

Simulation 3D à l'intention des opérateurs d'équipement minier

1.0 Introduction

La formation des opérateurs de poids lourd constitue un investissement. Le rendement de cet investissement se mesure en performance optimale dès le départ puisqu'il y a moins de temps d'arrêt quand le personnel apprend par la pratique. Le personnel convenablement formé fait une différence notable qui se traduit en un temps de fonctionnement plus important et une réduction des coûts d'entretien.

La formation du personnel qui sera appelé à utiliser de la machinerie lourde continue d'exiger des machines de production véritables utilisées dans un milieu de production réel sous la supervision d'un opérateur chevronné, avec tous les risques et les coûts qui s'y rattachent. Pire encore, les ressources limitées prévues pour la production ne sont pas toujours disponibles pour la formation des opérateurs. De plus, le problème de la formation risque de s'aggraver au fur et à mesure que l'automatisation s'étendra, par exemple par l'emploi d'équipement télécommandé.

C'est très certainement le cas dans le secteur minier tout particulièrement, où la nécessité d'accroître la productivité a mené à la mécanisation généralisée tandis que les machines sont progressivement devenues plus imposantes, plus puissantes, plus complexes et, par conséquent, plus difficiles à exploiter de façon productive. Les pelles-bottes électriques ou hydrauliques à câbles utilisées pour l'exploitation à ciel ouvert et les flèches articulées électrohydrauliques employées couramment pour le forage, le dérochement et le boulonnage dans les mines souterraines en sont des exemples (voir figure 1). Dans tous les cas, les tâches à effectuer par l'opérateur comprennent habituellement le positionnement (et parfois l'orientation) de l'outil installé au bout de la flèche au moyen de poussoirs, de leviers monoaxiaux et de manettes à deux axes.

De tels appareils de forage utilisés dans les mines souterraines, tantôt appelé foreuse à flèche, chariot de perforation, ou tout simplement jumbo, sont des machines munies de un ou plusieurs bras qui coûtent jusqu'à 1 200 000 \$. Les bras, ou flèches, ont habituellement six degrés de liberté pour positionner et orienter correctement la perforatrice (l'extrémité de la flèche) sur le front de taille de manière à forer des trous qui suivent la trajectoire du corps minéralisé, par exemple en haut et vers la droite. La commande est donnée au moyen de quatre leviers monoaxiaux et d'une manette à deux axes (ainsi que d'un poussoir à rappel « antiparallèle »). Les erreurs de mouvement dues aux limites hydrauliques sont partiellement compensées par l'opérateur, selon son expérience et ses compétences. (D'autres leviers encore servent à choisir les paramètres de forage).

Il appert manifestement que l'exploitation efficace d'un pareil équipement est la clé d'une mine constamment productive, mais l'acquisition des compétences nécessaires est longue et ardue. En fait, selon un observateur du secteur, il faut passer jusqu'à 160 heures aux commandes pour atteindre les cibles de production.

À l'achat d'une foreuse à flèche, le fabricant (par l'entremise du siège social ou du concessionnaire) détache généralement du



Figure 1 : foreuse à flèche effectuant un forage souterrain (photographie reproduite avec la permission d'Atlas Copco).

par Paul Freedman

Simlog

Abstract

When it comes to mining equipment, "training" means "doing". But until recently, the only way to "do" was on a real production machine in a real production work environment under the supervision of an experienced operator with all of the risks and associated costs. New 3D simulation training products are changing all this by helping training staff better select the right personnel to train and by helping trainees better prepare for their "seat-time" in a way that is reliable, completely safe, inexpensive, and always available. In this paper, we shall describe such training simulation and then review some of the new products coming to market from companies such as Simlog.

