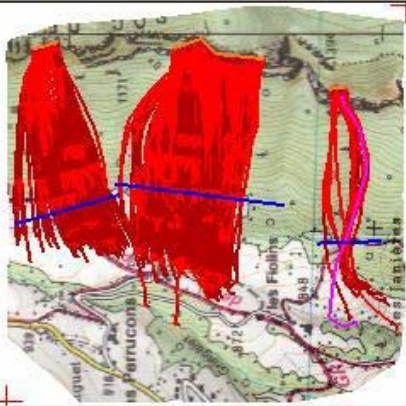
Outils 2D

Outils 3D

Objets à visualiser

- Carte
- Points
- Sols
- Impacts
- n° Noeuds
- Limites
- Cbes niveau
- Maillage
- Trajectoires
- n° Faces

Projet



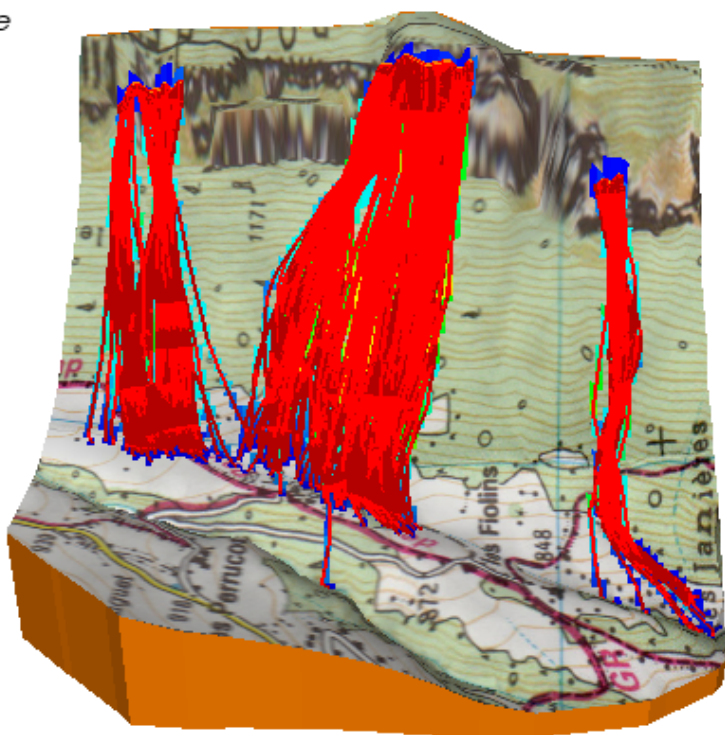
Enveloppes de trajectoires

- Visualiser les enveloppes (2D et 3D)

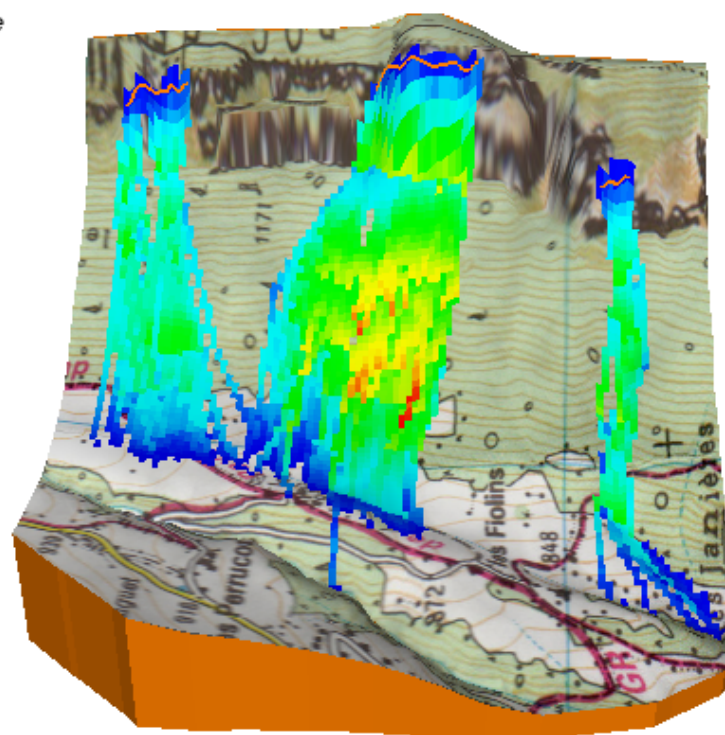
Pour un meilleur rendu et une interprétation facile

