

Introduction

Ces dernières années, le numérique a envahi le domaine du minage. Comme dans beaucoup d'autres secteurs c'est avec l'utilisation des drones pour démocratiser la topographie qu'il a fait son entrée. L'implantation dite « 3D » d'un tir est presque devenue une banalité en carrière.

Remontons un peu dans le temps pour bien comprendre les enjeux de ce que la technologie apporte. Obtenir un bon résultat d'un tir de mines (bonne fragmentation, associée à peu de projection) s'obtient en contrôlant du mieux que l'on peut la banquette de la première rangée (épaisseur entre le trou et la face libre). En effet pour les rangées suivantes (en arrière) l'épaisseur par rapport à la rangée de devant est obtenue par le positionnement des trous lors de la foration.

Historiquement cette épaisseur de banquette s'est d'abord mesurée à l'aide de la technique dite « de la canne à pêche », c'est-à-dire en utilisant une perche au bout de laquelle on accrochait une corde avec un poids que l'on plaçait au pied du front, ce qui permettait de positionner au mieux le trou par rapport au pied du front.

Puis vint le profileur laser 2D qui lui permet d'obtenir un profil du front dans un plan vertical et permet ainsi l'implantation du trou en considérant par exemple l'épaisseur mini entre celui-ci et la face libre.

Avec l'évolution de la technologie, le profileur 2D est devenu 3D permettant d'obtenir un nuage de points sur la face du front du taille et par conséquent de pouvoir réaliser un profil dit critique, c'est-à-dire un profil au droit du trou, non plus dans un plan, mais zigzagant sur la face en capturant la distance la plus petite à chaque altitude. Ce traitement numérique permet de connaître les zones de plus petites et de plus grandes banquettes sur la hauteur du front permettant alors d'adapter le chargement pour garantir la sécurité vis-à-vis des projections et une bonne fragmentation.

La démocratisation de l'usage des drones depuis moins de 5 ans a permis de simplifier et d'améliorer la sécurité de mise en de ce processus en réalisant un jeu d'images en survolant la zone puis en appliquant un algorithme de photogrammétrie.

Bien que la technologie se soit considérablement améliorée depuis l'utilisation de la « canne à pêche », toutes ces technologies ont un point commun, l'homme reste au centre du processus, manipulant sur le terrain les différents outils. Rien de bien gênant a priori dans cela, si ce n'est qu'il faut disposer d'un opérateur spécialisé (technicien de mesure ou télépilote pour le drone) disponible au bon moment, c'est-à-dire lorsque le front de taille est dégagé. Et sur une exploitation (mine ou carrière) cet instant n'est pas facile à prévoir et dépend de nombreux paramètres d'exploitation, d'éventuelles pannes de matériel et de la météo.

L'objectif de la technologie présentée ci-dessous est de permettre la réalisation de ces opérations de relevé du front de taille en les rendant quasiment indépendante de l'opérateur, de sa disponibilité et des conditions de terrain.

Une journée d'un ingénieur en minage de demain

Intéressons-nous aux étapes principales de la journée d'un ingénieur en minage dans un futur proche. Celui-ci utilise l'ensemble des technologies disponibles actuellement afin d'optimiser le minage d'une exploitation de carrière ou d'une mine. L'optimisation consiste à concevoir le plan de tir avec les meilleurs paramètres afin de garantir les résultats et cela dans le meilleur temps. Ce processus est soutenu par une technologie qui automatise au maximum les tâches fastidieuses mais laisse l'humain au centre des décisions et des vérifications. Une description synthétique en est fournie avec la figure 1.





