



Evaluation 3D de l'aléa chute de blocs

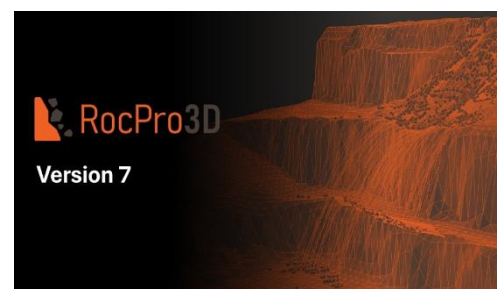
Logiciel professionnel de simulation trajectométrique 3D stochastique pour les études d'aménagement du territoire, l'aide au dimensionnement d'ouvrages de mitigation, les enjeux de sécurité opérationnelle de l'industrie extractive

Réponse à vos problématiques de chute de blocs grâce à des simulations exhaustives en 3D (sans hypothèses restrictives a priori sur le cheminement des trajectoires)

Précision et calculs rapides, autorisant la réalisation de simulations à des probabilités très faibles (10^{-4} à 10^{-6})

Interface utilisateur intuitive et conviviale

Outils intégrés pour l'analyse rapide de calculs trajectométriques, permettant de dimensionner des ouvrages de protection, de produire des cartes d'aléa compatibles avec les méthodologies CADANAV ou MEZAP, et de comparer et améliorer rapidement vos simulations par rapport aux observations de terrain.



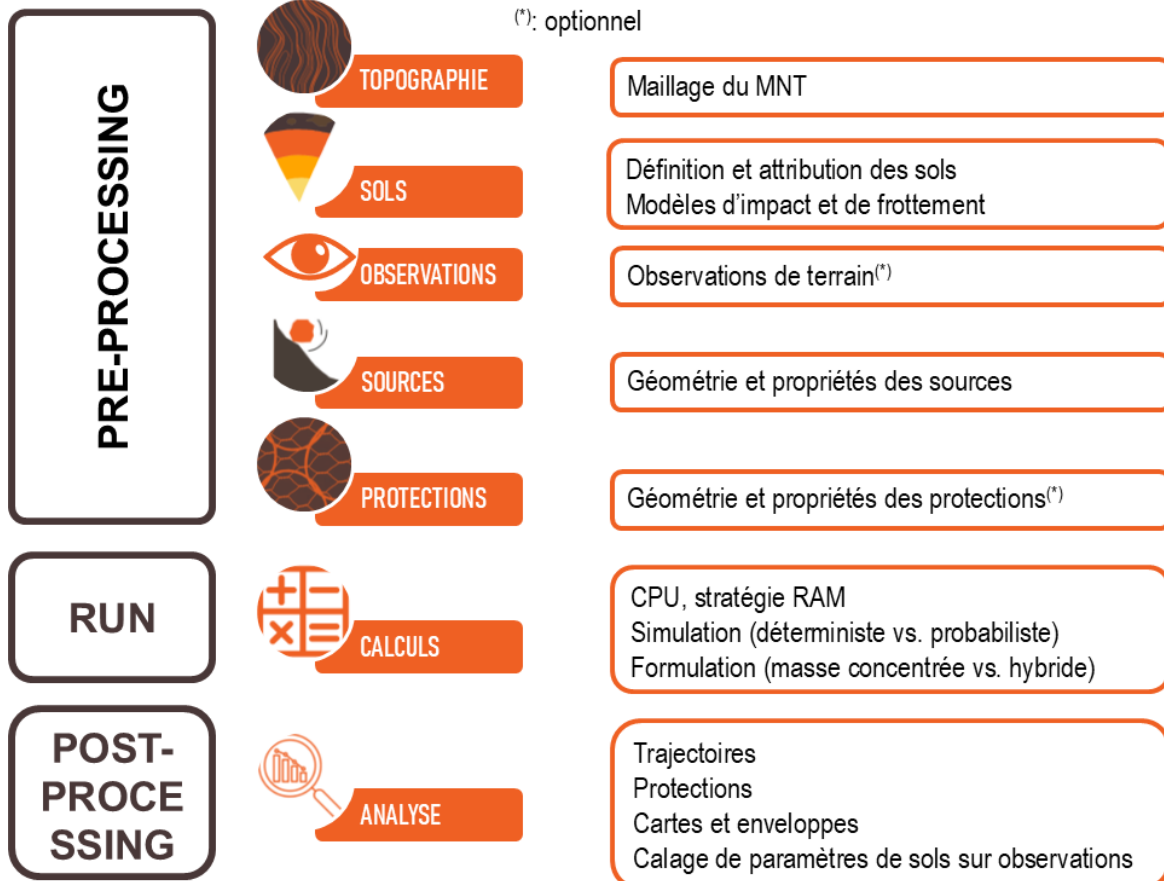
Prise en main rapide, utilisation intuitive

Intégration complète via le pilote d'étude

Outils de pré-traitement, de calcul et de post-traitement

Mise en place simplifiée du modèle, guidée étape par étape

Pré-traitement (MNT, création et attribution des sols, import des blocs observés, création/import des sources et protections) **intégré et optimisé**, vous permettant de se focaliser sur l'analyse des résultats



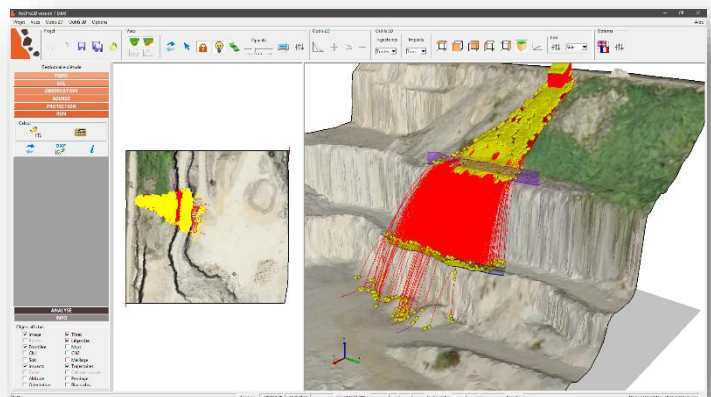
Etapes de mise en œuvre des simulations

Visualisation et analyse rapide des résultats, facilitées par des vues interactives et modulables