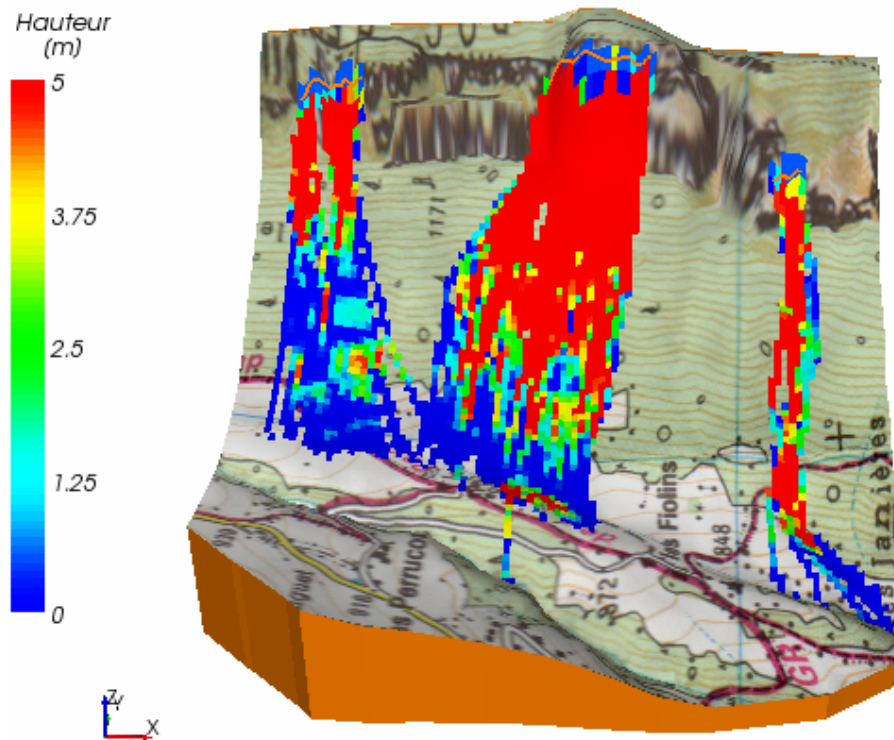
- Enveloppe des énergies
- Enveloppe des hauteurs
- Enveloppe des vitesses
- Enveloppe des classes d'énergie
- Enveloppe de densité des trajectoires
- Enveloppe des points d'arrêt

Energie
(kJ)



Energie
(kJ)






Contrôles

Topo | Sol | Run | Analyse | Info

Trajectoire | Protection | Enveloppe

Grille

Nx = 

Ny =

Données : Hauteur ▾

Echelle

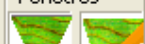
Automatique


Min = [k]


Max = [k]

