

Retour d'expérience sur la simulation réaliste 4D de tirs de mines

Dr Thierry BERNARD, T.B.T.



TBT – 35 Avenue Sainte Marguerite – Les roses d'azur B3 – 06200 Nice France
www.tbtech.fr

Résumé

Prédire précisément le résultat d'un tir de mines avant d'appuyer sur le bouton devient une quête pour de nombreux mineurs compte tenu des contraintes environnementales et économiques de notre siècle. Dans cette optique, TBT a présenté en 2019 les principes du modèle numérique de simulation réaliste 4D et des exemples possibles d'applications. Déployée auprès de premiers utilisateurs intéressés par son potentiel, le concept technologique s'est transformé en un outil efficace de conception des tirs de mines. Grâce aux excellents retours et suggestions des utilisateurs, de nombreuses améliorations par rapport au modèle d'origine ont été apportées afin de pouvoir en exploiter plus facilement les bénéfices.

Cet article passe en revue les principales améliorations apportées ainsi que leurs bénéfices dans l'exploitation de la technologie en s'appuyant sur des exemples concrets.

Simulation numérique et empirisme

Nous rappelons que ce modèle, d'un nouveau type, permet de simuler simultanément la fragmentation de la roche, son déplacement et les niveaux sismiques associés le tout en quelques minutes, temps compatible avec un cycle de production. Pour plus de détails sur le modèle d'origine, se référer à l'article publié lors du congrès de l'ISEE 2020.

Les enjeux techniques de la simulation 4D

La performance de la simulation 4D est basée sur son moteur physique qui impose de gérer un nombre de paramètres importants régissant les différents mécanismes. Ces paramètres servent à la calibration du modèle, c'est-à-dire à déterminer leurs valeurs à partir des résultats d'un cas connu, de manière à ce que la simulation s'approche au plus près du résultat mesuré. Une fois ceux-ci déterminés, le modèle est considéré comme calibré et une nouvelle simulation à partir d'un nouveau plan de tir donnera un résultat au plus proche de la réalité.

Les paramètres de calibration :

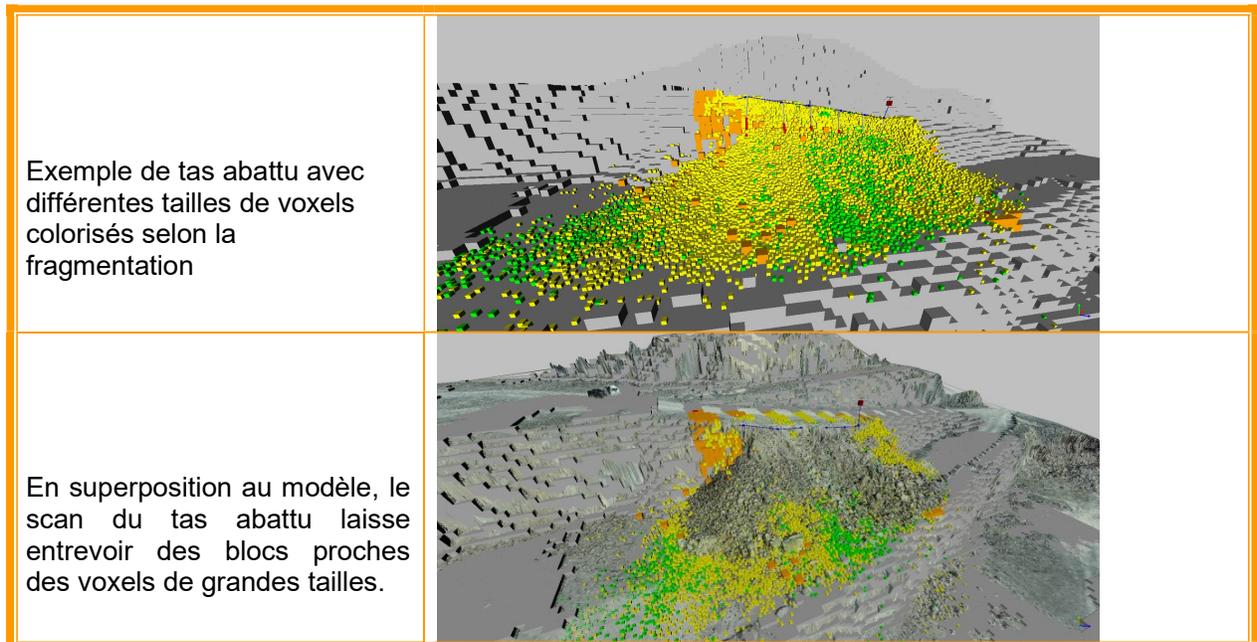
Cette phase est la plus délicate du processus de simulation et peut prendre du temps pour un utilisateur novice car il y a une quinzaine de paramètres influençant les résultats. Afin de faciliter la tâche de nouveaux utilisateurs, TBT a compilé un recueil de valeurs adaptées à des configurations de tirs classiques qui servent de point de départ au processus de calibration. Nous avons trouvé des