Vues 2D et 3D, avec résultats à chaque impact (cordonnées XYZ, hauteur, sol, temps, vitesses avant et après impact, énergies)

Vue du profil vertical (énergies, vitesses, hauteur, temps) pour chaque trajectoire ou dans le plan des ouvrages de protection

Analyse statistique (histogrammes, indicateurs, tableaux) sur trajectoires, protections, enveloppes



Modèles physiques

Formulation

Hybride (masse concentrée avec bloc de taille finie) pour la chute libre, les impacts et le roulement frottant

Impacts

Dissipation via coefficients de restitution (R_N , R_T), avec au choix R_N constant ou dépendant de la vitesse $R_N(V_N)$

Effets liés à la rotation du bloc pris en compte

Roulement frottant

Modèle de roulement frottant dynamique intégré numériquement avec contrôle de la précision géométrique

Transitions

Conditions géométriques permettant de passer d'une cinématique de chute libre à translation et vice versa.

Approche stochastique

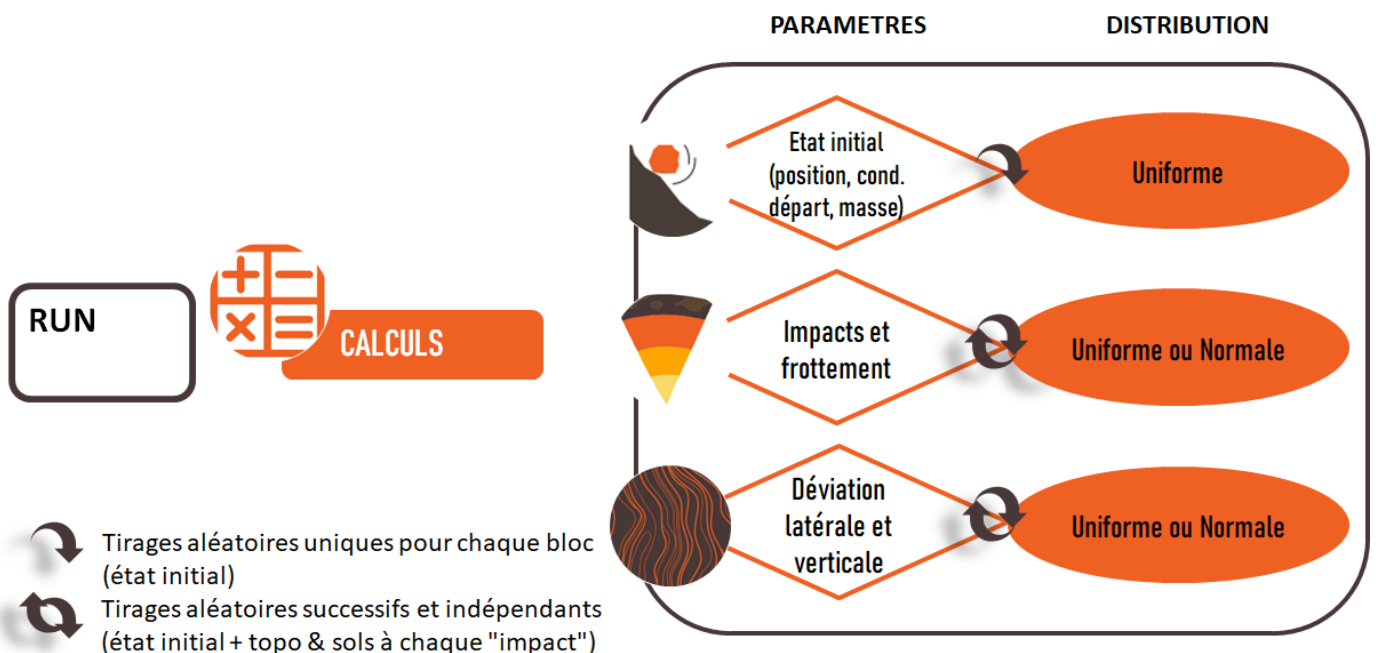
Modes de calcul

Mode déterministe possible

Mode probabiliste (stochastique de type Monte-Carlo) avec choix de variables (gaussiennes ou équiprobables) pour les propriétés :

- Des sols (coefficients de restitution et de frottement, déviation latérale, aplatissement des rebonds)
- Des blocs (conditions initiales de départ, position initiale, masse, perturbation des rebonds)

Différentes stratégies de gestion de la mémoire RAM pour les simulations, adaptées à la finalité de chaque étude (dimensionnement d'ouvrages de mitigation ou évaluation d'aléa)



Principe de l'approche probabiliste utilisée dans RocPro3D

Topographie

Création de MNT

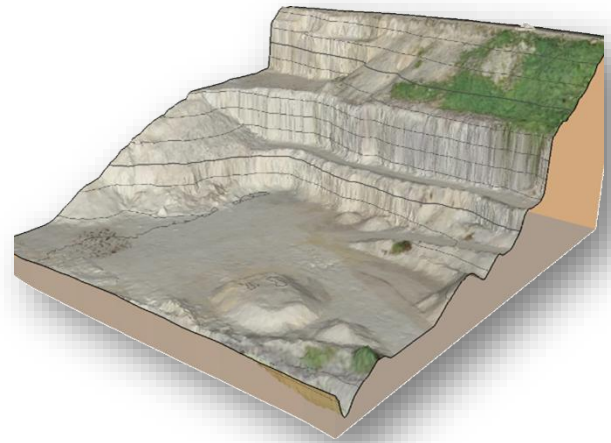
A partir de profils 2D, de MNT importés (DEM, maillages triangulaires réguliers ou irréguliers) ou de cartes topographiques