Vue

Fenêtres









Reset View

Outils 2D

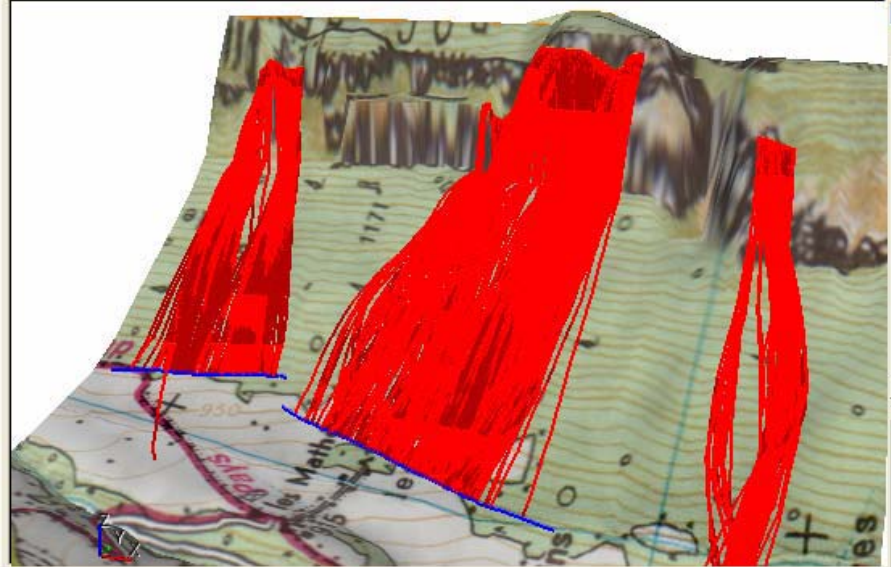
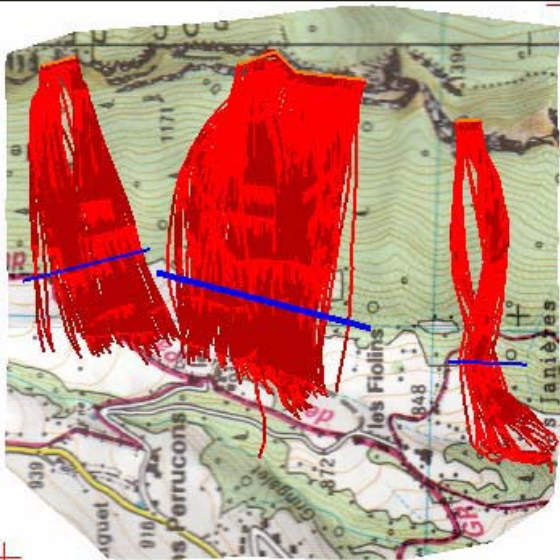


Outils 3D



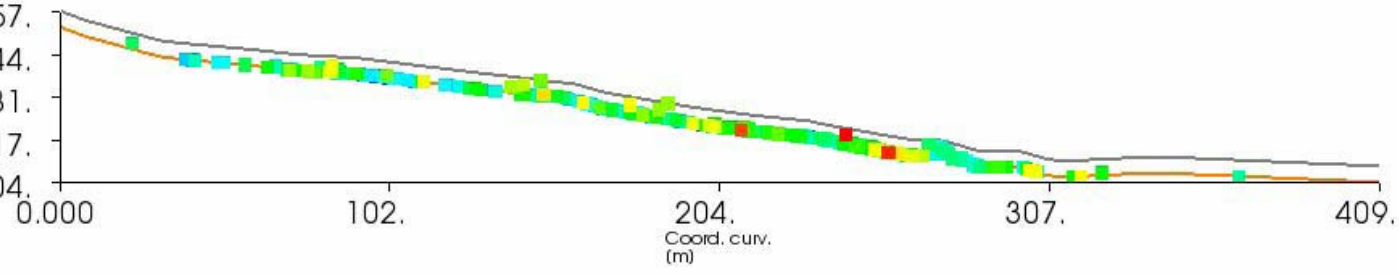
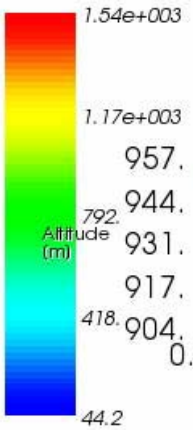
Solutions préventives

