

Projet 2018-04: Optimisation des mailles de forages pour les besoins du calcul de ressources – Phase 3

APPORT DES SIMULATIONS CONDITIONNELLES À LA CARACTÉRISATION DES RESSOURCES AURIFÈRES

Par Silvain Rafini, Ph.D. - CONSOREM

Ce projet avait pour mandat d'investiguer l'usage de la modélisation stochastique pour la caractérisation des ressources aurifères. Plus précisément, ces méthodes probabilistes permettent d'établir une cartographie tridimensionnelle de l'incertitude associée aux estimations de teneurs. L'implémentation de cette donnée quantitative dans la caractérisation des ressources revêt un fort intérêt potentiel au niveau de l'optimisation des mailles de forages, de la validation et de la classification. Deux méthodes de modélisation étaient pressenties dans ce projet : les simulations conditionnelles séquentielles gaussiennes (algorithme SGSIM) et les simulations de type « *filter-based* ». La première est une méthode gaussienne relativement standard faisant l'objet d'un consensus académique à défaut d'un consensus industriel. La deuxième, en revanche, relève des statistiques multipoints, une approche dont plusieurs aspects demeurent débattus dans le champ académique. Par ailleurs, la nature fortement entropique de la variable *teneur aurifère* est telle que sa modélisation par les SGSIM constitue en soi une tâche complexe, requérant plusieurs étapes de transformation des données d'entrée et de validation des modèles. Il a donc été décidé de concentrer ce projet sur l'utilisation des SGSIM en exploration aurifère. Le travail s'est réparti en deux volets : 1) documenter les étapes de la modélisation des valeurs aurifères par les SGSIM et faire une étude de sensibilité de ces modèles au paramétrage, 2) évaluer l'apport de cet outil dans la caractérisation des ressources aurifères au sein d'un gisement typique « orogénique » abitibien.

Le premier volet relève essentiellement d'une revue bibliographique. Plusieurs protocoles ont été tirés de la littérature, qui convergent sur le fait que la *préparation des données* et la *validation des modèles* sont deux étapes critiques pour la modélisation des teneurs aurifères. La préparation vise essentiellement à transformer les données d'entrées, intrinsèquement non gaussienne, en une variable modélisable autrement dit satisfaisant les postulats de l'approche variographique gaussienne. Elles se déclinent en trois points : transformation normale, écrêtage, et de « *trending* ». La validation des modèles, en fin de protocole, consiste à vérifier que les modélisations valident les propriétés fondamentales des données d'entrée, en premier lieu l'histogramme et le variogramme. Les auteurs insistent sur l'importance de cette étape, toute négligence conduisant potentiellement à des résultats fortement biaisés.

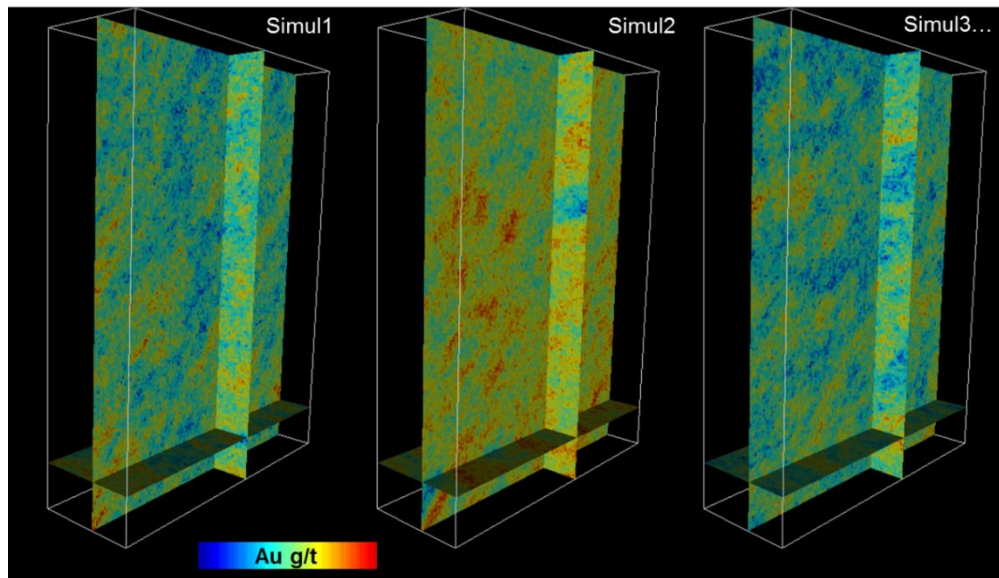
L'étude de sensibilité aux paramètres du modèle indique que l'orientation et la portée de l'ellipsoïde de recherche n'ont pas une forte influence et ne sont donc pas des sources d'incertitude significative. En contrepartie, la transformation normale des données d'entrée et l'effet pépité du variogramme modèle sont deux paramètres extrêmement critiques. Une mauvaise configuration de ces paramètres entraînera des erreurs majeures sur les résultats de la modélisation.