Sommaire

L'apprentissage par expérimentation est essentiel lors de la formation sur les équipements de forage minier. Jusqu'à maintenant, la seule façon d'expérimenter était sur une vraie machine en production, dans un environnement de travail réel, sous la supervision d'un opérateur expérimenté, avec tous les risques et les coûts associés à ce type d'entraînement. De nouveaux produits de simulation 3D pour l'entraînement sont en train de changer cette façon de faire en aidant les formateurs à choisir les meilleurs employés à entraîner et en aidant les employés à mieux se préparer pour les périodes d'entraînement sur les appareils en utilisant un procédé sûr, complètement sécuritaire, peu coûteux et toujours disponible. Dans le texte qui suit, nous décrirons un appareil de simulation pour l'entraînement de ce type, puis réviserons quelques nouveaux produits sur le marché tels ceux de Simlog.

personnel chargé de la formation pratique chez le client. Pour maintenir un niveau de production « raisonnable », surtout au début, le formateur doit cependant consacrer une partie de son temps aux commandes de la machine tandis que les employés se contentent d'observer et d'apprendre. Par conséquent, la durée de formation active est limitée. Pire encore, il faut souvent y mettre le temps pour découvrir que certains des travailleurs à l'entraînement ne sont pas faits pour ce genre de travail et ne deviendront jamais parfaitement efficaces à un tel poste.

Évidemment, s'il était possible de mieux sélectionner, de mieux les préparer à prendre les commandes, les travailleurs profiteraient davantage de la formation fournie par le fabricant, une fois acheté et livré le nouvel équipement. De plus, on pourrait recourir à un simulateur pour aider le personnel minier à maintenir les com-

pétences nécessaires à la manipulation efficace des flèches et des perforatrices sans devoir déplacer la machine, la régler et préparer les cibles de forage, etc.

C'est à cette étape qu'il y a lieu d'introduire des innovations dans la formation et où la simulation « graphique » ou 3D est profitable. On parle parfois de « réalité virtuelle » pour faire référence à la simulation graphique qui met l'accent sur l'interaction en temps réel avec des modèles 3D. Par comparaison avec la formation assistée par ordinateur (« multimédia »), où l'utilisateur suit des étapes d'apprentissage préprogrammées (questions et réponses), la simulation 3D implique de préciser comment faire évoluer l'environnement virtuel selon chacune des actions possibles de l'apprenant. Il n'existe donc pas de déroulement préalablement établi puisque l'évolution dépend de l'enchaînement de décisions prises par l'utilisateur.

Bref, la simulation 3D permet d'apprendre par la pratique - bien qu'exercée de façon simplifiée et dans un environnement plus rigoureusement maîtrisé que dans la réalité. (Il s'agit là de tout un atout au moment de transmettre des habiletés puisqu'on peut enseigner beaucoup plus de choses par la démonstration et l'action que par l'enseignement traditionnel en salle de classe. C'est ce qu'il est convenu d'appeler « simulation instrumentale ».)

De plus, la simulation graphique peut servir à présélectionner les candidats à la formation; en effet, selon des données non scientifiques, de 10 à 30 p. 100 des apprenants ne possèdent pas les aptitudes nécessaires (par exemple, la coordination oculo-manuelle) pour devenir éventuellement des opérateurs pleinement productifs.

Mais jusqu'à il y a peu, la simulation graphique en temps réel coûtait extrêmement cher en raison de la nature des plateformes informatiques qu'il fallait utiliser. Tout cela est appelé à changer puisque les PC compatibles IBM roulent maintenant à une cadence plus rapide, sont capables de multitraitement (par exemple, avec les systèmes biprocesseurs) et offrent un graphisme 3D amélioré dû à l'accélération matérielle.

C'est ainsi que le nouveau millénaire marque l'avènement de nouveaux simulateurs d'apprentissage « de table » abordables à l'intention de l'industrie minière. Celui de Simlog (www.simlog.com), qui fait l'objet du présent article, en est un exemple. Simlog est une nouvelle entreprise canadienne établie à Montréal qui se consacre à la formation des opérateurs de poids lourd. Des simulateurs d'apprentissage destinés aux opérateurs d'équipement forestier et de grue mobile figurent parmi les premiers produits lancés par Simlog.