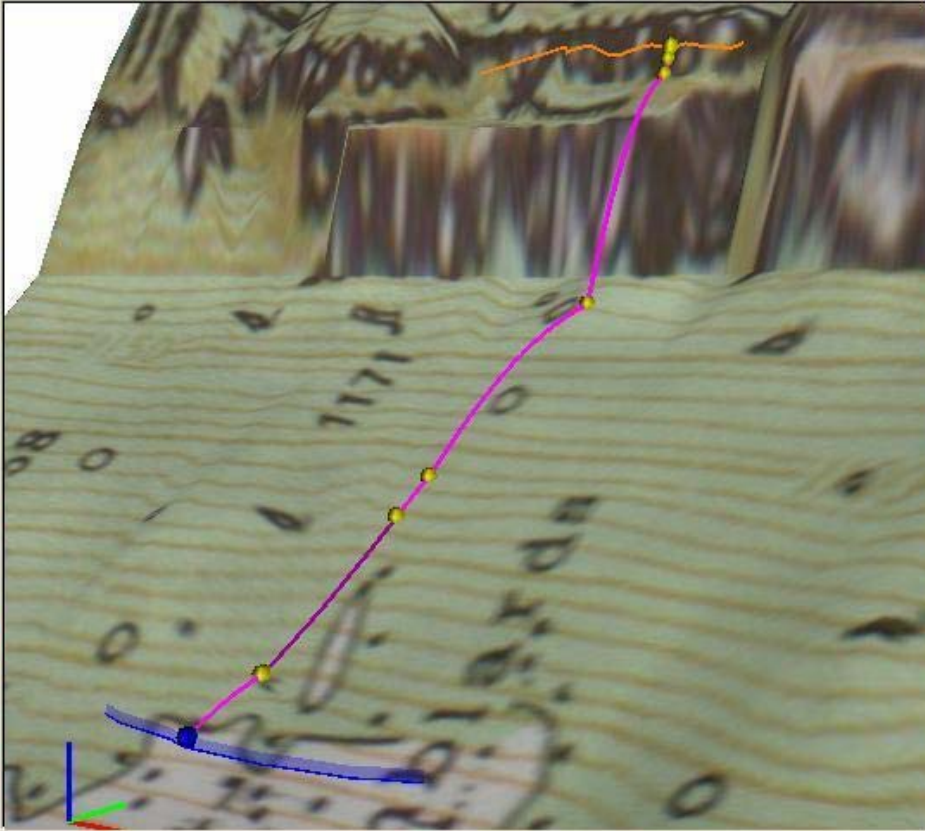
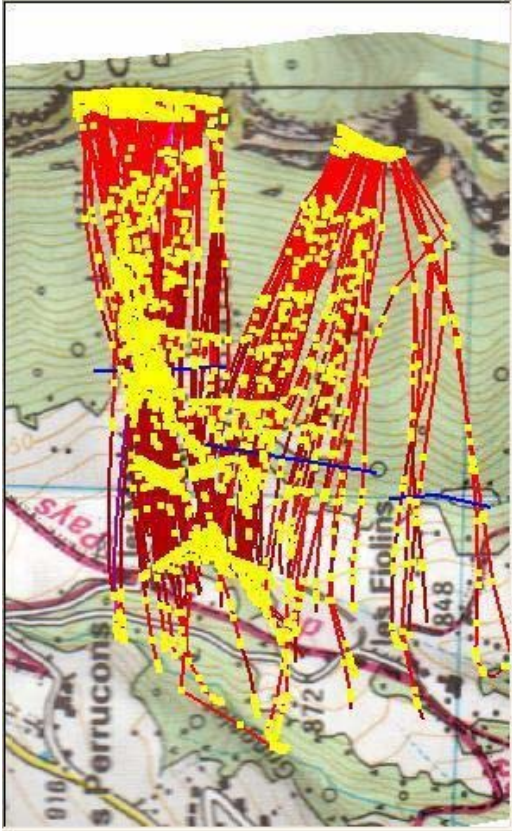
- Merlons
 - Redéfinir le topographie
- Filets
 - Une ligne brisée de hauteur donnée, pouvant être déplacée à la souris



Energie (kJ)

Protection n°0 (h=5 m) : 100% de blocs arrêtés, 71% de blocs atteignant





Contrôles

Topo | Sol | Run | Info | Stat

Info sur l'objet sélectionné

Impact: 8

X = 508.747 [m]

Y = 609.907 [m]

Z = 990.421 [m]

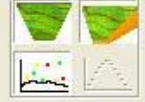
|V1| = 61.8541 [m/s]

|V2| = 44.4748 [m/s]

Z/soil = 0 [m]

