

# CHPITRE

# 1

---

## Chapitre II : Les méthodes numérique

---

### I.1 Introduction

L'évaluation de ressources minières est l'étape clef de tout projet minier. Car elle fournit des éléments nécessaires à l'étude de faisabilité d'une exploitation minière. Laquelle étude, détermine si l'exploitation d'un gisement sera rentable ou pas. En effet, le succès d'un projet minier revient non seulement à utiliser le meilleur outil d'évaluation mais aussi à choisir une méthode d'évaluation qui puisse minimiser les risques et optimiser le gain.

Cependant, la décision d'exploiter ou pas un gisement dépend principalement de la teneur moyenne du gisement et son volume. Un gisement peut avoir des teneurs très élevées, du moment que son volume ne permet pas de l'exploiter pendant des années, l'intérêt est donc faible. Tout comme un gisement peut s'étendre sur une grande étendue mais il faut qu'il renferme des teneurs considérables qui puissent compenser le cout d'exploitation et générer un gain.

### I.2 Méthodes d'évaluation de ressources minières

L'évaluation de la teneur moyenne nécessite une extrapolation. Car la teneur vraie d'un gisement n'est jamais connue au départ. On ne la connaît qu'à partir de quelques échantillons prélevés sur les trous de forage, lesquels d'échantillons vont faire objets d'une analyse chimique pour déterminer leur teneur minérale.

Plus les échantillons prélevés sont plus rapprochés plus l'estimation de la teneur sera bonne.

Les teneurs sur les restes de points du gisement ne seront connues que par déduction de teneurs que nous connaissons déjà. Plusieurs façons de déduire cette teneur engendrent plusieurs méthodes d'estimations minières. Certaines méthodes ont les mérites d'être simples mais moins précises alors que d'autres sont plus précises et plus efficaces.

Voici les 5 méthodes usuelles dans l'évaluation de ressources minières :

- Méthode de voisin rapproché (méthode de polygones)
- Technique de triangle (estimation ponctuelle et de blocs)

- Méthode de l'inverse de distance
- Méthode de sections
- Et celle de Krigeage

## I.2.1 Méthode de voisin rapproché (méthode de polygones)

### 1. Principe

La teneur estimée en un point est égale à la teneur du point connu le plus proche. Dans la pratique cela revient à définir des polygones (polygones de Thiessen ou de Voronoï) à teneur constante.

Cette technique consiste à représenter sur une carte les échantillons avec leurs teneurs respectives et d'y superposer une grille de coordonnées géographiques XY. Pour y arriver, nous pouvons utiliser n'importe quel logiciel de cartographie, tel que Mapinfo, Arcgis, Qgis ou Surfer.

Soit l'exemple de données de teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtenues sur 13 puits répartis à travers un gisement, les données sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 01 : Exemple de données (teneurs en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)**

<b>ID</b>	<b>X_UTM</b>	<b>Y_UTM</b>	<b>Z</b>	<b>Depth_From</b>	<b>Depth_To</b>	<b>Fe2O3</b>
CB 02	421398	4024661	993,4	4,65	5,6	82,29
CB 03	421464	4024737	1026,6	0	1,4	71,07
CB 04	421489	4024665	984,7	9,1	10,3	38,54
CB 06	421482	4024578	972,9	7	8,1	61,08
CB 07.1	421525	4024748	1013,3	2,1	2,7	66,79
CB 1	421387	4024729	988,6	5,7	6,4	86,32
CB 10	421581	4024760	1032	7	8	63,87
CB 11	421578	4024656	996,5	10	10,5	37,05
CB 11.1	421624	4024605	1005	4	5	14,38
CB 13	421674	4024640	990	19,1	20	37,63
CB 14	421670	4024565	996,1	0	0,9	75,49
CB 7	421525	4024800	1018,2	13,6	14,8	55,28
CB 8	421529	4024673	996,2	0,4	3,8	7,06

Ces données serviront au tracé d'une carte de localisation des points d'observation :



Figure 01 : Carte de localisation des points d'observations des échantillons

Ensuite, il faut relier 3 à 3 les différents points représentés en formant des triangles le plus équilatéraux possibles.