CHRONIQUE SAUTAGE

jeux de paramètres adaptés en fonction du type de tir (1 ou plusieurs rangées, avec ou sans face libre) et du type de roche (dure ou tendre).

La résolution des voxels :

Le voxel est l'entité élémentaire de discrétisation du massif rocheux. Sa taille influence notablement le temps de calcul. En divisant par deux la taille d'un voxel, on multiplie par 8 le temps de calcul. Ainsi, l'utilisateur qui souhaite disposer d'une petite taille de voxel pour bien apprécier le mouvement au cœur d'un plan de tir en souterrain, au voisinage des trous vides de décompression, aura un modèle 3D qui comportera un très grand nombre de voxels (souvent plusieurs millions) en particulier si le tir comporte un important nombre de trous (cas par exemple des tirs en éventail en mine souterraine). Pour palier cela et améliorer le temps de calcul, le modèle est maintenant doté de la possibilité de démarrer la première phase de la simulation (calcul des vitesses d'éjection) avec une taille de voxel raisonnable, puis de demander dans la deuxième phase du calcul (ballistique des voxels) une subdivision de la taille initiale. Cette subdivision peut se faire systématiquement dès que le voxel est fragmenté mais surtout fonction de la distribution granulométrique calculée dans celui-ci. On obtiendra alors des tailles de voxels différentes dans le tas abattu, tailles reflétant la fragmentation.



De même, la taille des voxels constituant le terrain avoisinant la zone de tir ne nécessite pas forcément une taille de voxels aussi fine que celle du tir, et le modèle permet maintenant de grossir cette taille dans la phase balistique afin de réduire encore les temps de calcul.

Rappel des étapes d'une simulation réaliste 4D

Le tableau ci-dessous montre les principales étapes d'une simulation dans le cas d'une mine de fer avec simulation de la dilution.