2.0 Simulation d'équipement minier

Jusqu'à présent, la simulation graphique de l'équipement minier portait principalement sur la formation en matière de sécurité et non pas sur la formation professionnelle comme telle (l'acquisition de compétences). Il s'agit là de la même stratégie appliquée avec les « simulateurs de vol » fabriqués par CAE Électronique à Montréal, avec lesquels on fournit aux pilotes (qui savent déjà piloter un avion) un environnement virtuel qui leur permet d'apprendre à manipuler les nouvelles commandes d'un nouvel appareil, essentiellement dans le but de leur apprendre à s'arranger de conditions de vol difficiles et d'urgences en vol.

Prenons, par exemple, les « simulateurs de conduite » mis au point depuis peu pour former les opérateurs de camion des exploitations minières à ciel ouvert. Il en existe deux sur le marché : l'un d'une société américaine, Digitran; l'autre d'une société australienne, Immersion Technologies. Tous deux comportent les commandes et les instruments d'un vrai camion, un système de mouvement à trois axes pour simuler l'état de la route et les pentes, une composante audio et un affichage graphique à grand angle. Ces produits sont en outre capables de simuler le comportement dynamique du camion dû aux variations de régime du moteur, au débrayage ou à l'embrayage de la transmission, à l'application des freins, à la manœuvre du volant, etc.

Comme tous les simulateurs de conduite, y compris ceux conçus pour la conduite de camion de marchandises par la société suédoise Prosolvia, ces simulateurs visent à aider les apprenants à :

- maîtriser les commandes, les instruments et le tableau de bord des vrais camions de transport;
- faire face aux conditions de conduite difficiles, y compris celles de dérapage, de virage, de panne de l'équipement, etc.

Comme le laisse entendre l'une des brochures publicitaires, ces produits simulent comment un camion dérape sur un chemin détrempe ou interagit avec d'autres pièces d'équipement de la mine. Les opérateurs sont formés à prendre des décisions en une fraction de seconde. Or, certaines décisions erronées auraient risqué d'avoir des résultats fatals si elles avaient été prise dans la réalité plutôt qu'au cours d'une exercice au simulateur.

On remarque l'accent mis sur l'apprentissage à la manœuvre sécuritaire, puisque les apprenants doivent déjà - de toute évidence - posséder un permis de conduire approprié. Autrement dit, les simulateurs ne sont pas conçus pour enseigner les rudiments de la conduite de camion, mais bien pour exposer les apprenants à des situations difficiles liées à la conduite de camion dans une mine à ciel ouvert (tout à fait comme les simulateurs de vol, qui ne visent pas les pilotes novices).

Le simulateur de cages d'extraction offert récemment par les sociétés espagnoles ESM et Hunosa met le même accent sur la sécurité des manœuvres. (La cage d'extraction consiste en un ascenseur suspendu dans un puits et dans lequel prennent place le personnel ou l'équipement pour descendre dans la mine ou remonter à la surface.) Ce simulateur vise également à susciter l'état d'alerte contextuel et la formation en matière de sécurité ainsi qu'à évaluer les aptitudes et les temps de réaction des opérateurs. C'est ainsi que l'opérateur interagit au moyen des commandes d'une vraie cage tandis que le simulateur offre des graphiques 3D simples et des sons; l'ensemble comporte également un poste pour le formateur. Une fois encore, la manipulation des commandes (une série de simples leviers) ne tient qu'une place mineure dans l'apprentissage à l'aide d'un simulateur.

Mais d'après l'expérience acquise par Simlog en matière de simulation de conduite d'engin forestier et de grue mobile, la formation peut receler une valeur ajoutée considérablement plus importante quand elle s'applique précisément aux compétences essentielles aux manœuvres de l'équipement qui sont difficiles à acquérir. En pareil cas, le simulateur fournit un environnement de travail virtuel idéal pour les exercices répétitifs au cœur même de la maîtrise des habiletés opérationnelles, surtout quand la pratique sur le terrain est coûteuse et risque d'être dangereuse. La section suivante porte sur la conception de pareils simulateurs au service de l'apprentissage.

