

GML6402A : Géostatistique

Cours 2 : Variance de bloc et variance de dispersion



**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Objectifs

- **Comprendre les notions** de **variance de bloc** et de **variance de dispersion** et décrire le lien avec le variogramme et la continuité spatiale qu'il exprime;
- Calculer les variances de bloc et variances de dispersion avec les **abaques** ;
- Effectuer la sélection de la meilleure alternative pour **homogénéiser le minerai** ;
- **Recommander un sens de déplacement** d'une pelle dans une mine pour minimiser la variabilité au concentrateur ;
- **Prévoir l'impact** sur la variabilité **au concentrateur** d'exploiter simultanément différentes portions du gisement.

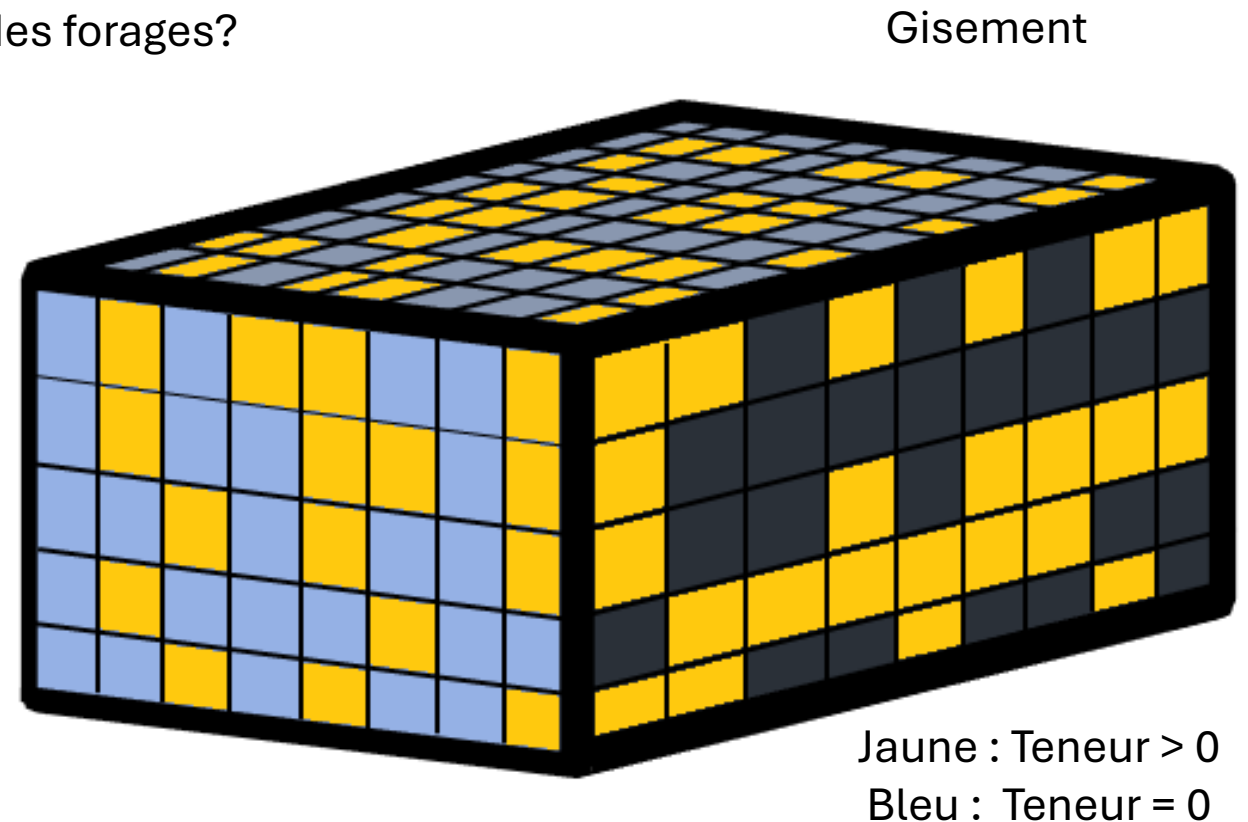
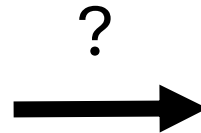
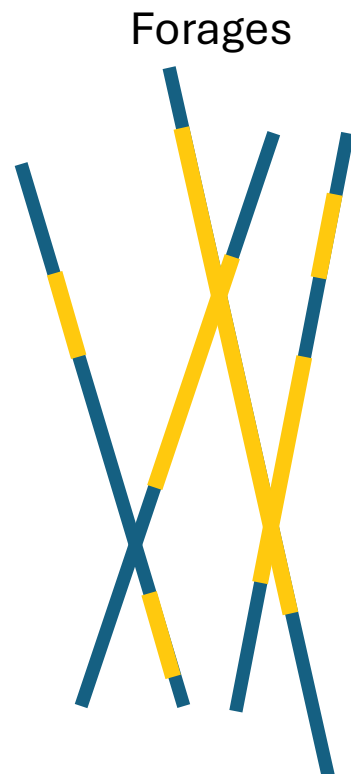


1. Effet de support
2. Variance de bloc et propriétés
3. Abaques
4. Variance de dispersion et propriétés
5. Effet de pépite et variance de dispersion
6. Exemples
7. Homogénéité du minerai
8. Règle simple et influence du modèle
9. Covariance et variogramme de blocs

1. Effet de support

Transformation des données quasi ponctuelles (forages) en modèle de bloc :

- Taille des blocs ?
- Changement sur le variogramme ?
- Impact sur l'estimation ?
- Prédire l'influence de la transformation à partir du variogramme des forages ?



1. Effet de support

Transformation des données quasi ponctuelles (forages) en modèle de bloc :

- Les teneurs de blocs représentent la **moyenne des données ponctuelles** à l'intérieur du bloc;
- La taille du bloc ne doit pas être **trop petite, ni trop grande**;
- La taille du bloc doit **correspondre à la méthode d'extraction** choisie par la mine et non nuire à celle-ci. Discuter avec les ingénieurs et les scientifiques;
- Les **décisions importantes de la mine sont en lien avec la taille des blocs** (p. ex. la séquence de minage, la zone d'extraction, l'optimisation de la fosse, l'efficacité du traitement au concentrateur ...).

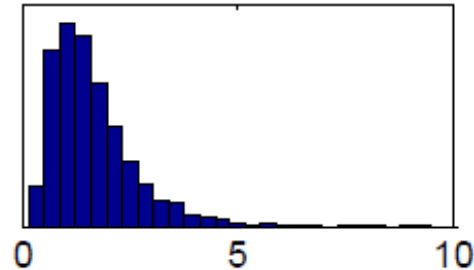
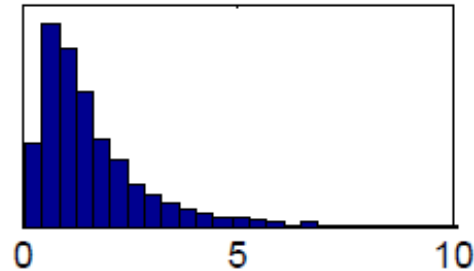
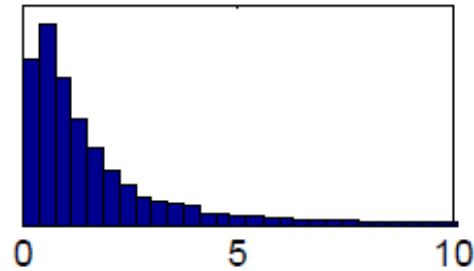


1. Effet de support

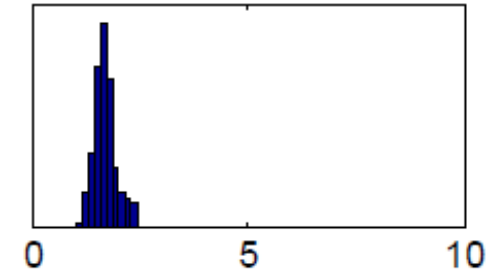
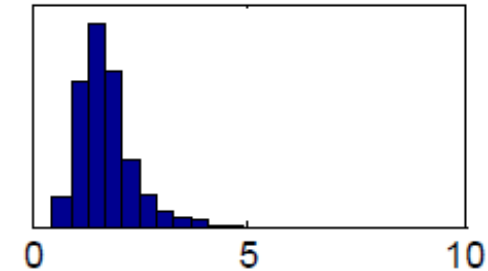
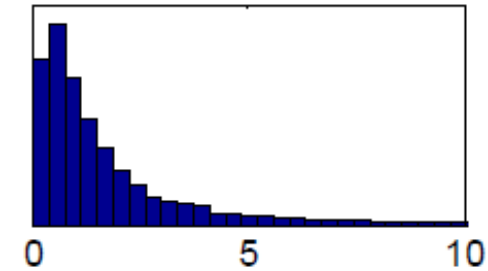
Impact sur les teneurs :



Gisement A



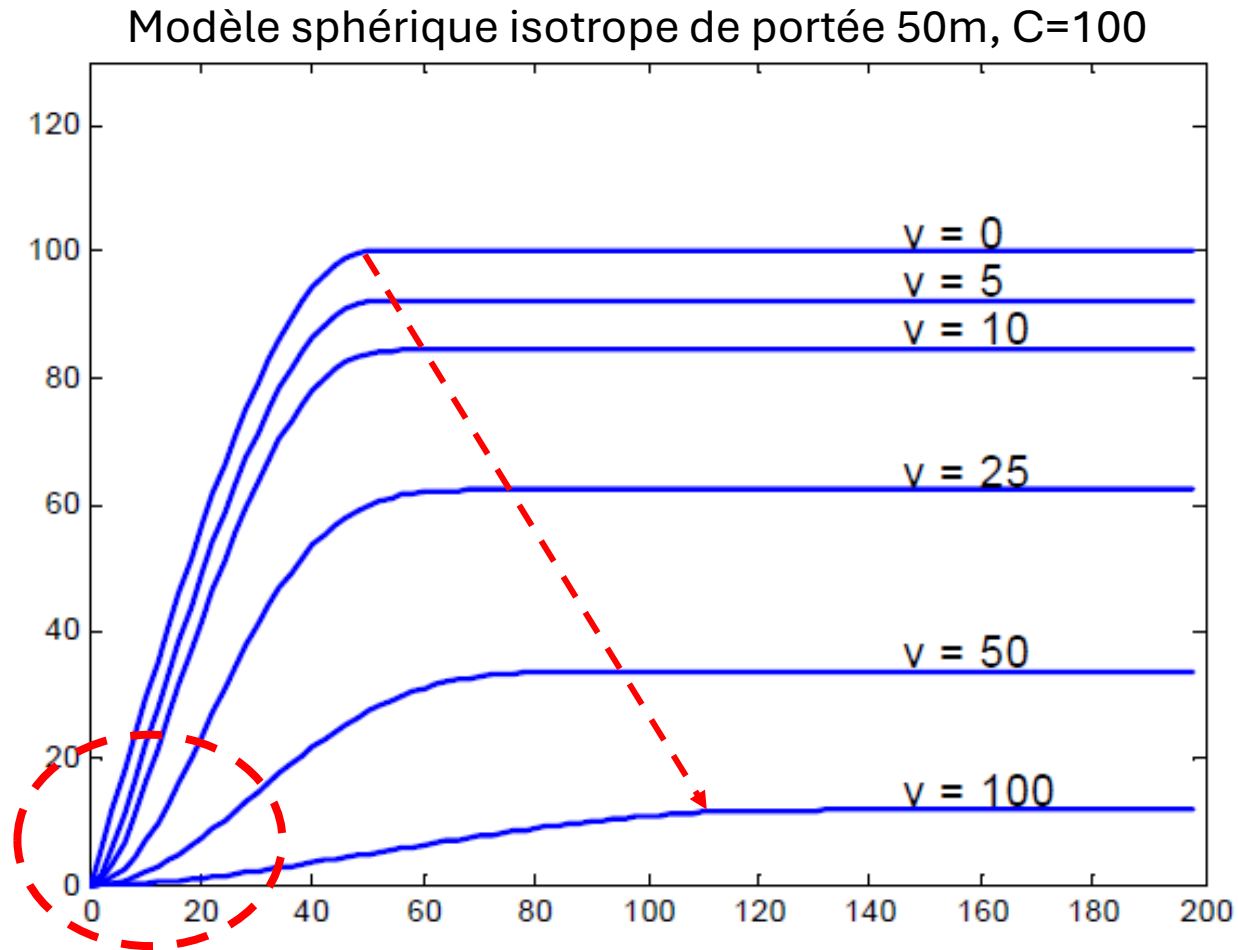
Gisement B



Est-ce que le variogramme permet de prédire l'évolution des histogrammes des teneurs de blocs des deux gisements en fonction de la taille ?

1. Effet de support

Problématique : Lorsque l'on change de support (v), le variogramme théorique est modifié.