CHRONIQUE SAUTAGE

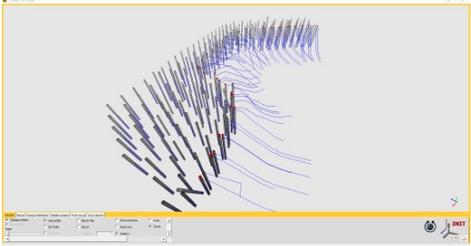
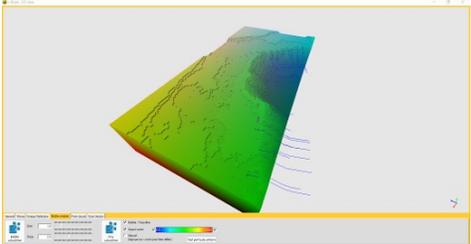
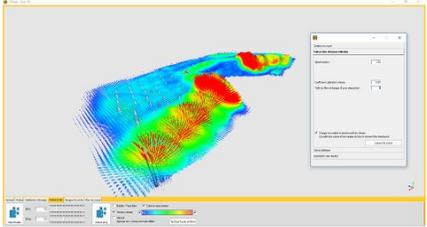
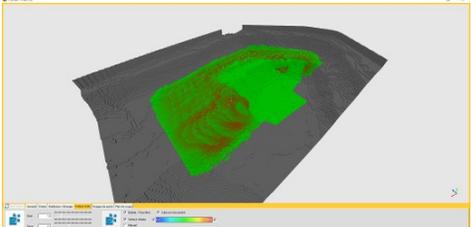
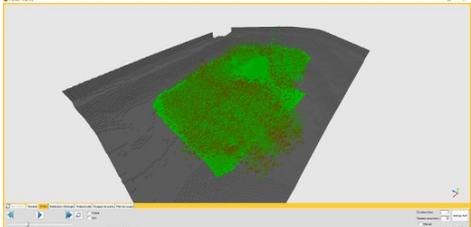
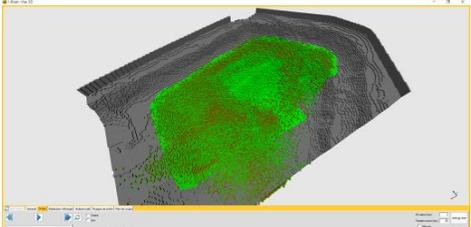
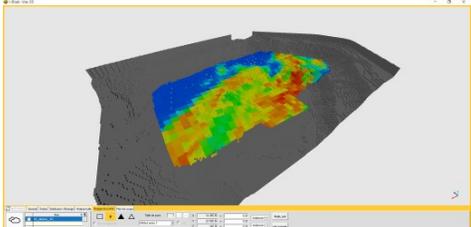
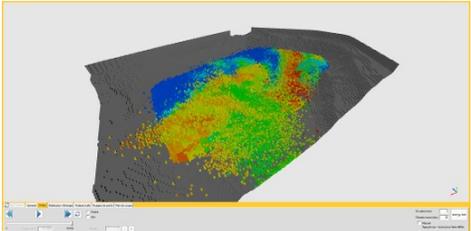
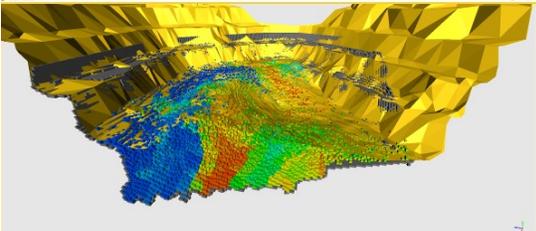
<p>Plan de tir</p> 	<p>Surface du terrain avant tir</p> 
<p>Modèle de Voxels</p> 	<p>Calcul des vitesses d'éjection et calibration par la mesure de la vitesse de mouvement du front</p> 
<p>Simulation de fragmentation</p> 	<p>Mise en mouvement des voxels</p> 
<p>Tas abattu simulé</p> 	<p>Chargement des attributs : Ex : % de Fer</p> 
<p>Position finale des voxels avec attribut % de fer : visualisation de la dilution</p>	<p>Visualisation du modèle calibré par rapport à la forme du tas et visualisation de la dilution au cœur du tas</p>
	

Tableau 1 : principales étapes d'une simulation

CHRONIQUE SAUTAGE

Fonctions spécifiques à la gestion de la dilution

La dilution représente un enjeu majeur pour toutes les mines exploitant un minerai dissous dans la matrice rocheuse dont la teneur varie en fonction de la géologie. Être capable de connaître précisément où vont se retrouver les matériaux de différentes teneurs dans le tas abattu permet un maritage sélectif. La méconnaissance de ces positions précises peut se chiffrer en centaines de milliers de dollars.

Nous avons incorporé de nouvelles fonctions permettant de calculer le déplacement d'un polygone décrivant une teneur spécifique dans le massif en place et calculant sa position dans le tas abattu. Ici le calcul est bien plus évolué que le simple déplacement des points caractéristiques du polygone puisqu'il détermine dans le tas abattu le polygone englobant la position des voxels d'origine. Des paramètres de lissage du polygone déplacé permettent de choisir la résolution souhaitée du contour.

