



# Modélisation stochastique de champs de vitesse géophysique en exploration pétrolière

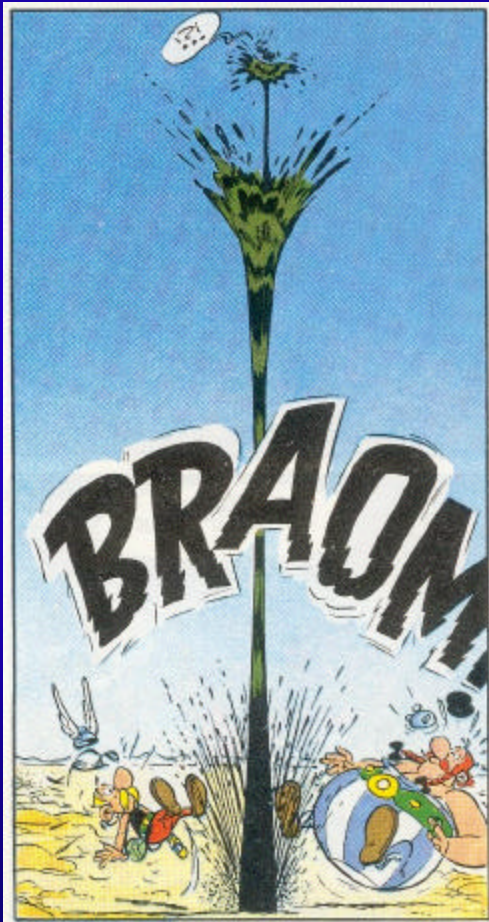
D. Geraets

le 21 octobre 2002

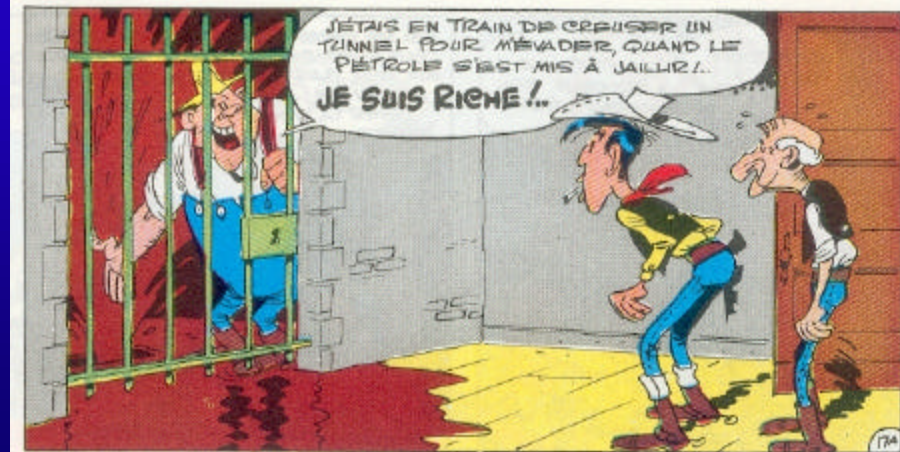
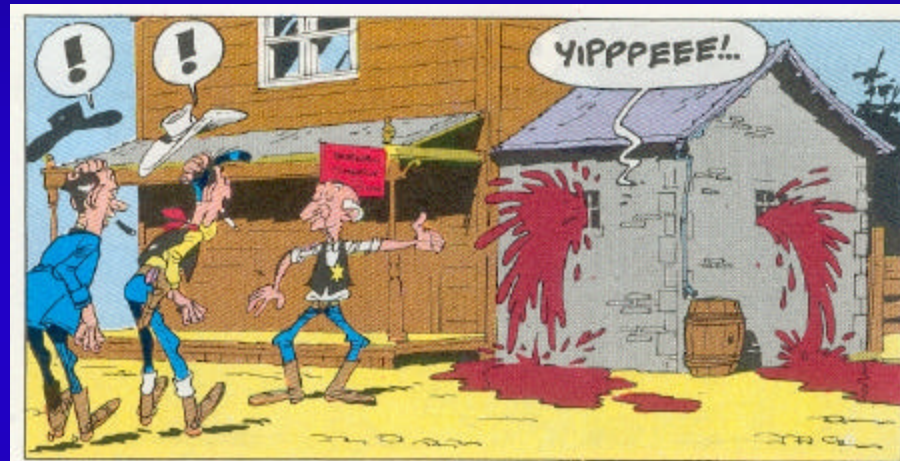
# Exploration pétrolière