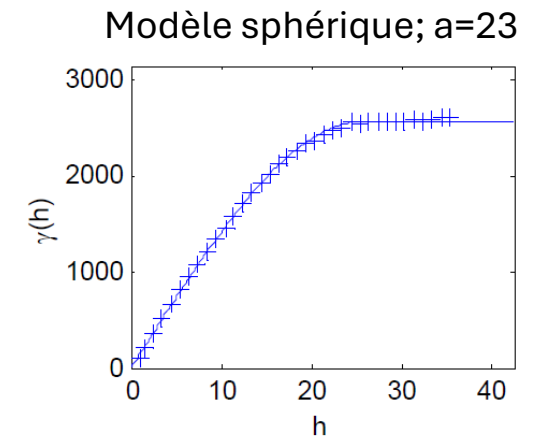
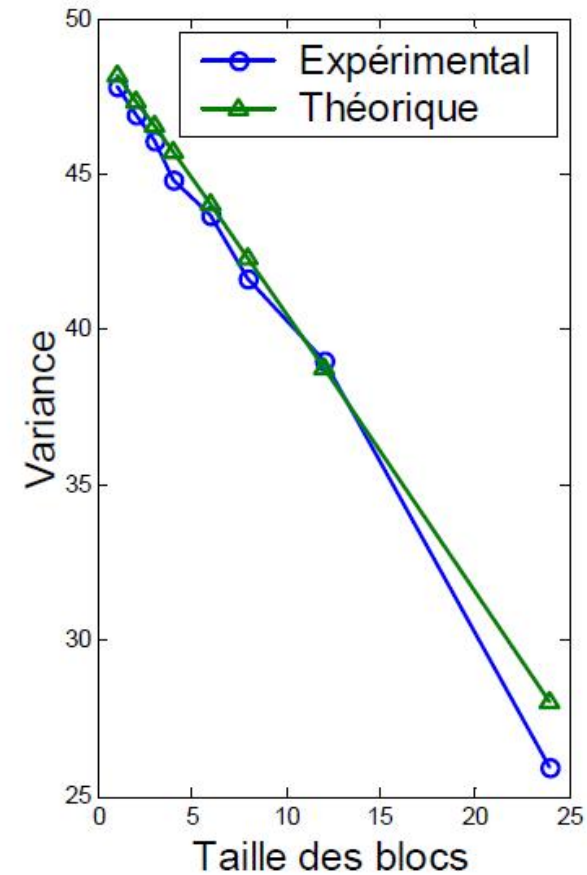
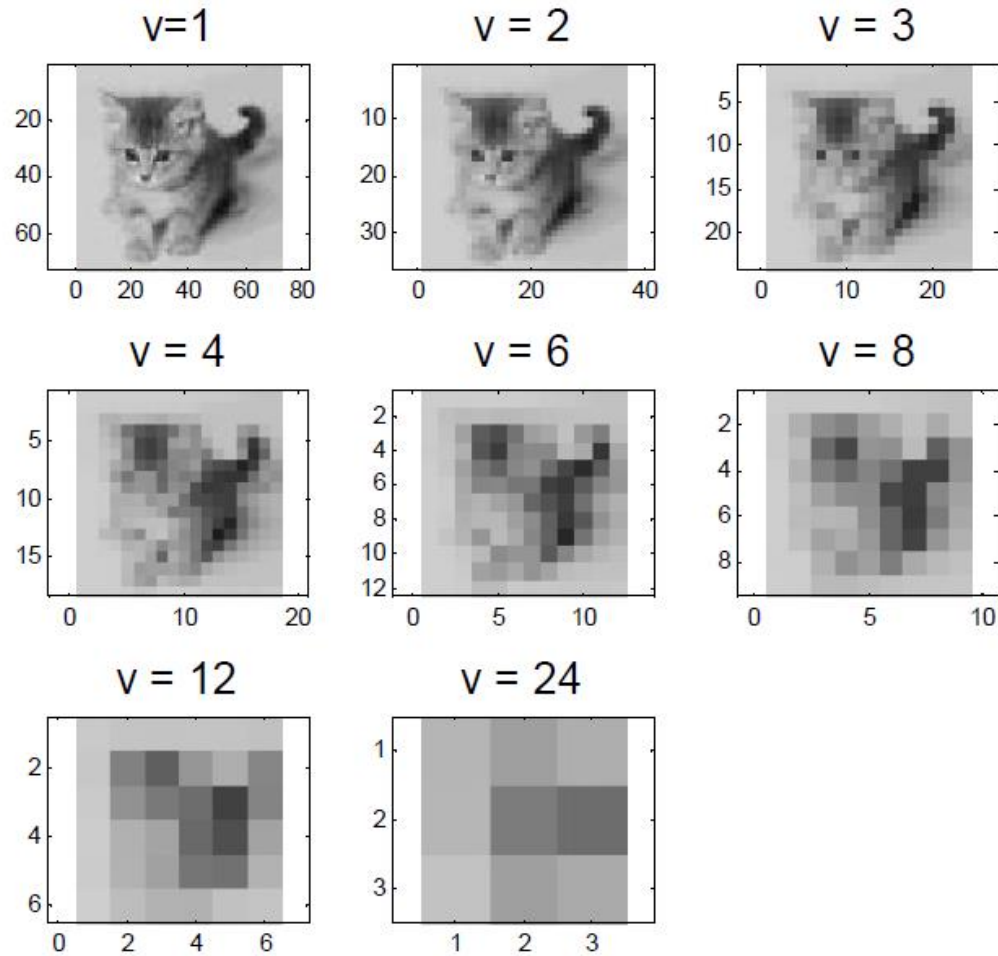
Que remarque-t-on lorsque l'on augmente le support ?

- Le modèle change
- Le palier diminue
- La portée augmente

Le variogramme de blocs est plus lisse à l'origine que le variogramme ponctuel

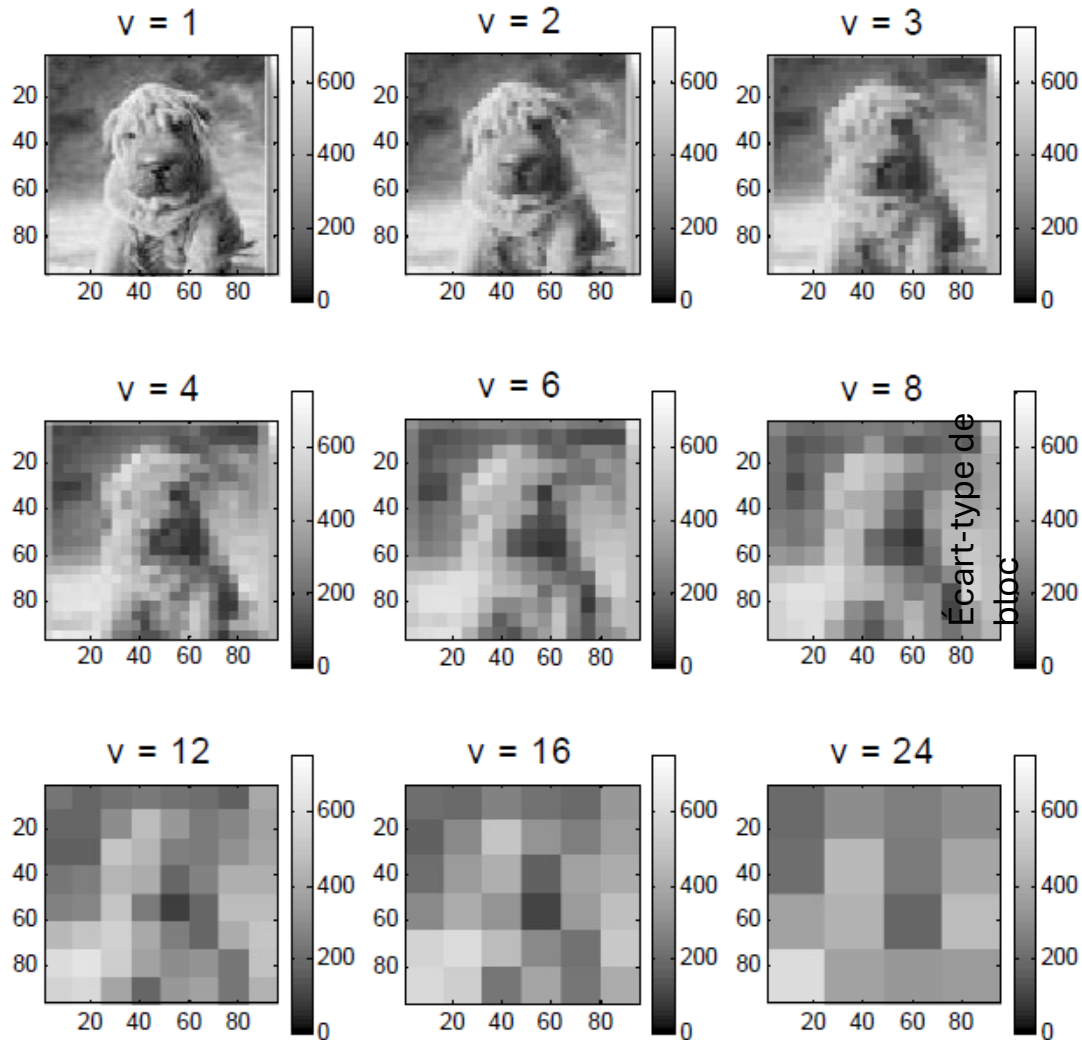
1. Effet de support

Variance de bloc expérimentale et théorique :

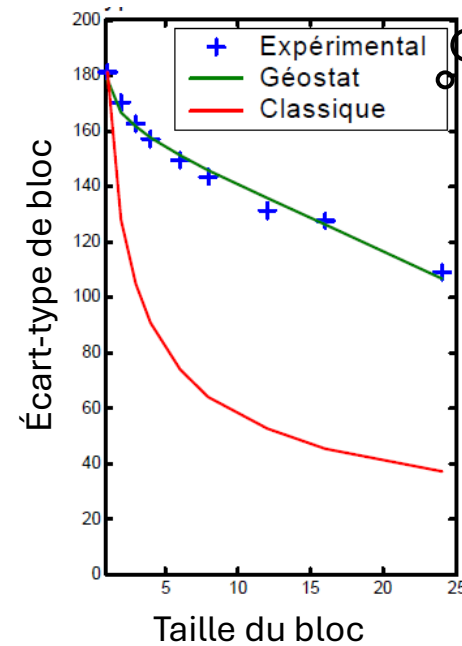


1. Effet de support

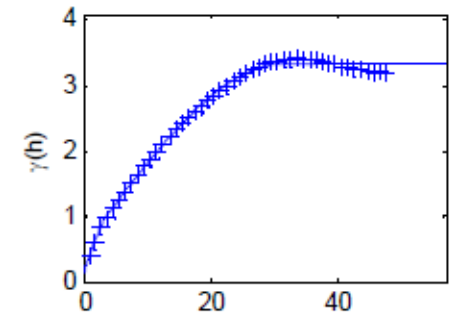
Variance de bloc expérimentale et théorique :



On néglige les covariances spatiales



Modèle exponentiel; $a \approx 26$



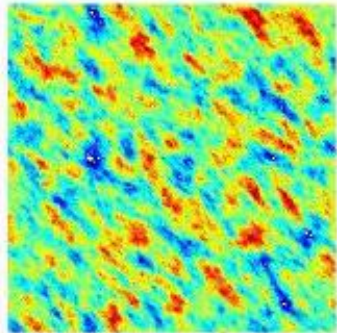
1. Effet de support

Variance de bloc expérimentale et théorique :

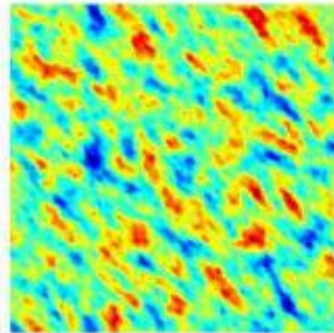
Exemple plus représentatif d'un gisement réel

Modèle sphérique; $a_{45}=20$, $a_{135}=40$, $C=1$

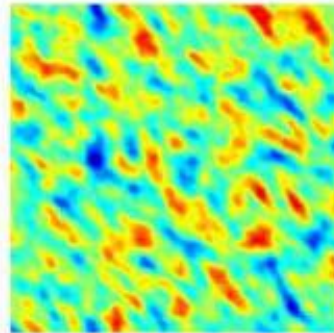
$v=1$



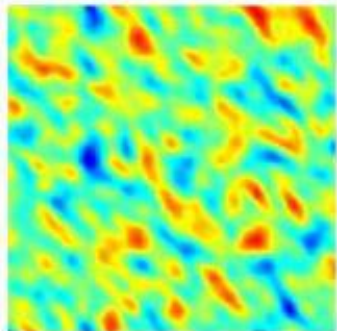
$v=5$



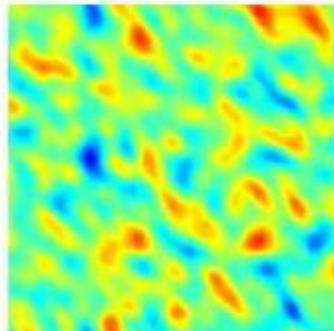
$v=10$



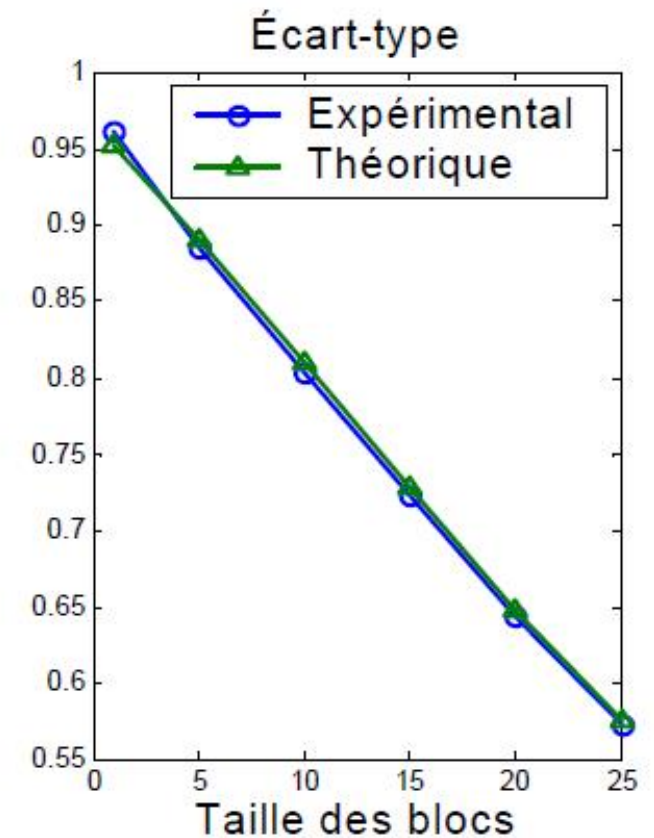
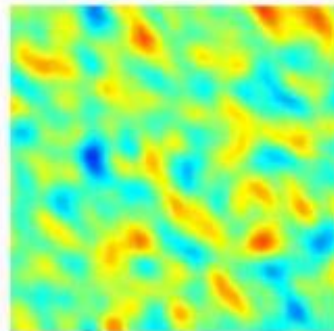
$v=15$



$v=20$



$v=25$



1. Effet de support

Variance de bloc expérimentale et théorique :

Le **variogramme ponctuel** suffit à prédire avec une bonne précision les variances des blocs de n'importe quelle taille sans jamais à connaître la teneur de ces blocs

2. Variance de bloc et propriétés

Définitions :

Teneur d'un bloc : $Z_v(x) = \frac{1}{v} \int_v Z(y) dy$ \longrightarrow Moyenne des points contenus dans le bloc v

Variance de bloc : $Var(Z_v(x)) = \sigma_v^2 = E[(Z_v(x) - m_Z)^2]$

$$= \frac{1}{v^2} \int_v \int_v Cov(Z(y_1), Z(y_2)) dy_1 dy_2$$

$$= \bar{C}(v, v)$$

\longrightarrow Moyenne des covariances. La moyenne est prise sur toutes les paires formées de deux points dans v

- Dépend que du bloc v et de la covariance
- Ne dépend pas de la localisation particulière du bloc dans l'espace
 - **C'est stationnaire**

2. Variance de bloc et propriétés

Comment obtenir $\bar{C}(v, v)$ et $\bar{\gamma}(v, v)$?