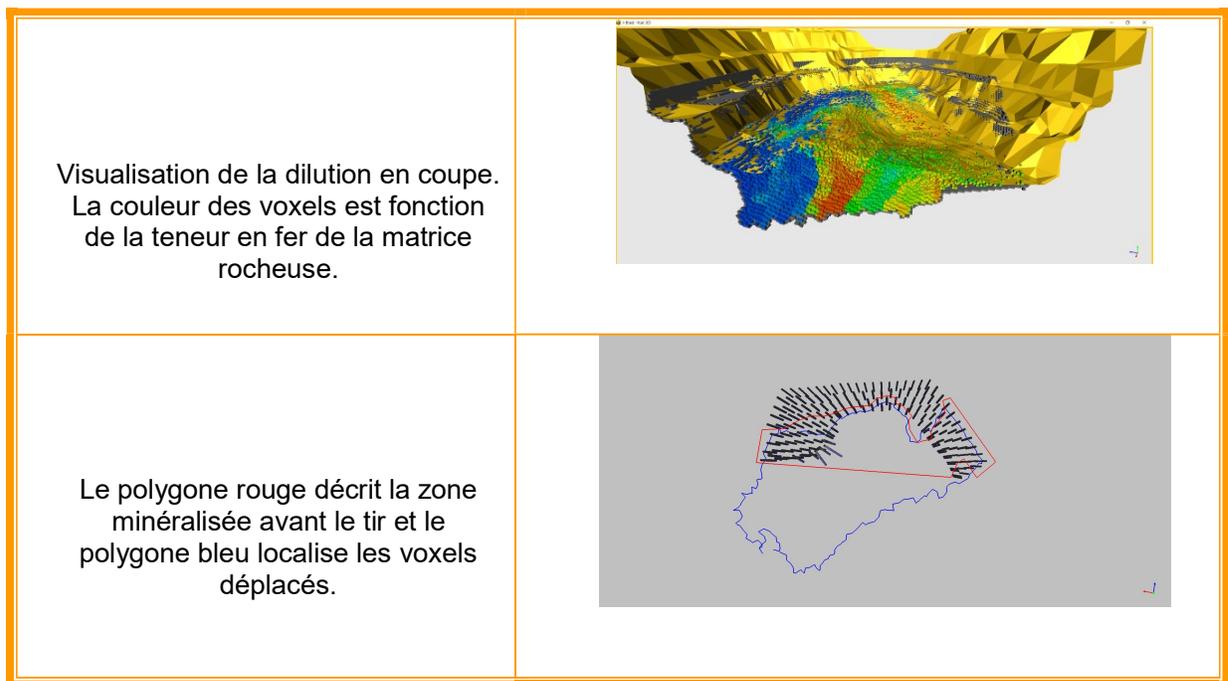
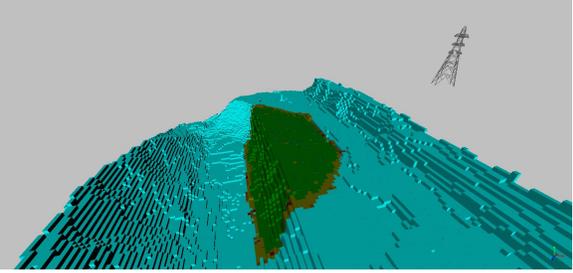
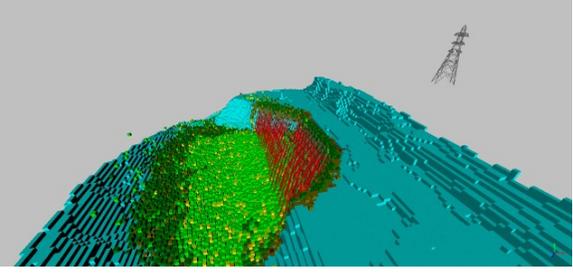
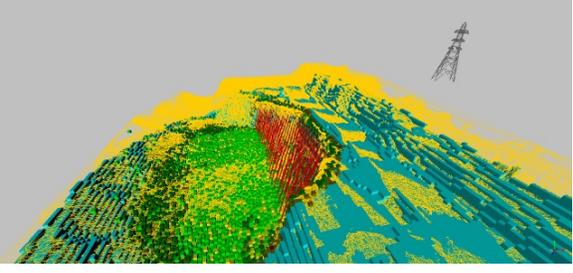
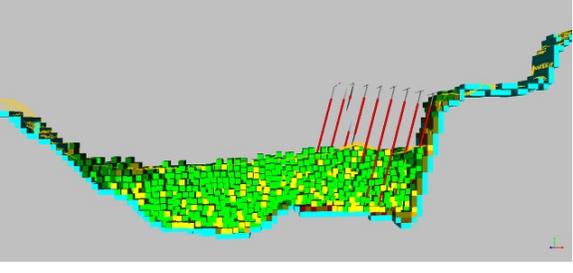


Tableau 2 : exemple de simulation en tunnel

CHRONIQUE SAUTAGE

Le modèle de balistique :