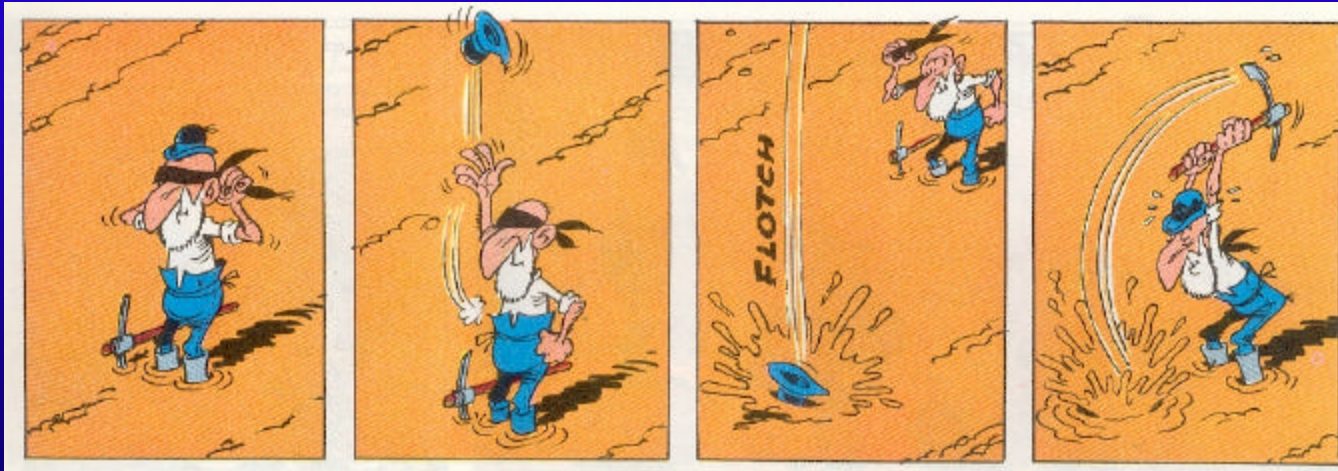
# Exploration pétrolière



# Exploration pétrolière



# Exploration pétrolière



# Exploration pétrolière



# Plan de la présentation

- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- Modèle de covariance du champ de vitesse
- Simulation du champ de vitesse
- Conclusions

# Exploration pétrolière

- Données géologiques à grande échelle
  - ⇒ zones d'intérêt
- Données sismiques
  - ⇒ définition de prospects
- Forages de puits
  - ⇒ gisements



# Données gravimétriques et électro-magnétiques

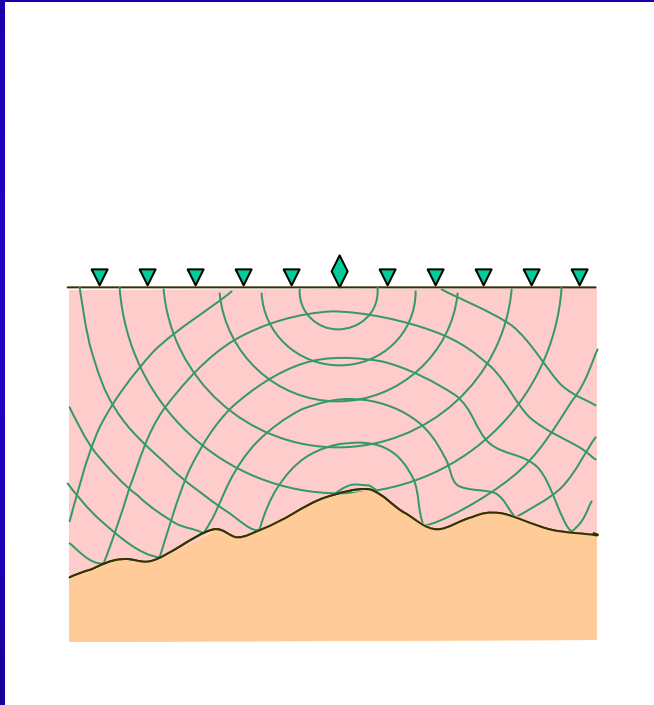
- Mesures du champ de pesanteur
- Mesures des courants telluriques
- Mesures de conductivité

*↳ nous n'en parlerons pas par la suite*

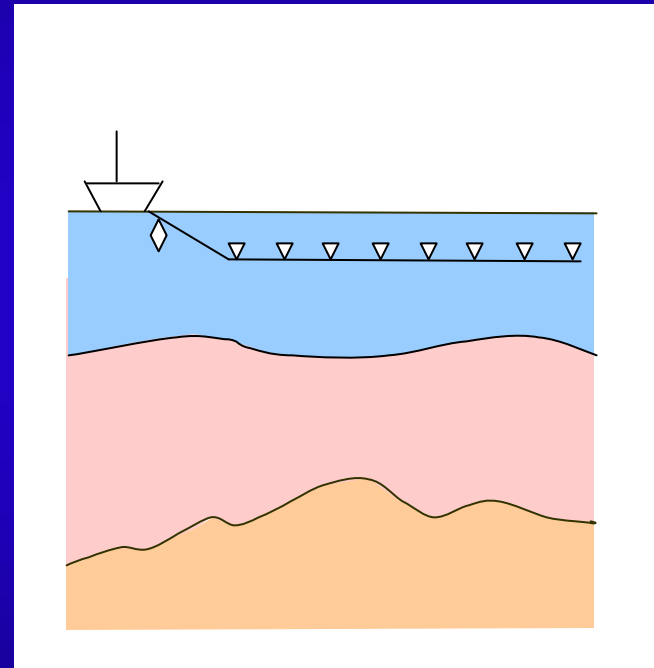
# Données sismiques

- Enregistrements de vibrations provoquées par source (explosive ou vibratoire)
- Nécessitent un important traitement numérique pour obtenir une représentation des caractéristiques du sous-sol