Réalisme du MNT

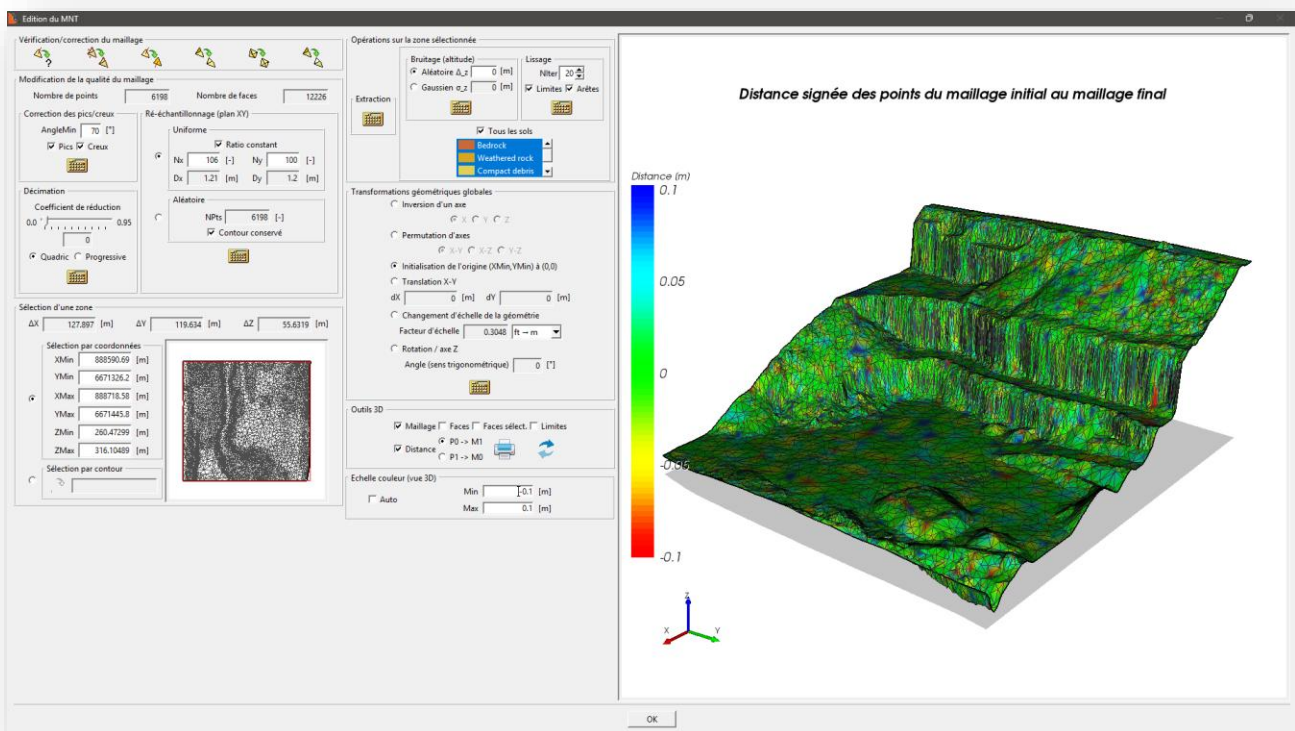
Par superposition de courbes de niveaux et d'images

Edition du MNT

Détection/correction des maillages non-conformes, décimation, re-échantillonnage, extraction de zones, bruitage, lissage, transformations géométriques



MNT avec courbes de niveau et ortho-image



Edition de MNT : carte de distance (Hausdorff) entre maillage initial et maillage re-échantillonné

Sols

Sols et paramètres physiques

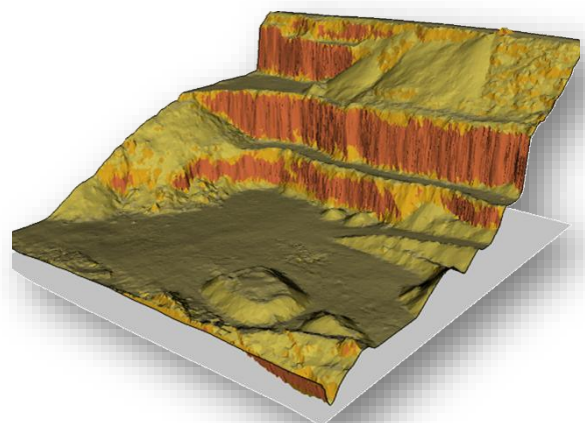
Prédéfinis ou créés par l'utilisateur

Modèle dissipatif $R_n(V_n)$

Propre à chaque sol

Attribution rapide des sols au MNT

Par faces, par zones ou par filtres (coordonnées XY, altitude, pendage, orientation)



Sols attribués par filtres multiples

Sources de départ des blocs

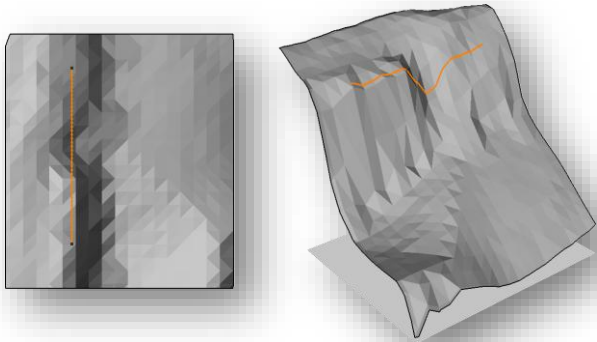
Positionnement facilité par projection (horizontale ou verticale) de la ligne de base sur le MNT