- 1D : analytique ou numérique
- 2D : abaques ou numérique
- 3D : abaques ou numérique

Numériquement : p. ex. GEOMIN

- Le fichier est valide pour un bloc orienté dans les directions de l'anisotropie ;
- Les modèles sphérique, exponentiel et gaussien sont disponibles ;
- Valide en 1D, 2D, 3D. Poser les longueurs nulles si 1D ou 2D ;
- Approximatif. La discrétisation du bloc n'est pas assez fine ;
- Transformation linéaire vers la cas isotrope plus simple à calculer ;
- Les dimensions du bloc sont divisées par les portées de l'anisotropie.

2. Variance de bloc et propriétés

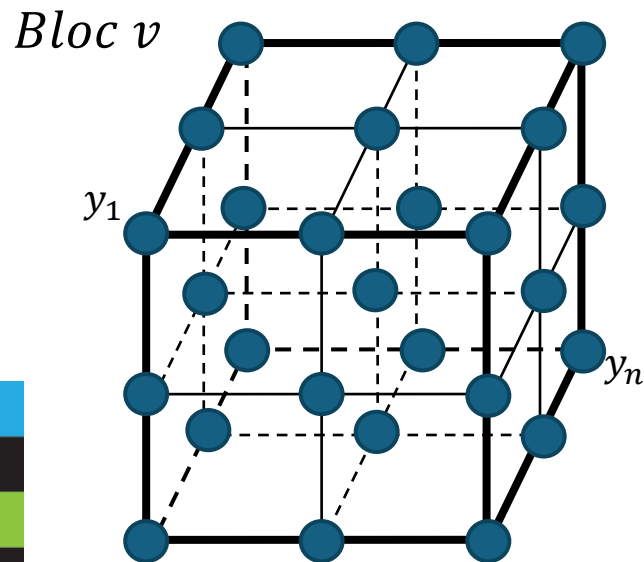
Approximation numérique par ordinateur :



Méthode la plus
utilisée de nos jours

Idée : discrétiser en n points le bloc v .

Ici $n = 3 \times 3 \times 3 = 27$ points.



$$\text{Var}(Z_v) = \frac{1}{v^2} \int_v \int_v \text{Cov}(Z(y_1), Z(y_2)) dy_1 dy_2$$



Approcher l'intégrale par une somme
finie de paires de points

$$\text{Var}(Z_v) \approx \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{Cov}(\underbrace{\|y_i - y_j\|}_{\text{Distance entre les deux points}})$$

Distance entre les deux points

$$\text{Cov}(\|y_i - y_j\|) = \sigma^2 - \gamma(\|y_i - y_j\|)$$

2. Variance de bloc et propriétés

Propriétés :

Si le variogramme ponctuel présente un palier, alors la variance de bloc existe.

1. $\sigma_v^2 = \bar{C}(v, v) = \sigma^2 - \bar{\gamma}(v, v)$
2. Si $v \rightarrow 0$, alors, $\sigma_v^2 \rightarrow \sigma^2$
3. Si $v \rightarrow \infty$ alors, $\sigma_v^2 \rightarrow 0$
4. Si $v \uparrow$, alors, $\sigma_v^2 \downarrow$

Généralement, c'est vrai pour les modèles vus au cours

$\bar{\gamma}(v, v)$: Moyenne du variogramme ponctuel. La moyenne est prise sur toutes les paires formées avec les deux points dans v .
 σ^2 : Palier du variogramme ponctuel.

3. Abaques

Analytiquement : 1D, modèle sphérique :

$$\bar{C}(L, L) = \sigma^2 \left(1 - 0.5 \frac{L}{a} + 0.05 \left(\frac{L}{a} \right)^3 \right)$$

Sinon utiliser un abaque ou
une approche numérique

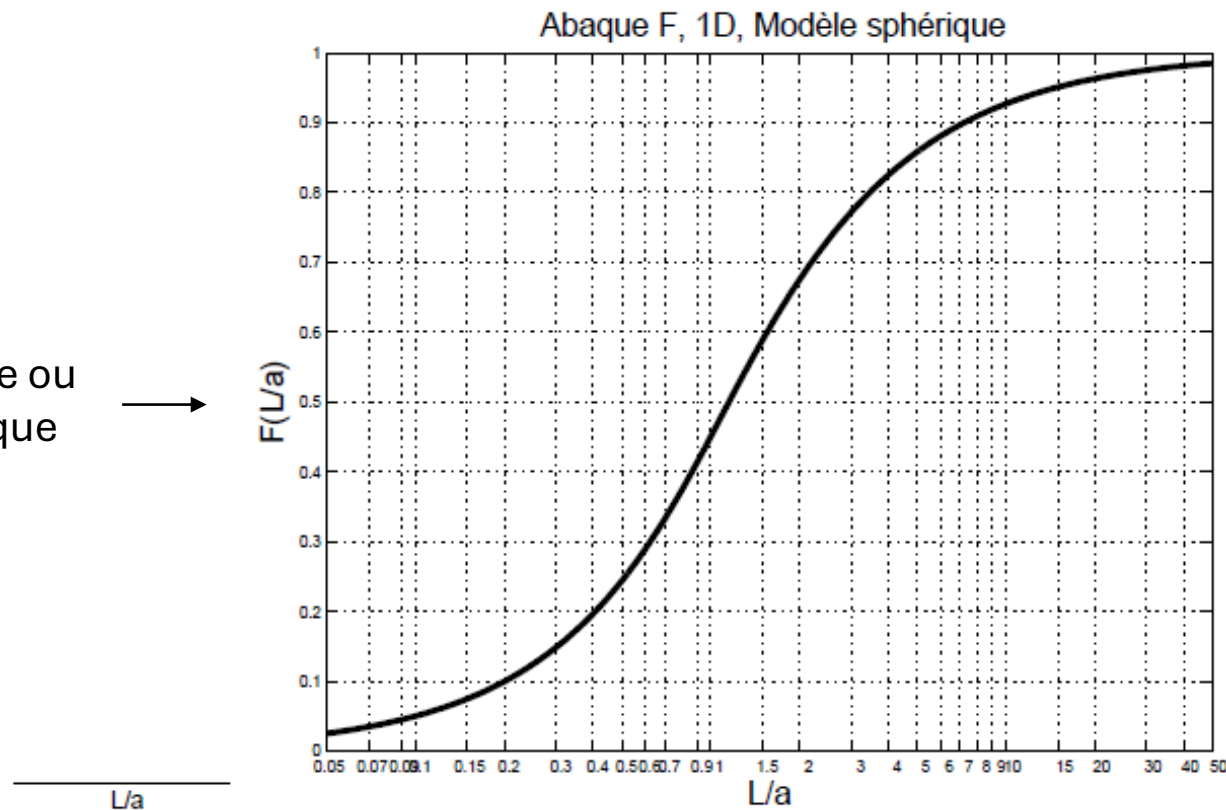


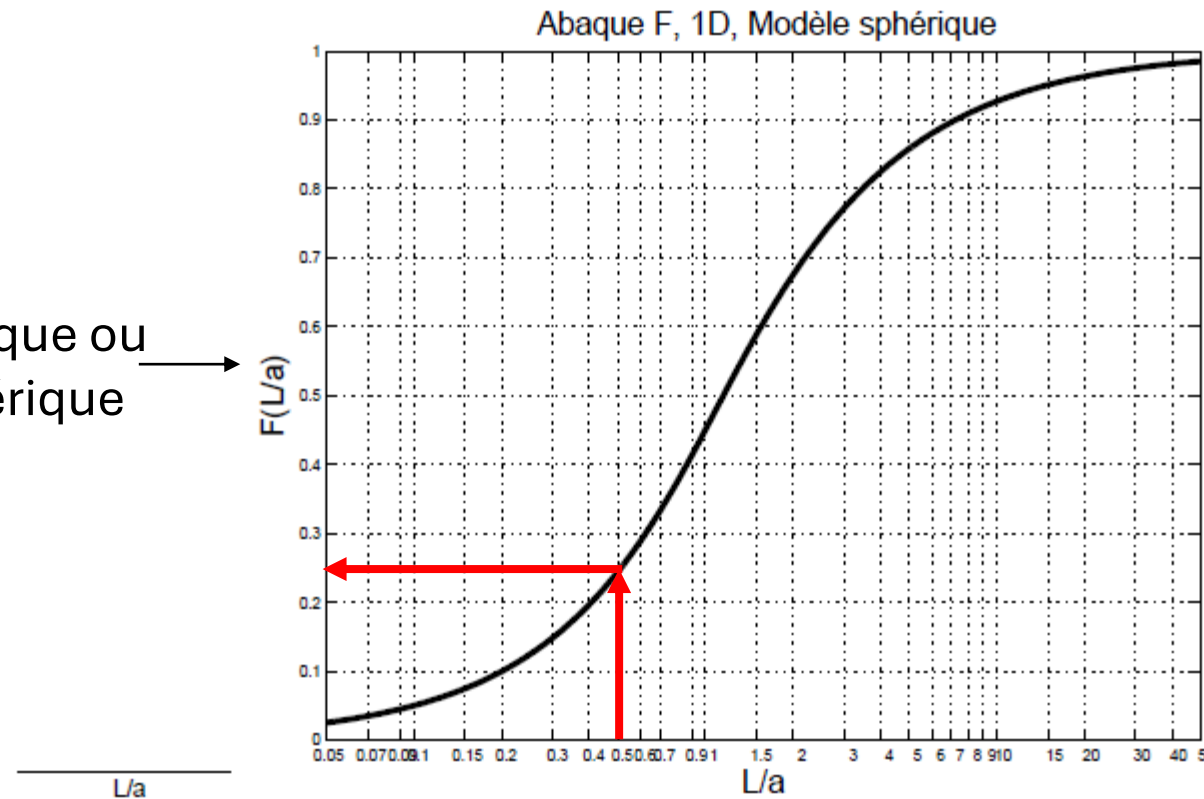
Fig. 1. Variance d'un point dans un segment, variogramme sphérique de palier C=1;
 $F(L/a) = D^2(\bullet|L) = \bar{\gamma}(L, L) = 1 - \bar{C}(L, L)$

3. Abaques

Analytiquement : 1D, modèle sphérique :

$$\text{Si } L < a \longrightarrow \bar{C}(L, L) = \sigma^2 \left(1 - 0.5 \frac{L}{a} + 0.05 \left(\frac{L}{a} \right)^3 \right)$$

Sinon utiliser un abaque ou
une approche numérique



Si $L = 10$ et $a = 20$

$$\text{Donc, } \frac{L}{a} = \frac{10}{20} = 0.5$$

Avec lecture graphique,

$$F\left(\frac{L}{a}\right) = 0.243$$

$$\begin{aligned} \bar{C}(L, L) &= \sigma^2 \left(1 - F\left(\frac{L}{a}\right) \right) \\ &= \sigma^2 (1 - 0.243) \\ &= 0.757\sigma^2 \end{aligned}$$

Fig. 1. Variance d'un point dans un segment, variogramme sphérique de palier $C=1$;
 $F(L/a) = D^2(\bullet|L) = \bar{\gamma}(L, L) = 1 - \bar{C}(L, L)$

3. Abaques

Abaques : 2D, modèle sphérique :