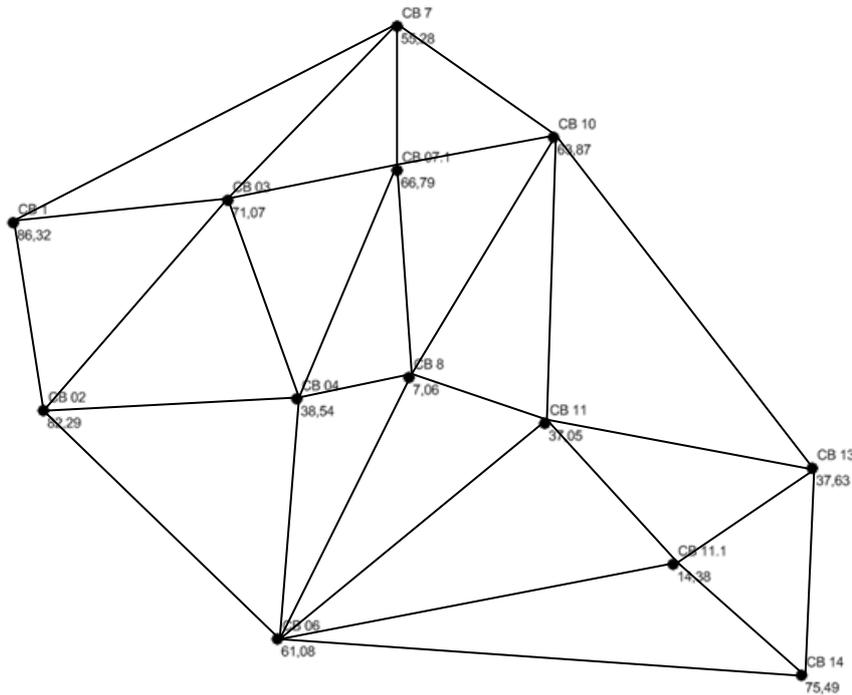


Figure 02 : Tracé des triangles à partir des points d'observations

Enfin, nous levons des perpendiculaires à chaque côté de triangles. Ces perpendiculaires passent par les milieux de ces dits cotés. Il se forme une sorte des polygones, ces polygones sont appelés polygones de Thiessen ou de Voronoï.

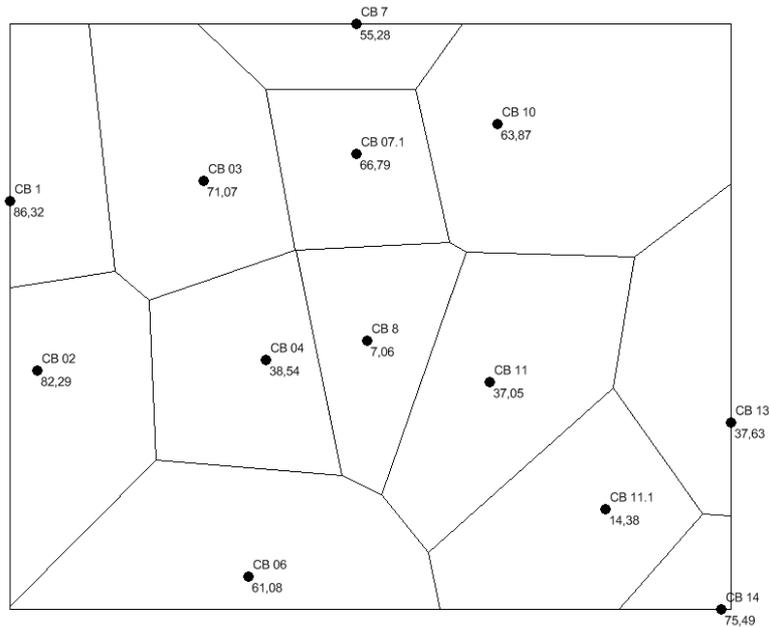


Figure 03 : Tracé des médiatrices en formant des polygones (polygones de Voronoï)

Les polygones de Voronoï peuvent être déterminés automatiquement à l'aide des logiciels de cartographies Surfer, Mapinfo ....