Import possible à partir de fichiers de points ou shapefiles

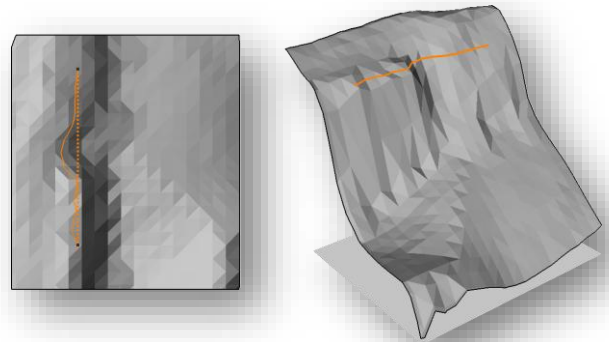
Géométries linéiques ou surfaciques

Définition du nombre de blocs par source ou d'une densité globale de blocs pour toutes les sources. Choix des :

- Conditions initiales : chute initiale, vitesse initiale or mixte
- Propriétés des blocs : taille, densité, forme



Projection (ligne de base) verticale sur le MNT



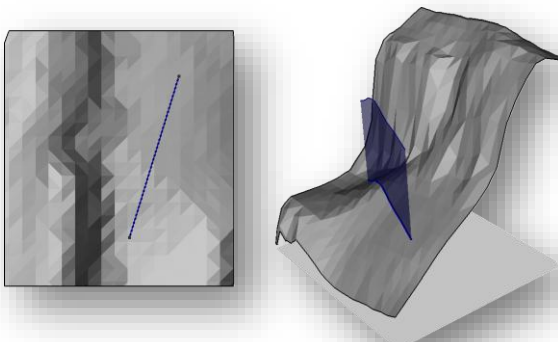
Projection (ligne de base) oblique sur le MNT

Ouvrages de protection

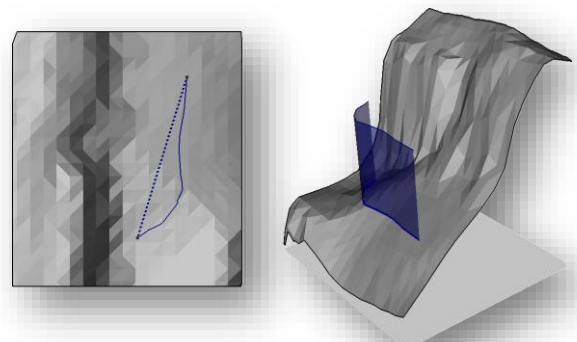
Positionnement facilité par projection (horizontale ou verticale) de la ligne de base sur le MNT

Import possible à partir de fichiers de points ou shapefiles

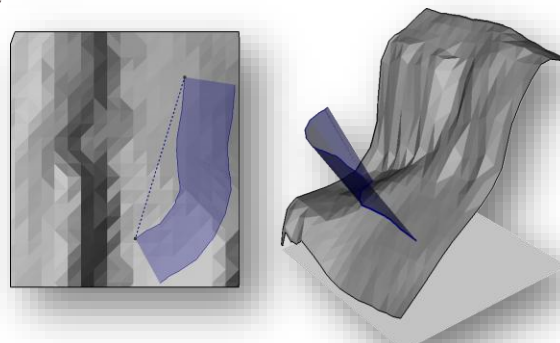
Implantation de protections réelles (filets, merlons) ou fictives (collecteurs de données), avec une inclinaison verticale, normale au MNT, ou angulaire par rapport à la verticale



Projection (ligne de base) verticale sur le MNT
Protection verticale



Projection (ligne de base) oblique sur le MNT
Protection verticale



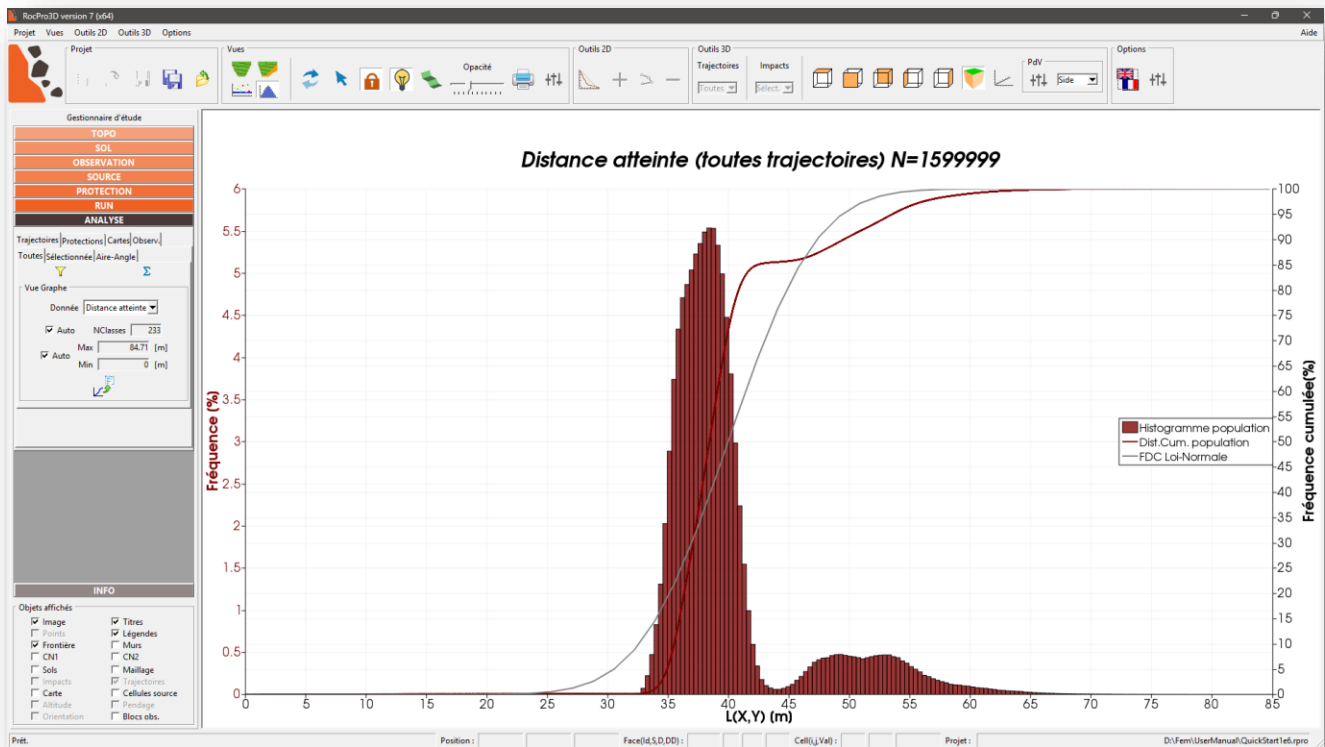
Projection (ligne de base) oblique sur le MNT
Protection à 30° inclinaison / verticale