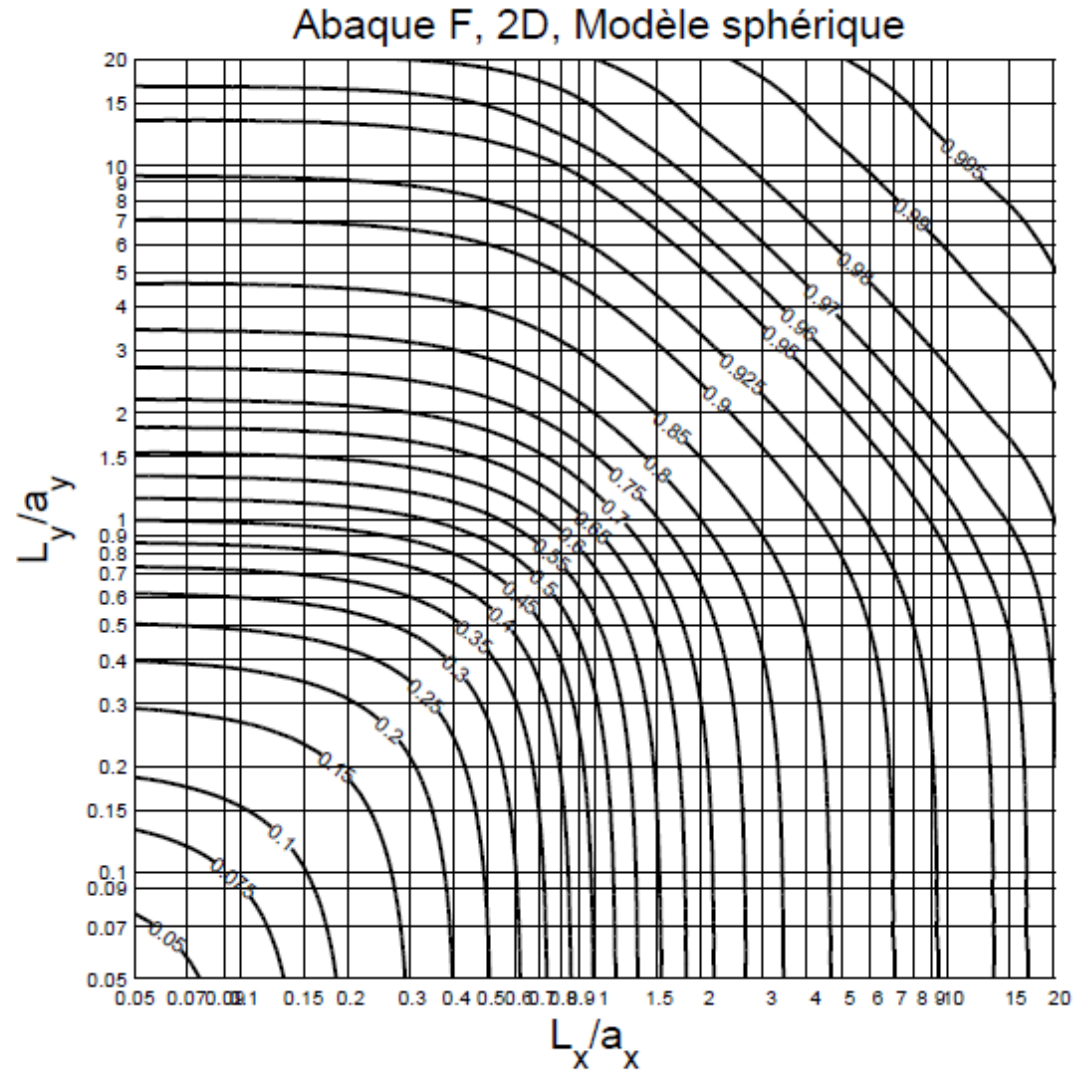
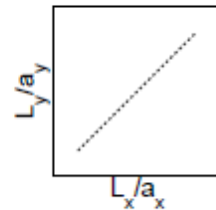
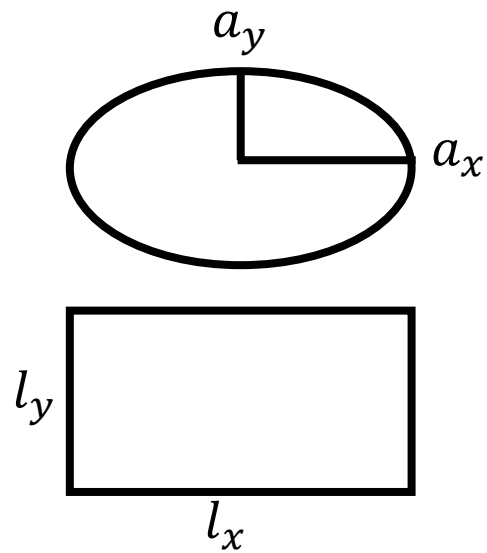


Fig. 2. Variance d'un point dans un rectangle, variogramme sphérique de palier $C=1$; $F(L_x/a_x, L_y/a_y) = D^2(\bullet|v) = \bar{\gamma}(v, v) = (1 - \bar{C}(v, v))$

3. Abaques

Exemple ensemble :

Modèle sphérique,

$$C = 8\%^2$$

$$a_x = 20m ; a_y = 40m$$

Q1) Déterminez la variance du bloc v (5m x 5m)

$$\frac{L_x}{a_x} = \frac{5}{20} = 0.25 \quad \frac{L_y}{a_y} = \frac{5}{40} = 0.125$$

$$F\left(\frac{L_x}{a_x}, \frac{L_y}{a_y}\right) = F(0.25, 0.125) \approx 0.15$$

$$\text{Var}(Z_v) = C \left(1 - F\left(\frac{L_x}{a_x}, \frac{L_y}{a_y}\right)\right)$$

$$\text{Var}(Z_v) = 8\%^2 \times (1 - 0.15) = 6.8\%^2$$

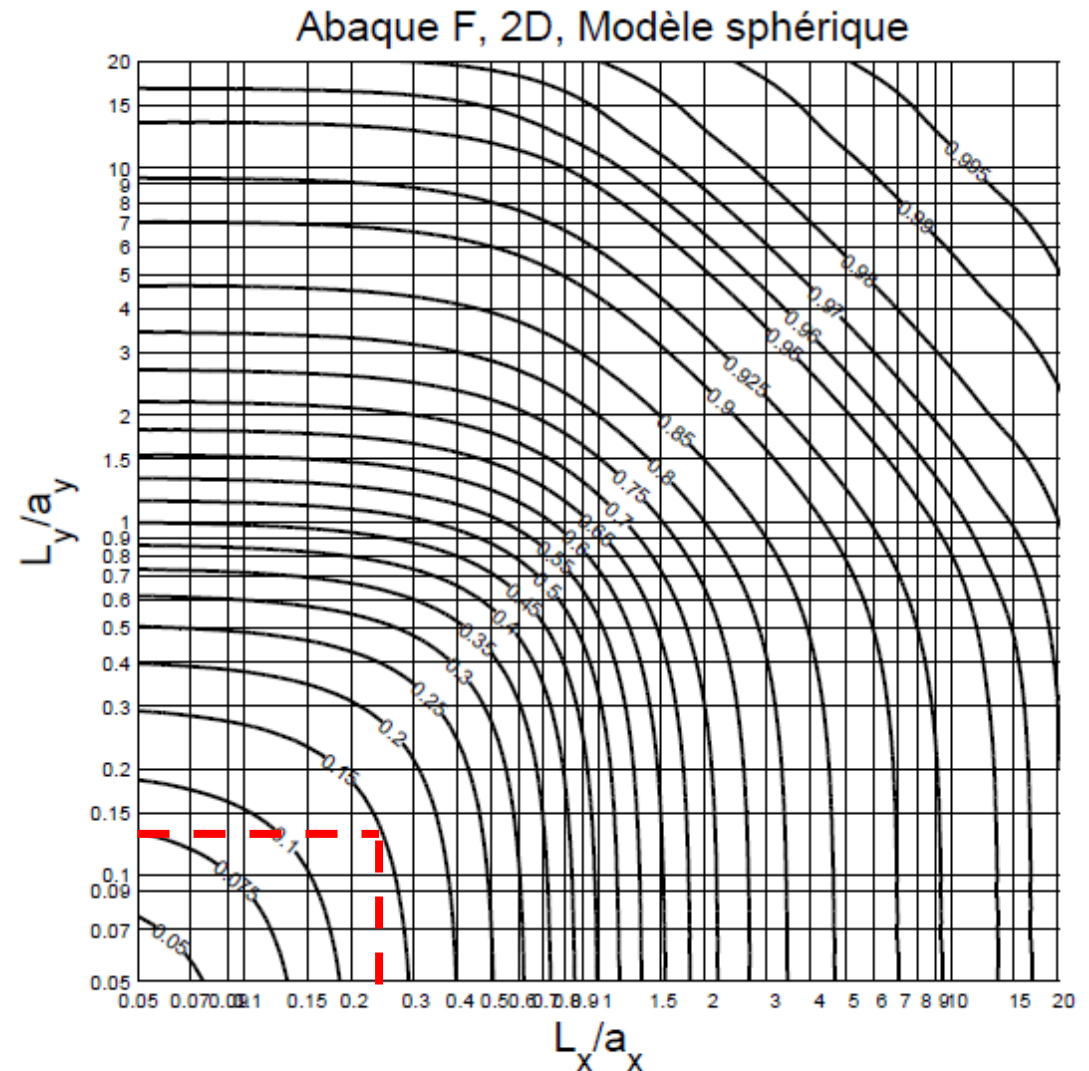
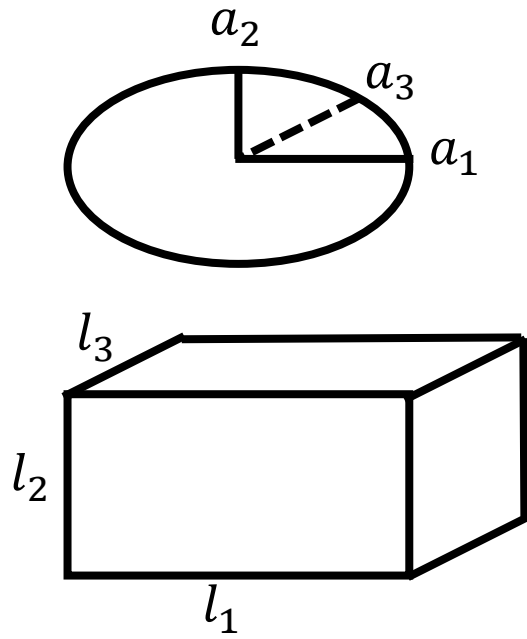


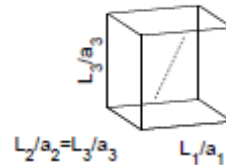
Fig. 2. Variance d'un point dans un rectangle, variogramme sphérique de γ

3. Abaques

Abaques : 3D, modèle sphérique :



$$\frac{l_2}{a_2} = \frac{l_3}{a_3}$$



Abaque F, 3D, Modèle sphérique

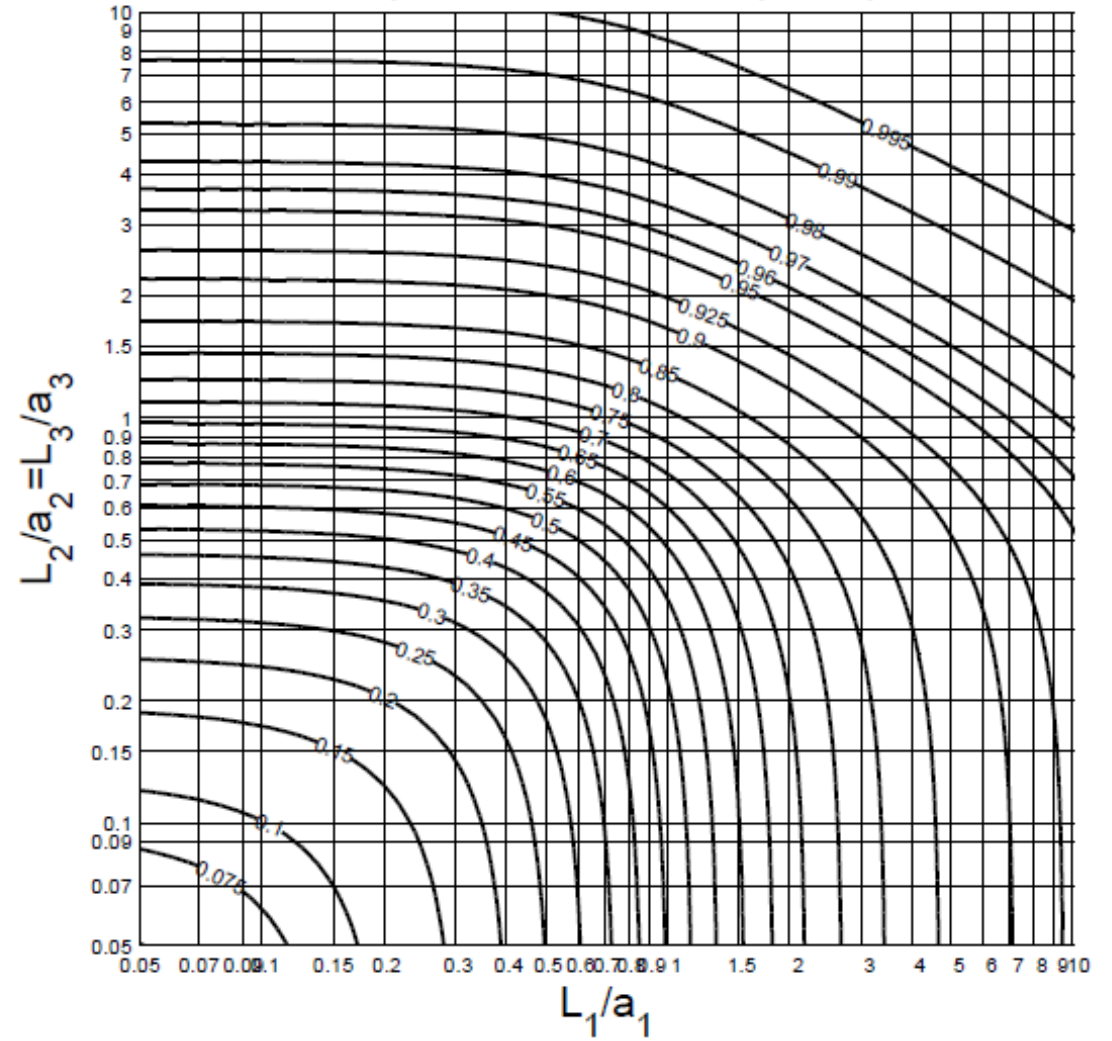


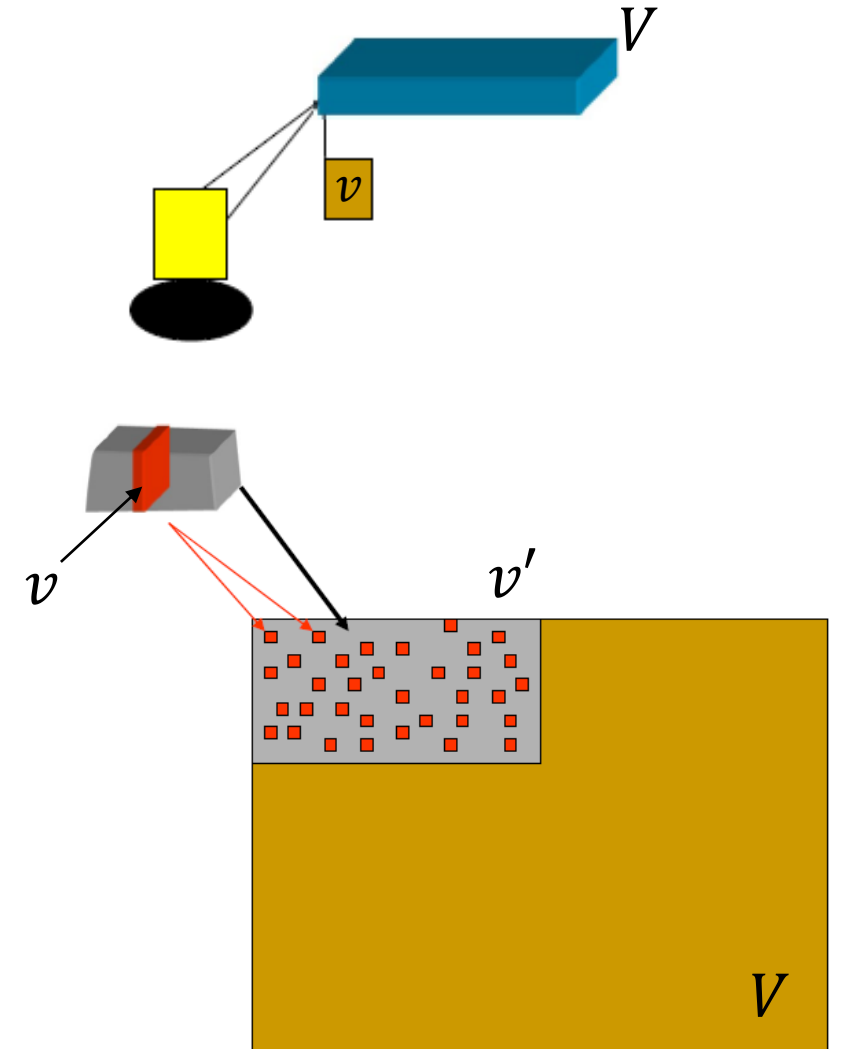
Fig. 3. Variance d'un point dans un bloc section carrée, variogramme sphérique de palier $C=1$; $F(L_1/a_1, L_2/a_2 = L_3/a_3, L_3/a_3) = D^2(\bullet|v) = \bar{\gamma}(v, v) = (1 - \bar{C}^{20}(v, v))$

4. Variance de dispersion et propriétés

Questionnement :

Jusqu'à quel point la teneur d'un petit bloc diffère de celle d'un grand bloc ?