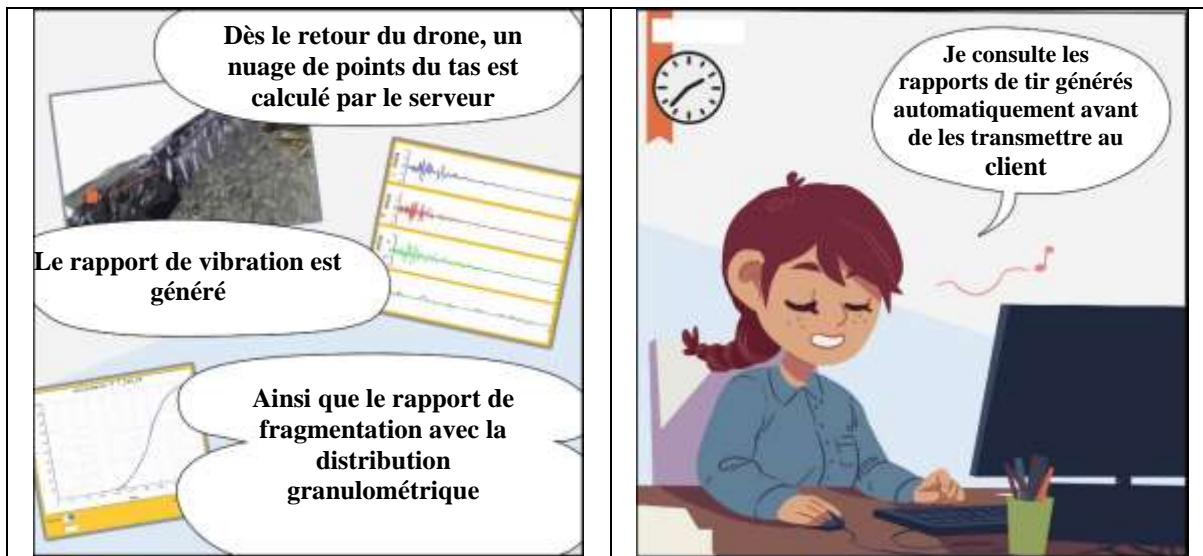


Figure 1. Une journée d'un ingénieur minage de demain

Prospective ou réalité ?

Certains d'entre vous pourraient penser que cette petite histoire n'est que de la science-fiction et que les opérations décrites sont bien loin de la réalité quotidienne des mineurs sur le terrain. Certes, il est vrai que, tel que présenté, ce processus n'est implémenté que sur quelques exploitations dans le monde et souvent partiellement un peu comme l'était la voiture électrique il y a 10 ans ou le téléphone cellulaire il y a 20 ans. L'évolution est en marche et il faudra beaucoup moins de 10 ans pour que cela devienne un standard dans notre industrie, sachant que la vitesse de développement des technologies est exponentielle. A l'heure où vous lisez cette publication, l'évolution technologique et réglementaire a déjà permis de transformer les missions automatiques de drone de souhait à réalité. La photo ci-dessous (figure 2) illustre le type de drone qui, installé sur une carrière en France, permet l'exécution de l'ensemble des missions évoquées ci-dessus (photogrammétrie, film du tir, inspection du site) en automatique. (*Attention cette technologie requière des autorisations spécifiques qui varient en fonction des pays*).



Figure 2. station de drone automatique

Quant aux autres technologies de conception automatique des plans de tirs à partir du nuage de points obtenu par photogrammétrie, elles sont disponibles au travers d'un logiciel spécialisé qui pilote l'automatisation du processus.

Dans le détail comment cela fonctionne ?

Le principe s'articule autour d'un nuage de points décrivant la topographie du site concerné et sa mise à jour automatique (figure 3) de façon à pouvoir disposer, pour la conception du plan de tir, de données actualisées.