Trajectoires : de l'échelle globale à locale

Analyse de l'ensemble des trajectoires pour une première évaluation des zones critiques

Visualisation des trajectoires des blocs et des impacts sur les vues 2D et 3D

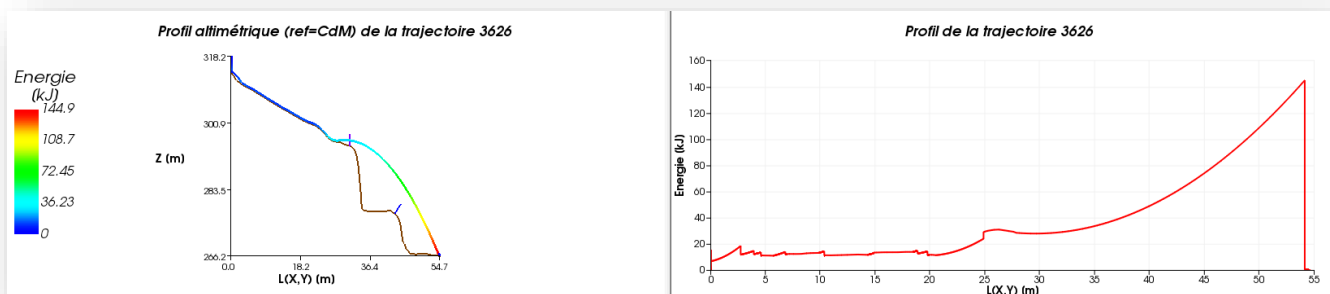
Analyse de la distribution des distances atteintes et de la durée de trajet pour l'ensemble des blocs, avec filtre possible par sources de blocs



Histogramme des distances d'atteinte des blocs [simulation à $1.6 \cdot 10^6$ blocs]

Analyse de trajectoires individuelles pour une compréhension de la cinématique des blocs

Evolution des énergies, vitesses, hauteur et temps sur le profil altimétrique de la trajectoire ou le long de la trajectoire sélectionnée



Exemple d'analyse de l'énergie pour une trajectoire : profil altimétrique (gauche) et profil (droite)

Export possible de toutes les trajectoires sur fichiers ASCII et DXF

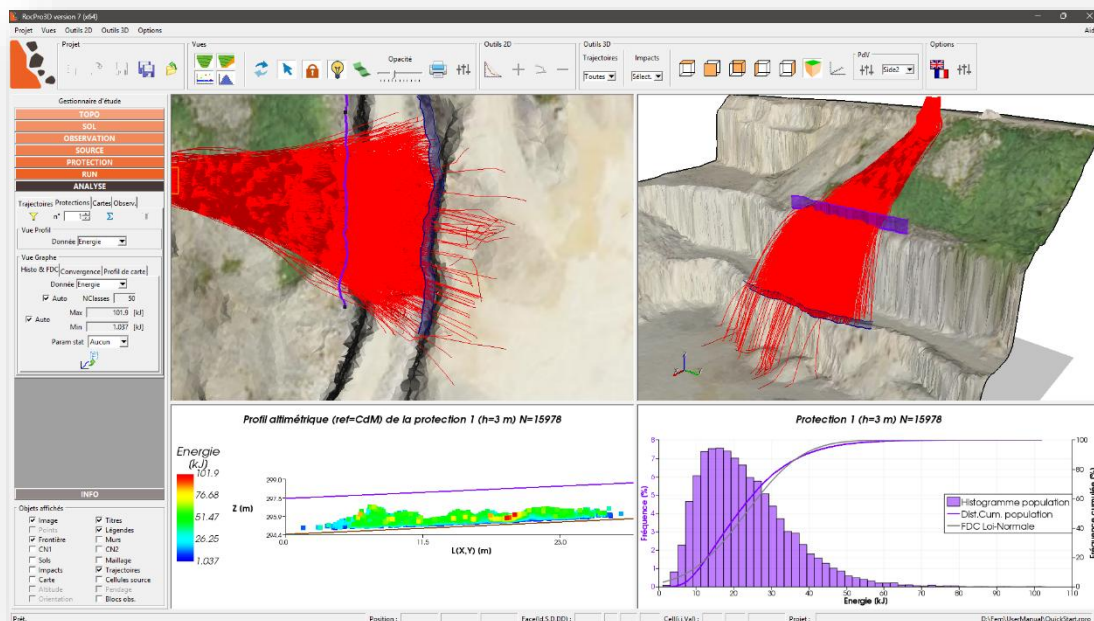
Structures de protection : éléments de dimensionnement

Analyse visuelle des trajectoires dans le plan des protections

Pour tous les blocs intersectant le (poly)plan d'une protection, visualisation du résultat analysé (temps de parcours, énergie, vitesse, hauteur de l'impact) selon le profil altimétrique de la protection

Analyse statistique des trajectoires dans le plan des protections

Statistiques (moyenne, max, limites de confiance, quantiles, test d'hypothèse de Kolmogorov-Smirnov), courbes de fréquence cumulée et indicateur de convergence statistique pour l'ensemble des blocs intersectant le (poly)plan d'une protection (temps de parcours, énergie, vitesse, hauteur)



Exemple d'analyse sur protection : profil altimétrique (gauche) et statistique associée (droite) – [simulation à 10^4 blocs]