3.0 Conception de simulateurs 3D au service de l'apprentissage

De manière générale, le prix final d'un simulateur dépend largement de la nature et de la complexité de composants matériels de l'appareil. L'intégration d'éléments de vraies machines contribue au réalisme du simulateur, mais aussi à la complexité et au prix de l'ensemble. Mais il y plus : quand il s'agit d'acquérir les habiletés de base nécessaires à la conduite de poids lourd, de tels éléments n'ajoutent pas toujours à l'efficacité de la formation. En fait, le « transfert », c'est-à-dire l'application efficace, par l'apprenant, des habiletés voulues sur de vraies machines et ce, dès que possible, en recourant d'abord à un simulateur d'apprentissage, constitue un point clé de l'analyse de rentabilité portant sur l'ajout d'aides à la simulation en vue d'enrichir les programmes de formation en place où l'utilisation de simulateurs n'est pas requise par la réglementation gouvernementale.

Songeons aux graphiques 3D ou à la richesse des présentations visuelles. Cette caractéristique est directement reliée au type d'ordinateur qui pilote la simulation; au fur et à mesure que la scène s'enrichit de détails, il faut de plus en plus de puissance informatique pour « rendre » les éléments visuels en temps réel. D'où un prix plus élevé. Mais le besoin en réalisme de perception dépend largement du type de formation à fournir. En fait, selon les recherches mettant en regard les facteurs humains et la qualité des scènes utilisées pour les simulateurs de vol, différents types de propriétés visuelles ont leur importance pour dif-

férents types de tâches. Ainsi, des expériences récentes ont permis de constater que l'interactivité en temps réel peut s'avérer plus importante que le réalisme de l'image dans certains types de manipulations. De fait, quand des objets bougent, la résolution de l'image peut être amoindrie tout en transmettant des données sensorielles adéquates. Voilà qui donne à penser que les habiletés « de base » peuvent s'acquérir même si la présentation visuelle est simple.

La rétroaction sonore contribue également à la formation. En plus de reproduire les sons essentiels de la machine à l'œuvre, d'autres éléments audio peuvent s'ajouter pour enrichir la rétroaction reçue par l'opérateur, par exemple pour signaler un contact ou une collision indésirable entre objets.

Mais il ne suffit pas de reproduire des éléments visuels et audio du véritable environnement de travail. Pour que l'opérateur sache transférer dans son « vrai » monde les habiletés acquises au simulateur, encore faut-il que ce dernier reproduise fidèlement le comportement réel de la machine et ses « règles d'interaction ». Par comportement réel, nous entendons, par exemple, que la simulation du déplacement des pistons hydrauliques de la flèche dans leur cylindre devraient se faire à la même vitesse et sur les mêmes distances que le déplacement des vérins dans la vraie machine. La reproduction de pareils comportements implique de modéliser le comportement physique des objets dans le monde réel. De plus, il faut habituellement intégrer la détection des contacts et des collisions où des volumes englobants simples sont associés à des objets clés en vue de déceler de tels contacts ou collisions sur-le-champ en temps réel sans savoir préalablement comment ces objets se comportent.

Bien entendu, l'assemblage de ces éléments (graphiques 3D, son, comportement réel, détection des contacts et des collisions) de manière à créer une formation à valeur ajoutée réelle constitue un défi en soi et une enquête menée récemment sur les simulateurs d'apprentissage conçus pour l'armée a mis au jour deux grandes faiblesses souvent manifestes.

D'abord, il est difficile d'établir l'efficacité de l'apprentissage. Il n'y a pas ou il n'y a guère de données qui décrivent et, surtout, qui quantifient les avantages inhérents à la formation reposant sur l'utilisation d'un simulateur (par comparaison à la formation n'y ayant pas recours). Ensuite, la conception de tels systèmes vise surtout la simulation de la machine et non pas la formation en soi. En d'autres mots, l'accent porte sur la reproduction de l'environnement opérationnel et du comportement réel des vraies machines (avion ou blindé, par exemple) sans trop s'attacher à faciliter l'apprentissage même de l'opérateur.