# Données sismiques



*Acquisition terrestre*

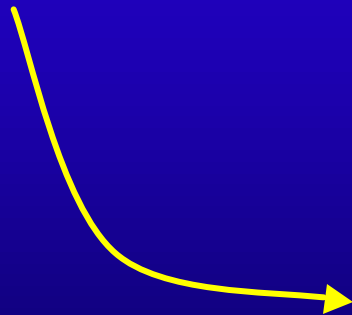


*Acquisition maritime*

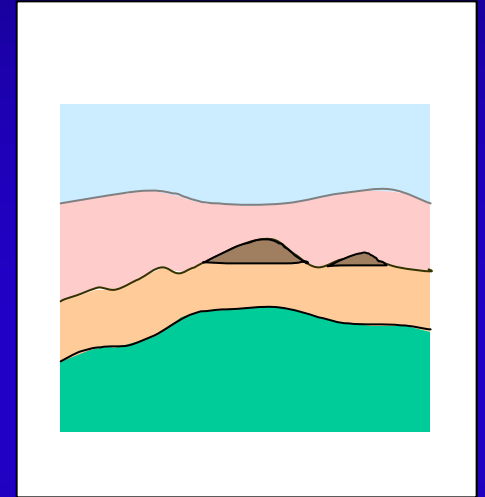
# Données sismiques



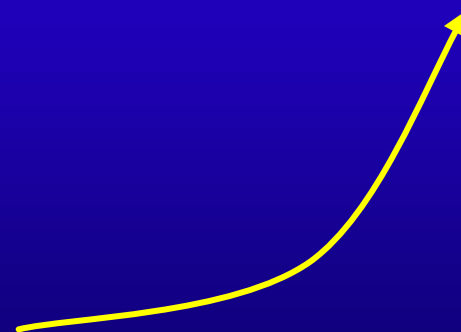
*acquisition*



*traitement*



*interprétation*






# Traitement des données sismiques

- Positionnement correct des informations et sommation de données sismiques correspondant au même point du sous-sol
- Inversion des paramètres physiques

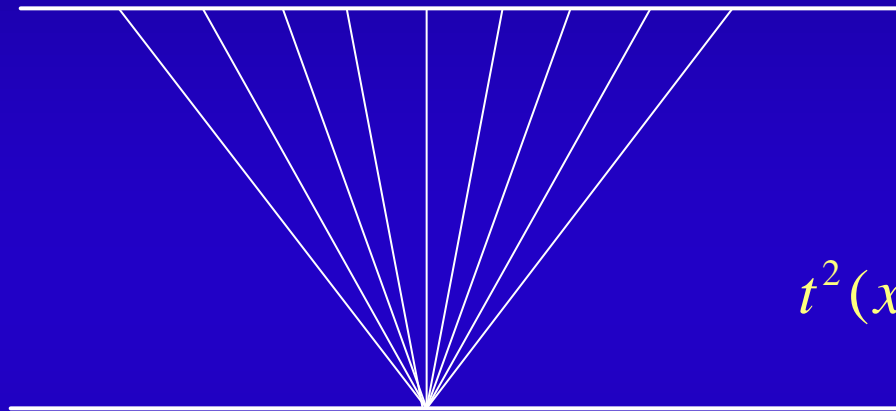
*P possible moyennant la connaissance précise du champ de vitesse des ondes P et S.*

# Informations de vitesse

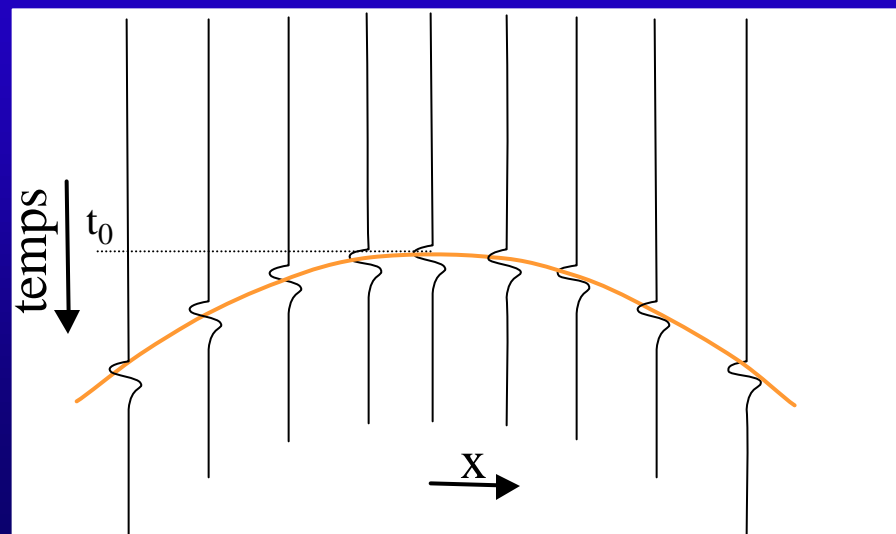
- Correction pour le déport : vitesse de sommation/de stack 
- Vitesse de tranche 
- Enregistrements de vitesses soniques 