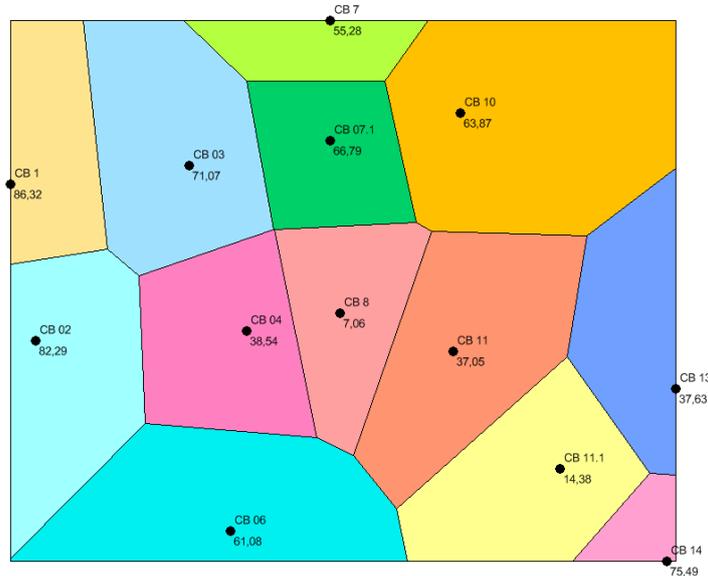


Figure 04 : Polygones de Thiesen (polygones de Voronoï)

Une fois que les polygones de Voronoï sont dressés, la teneur moyenne s'obtient par la formule suivante :

$$t_{moy} = \frac{\sum_i t_i \times S_i}{\sum_i S_i}$$

Avec  $t_i$  : teneur d'un polygone  $i$  et  $S_i$  : surface (aire) du polygone  $i$ .

## 2. Exemple d'application de la méthode des polygones

Les teneurs étant perceptibles sur la carte, il ne reste plus qu'à déterminer la surface (ou l'aire) de différents polygones de Voronoi pour appliquer cette formule. Et pour cela, directement sous Mapinfo on va remplir les colonnes surface des polygone à l'aide de la fonction area et on calcule la colonne (si.ti) automatiquement, ensuite on peut exporter cette table vers Excel et on termine le reste des calculs (tableau ci-dessous).

**Tableau 02 : Résultat des différents calculs**

<b>ID</b>	<b>Surface - Polygone (m2)</b>	<b>Teneur (ti)</b>	<b>Si . ti</b>
CB 06	7446,04	61,08	454804,1843
CB 02	5799,39	82,29	477231,9677
CB 1	3779,13	86,32	326214,7606
CB 03	6760,29	71,07	480453,7392
CB 04	5211,55	38,54	200853,0985
CB 7	2148,19	55,28	118752,109
CB 07.1	3860,04	66,79	257812,2052
CB 8	4092,61	7,06	28893,83366
CB 11	6991,47	37,05	259033,9635
CB 10	10346,32	63,87	660819,5223
CB 11.1	5684,60	14,38	81744,51924
CB 13	4295,27	37,63	161631,0477
CB 14	1056,17	75,49	79730,42428
	<b>67471,08</b>	<b>696,85</b>	<b>3587975,38</b>
			<b>53,18</b>

Alors la teneur moyenne est égale à :

$$t_{moy} = \frac{3587957.38}{67471.08} = 53.18$$

## 3. Avantage et inconvénient.

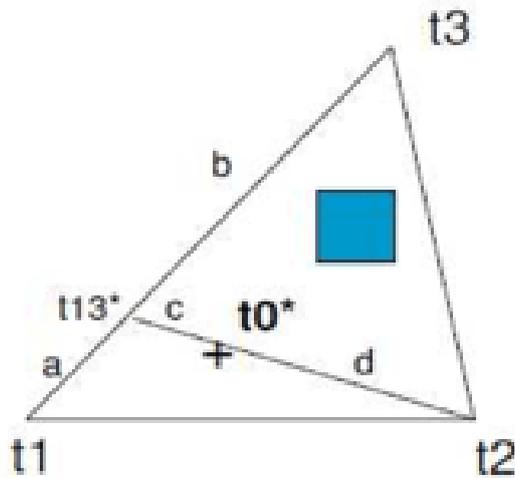
La méthode de polygone dispose à la fois des avantages et faiblesses. L'avantage de cette méthode c'est qu'elle soit adaptée pour une estimation en 2 dimensions. Et par conséquent son inconvénient est son incapacité à évaluer un gisement en 3 dimensions. Elle est très imprécise et ne fournit pas des teneurs réalistes pour des blocs.

### I.2.2 Méthodes de triangles : Estimation ponctuelle et de blocs.

#### 1. Principe

Cette méthode consiste à créer un triangle à partir de trois échantillons les plus proches que possible et d'abaisser une perpendiculaire à l'un de côtés. Cette perpendiculaire doit passer

par l'un de sommets du triangle puis former un angle de 90°. Les teneurs intermédiaires  $t_{13}$  et  $t_0$  seront déterminés comme sur la figure ci-dessous.