Vue

Fenêtres



Reset View

Outils 2D



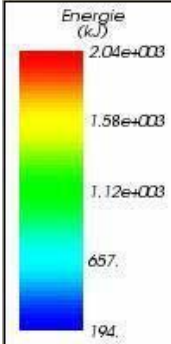
Outils 3D



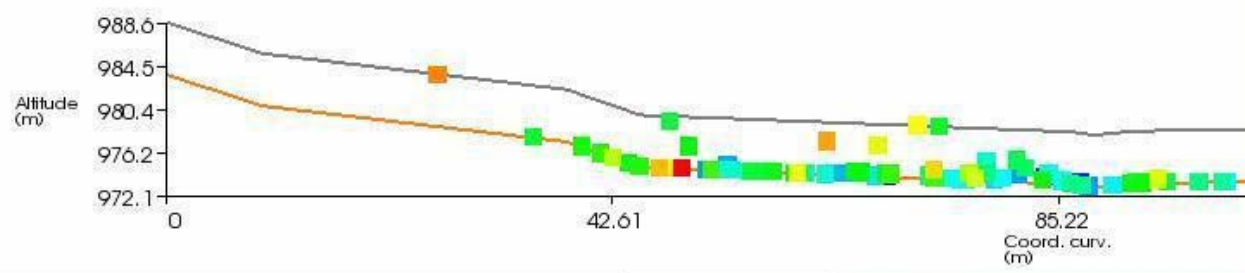
Objets à visualiser

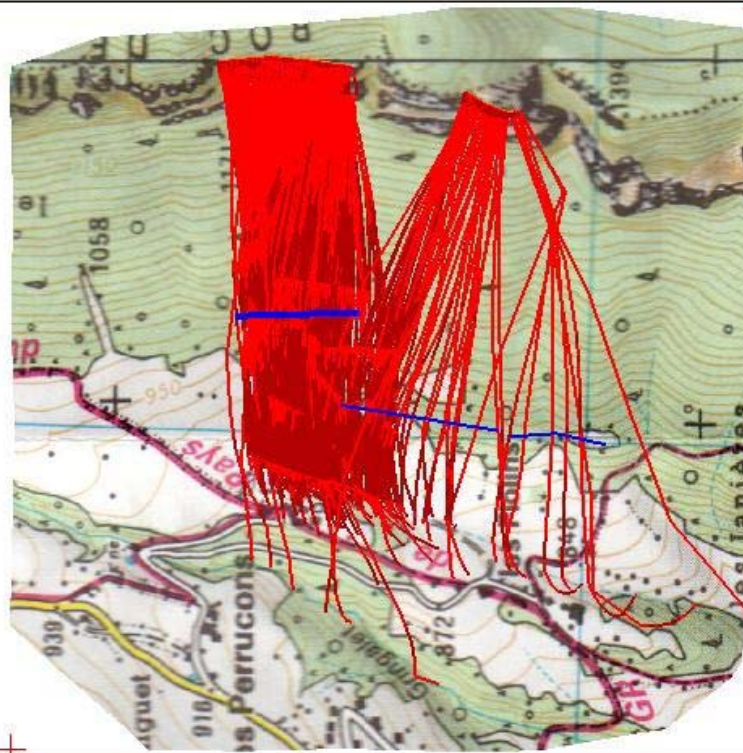
- Carte
- Points
- Sols
- Impacts
- n° Noeuds
- Limites
- Cbes niveau
- Maillage
- Trajectoires
- n° Faces

Projet

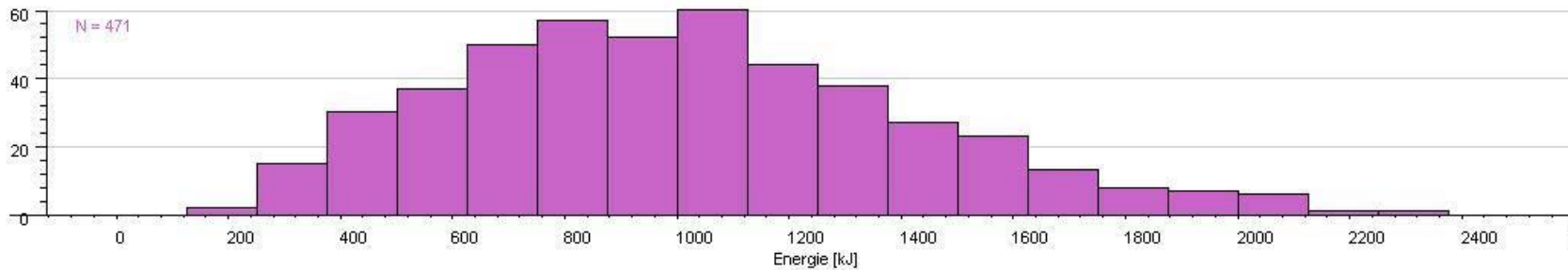


Protection n°0 : 100% de blocs arrêtés par le filet (h=5 m)





Distribution des énergies - Protection n°0



Accéder à Pir3D

On peut obtenir une version d'essai
complète mais bloquée sur un MNT

www.geociel.fr

Prix : < 5000 €