*Objectif: modéliser le champ de vitesse en utilisant de façon optimale l'ensemble de ces sources d'informations*

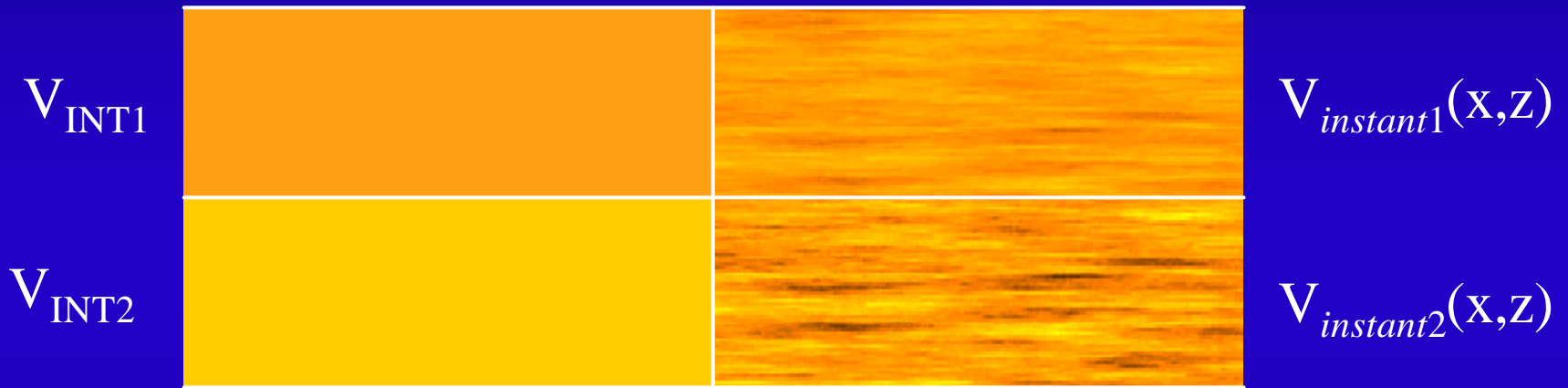
# Vitesse de sommation



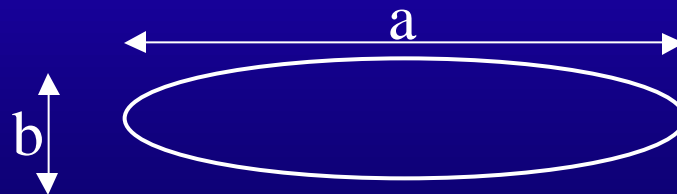
$$t^2(x) = t_0^2 + \frac{x^2}{v_{STACK}^2}$$



# Vitesse de tranche

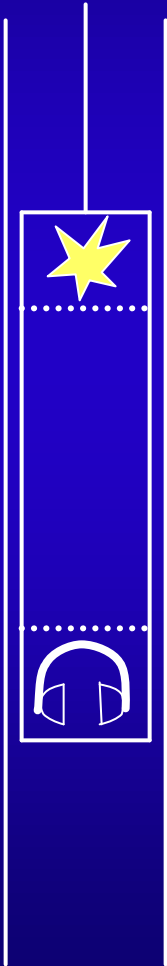


$$V_{instant}(x,z) = v_0 (1 + \varepsilon(x,z))$$





# Enregistrements soniques



enregistrement du temps mis par  
une onde pour se propager au sein  
de la roche de l'émetteur au  
récepteur