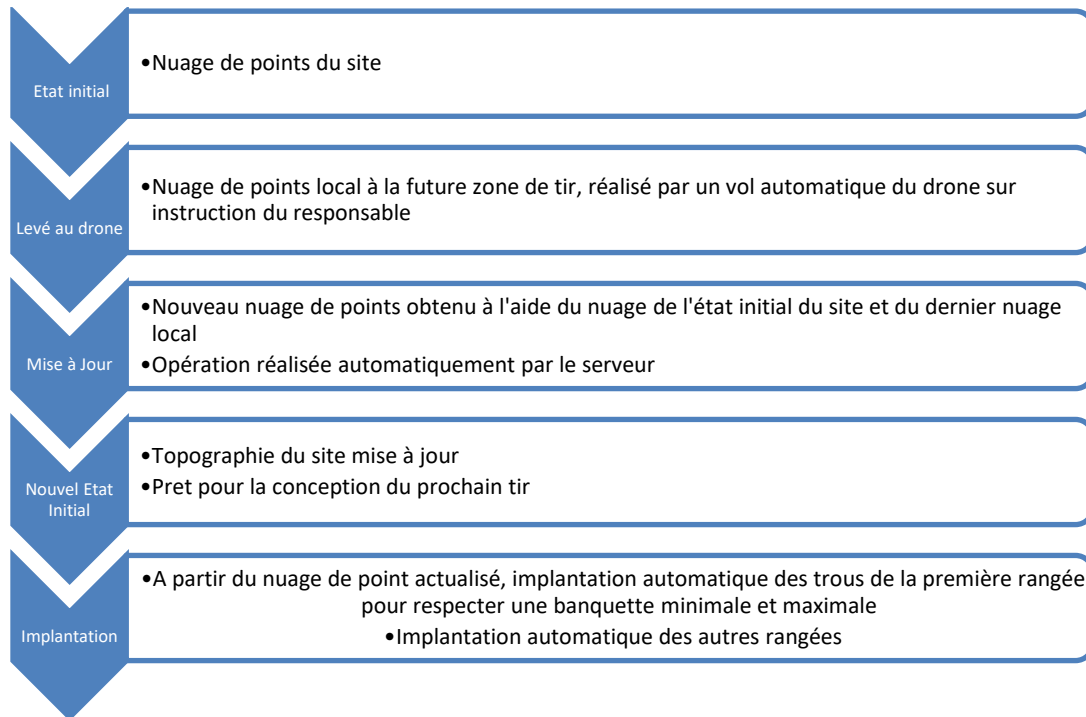

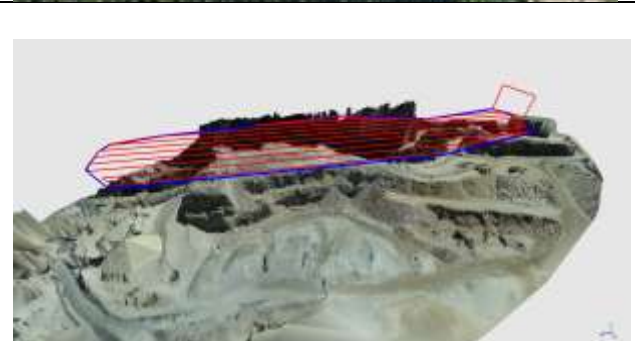





Figure 3. station de drone automatique

La procédure globale d'automatisation est décrite dans la table 1 ci-dessous

| | |
|---|--|
| <p>Etape 1 : Définition de la zone de vol par l'utilisateur à l'aide d'un polygone sur le fond de plan actuel.</p> |  |
| <p>Etape 2 : Le serveur calcul un plan de vol automatiquement en prenant en compte la topographie réelle du terrain La vue 3D sur le nuage actuel du site illustre le chemin de prise de photo (en rouge) pour la photogrammétrie.</p> |  |

| | |
|--|--|
| <p>Etape 3 : Décollage automatique du drone pour sa mission à partir d'une station fixe permettant le rechargement des batteries et le déchargement des données vers un serveur pour traitement ultérieur. L'opération est entièrement automatisée et ne nécessite pas la présence d'un télépilote.</p> |  |
| <p>Etape 4 : Vol de photogrammétrie avec survol des Points de Contrôle de Terrain. Ici on voit une cible avec un motif spécifique permettant son identification automatique par le traitement ultérieur.</p> |  |
| <p>Etape 5 : Transfert automatique des photos au serveur et calcul automatique du nuage points à l'aide de photos géoréférencées en RTK ou de points de contrôles de terrain matérialisés par des cibles qui sont détectées automatiquement par le traitement de photogrammétrie</p> |  |


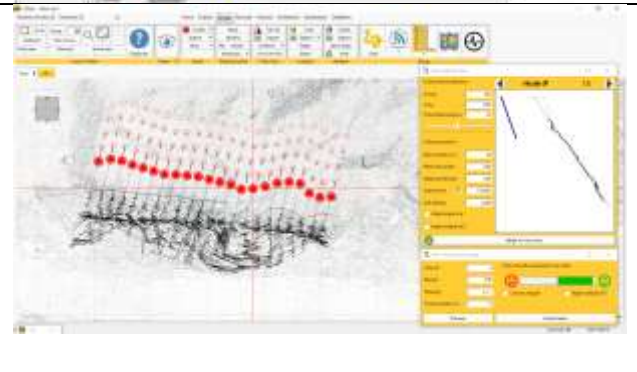

| | |
|---|---|
| <p>Etape 6 : Mise à jour automatique du nuage global du site en gardant les points les plus récents par rapport au nuage initial.</p> |  |
| <p>Etape 7 : L'implantation automatique des trous se fait à partir des profils critiques de front calculés avec le nuage de points puis des règles de banquettes mini et maxi par rapport à un profil moyen du front au droit de chaque trou.</p> <p>Le même principe est appliqué pour les rangées suivantes en prenant comme référence les trous de la première rangée.</p> |  |
| <p>Etape 8 : La transmission du plan de tir à une foreuse intelligente connectée à l'aide du protocole IREDES.</p> |  |

Table 1. Etapes de l'implantation automatique d'un tir

Mais qui oserait faire gérer la conception de l'implantation d'un tir de mines par une machine ?