Prenons une analogie : l'apprentissage de la conduite automobile. Imaginez combien les choses seraient plus faciles et plus rapides s'il s'agissait simplement d'apprendre d'abord à maîtriser le volant, puis les pédales, pour ensuite combiner ces deux habiletés. Les simulateurs bien pensés fonctionnent précisément selon ce principe. Ils décomposent les apprentissages essentiels de la conduite en petites « étapes » que l'apprenant maîtrise les unes à la suite des autres; les simulateurs font en outre varier le degré de difficulté des tâches simulées et le raffinement du comportement machine simulé. De la sorte, ils accélèrent l'apprentissage en réduisant la « charge cognitive » propre à chaque étape.

La section suivante porte sur la mise au point d'un tel simulateur destiné aux opérateurs d'équipement minier souterrain.

4.0 Simulateur d'apprentissage destiné aux opérateurs de foreuse à flèche

Songeant à ces observations, Simlog a terminé depuis peu la mise au point d'un simulateur de foreuse à flèche destiné à la formation des opérateurs d'équipement minier souterrain; ce simulateur a été réalisé en collaboration avec Construction et Mines Atlas Copco Amérique du Nord, établie à Sudbury (Ontario) (voir la figure 2).

Figure 2 : le simulateur de Simlog - meuble, écran couleur et pupitre de commande.



Le simulateur reproduit les composants essentiels de l'interface de commande d'une vraie foreuse à flèche au moyen de leviers, manettes et poussoirs comme ceux utilisés dans les machines. Le simulateur comporte également de l'électronique d'interface exclusive, un seul ordinateur compatible IBM ainsi qu'un écran couleur ordinaire (qu'on peut, à son gré, remplacer par un équipement vidéo plus coûteux pour obtenir un plus grand champ de vision).

Le simulateur de Simlog présente des graphiques 3D qui combinent la présentation visuelle de la flèche et du front de taille à une série unique de repères artificiels (inexistants dans le monde réel) afin d'améliorer la perception 3D à l'écran bidimensionnel (voir la figure 3). Les recherches portant sur les facteurs humains indiquent que ces repères visuels améliorent effectivement de beaucoup la perception de la profondeur. De plus, le simulateur de Simlog reproduit minutieusement le comportement réel de l'appareil et les sons essentiels de la foreuse à l'œuvre de même que la détection des contacts ou collisions.

On s'efforce actuellement d'exploiter la puissance de la simulation graphique en créant un cadre pédagogique à base de modules d'apprentissage qui enseigneront les rudiments du fonctionnement de la foreuse à flèche par étape. En vérité, c'est cet apprentissage progressif de la complexité de la machine qui donne au simulateur toute son utilité comme outil d'apprentissage. Au fil de la formation, on applique des « critères de performance » aux résultats obtenus afin de mesurer les progrès et d'évaluer le travail (simulé) des apprenants. Toutes ces données sont ensuite enregistrées dans la base de données du simulateur pour chaque apprenant.

Ainsi, l'un des modules est consacré à la maîtrise des commandes de la foreuse (leviers, manettes et poussoirs). L'écran affiche une série de trous à forer (ronds) dans le front de taille et, pour chaque essai, un seul des trous est ciblé. Une ligne cylindrique partant du trou ciblé désigne l'orientation de forage précisée. L'apprenant doit alors manier les commandes pour placer l'extrémité de la perforatrice de manière à forer le trou à l'endroit voulu dans l'orientation prévue. Les critères de performance sont les suivants : temps d'exécution de l'essai, écarts de positionnement (vertical et horizontal) et écarts d'orientation (écart d'inclinaison et écart longitudinal).

Enfin, le simulateur (comme tous les autres produits de Simlog) sera également doté d'une interface Web pour que le formateur puisse contrôler à distance les progrès des apprenants en consultant les fichiers de données consignés dans la base de données de l'appareil. De plus, cette interface permettra au formateur d'effectuer diverses tâches administratives, par exemple préparer une nouvelle classe, ajouter un apprenant à la liste d'inscrits, etc. On travaille actuellement à la conception d'analy-

ses statistiques qui aideront le formateur à comparer les résultats des apprenants d'une même classe entre eux et d'une classe à l'autre.