*$\bar{P}$  mesure directe du champ de  
vitesse instantanée*



# Objectifs de la thèse

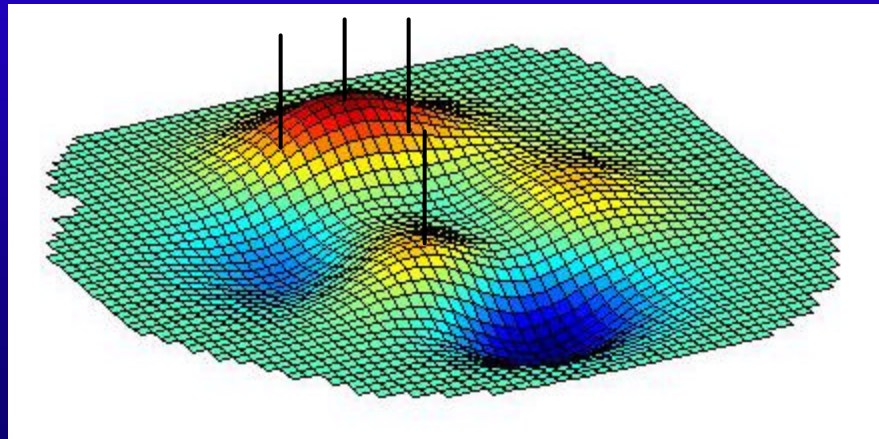
- Caractérisation structurale du champ de vitesse instantanée
- Simulation du champ de vitesse instantanée conditionnée aux données

# Objectifs de la thèse

- Caractérisation structurale du champ de vitesse instantanée
  - Estimation et simulations du champ de vitesse conditionné aux puits 
  - Etude de la propagation d'ondes en milieu aléatoire 
- Simulation du champ de vitesse instantanée conditionnée aux données

# Modèle de vitesse conditionné aux puits

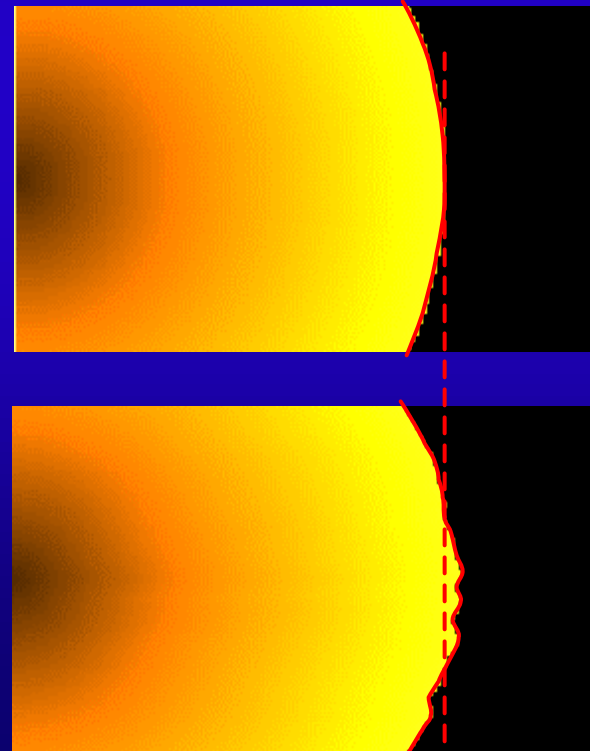
- Vitesses de sommation (données nombreuses mais imprécises)  
⇒ *mesure indirecte du champ de vitesse instantanée*
- Données aux puits (précises mais peu nombreuses et inégalement réparties)




# Etude de la propagation d'ondes en milieu aléatoire

⇒ prise en compte du  
velocity shift

⇒ études AVO

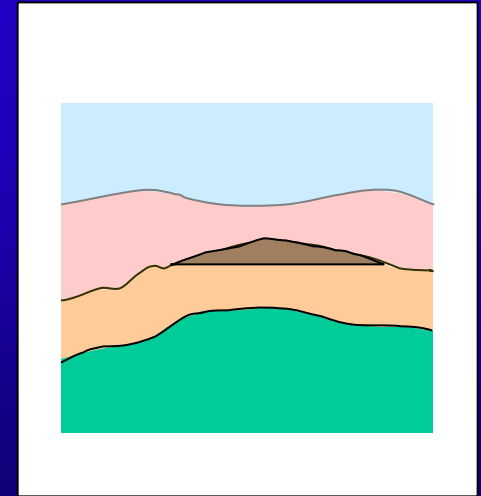
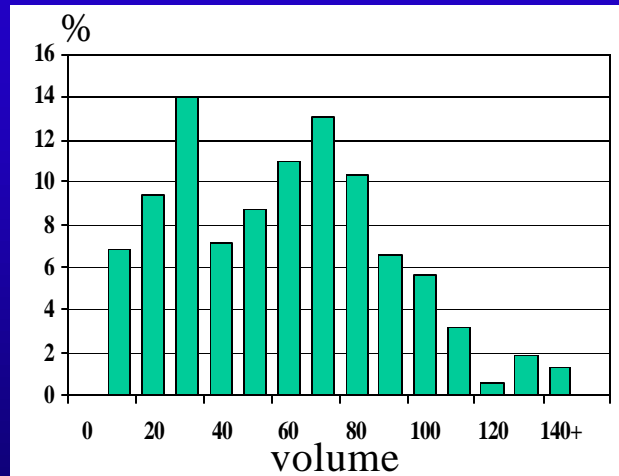
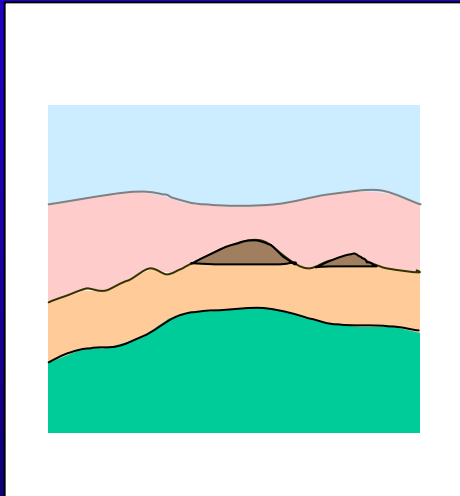