J'ai déjà entendu un certain nombre de remarques sur le fait qu'une activité aussi délicate et risquée que le minage ne pouvait être confiée à une machine ou un algorithme, et qu'avec le temps, l'expertise et le métier des mineurs disparaîtrait, etc...

Ce sont les traditionnelles plaintes liées à toute évolution technologique. Les exemples similaires sont nombreux autour de nous. Citons par exemple l'ABS¹ qui lorsqu'il est apparu a suscité de vives réactions auprès de certains automobilistes qui voyaient au travers de ce système une perte de compétence du conducteur sans en contrebalancer l'énorme atout de sécurité, permettant à la voiture de freiner droit sans partir en glissade et sur une distance plus courte. Aujourd'hui qui voudrait d'une voiture sans ABS ? A

¹ Système empêchant le blocage des roues d'une voiture au freinage

noter que ce système, avant d'être introduit sur les automobiles, a été installé sur les avions et ce dès 1930 !

Un autre exemple plus proche de notre métier de mineur et celui de l'introduction de la mise à feu des tirs de mines par un système sans fil, principalement par ondes radio. Introduite par la société Delta Caps International en 2000, la technologie fut d'abord rejetée par quasiment tout le monde sous prétexte qu'il ne serait jamais possible de garantir la sécurité d'un tir de mines avec une telle technologie alors que l'essence même de cette technologie était de permettre au boute-feu responsable de la mise à feu de se positionner à un emplacement permettant d'assurer une bien meilleure sécurité visuelle de la zone de tir. 20 ans plus tard la technologie est banalisée et s'emploie sans retenue dans le monde entier.

L'histoire nous apprend donc que les bénéfices d'une technologie finissent par s'imposer face aux résistances des premiers utilisateurs qui y sont confrontés et qui affichent souvent une résistance au changement propre à l'homme.

Quant à la perte de compétence et de savoir-faire qui pourrait résulter de la mise en place d'une telle technologie, c'est également un faux problème pour trois raisons :

- La première est que la mise au point des algorithmes et leur maintien nécessite les meilleures compétences pour qu'ils soient les plus pertinents possibles.
- La deuxième est que, bien que le processus soit automatisé, la vérification de la cohérence des résultats obtenus reste sous la supervision d'un personnel compétent. L'automatisation ne concerne que les opérations fastidieuses, répétitives et susceptibles d'être réalisées de manière perfectible par l'homme.
- La dernière est liée à la mise en place d'un processus industriel basé sur des équipements et matériels sujets inexorablement à des dysfonctionnements ou pannes et qui nécessitent d'avoir une solution de fonctionnement en mode dégradé et donc supplantée par l'humain.

La compétence ne s'estompera pas mais se transférera en partie vers les personnels de conception des systèmes, les personnels de maintenance et les superviseurs du processus.

Conclusion and Future Work

La conception automatisée du plan de foration permet aujourd'hui d'optimiser les résultats d'un tir de mines (fragmentation, projection) en ajustant au mieux de celui-ci en fonction de la géométrie du front de taille et cela de manière quasiment automatique sous la supervision d'un ingénieur en minage qui valide les étapes du processus et en reste le garant.

Le processus peut être lancé à distance lorsque la configuration de l'exploitation et la météo y sont propices (front mariné, dégagé, vent et pluie modérés). Cela permet également de superviser plusieurs opérations simultanément tout en garantissant les meilleurs résultats pour l'opération à l'aide d'une compétence centralisée.

Pour aller plus loin, une automatisation complète du plan de tir est en cours d'expérimentation avec un calcul automatique du chargement et de la séquence d'initiation en fonction d'objectifs définis.



Acknowledgements

TBT remercie la société VICAT pour avoir permis la mise en place du drone automatisé sur son site de la Courbaisse, sans lequel ce processus d'automatisation ne pourrait être expérimenté.