Possibilité de raffiner l'analyse en appliquant des filtres sur les sources de blocs, la portion de protection et le type d'impacts

Synthèse des éléments analysés sous forme de tableaux de résumé pour les différents types d'impacts

Statistiques de la protection

Protection n°0 (longueur complète: 0-34.44 m)
Fictive: hauteur=3 m, capacité=0 kJ
Propriétés des blocs atteignant ou passant au-dessus de la protection:
Masse[m³]: Min=289.4, Max=1197.6
Volume[m³]: Min=0.11976, Max=0.47904
1/1 sources prises en compte, n°:

Tableaux 1-3 | Tous les blocs (N=15978; 100%)

	Min	Max	Moyenne	Écart-Type	LC-99	LC-95	LC-90	LC-68	Q-99	Q-95	Q-90	Q-80	Q-50	KS-d	KS-p
Energie [kJ]	1.037	101.9	23.09	11.87	53.65	46.34	42.6	34.89	59.63	45.26	38.96	32.15	21.04	0.07	0
Energie(T) [kJ]	0.795	74.4	17.25	8.867	40.1	34.63	31.84	26.07	44.2	33.78	29.27	24.12	15.69	0.071	0
Energie(R) [kJ]	0.242	27.42	5.832	3.067	13.73	11.84	10.88	8.882	15.6	11.65	9.864	8.049	5.271	0.075	0
Vitesse(T) [m/s]	2.045	12.37	6.688	1.229	9.852	9.096	8.708	7.909	9.8	8.74	8.232	7.657	6.67	0.016	0
Vitesse(R) [m/s]	4.031	33.53	15.28	3.538	24.39	22.21	21.1	18.8	25.39	21.77	19.06	18.09	14.85	0.049	0
Hauteur P [m]	0.306	1.987	0.592	0.191	1.084	0.966	0.906	0.782	1.174	0.955	0.859	0.723	0.541	0.105	0
Hauteur Z [m]	0.306	1.987	0.592	0.191	1.084	0.966	0.906	0.782	1.174	0.955	0.859	0.723	0.541	0.105	0
Temps [s]	4.714	9.613	6.37	0.688	8.141	7.718	7.501	7.054	8.165	7.608	7.324	6.986	6.254	0.072	0

Modification possible de la géométrie et de la position des protections fictives en post-traitement, permettant de raffiner les structures de protection

Cartes et enveloppes : outils de dimensionnement et d'évaluation des aléas

Grille des cartes et enveloppes

Définition des grilles raster des cartes et enveloppes (dimensions des cellules indépendants du maillage)

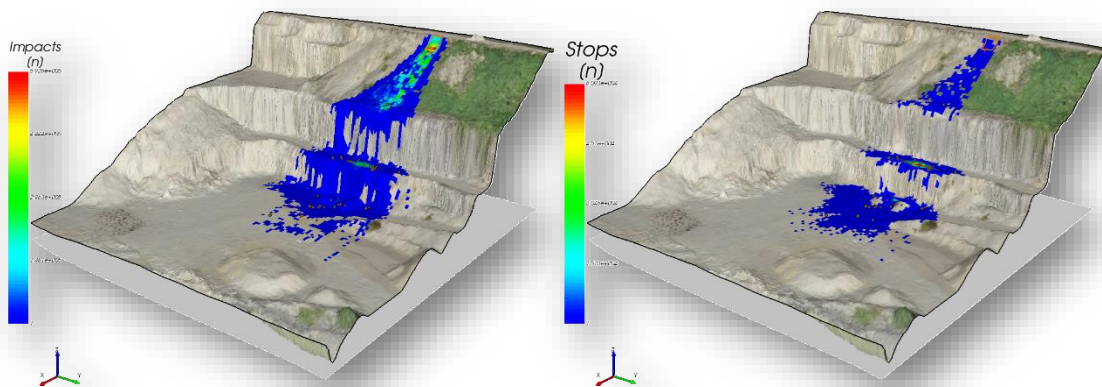
Cartes et enveloppes

Les cartes sont la représentation spatiale du résultat étudié sous forme de champs. Pour raffiner l'analyse de certains champs, des cartes spécifiques, les enveloppes, permettent d'identifier l'indicateur statistique pertinent.

Au total, 10 cartes et 3 enveloppes sont disponibles pour pré-dimensionner les protections ou évaluer les aléas

Cartes génériques	Dimensionnement des protections	Evaluation des aléas
Carte des impacts	Enveloppe des énergies	Carte des classes d'énergie
Carte des points d'arrêt	Enveloppe des vitesses	Cartes de P(propagation) et ses classes
Carte du temps parcours minimum	Enveloppe des hauteurs de passage	Cartes de P(atteinte) et ses classes
		Cartes angles min lignes énergie ou trajet

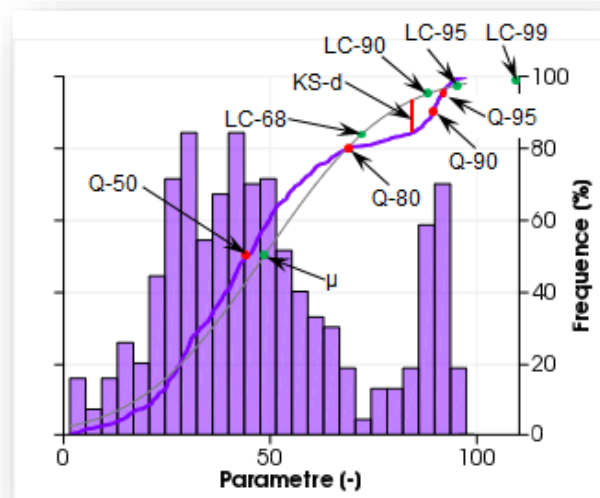
Cartes génériques



Exemple de carte des impacts (gauche) et des points d'arrêt (droite) – [simulation à $1.6 \cdot 10^7$ blocs]