- La variabilité de la teneur obtenue par un camion (v) au cours de la journée d'exploitation (V)
- La variabilité de la teneur obtenue par journée d'exploitation (v) d'une pile d'homogénéisation (v') au cours d'un mois (V)



4. Variance de dispersion et propriétés

Définitions :

Variance de bloc : décrit la variabilité des teneurs de blocs dans la population sans spécifier de limite

- Définie seulement si le variogramme ponctuel présente un palier

Variance de dispersion : décrit la variabilité des teneurs de blocs (v) dans un domaine fini (V)

- Permet de comparer l'efficacité entre divers scénarios

4. Variance de dispersion et propriétés

Définitions :

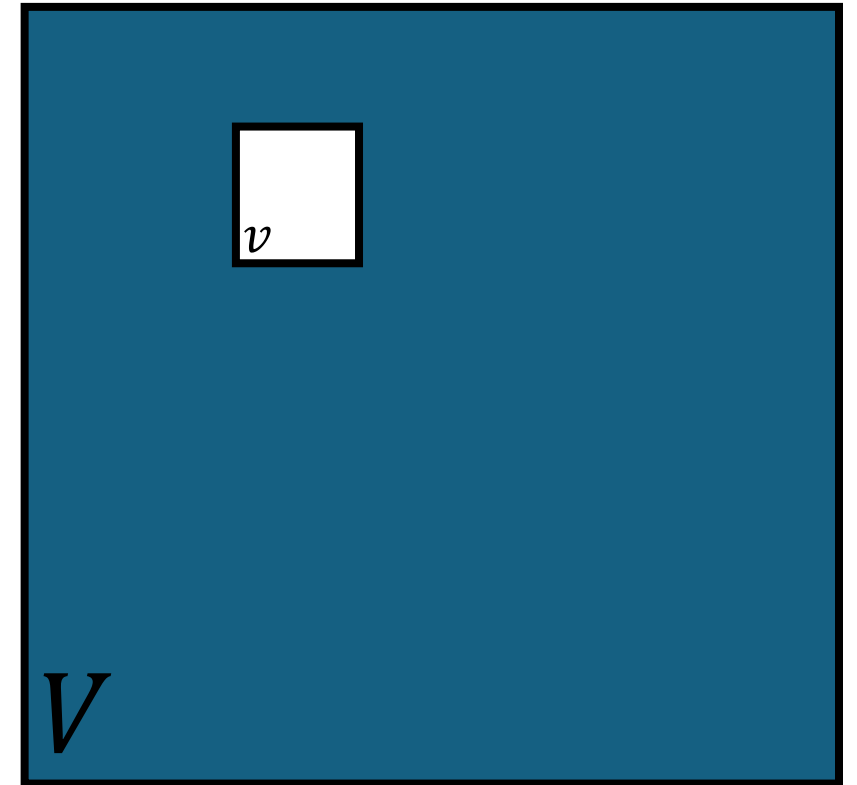
$$D^2(v|V) = E \left[\frac{1}{V} \int_V (Z(v(x)) - Z_V)^2 dx \right] = \sigma_v^2 - \sigma_V^2$$

Démonstration par approche discrète :

$$Z(V) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Z(v_i)$$

$$s_{v_i|V}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Z(v_i) - Z(V))^2$$

$$D^2(v|V) = E \left[s_{v_i|V}^2 \right]$$



4. Variance de dispersion et propriétés

Relations :

$$D^2(v|V) = \sigma_v^2 - \sigma_V^2$$

$$D^2(v|V) = \bar{C}(v, v) - \bar{C}(V, V)$$

$$D^2(v|V) = \bar{\gamma}(V, V) - \bar{\gamma}(v, v)$$

→ Contrairement à la variance de bloc,
la variance de dispersion est définie même si le
variogramme ne montre pas de palier

4. Variance de dispersion et propriétés

Propriétés :

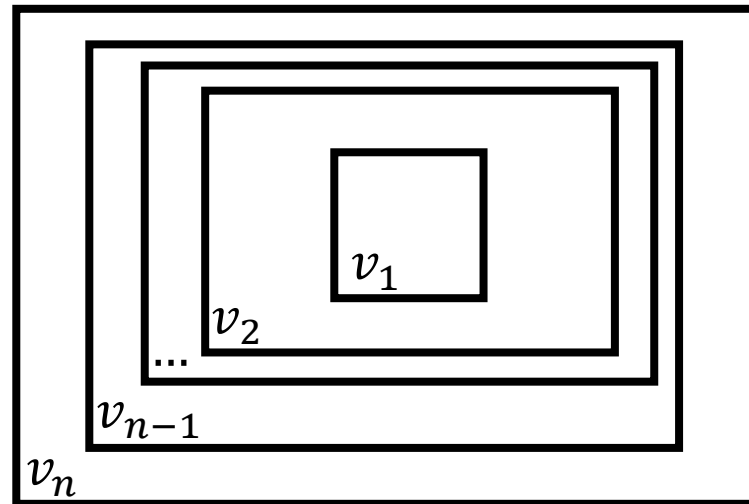
1. Si $v \rightarrow 0$ alors, $D^2(v|V) \rightarrow \bar{\gamma}(V, V)$
2. Si $v \rightarrow V$ alors, $D^2(v|V) \rightarrow 0$
3. Si $V \rightarrow \infty$ alors, $D^2(v|V) \rightarrow \sigma_v^2$

4. Variance de dispersion et propriétés

Règle d'additivité :

Soit une série de volumes imbriqués les uns dans les autres tels que $v_1 < v_2 < \dots < v_{n-1} < v_n$, alors:

$$D^2(v_1|v_n) = D^2(v_1|v_2) + D^2(v_2|v_3) + \dots + D^2(v_{n-1}|v_n)$$



5. Effet de pépité et variance de dispersion

Ce qui arrive avec l'effet de pépité :

Cas 1 : On suppose le variogramme ponctuel connu

1. Microstructure → l'effet de pépité est entièrement filtré par le passage point-bloc
2. Erreur de mesure, de localisation, d'analyse → ne fait pas partie du phénomène étudié

L'effet de pépité **n'intervient pas** dans les calculs de variance de bloc et de variance de dispersion.

En grande majorité, on considère les données comme quasi ponctuelles

5. Effet de pépité et variance de dispersion

Ce qui arrive avec l'effet de pépité :

Cas 2 : On suppose le variogramme défini sur un support non ponctuel

1. Microstructure \rightarrow l'effet de pépité est inversement proportionnel au rapport des volumes
2. Erreur de mesure, de localisation, d'analyse \rightarrow ne fait pas partie du phénomène étudié

$$v_1 < v_2; C_{0,v_2} = C_{0,v_1} \frac{v_1}{v_2}$$

v_1 : carottes de forage
 v_2 : bloc

Valide seulement
si on se trouve
dans le cas 2.1

6. Exemples

Exemple 2D :

Modèle sphérique,

$$C_0 = 3\%{}^2; C_1 = 8\%{}^2$$

$$a_x = 20m ; a_y = 40m$$

Q1) Déterminez la variance du bloc v (5m x 5m)

Q2) Déterminez la variance du bloc V (100m x 40m)

Q3) Déterminez la variance de dispersion $D^2(v|V)$

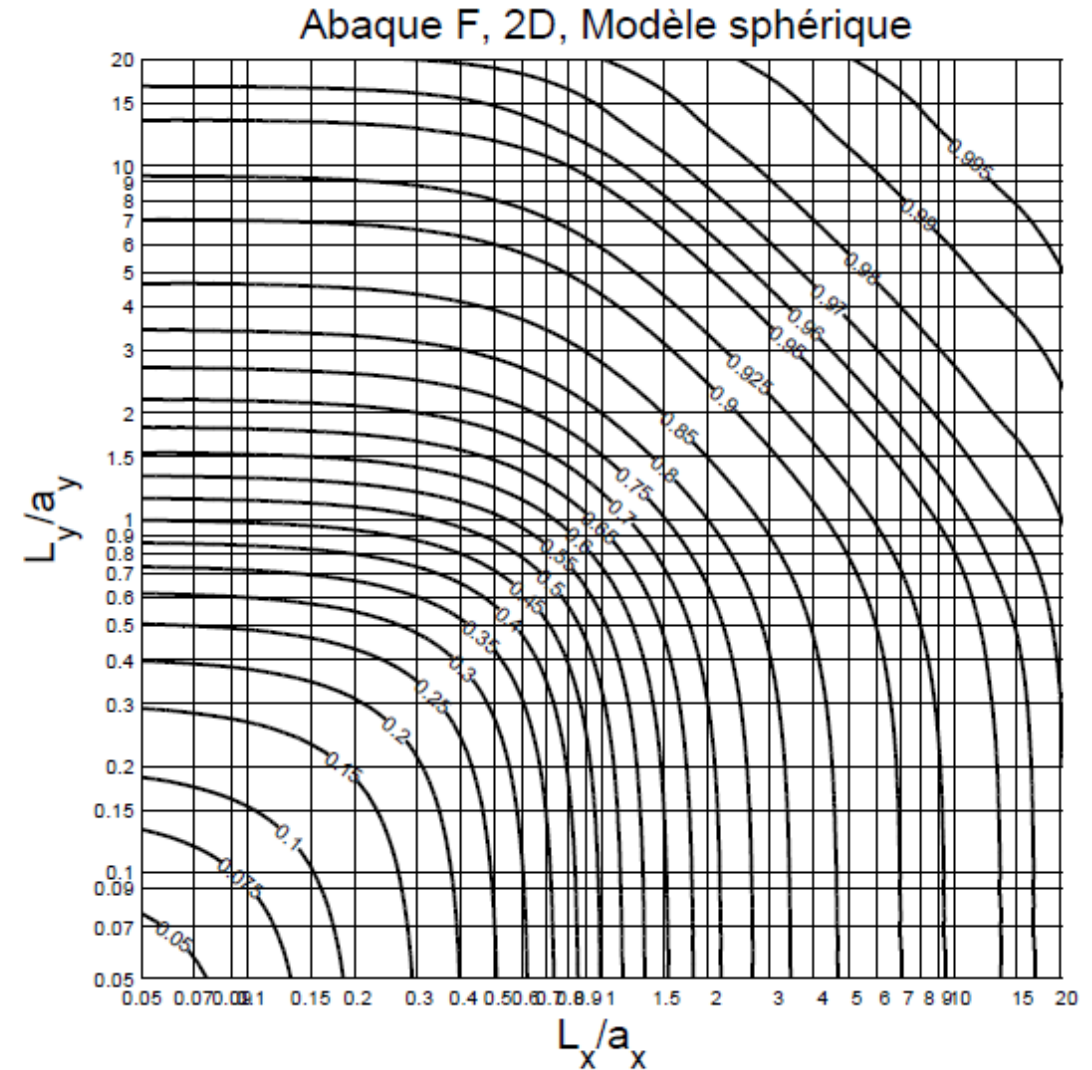
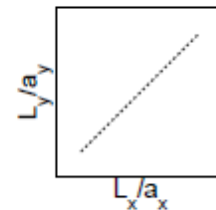


Fig. 2. Variance d'un point dans un rectangle, variogramme sphérique de palier $C=1$; $F(L_x/a_x, L_y/a_y) = D^2(\bullet|v) = \bar{\gamma}(v, v) = (1 - \bar{C}(v, v))$

6. Exemples

Exemple 2D :

Modèle sphérique,

$$C_0 = 3\%^2; C_1 = 8\%^2$$

$$a_x = 20m; a_y = 40m$$

Q1) Déterminez la variance du bloc v (5m x 5m)

$$Var(Z_v) = 8\%^2 \times (1 - 0.15) = 6.8\%^2$$

Q2) Déterminez la variance du bloc V (100m x 40m)

$$Var(Z_V) = 8\%^2 \times (1 - 0.91) = 0.72\%^2$$

Q3) Déterminez la variance de dispersion $D^2(v|V)$

$$\begin{aligned} D^2(v|V) &= Var(Z_v) - Var(Z_V) \\ &= 6.8\%^2 - 0.72\%^2 \\ &= 6.08\%^2 \end{aligned}$$