Pour ce qui est de la valeur ajoutée prévue pour le simulateur d'apprentissage, nous nous basons sur l'expérience acquise dans l'industrie forestière. En fait, les défis de formation que présente le secteur minier sont comparables à ceux du secteur forestier sur au moins un point : les machines seules sont insuffisantes puisque, dans les deux cas, les ressources à exploiter sont nécessaires (mine ou forêt). Songeons aux résultats des imposantes recherches sur le terrain menées avec le prototype de simulateur d'abatteuse-façonneuse de Simlog dans un centre de formation professionnel établi au Québec en 1997 et 1998. Tout compte fait, près de 50 étudiants ont eu chacun de 25 à 30 heures de formation sur le simulateur. Signalons que les engins forestiers ne comportent généralement que quatre degrés de liberté, et non pas six, ce qui simplifie le positionnement et l'orientation de l'extrémité de la flèche. (L'interface de commande est également plus simple que celle de la foreuse à flèche puisqu'elle se compose de seulement deux manettes à deux axes.)



Figure 3 : plan rapproché de l'image 3D du simulateur de Simlog.

Regroupés, les résultats de quatre essais sur le terrain confirment la valeur ajoutée de la préparation sur simulateur d'apprentissage avant le travail pratique en forêt (environ 150 heures par étudiant). En moyenne, la récolte de bois a été de 25 p. 100 plus importante pour une même durée de formation et les étudiants étaient de 10 à 15 p. 100 plus pro-

ductifs à la fin. De plus, on attribue à la formation sur simulateur une réduction d'environ 25 p. 100 du coût d'entretien de l'équipement. On estime en outre qu'il est possible d'évaluer les aptitudes des candidats à la formation en aussi peu que 3 heures de simulation, de manière à écarter ceux qui ne sont pas doués pour ce type de travail.

C'est donc sur ces résultats que nous nous fondons pour prévoir la valeur vraisemblable de notre simulateur de foreuse à flèche, le premier d'une série de produits au service des opérateurs d'équipement minier.

5.0 Conclusion

La simulation graphique interactive (parfois désigné sous l'appellation « réalité virtuelle ») désigne la création d'une expérience perceptuelle synthétique (artificielle) qui correspond à une expérience perceptuelle réelle. Dans cet article, nous avons d'abord décrit les ingrédients essentiels d'une telle simulation axée sur l'apprentissage, puis nous avons donné un aperçu des simulateurs maintenant offerts pour former les opérateurs d'équipement minier, dont le nouveau produit de Simlog, le chef de file des spécialistes en simulateur d'apprentissage du Canada.

En sondant l'avenir, il est sage de garder à l'esprit que la simulation 3D dans le domaine de la formation en est encore à ses premiers balbutiements. Simlog est particulièrement résolue à collaborer avec les gens de l'industrie afin créer de nouveaux produits là où la formation des opérateurs de poids lourds pourra en profiter. Outre la mise au point de simulateurs, Simlog offre également des services de formation complets à l'aide de ses propres produits sous la supervision de spécialistes de la formation. Ces services sont dispensés dans les locaux du client ou dans les bureaux de Simlog (à un tarif plus avantageux).

À propos de l'auteur

Paul Freedman détient des diplômes en génie physique et en génie électrique de l'Université de Toronto, de l'Université de la Colombie-Britannique et de l'Université McGill.

Il a occupé le poste de chercheur principal des années durant au Centre de recherche informatique de Montréal (CRIM), l'un des chefs de file de la recherche dans le domaine des technologies de l'information au Canada.

Paul Freedman a quitté le CRIM en 1999 pour fonder SIMLOG et commercialiser une technologie de simulation 3D innovatrice qui a vu le jour au CRIM dans le but de former les opérateurs d'équipement forestier.