Indicateurs statistiques des enveloppes

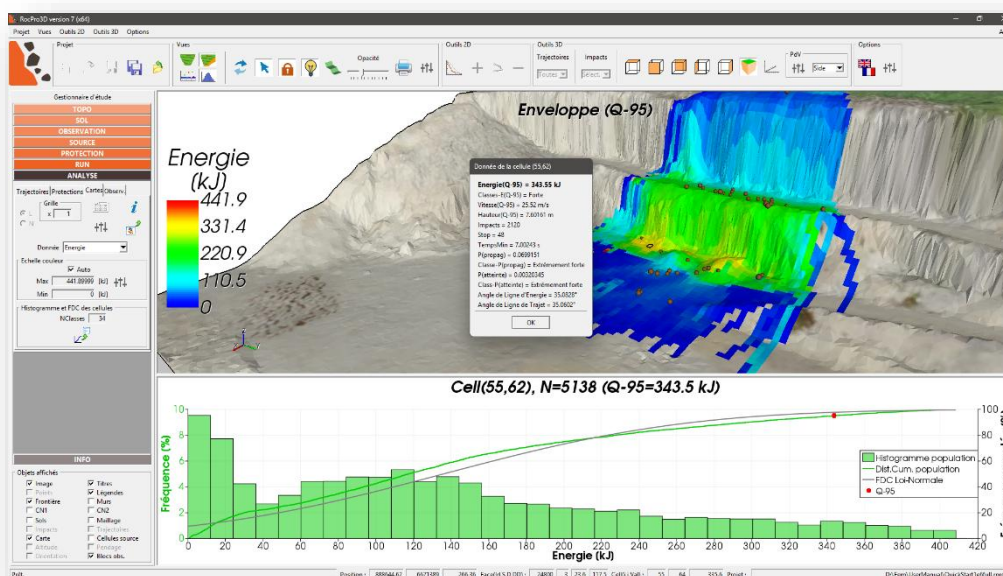
Différent paramètres statistiques (min, max, moyenne, quantiles, limites de confiance, test de normalité) sont disponibles pour sélectionner les enveloppes pertinentes pour l'analyse



Les différents indicateurs statistiques disponibles pour les enveloppes

Analyse statistique des enveloppes au niveau des cellules de la grille

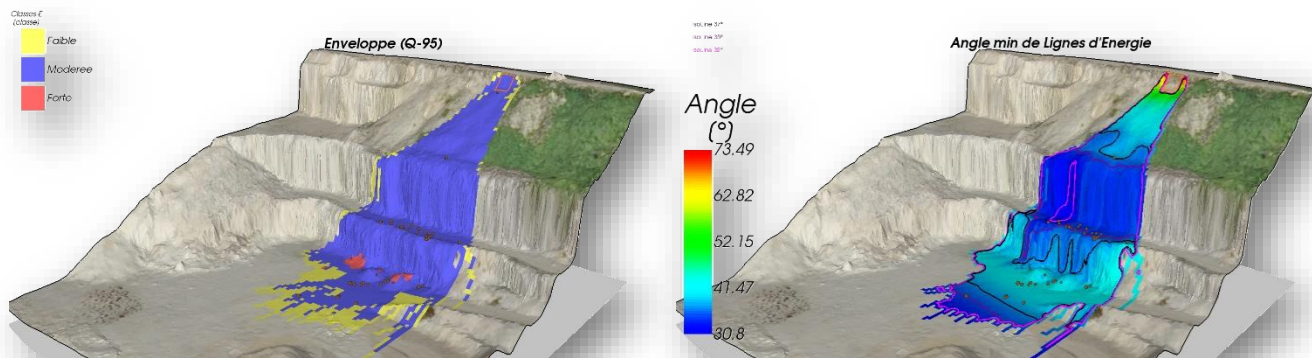
Dans certains cas, l'analyse statistique (moyenne, écart-type, médiane, histogramme et courbes de fréquence cumulée) de la population de chaque cellule peut être nécessaire pour vérifier la pertinence de certaines valeurs statistiques fortes observées localement (en particulier pour les cellules ayant des populations de petite taille)



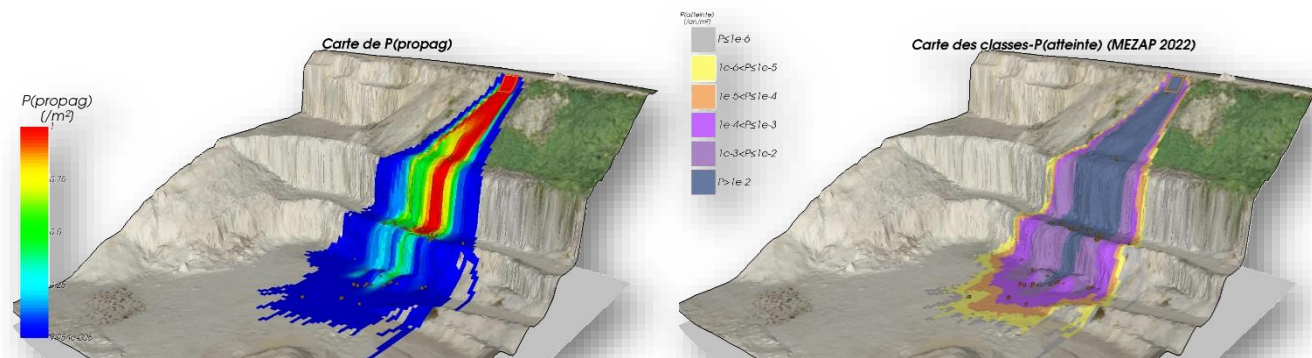
Exemple d'analyse statistique à l'échelle d'une cellule d'enveloppe – [simulation à $1.6 \cdot 10^6$ blocs]

Evaluation des aléas

Plusieurs cartes permettent d'évaluer différents aléas selon les méthodologies CADANAV (2013) ou MEZAP (2022)