Blocs : moyenne des teneurs ponctuelles estimées dans le bloc

$$\hat{t}_{13} = t_1 + \frac{a}{a+b} \times (t_3 - t_1)$$

et

$$\hat{t}_0 = t_{13} + \frac{c}{c+d} \times (t_2 - \hat{t}_{13})$$

Cette méthode peut également être appliquée automatiquement avec Surfer ou Arcgis.

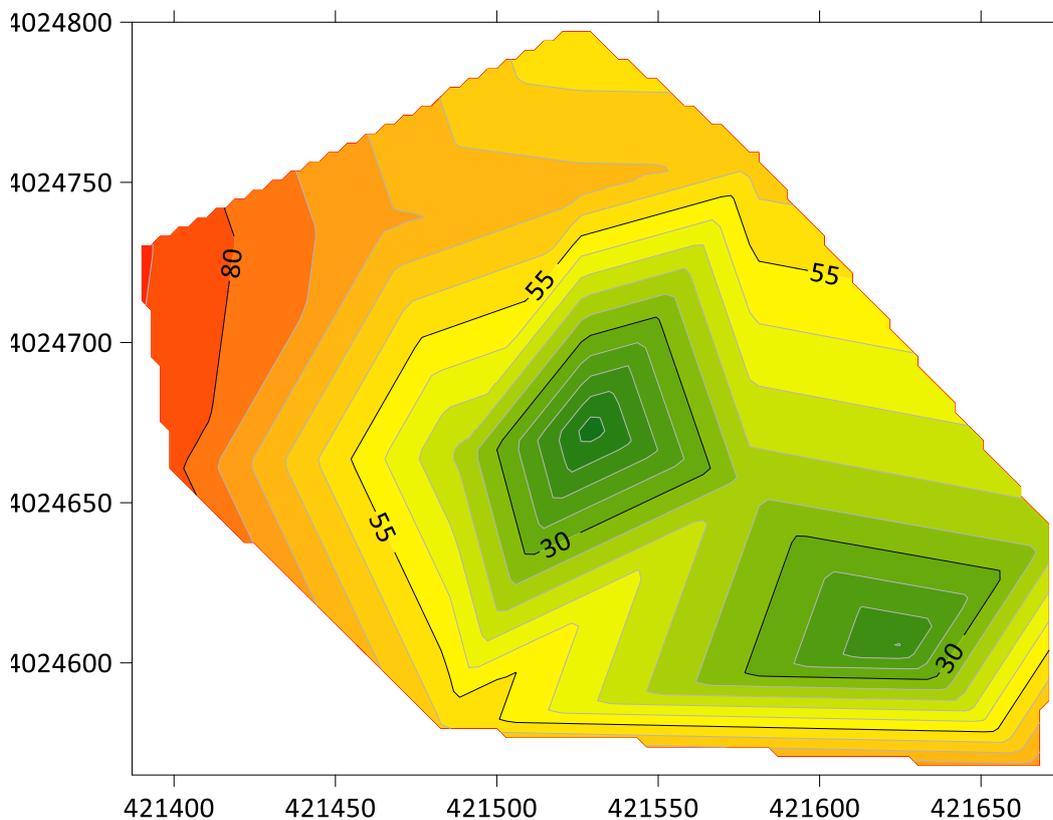


Figure 05 : Carte obtenue par la méthode de Triangulation

## 2. Avantage et inconvénient

Un peu comme la méthode de polygones, l'avantage de cette méthode c'est d'être pratique pour une évaluation en 2 D. Elle donne de bons résultats si les données sont abondantes et de bonne qualité. Et comme inconvénient, cette méthode n'est utilisée que dans l'élaboration de cartes topographiques.

### I.2.3 Méthodes de l'inverse de la distance

#### 1. Principe

Cette méthode consiste à trouver l'inverse de la distance compris entre le point de teneur connue et le point dont il faut déterminer la teneur. La somme de produits: (Inverse de distance \* la teneur en chaque point) divisé par la somme de distance inverse correspond à la teneur moyenne.

L'estimateur dans ce cas est de la forme :

$$t = \frac{\sum_i \frac{t_i}{d_i^p}}{\sum_i \frac{1}{d_i^p}} = \sum_i t_i \times w_i \quad \text{Avec} \quad w_i = \frac{\sum_i \frac{1}{d_i^p}}{\sum_i \frac{1}{d_i^p}}$$

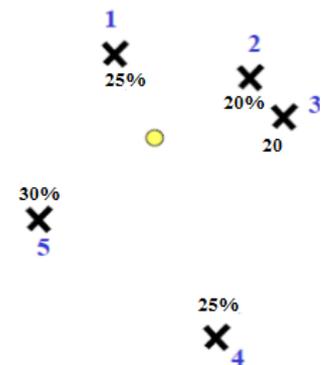
Ou di est la distance entre le point à estimer et le i ème point observé.