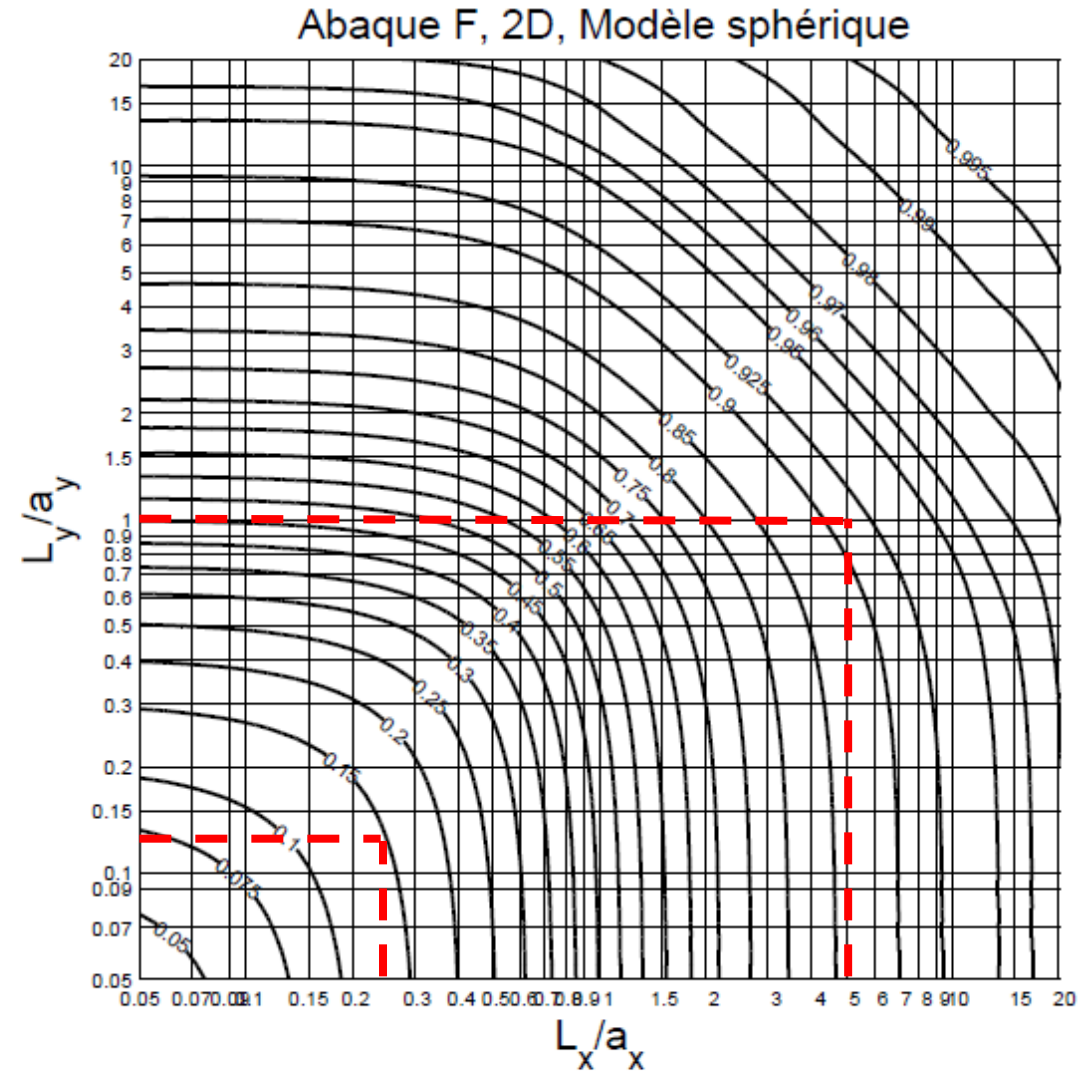
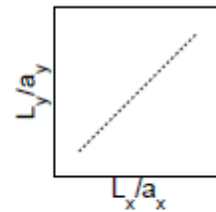
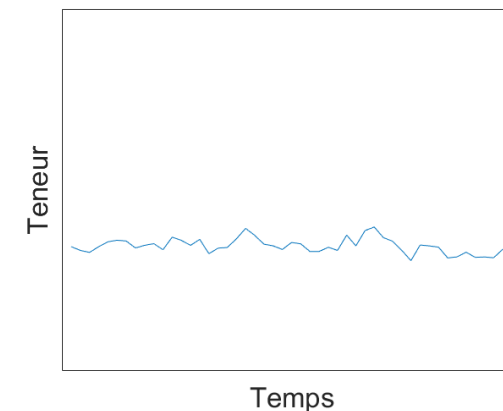
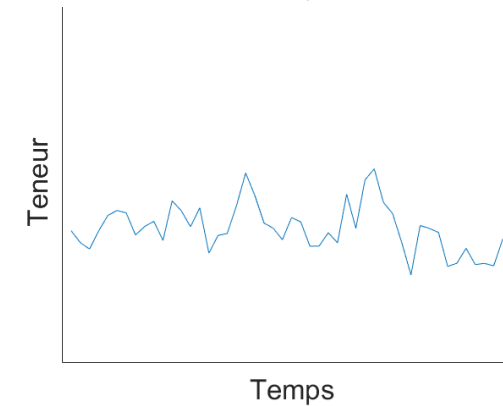
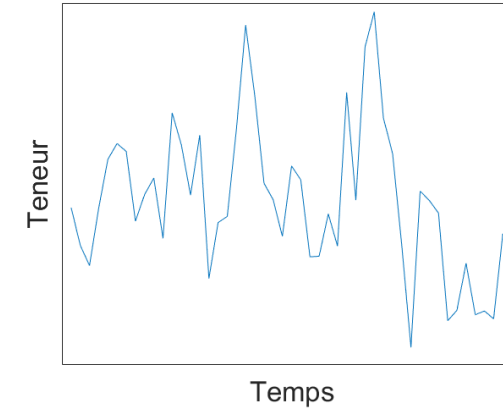


Fig. 2. Variance d'un point dans un rectangle, variogramme sphérique de palier $C=1$; $F(L_x/a_x, L_y/a_y) = D^2(\bullet|v) = \bar{\gamma}(v, v) = (1 - \bar{C}(v, v))$

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation :

- Stabiliser la fluctuation de la teneur à travers le temps;
- Éviter de constamment adapter le procédé au concentrateur selon la teneur;
- Augmenter le rendement du concentrateur;
- Sauver du temps et de l'argent.

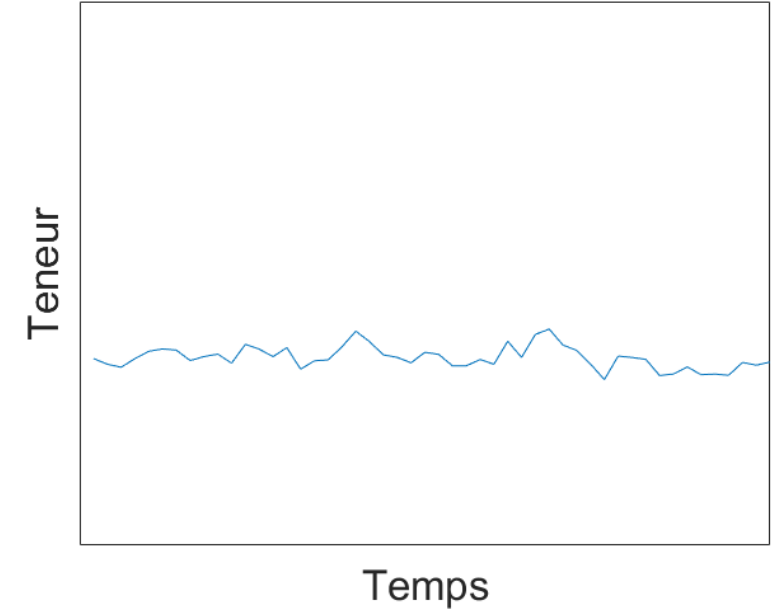
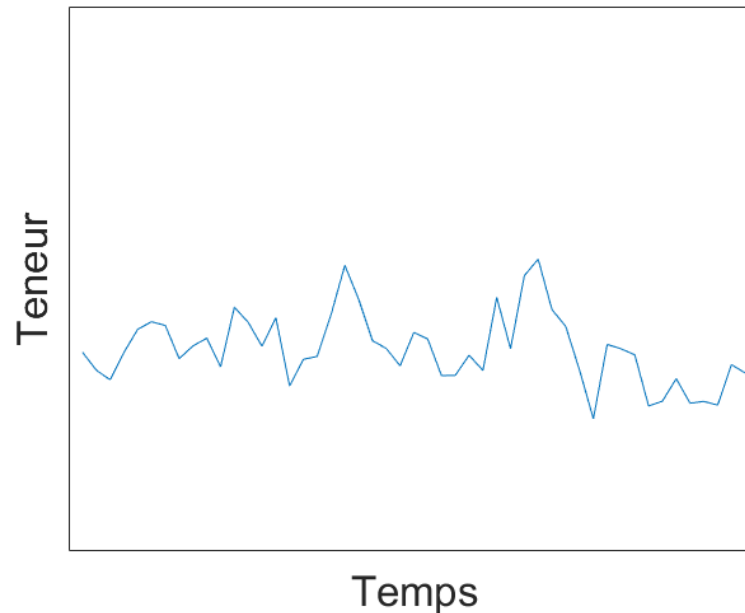
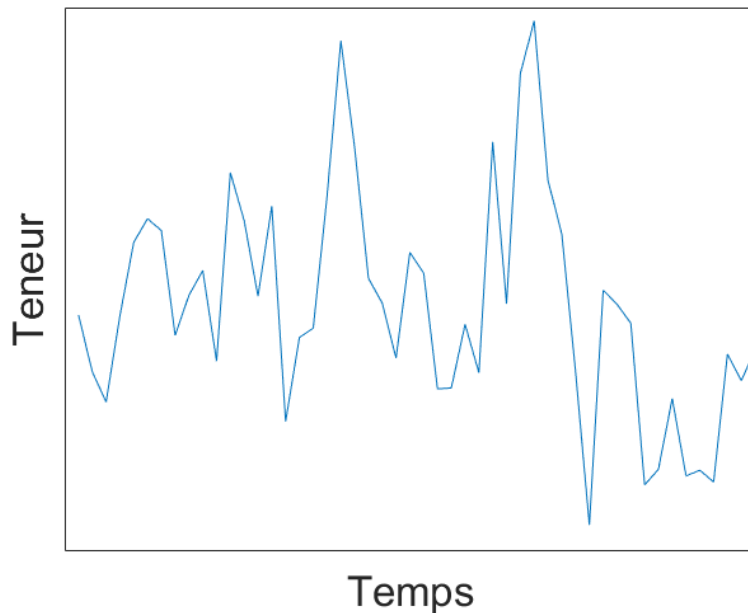


7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation :

Comment déterminer les variations des teneurs à travers le temps d'exploitation ?

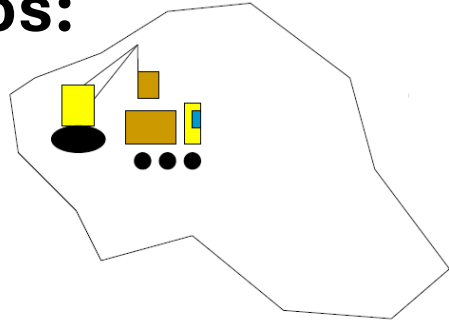
Comment déterminer le meilleur scénario ?



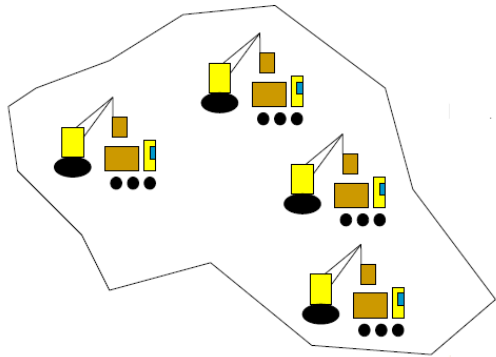
7. Homogénéité du minerai

Divers scénarios:

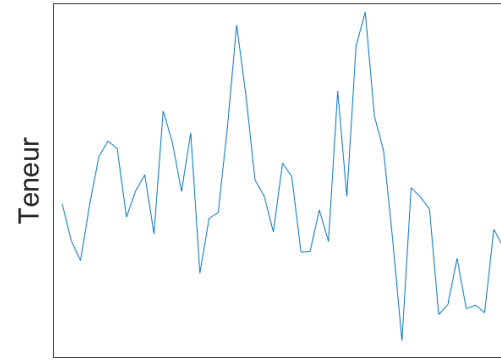
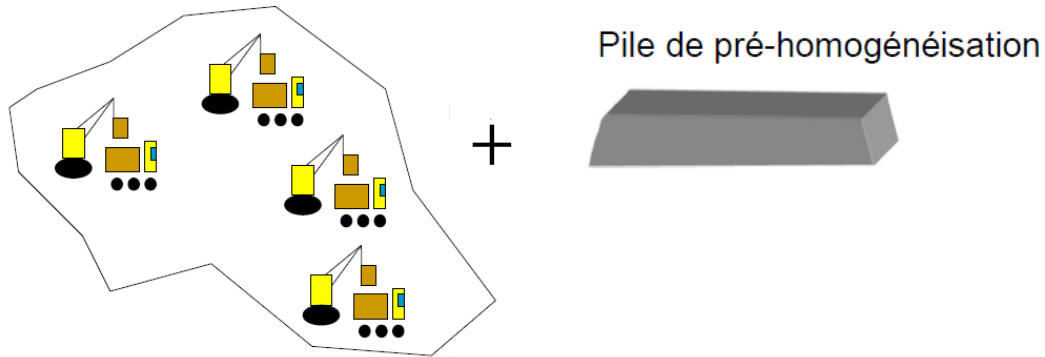
1)



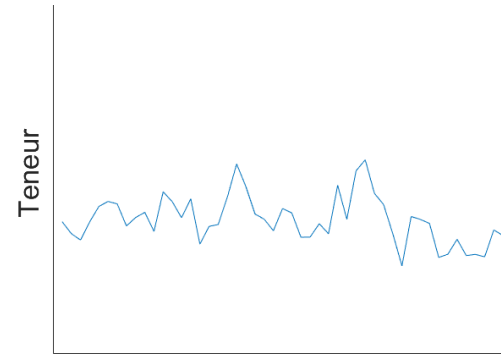
2)