# Objectifs de la thèse

- Caractérisation structurale du champ de vitesse instantanée
- Simulation du champ de vitesse instantanée conditionnée aux données
  - Estimation de distribution de volumes de roches imprégnées en hydrocarbures 

# Simulations conditionnées

Distribution de volumes de roches imprégnées en hydrocarbures



# Plan de la présentation

- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- **Modèle de covariance du champ de vitesse**
  - Modèle utilisé
  - Résultats synthétiques
  - Application au cas réel
- Simulation du champ de vitesse
- Conclusions



# Hypothèses de modélisation

- Propagation acoustique  
(ondes P, pas d'ondes de cisaillement)
- Optique géométrique  
(taille et amplitude des hétérogénéités)

# Hypothèses de modélisation

- Réflecteur plan, à profondeur suffisante
- Vitesse moyenne sous-jacente simple et connue
- Pas de variation latérale de vitesse  
(Iooss *et al* 2003)

# Résultats théoriques

*Proposer un modèle de covariance du champ de vitesse instantanée*

$$\text{Cov}(T_i, T_j) = \iint_{r_i, r_j} \frac{\text{Cov}(\mathbf{e}(x_i, z_i), \mathbf{e}(x_j, z_j))}{V^2} dx_i dx_j$$

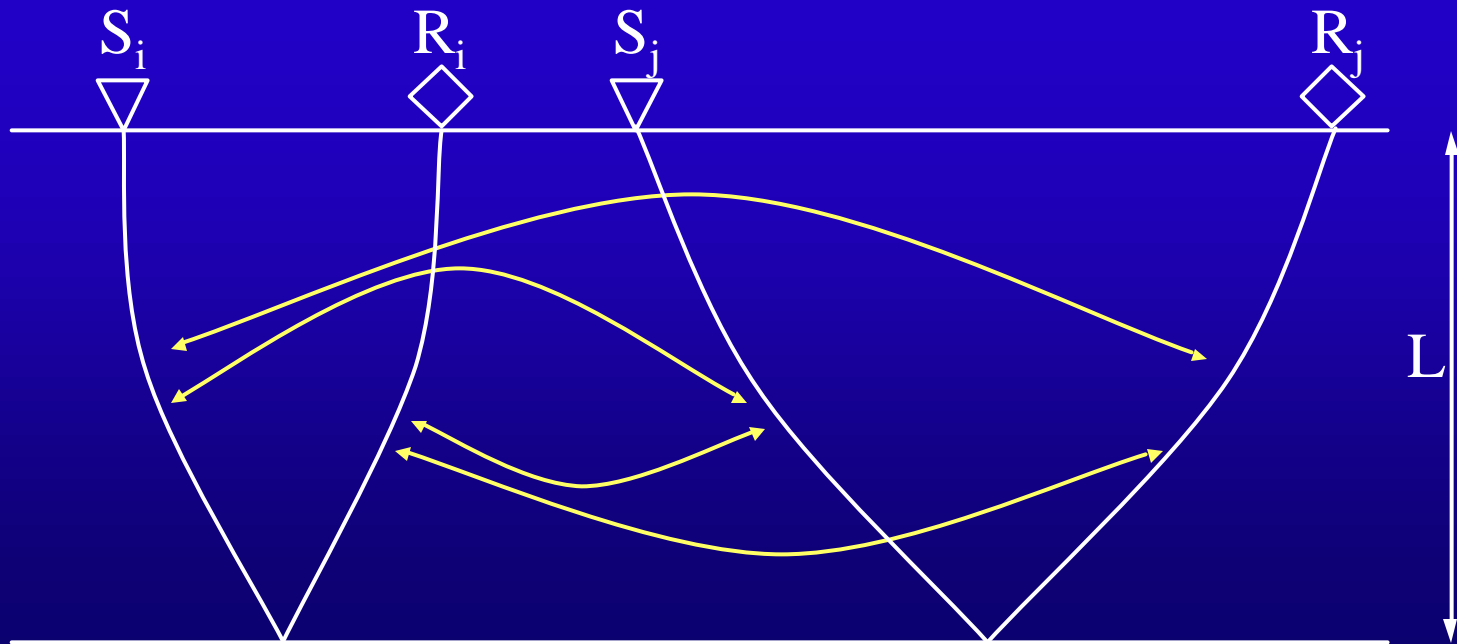
$$\text{Cov}(V_{STACK1}, V_{STACK2}) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \frac{\bar{V}_{stack}^6}{4} \text{Cov}(T_{1i}^2, T_{2j}^2) k(i, j, n)$$