#### 2. Exemple d'application de la méthode de l'inverse de la distance

Une propriété à été observée en 5 points comme indiqué sur la figure ci-contre. En utilisant la méthode de l'inverse de distance :

N°	Z <sub>(i)</sub> (%)	d <sub>i</sub> (km)
1	25	10
2	20	12
3	20	15
4	25	28
5	30	20

Déterminer la valeur que peut prendre la propriété dans le point non mesuré.



Dans ce cas la valeur que peut prendre la propriété dans le point non mesuré est donnée par l'expression suivante :

$$Z^* = \frac{\sum \frac{Z_{(xi)}}{d_i^2}}{\sum \frac{1}{d_i^2}}$$

Tableau 03 : Résultat des différents calculs

N°	Z <sub>(i)</sub>	d <sub>i</sub>	1/d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	Z <sub>(i)</sub> /d <sub>i</sub> <sup>2</sup>
1	25	10	0.01	0.25
2	20	12	0.0069	0.1389
3	20	15	0.0044	0.0889
4	25	28	0.0013	0.0319
5	30	20	0.0025	0.075
<b>Totale</b>			<b>0.0227</b>	<b>0.5096</b>
$Z^* = \frac{0.5096}{0.0227} = 22.5$				

- Cette méthode est défini pour une estimation ponctuelle.
- Dans le cas de bloc de valeurs eon prend la moyenne des estimations dans le bloc.
- Si l'épaisseur (et/ou la densité) varie, habituellement estimer accumulation ( $\hat{a}$ ) et épaisseur ( $\hat{e}$ ) séparément et calculer  $\hat{t} = \frac{\hat{a}}{\hat{e}}$ .

En pratique, des logiciels de Géomodélisation comme Surpac, Leapfrog géo, Datamine ou Vulcan sont utilisés pour appliquer cette méthode. Il suffit d'avoir dressé précédemment le modèle 3D du gisement.

### 3. Avantage et inconvénient.

C'est l'une de méthodes les plus flexibles. Elle est adaptée pour une évaluation en 3D et peut déterminer la teneur par bloc minéral. Sa faiblesse est de ne pouvoir minimiser le risque dû à l'effet support et l'effet information ainsi qu'évaluer l'incertitude.

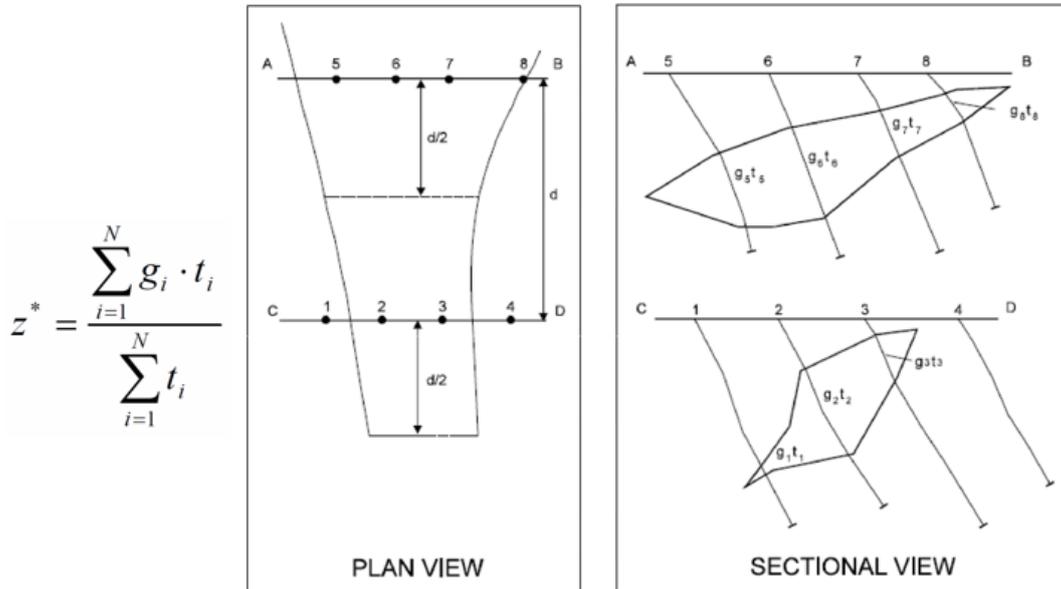
## I.2.4 Méthode de sections (une méthode manuelle)