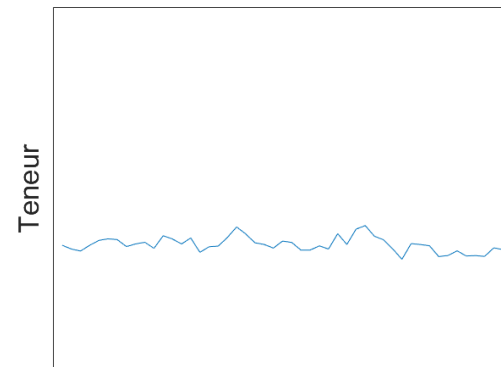
3)



Temps



Temps



Temps

Variogramme



Variance de dispersion



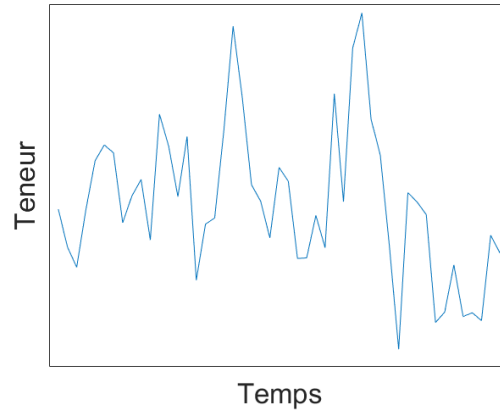
Prévoir les courbes



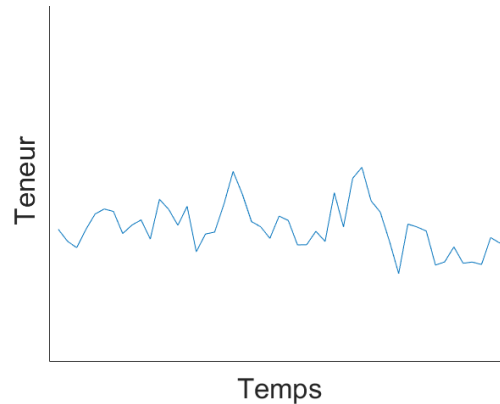
Design de l'exploitation

7. Homogénéité du minerai

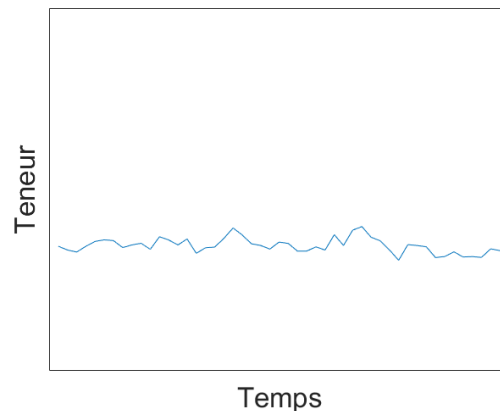
Divers scénarios:



Teneurs fluctues → mauvais ajustement
→ taux de récupération inférieur → pertes
de métal et d'argent.



Prélever le minerai de plusieurs
endroits différents → teneur moins
variable → meilleur rendement



Piles de pré-homogénéisation →
teneur peu variable → un excellent
rendement

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Exemple

Objectif :

- Minimiser les fluctuations de la teneur quotidienne sur 1 mois d'exploitation d'un bloc de 90Kt ($120 \times 50 \times 5$).

Supposons :

1. Une production quotidienne de 3 Kt, un volume de 1000 m^3 ($20 \times 10 \times 5$)
2. L'homogénéité de la teneur est cruciale pour le concentrateur
3. Des ajustements quotidiens au procédé
4. Exploitation d'un banc de 5 m
5. Variogramme connu, sphérique ($a_x = a_y = 50 \text{ m}$, $C = 5\%^2$)

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Exemple

Quatre scénarios étudiés :

1. Une pelle
2. Deux pelles indépendantes
3. Pile d'homogénéisation de 15 Kt ($50 \times 20 \times 5$)
4. Pile d'homogénéisation de 90 Kt ($120 \times 50 \times 5$)

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Q1

Q1) L'utilisation d'une pelle mécanique de 3 Kt, (20 × 10 × 5) permet quelle homogénéité ?

Qu'est-ce que l'on cherche à calculer :

La variance de dispersion

Quelle est la taille des blocs :

$$v = 20 \times 10 \times 5 \text{ (3Kt)}$$

$$V = 120 \times 50 \times 5 \text{ (90Kt)}$$

Calculez :

$$\begin{aligned} D^2(v|V) &= \text{Var}(v) - \text{Var}(V) \\ &= 5\%^2 \times (F(120/50, 50/50) - F(20/50, 10/50)) \\ &= 5\%^2 \times (0.83 - 0.24) = 2.95\%^2 \end{aligned}$$

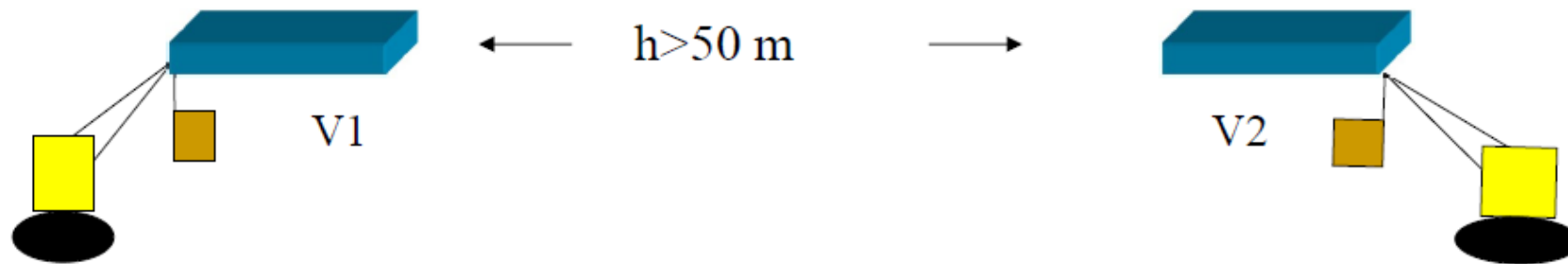


$$a_x = a_y = 50 \text{ m}, C = 5\%^2$$

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Q2

Q2) L'utilisation de deux pelles mécaniques (chacune 1.5 Kt, 20 × 10 × 5) distante de 60m, permet quelle homogénéité ?



On suppose :

$$v_1 = v_2 = 10 \times 10 \times 5 \text{ (1.5Kt)}$$

$$V_1 = V_2 = 60 \times 50 \times 5 \text{ (45Kt)}$$

Qu'elle est l'expression de la teneur du bloc quotidien v et de la teneur du bloc mensuelle V ?

$$Z(v) = \frac{1}{2} (Z(v_1) + Z(v_2))$$

$$Z(V) = \frac{1}{2} (Z(V_1) + Z(V_2))$$

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Q2 (suite)

On suppose

$$v_1 = v_2 = 10 \times 10 \times 5 \text{ (1.5Kt)}$$

$$V_1 = V_2 = 60 \times 50 \times 5 \text{ (45Kt)}$$

$$Z(v) = \frac{1}{2}(Z(v_1) + Z(v_2))$$

$$Z(V) = \frac{1}{2}(Z(V_1) + Z(V_2))$$

Qu'elle est l'expression de la variance du bloc quotidien v et de la variance du bloc mensuelle V ? (Indice: ils ont la même expression)

$$\text{Var}(Z(v)) = \text{Var}\left(\frac{1}{2}(Z(v_1) + Z(v_2))\right) = \frac{1}{4}\left(\text{Var}(Z(v_1)) + \text{Var}(Z(v_2)) + 2\text{Cov}(Z(v_1), Z(v_2))\right)$$

Qu'implique le positionnement des pelles (distant de 60m) sur les covariances des blocs échantillonnées par les pelles ?

$$\text{Cov}(Z(v_1), Z(v_2)) = 0$$

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Q2 (suite)

On suppose

$$v_1 = v_2 = 10 \times 10 \times 5 \text{ (1.5Kt)}$$

$$V_1 = V_2 = 60 \times 50 \times 5 \text{ (45Kt)}$$

$$Z(v) = \frac{1}{2}(Z(v_1) + Z(v_2))$$

$$Z(V) = \frac{1}{2}(Z(V_1) + Z(V_2))$$

Qu'implique le positionnement des pelles (distant de 60m) sur les variances des blocs échantillonnées par les deux pelles ?

$$\text{Var}(Z(v_1)) = \text{Var}(Z(v_2))$$

Donc $\text{Var}(Z(v)) = \frac{\text{Var}(Z(v_1))}{2}$

Calculez $D^2(v|V) = \text{Var}(Z(v)) - \text{Var}(Z(V)) = \frac{\text{Var}(Z(v_1))}{2} - \frac{\text{Var}(Z(V_1))}{2}$

$$= \frac{1}{2} \left(5\%^2 \times (F(60/50, 50/50) - F(10/50, 10/50)) \right)$$
$$= \frac{1}{2} (5\%^2 \times (0.70 - 0.16)) = 1.35\%^2$$

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Q3

Q3) Une pile d'homogénéisation de capacité de 15 Kt, (50 × 20 × 5) permet quelle homogénéité ?

Quoi faire avec la pile d'homogénéisation dans l'évaluation de la dispersion ?
Règle d'additivité. Étape intermédiaire

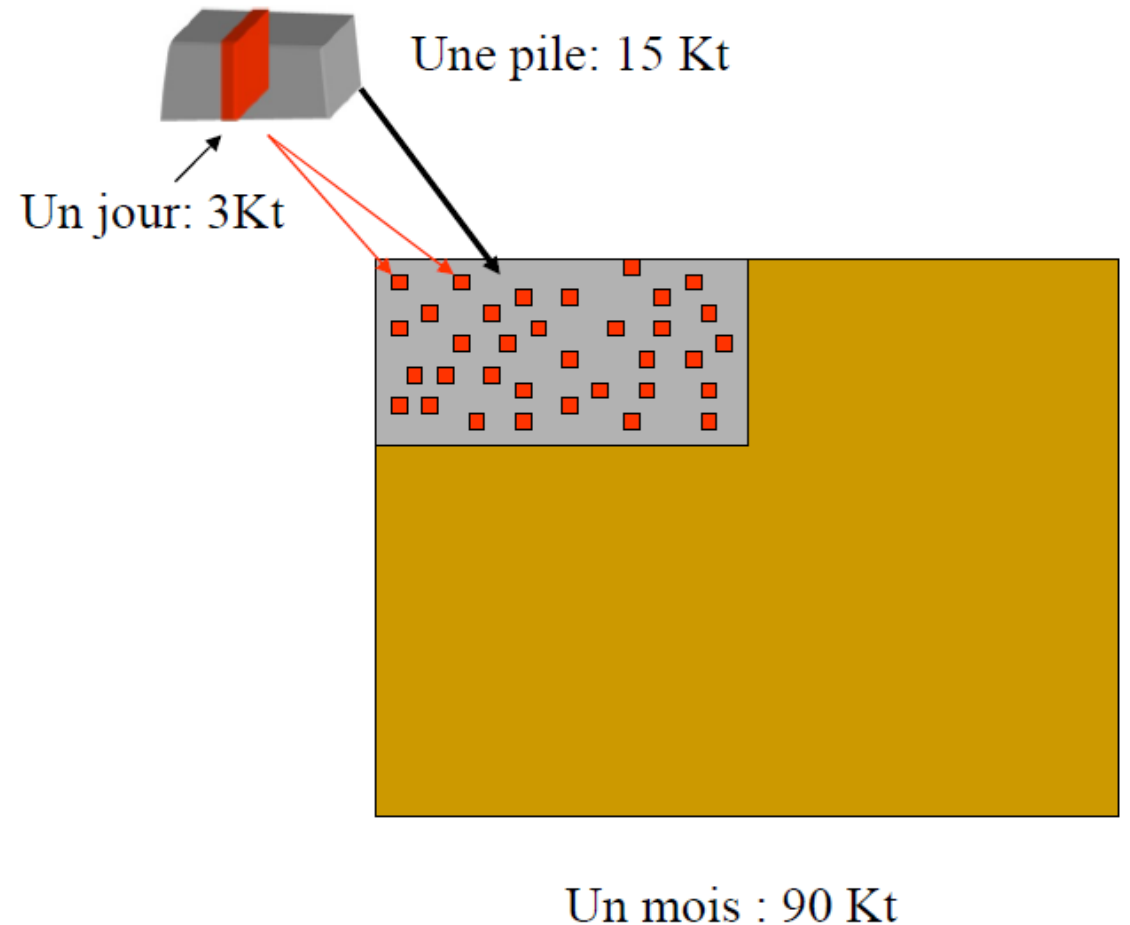
Qu'elle est l'expression de la dispersion pour cette stratégie ?

$$D^2(v|V) = D^2(v|v_{homog}) + D^2(v_{homog}|V)$$

$$v = 20 \times 10 \times 5$$

$$v_{homog} = 50 \times 20 \times 5$$

$$V = 120 \times 50 \times 5$$



Concevoir le design d'une exploitation : Q3

Q3) Une pile d'homogénéisation de capacité de 15 Kt, (50 × 20 × 5) permet quelle homogénéité ?

À quoi sert une pile d'homogénéisation ?