Dans le deuxième volet, le traitement des données aurifères du gîte de Pascalis (Abitibi) a constitué une étude de cas pour évaluer l'apport des SGSIM en exploration aurifère. La fonction de probabilité cumulée sur 100 réalisations équiprobables permet d'associer des valeurs de certitude (probabilité) à des valeurs de tonnage au sein d'un domaine. En revanche, on démontre que les cartographies 3D des teneurs et probabilités locales ne sont reproductibles que dans les zones directement contraintes par les données d'entrée (points de contrôle). En effet, les coefficients de corrélation entre 3 séries de 100 réalisations, tout paramètre étant égal excepté le générateur de nombre aléatoire, chute drastiquement lorsque la maille locale des points de contrôle est inférieure 25 m. Une telle analyse de la reproductibilité des modèles au regard des propriétés géométriques locales de la maille procure, en première approximation, une estimation de la maille optimale moyenne dans un domaine donné. Il est par ailleurs démontré que l'effet quadratique de proportionnalité entre la variance et la teneur prévaut largement sur les variations locales de densité de la maille. En d'autres termes, les zones à forte teneur ont naturellement une incertitude plus élevée, il est impossible de diminuer significativement cette incertitude – dans le but de l'homogénéiser – par une modulation locale de la densité de forages. Pour finir, à l'échelle du domaine, les SGSIM permettent d'investiguer si un état de connaissance donné est « suffisant » ou non. La méthodologie proposée fait intervenir un *indice de représentativité*, correspondant à

l'écart de tonnage à forte et faible probabilité conditionnelle, lequel est comparé au *degré de contrainte* du domaine (pourcentage de blocs contrôlés dans le domaine). Cette approche permet de comparer l'état de connaissance entre différents domaines et d'orienter ainsi les efforts de définition sur le bon domaine.

En conclusion, ces travaux indiquent que les SGSIM sont aptes à investiguer l'incertitude du tonnage ainsi que la validité d'une couverture de forages donnée à l'échelle du domaine, et procurent des indications sur la maille optimale moyenne dans un domaine. En revanche, elles sont inaptes à cartographier l'incertitude sur les estimations en dehors des zones influencées directement par des données d'entrées. Ceci découle de l'absence de prise en compte d'informations structurelles de la variable d'entrée, inhérent au postulat de stationnarité.

Les simulations conditionnelles ne décrivent pas la réalité, mais la modélisent. Elles sont tributaires de postulats dont la validité doit être adressée au moyen d'un protocole rigoureux. Cette étude démontre qu'elles sont d'un usage précieux en exploration pour investiguer l'incertitude, dans certaines limites, et procure d'une certaine manière une analyse de sensibilité du krigeage ; leur usage est toutefois non trivial et requiert une expertise appropriée.



Exemple de simulations conditionnelles de valeurs aurifères sous le logiciel SGeMS

FICHE SOMMAIRE

Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Investiguer l'utilité des simulations conditionnelles pour la caractérisation des ressources aurifères ♦ Faciliter l'accessibilité de ces méthodes pour les praticiens en exploration ♦ Investiguer la conception des images d'entraînement, dans les méthodes statistiques multipoints
Résultats	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Établissement de protocoles rigoureux pour la réalisation de simulations conditionnelles séquentielles gaussiennes : transformation des variables d'entrée et validation des modèles ♦ Analyse de sensibilité des modèles obtenus avec ces méthodes ♦ Proposition de méthodologies pour l'utilisation des simulations conditionnelles aux niveaux suivants de la caractérisation de ressources aurifères : <ul style="list-style-type: none"> ♦ Calcul de l'incertitude associée à des valeurs de tonnage au sein d'un domaine ♦ Analyse de la validité (« suffisante ») d'une couverture d'échantillons donnée au sein d'un domaine ♦ Analyse de la maille optimale moyenne au sein d'un domaine ♦ Ces méthodes ne permettent pas de cartographier l'incertitude au-delà de la zone d'influence directe des points de contrôle
Innovations	<ul style="list-style-type: none"> ♦ Documentation rigoureuse des aptitudes et inaptitudes des simulations conditionnelles séquentielles gaussiennes pour la caractérisation des ressources aurifères ♦ Détermination des limites rigoureuses encadrant la quantification objective de l'incertitude par ces méthodes
Produits livrés	<ul style="list-style-type: none"> ♦ 3 présentations, un rapport, et des ateliers sur l'utilisation des simulations conditionnelles sous le logiciel SGeMS