*Comparer la courbe obtenue avec la courbe de covariance expérimentale des vitesses de stack*

*Si nécessaire, proposer un autre modèle*

# Résultats théoriques

Variation de la vitesse moyenne en fonction de la profondeur

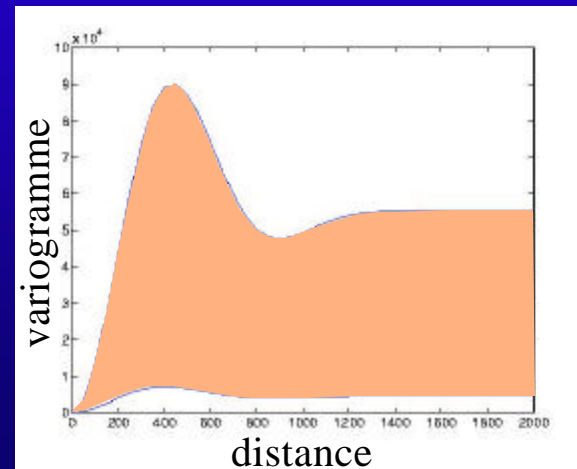
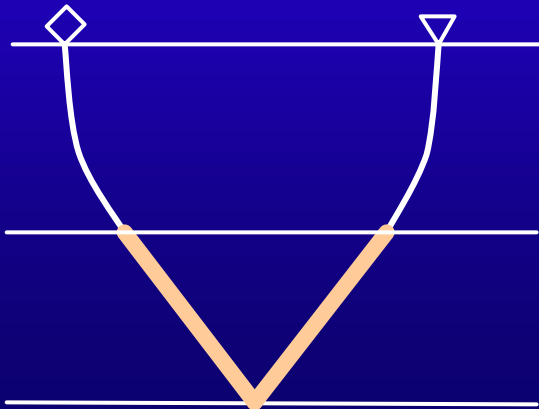


# Résultats théoriques

Cas multicouches : somme des contributions pour chaque couche

$$Cov(V_1, V_2) = \sum_{l=1}^m Cov^{(l)}(V_1, V_2)$$

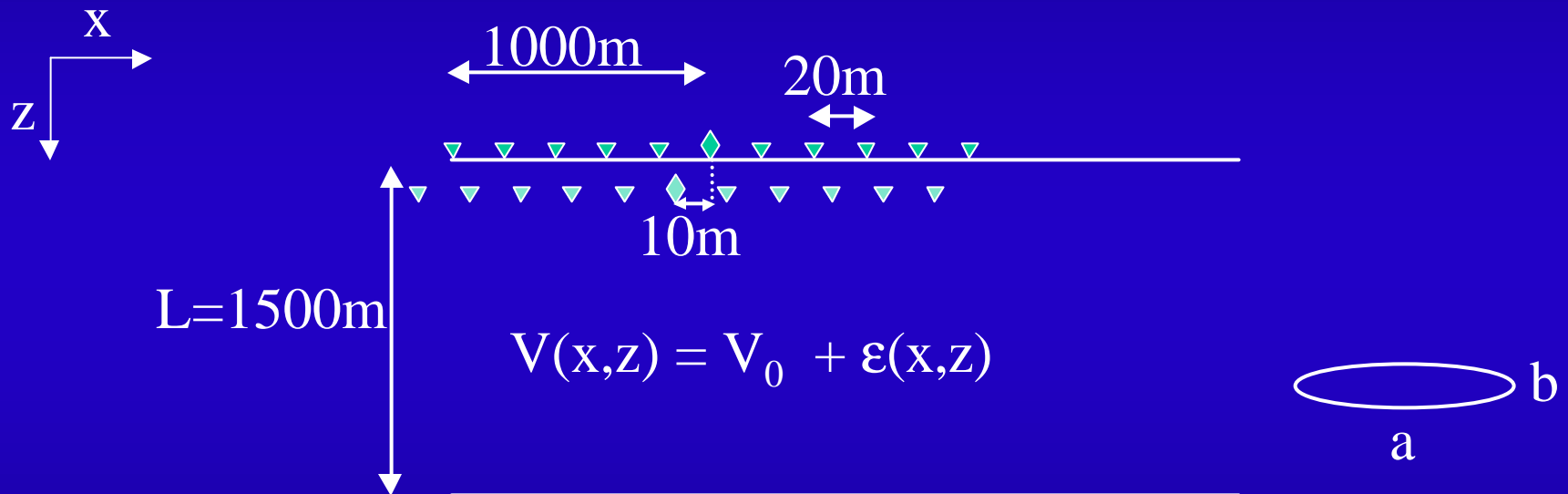
Résidu par différence



# Plan de la présentation

- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- **Modèle de covariance du champ de vitesse**
  - Modèle utilisé
  - **Résultats synthétiques**
  - Application au cas réel
- Simulation du champ de vitesse
- Conclusions