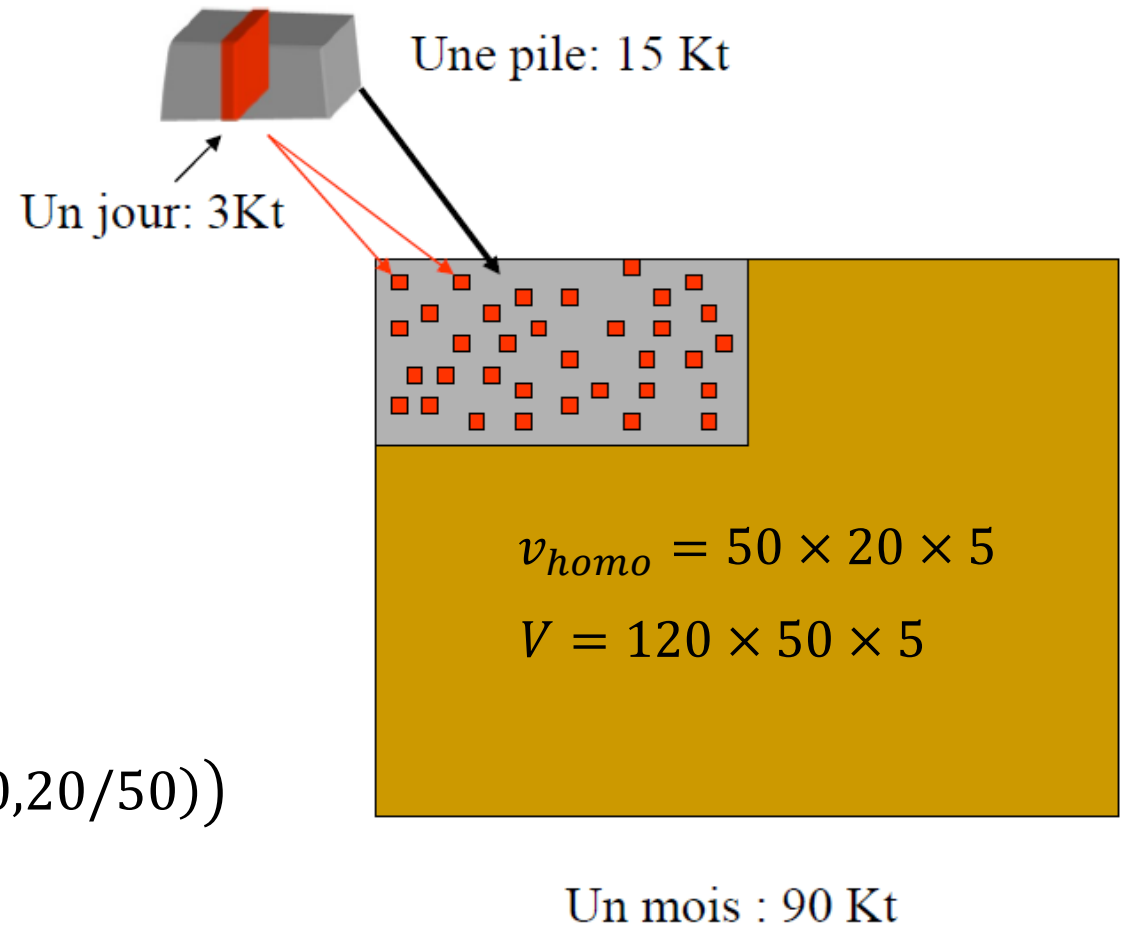
Homogénéiser les teneurs

Alors, que vaut $D^2(v|v_{homo})$?

$$D^2(v|v_{homo}) \approx 0$$

Ainsi, calculez $D^2(v|V) = D^2(v_{homo}|V)$

$$\begin{aligned} D^2(v|V) &= 5\%^2 \times (F(120/50, 50/50) - F(50/50, 20/50)) \\ &= 5\%^2 \times (0.83 - 0.52) = 1.55\%^2 \end{aligned}$$



7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : Q4

Q4) Une pile d'homogénéisation de capacité de 90 Kt, (120 × 50 × 5) permet quelle homogénéité ?

$$v_{homo} = 120 \times 50 \times 5$$

$$V = 120 \times 50 \times 5$$

$$\begin{aligned} D^2(v|V) &= 5\%^2 \times (F(120/50, 50/50) - F(120/50, 50/50)) \\ &= 5\%^2 \times (0.83 - 0.83) = 0\%^2 \end{aligned}$$

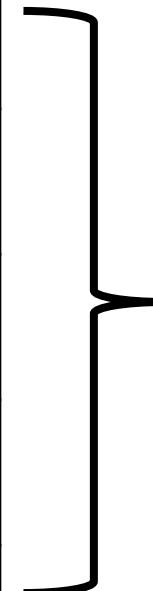
En réalité, $D^2(v|V) \approx 0\%^2$

pourquoi ?

7. Homogénéité du minerai

Concevoir le design d'une exploitation : analyse des résultats

Méthode	$D^2(v V)$
1 pelle	2.95
2 pelles	1.35
Pile de 15 Kt	1.55
Pile de 90 Kt	≈ 0



Que peut-on en conclure ?



8. Règle simple et influence du modèle

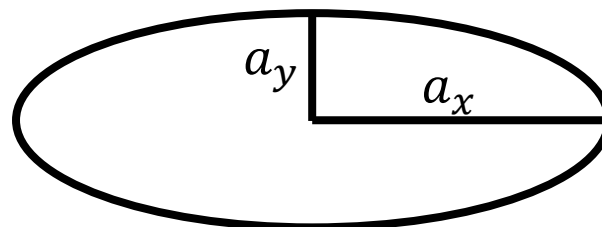
Importance de la variabilité

Pour avoir une teneur d'un volume unitaire (v) la plus homogène possible sur une période de temps T (génération d'un volume V), il faut opérer de façon à inclure le plus de variations possibles à l'intérieur du volume unitaire v .

Quelle direction de chargement (bande bleue) produira des teneurs des camions les plus semblables ?

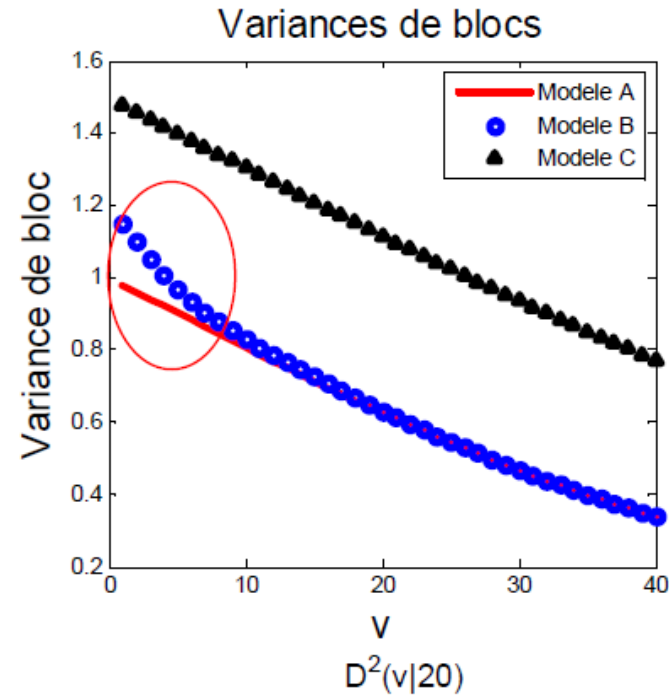
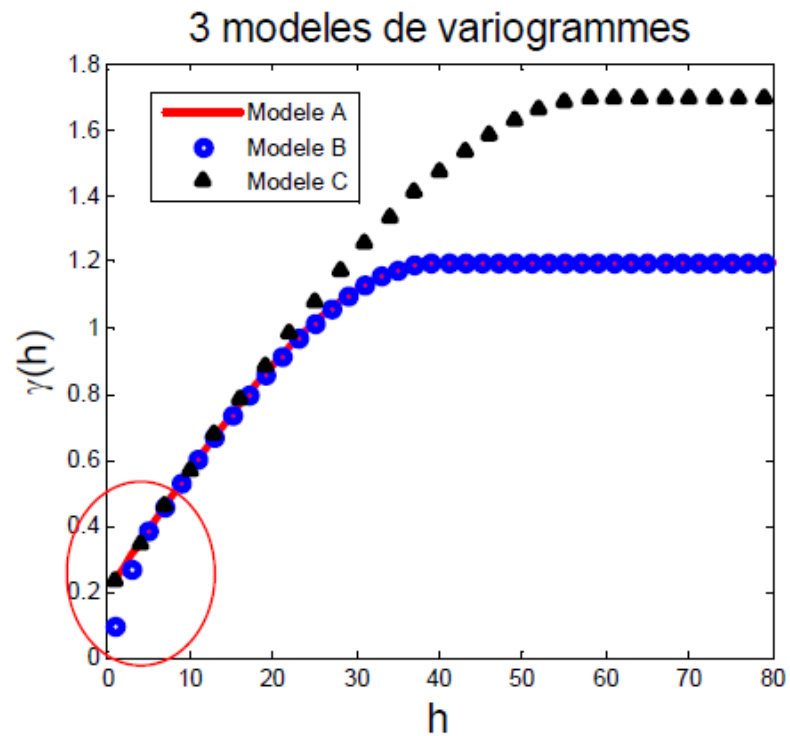


Variogramme

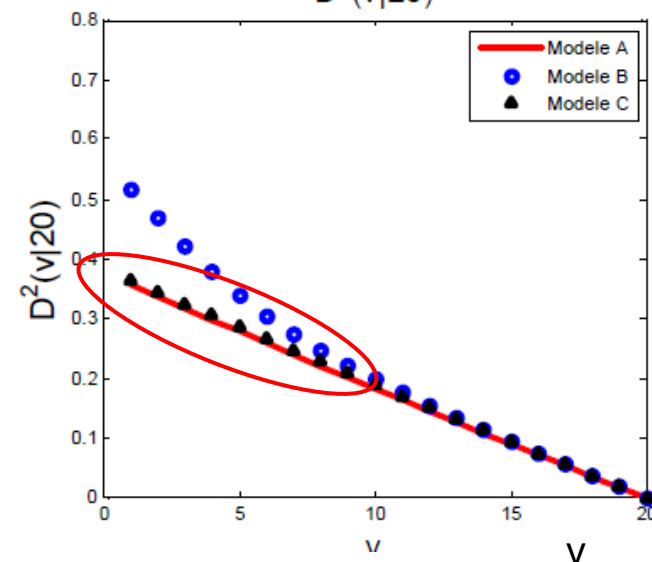


8. Règle simple et influence du modèle

Influence du modèle de variogramme :



La différence de palier a un impact important sur la variance de bloc.



La différence de palier et de portée n'a pas d'impact sur la variance de dispersion.

9. Covariance et variogramme de blocs

Covariance et variogramme de blocs

- Variance de blocs $\rightarrow Cov(Z_V(x), Z_V(x))$
- Covariance de blocs $\rightarrow Cov(Z_V(x), Z_V(x + h))$
- Variogramme de blocs $\rightarrow \frac{1}{2} Var(Z_V(x) - Z_V(x + h))$

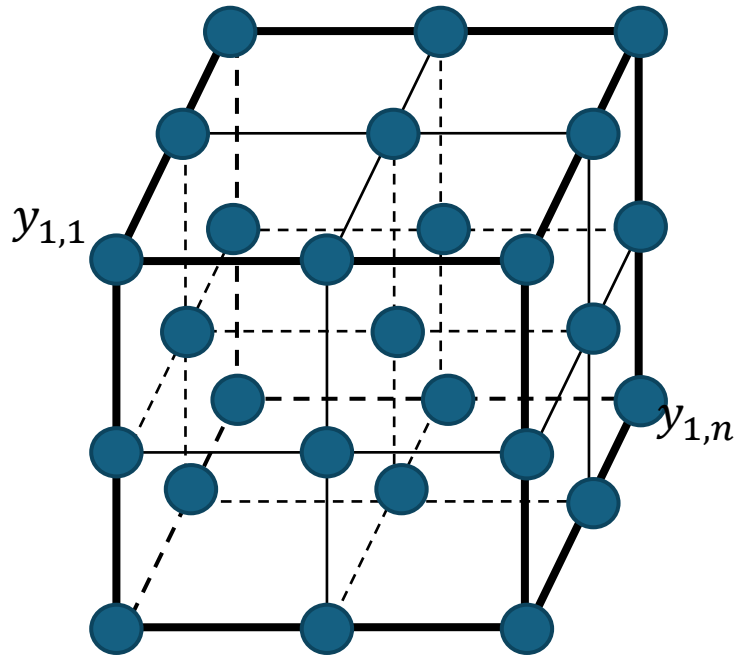
\rightarrow se calculent tous à partir du variogramme ponctuel

- Le variogramme de blocs est plus lisse à l'origine que le variogramme ponctuel
- Son palier est la variance de blocs

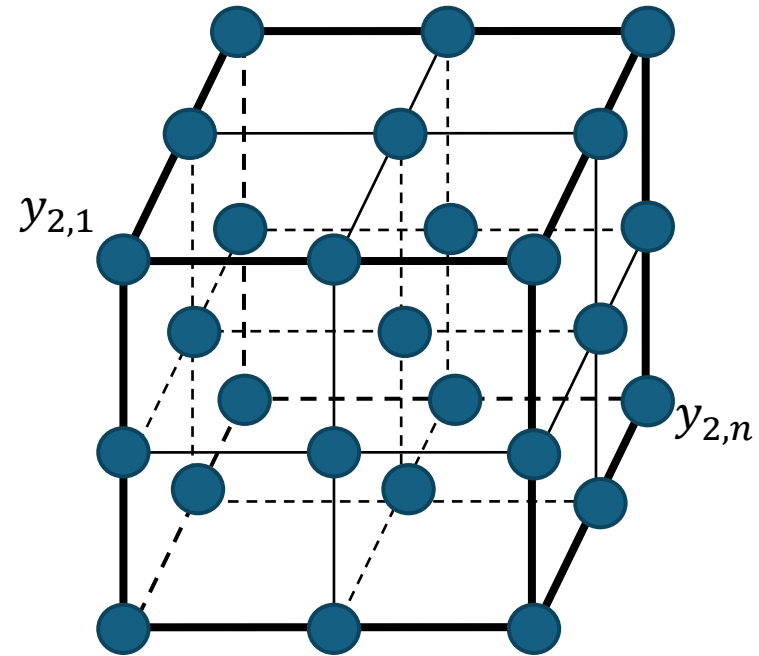
9. Covariance et variogramme de blocs

Numériquement : Approximation par un bloc v_1 et v_2 tous deux discrétisés en n points

Bloc v_1



Bloc v_2



Blocs distant de h

$$C_v(h) = \text{Cov}(Z_v(x), Z_v(x+h)) \approx \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \text{Cov}(\|y_{1,i} - y_{2,j}\|)$$

$$\gamma_v(h) = \frac{1}{2} \text{var}(Z_v(x) - Z_v(x+h)) \approx \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma(\|y_{1,i} - y_{2,j}\|) - \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \gamma(\|y_{1,i} - y_{1,j}\|)$$