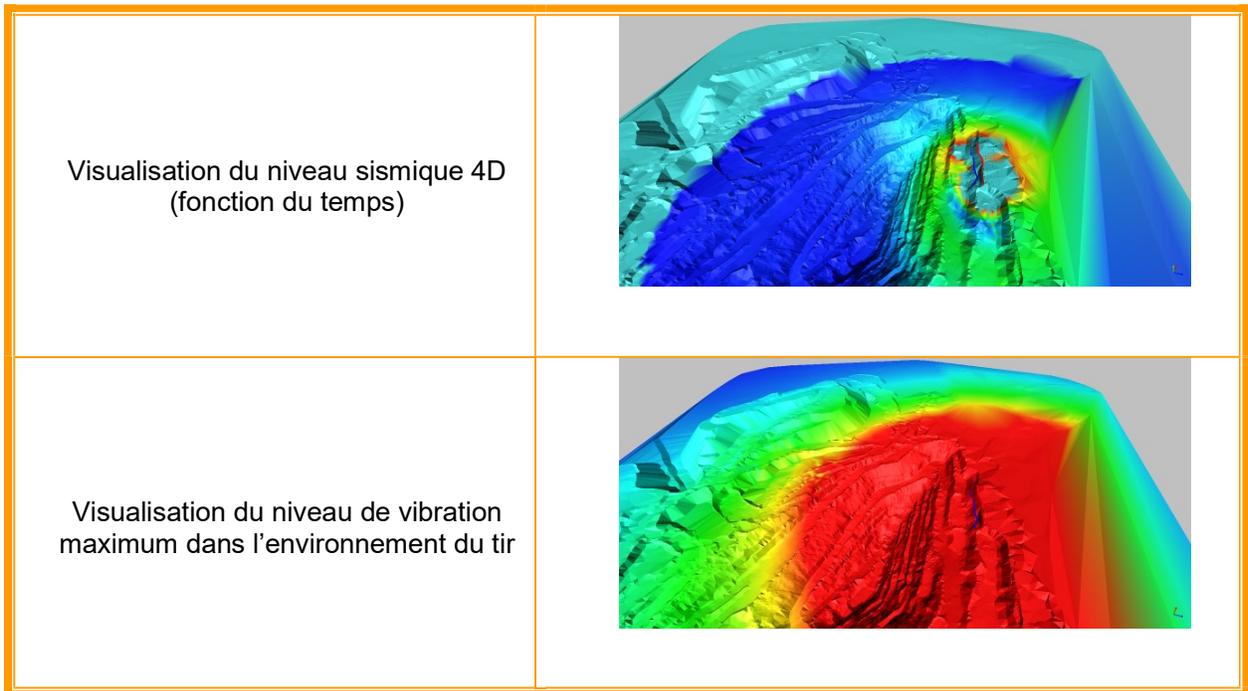
Le mécanisme de balistique qui décrit le mouvement 4D des matériaux a été amélioré pour prendre en compte les comportements différents entre des matériaux s'entrechoquant en vol ou avec des matériaux immobiles ou déjà posés au sol. Il en résulte un bien meilleur réalisme dans le mouvement. Celui-ci peut s'apprécier ci-dessous avec l'exemple de casting dans une mine de charbon.

<p>Tir de casting dans une mine de charbon.</p>	
<p>Simulation du tas abattu</p>	
<p>Superposition du tas réel (en jaune) mesuré à l'aide de drone (photogrammétrie)</p>	
<p>Vue en coupe pour apprécier la simulation par rapport à la mesure réelle du tas abattu</p>	

CHRONIQUE SAUTAGE

Le modèle sismique :

Le modèle de propagation sismique basé sur la méthode du trou signature (interférence des ondes) a été amélioré pour permettre l'utilisation simultanée de plusieurs trous signatures au sein d'un même tir et en s'appuyant sur la topographie. Il est donc possible de simuler plus précisément le niveau sismique aussi bien en champ proche qu'en champ lointain.



Conclusion

La modélisation 4D « réaliste », c'est-à-dire montrant la fragmentation, le mouvement des matériaux ainsi que la propagation sismique lors d'un tir de mines, est devenue possible grâce principalement à la disponibilité du calcul parallèle sur les ordinateurs portables mais aussi aux technologies permettant l'acquisition de données précises du massif telles que la surface du terrain avec des drones et la géologie à l'aide la mesure continue pendant la foration.

En une dizaine de minutes, les résultats de simulation sont disponibles, rendant l'outil utilisable au quotidien pour les géologues, géotechniciens ou les ingénieurs miniers.

Les applications sont nombreuses (tirs de surface, souterrain, tirs spéciaux) et permettent de tester des paramètres et d'appréhender leurs effets comme l'étalement du tas, l'endommagement des murs arrière ou la dilution ou les vibrations et d'en tirer des bénéfices immédiats.

Remerciements

L'auteur remercie les sociétés minières qui nous ont fait confiance pour l'utilisation de ce modèle sur leur exploitation et ont ainsi permis son amélioration et sa validation.