### 1. Principe

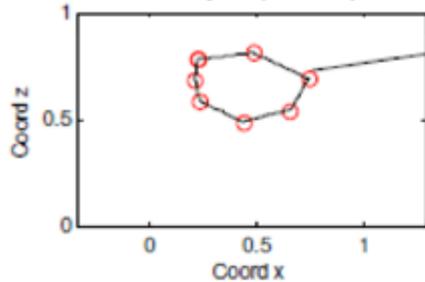
Elle consiste à :

- Obtenir une série de sections avec les forages projetés sur la section
- Identifier à partir des forages les intersections de minerais et dessiner la forme présumée du gisement sur chaque section.
- Estimer la teneur sur la section par la méthode de polygones ou la méthode de triangles.

- Se donner une règle pour combiner deux sections consécutives et ainsi définir un volume minéralisé.
- Calculer la teneur du volume selon la règle choisie et selon la teneur sur chaque section.

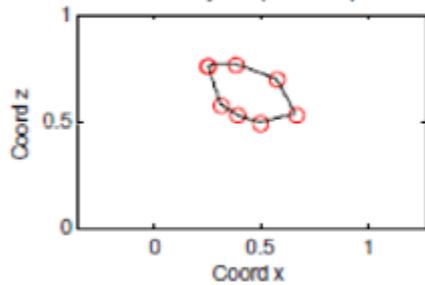


Section S1 a y=0 apres interpolation

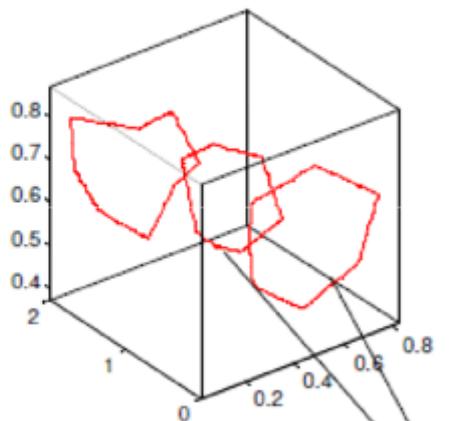
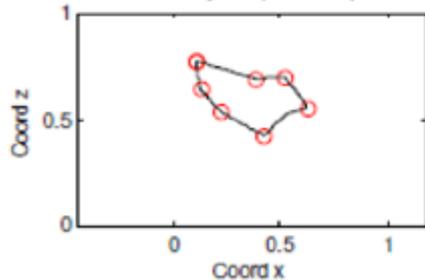


Points servant à définir le polygone  
Le tracé est interpolé en un grand nombre de points

Section S2 a y=1 apres interpolation



Section S3 a y=2 apres interpolation



Les points d'interpolation de deux sections consécutives sont joints par des triangles

## **2. Avantage et inconvénient**

L'avantage de cette méthode est d'établir la géométrie du gisement. Mais elle demeure en moins qu'une méthode géométrique. Elle n'est donc pas véritablement la méthode la mieux indiquée pour estimer un gisement.

### **I.2.5 Méthode de Krigeage**

L'évaluation de ressources minières se faisant sur base que de quelques échantillons, elle est confrontée à 2 grands problèmes :

- Effet d'information : on ignore toujours la teneur vraie du gisement qu'on exploite avant d'avoir épuisé toutes ses ressources.
- Effet support : plus l'estimation se fait sur une petite étendue plus le résultat de l'évaluation est bon. Les gisements constituant des volumes considérables sont susceptibles d'engendrer un effet support très élevé.

De toutes les méthodes citées précédemment, seul la méthode de Krigeage minimise mieux l'effet support et l'effet d'information. Son avantage est d'évaluer l'incertitude et de donner des valeurs d'évaluation plus proche de la vraie teneur moyenne et donc plus optimisée pour une exploitation minière rentable.

Les 4 premières méthodes sont appelées méthodes conventionnelles. Car elles n'indiquent pas l'incertitude commise dans le calcul de ressources alors que la cinquième méthode, la méthode de krigeage est qualifié de méthode géostatistique en raison de sa détermination de l'incertitude.

Pour plus de détail sur cette méthode, il faut retourner vers le cours de géostatistique et au chapitre II, relatif à l'utilisation du logiciel surfer.