Exemple d'enveloppe de classes d'énergie selon CADANAV (2013) et de carte de l'angle min de lignes d'énergie (droite) – [simulation à $1.6 \cdot 10^6$ blocs]

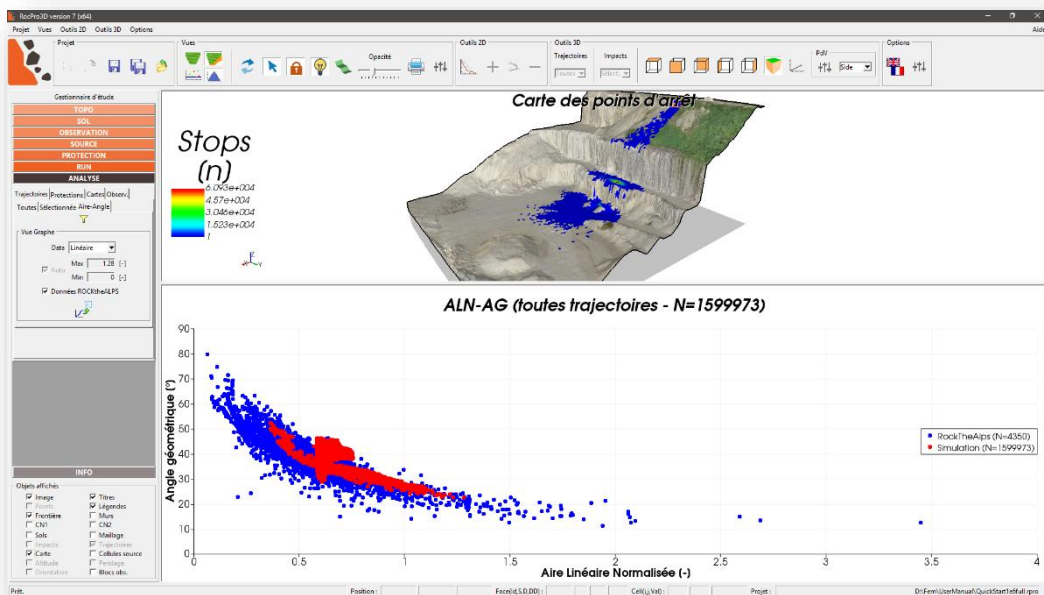


Exemple de carte de P(propagation) (gauche) et de classes de probabilité de propagation selon MEZAP (2022) (droite) – [simulation à $1.6 \cdot 10^6$ blocs]

Des outils utiles pour comparer et améliorer les simulations aux données de terrain

Comparaison des distances simulées avec une base de données terrain internationale

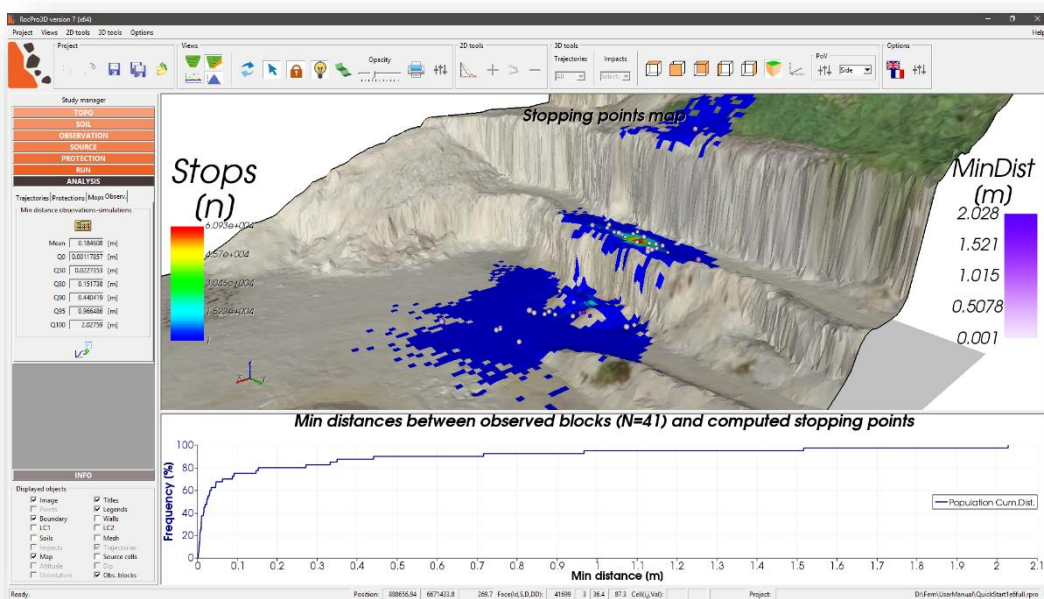
Les résultats de simulation sont reportés dans un graphique type ELANA, avec la base de données RockTheAlps. Cela permet de vérifier rapidement si vos résultats s'inscrivent dans la tendance générale de la base de données.



Résultats des simulations et base de données RockTheAlps reportés dans un graphe ELANA (bas)

Ajustement des simulations à l'aide des observations de terrain

La position observée des blocs sur le terrain peut être utilisée pour calculer la distance minimale entre les populations de blocs observés et celles de blocs simulés. Cela fournit une estimation objective de l'erreur, qui peut servir d'indicateur pour effectuer un ajustement par optimisation des paramètres du sol.



Distance minimale calculée entre chaque bloc observé et les positions d'arrêt simulées : représentation en 3D des points observés avec leur valeur MinDist (haut) – Distribution cumulée statistique de MinsDist (bas)



**Vous souhaitez obtenir une version d'essai
ou avoir une démonstration du logiciel ?
Contactez-nous**

rocpro3d@rocpro3d.com

www.rocpro3d.com

Configuration requise

- OS Windows 64 bits
- CPU multicœur haute performance (Intel Core iX, ultraX, AMD Ryzen)
- 32 Go RAM (64 Go recommandé)
- Espace disque minimum 1 To
- Carte graphique 3D dédiée
- Résolution graphique minimale de 1920x1080 pixels