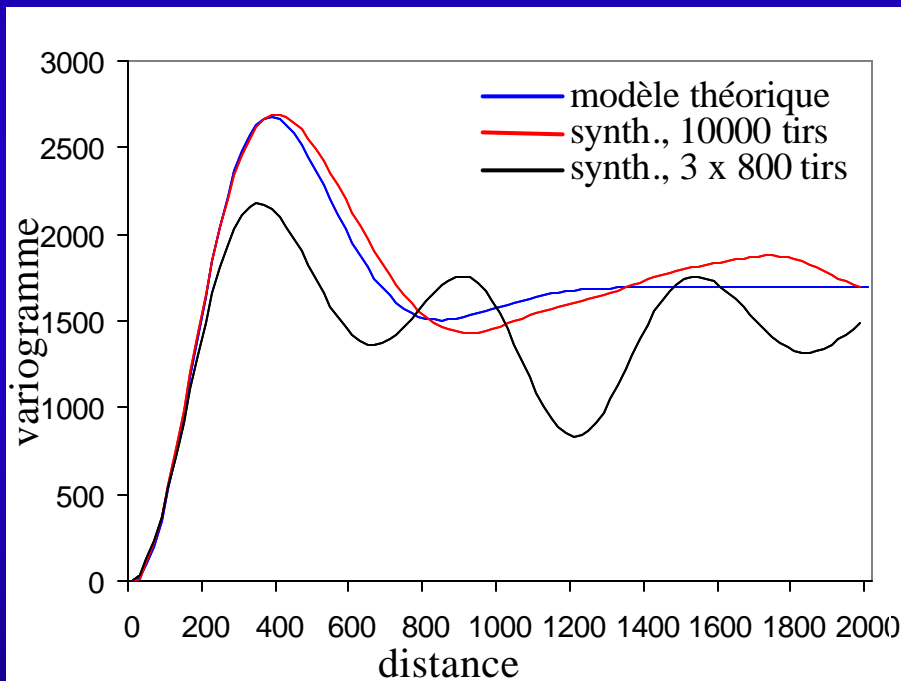
# Schéma du dispositif



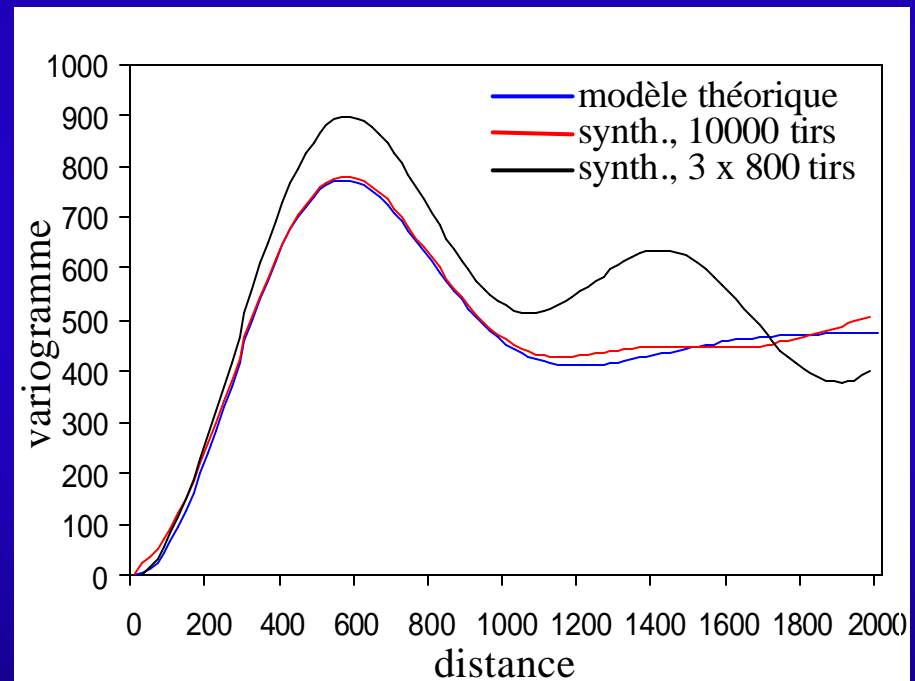
$$V_0 = 3000 \text{ m/s}$$

$\varepsilon(x,z)$  perturbation de vitesse gaussienne,  
d'amplitude  $\sigma_\varepsilon = 20 \text{ m/s}$

# Résultats synthétiques



$a=250\text{m}$   
101 récepteurs



$a=500\text{m}$   
101 récepteurs

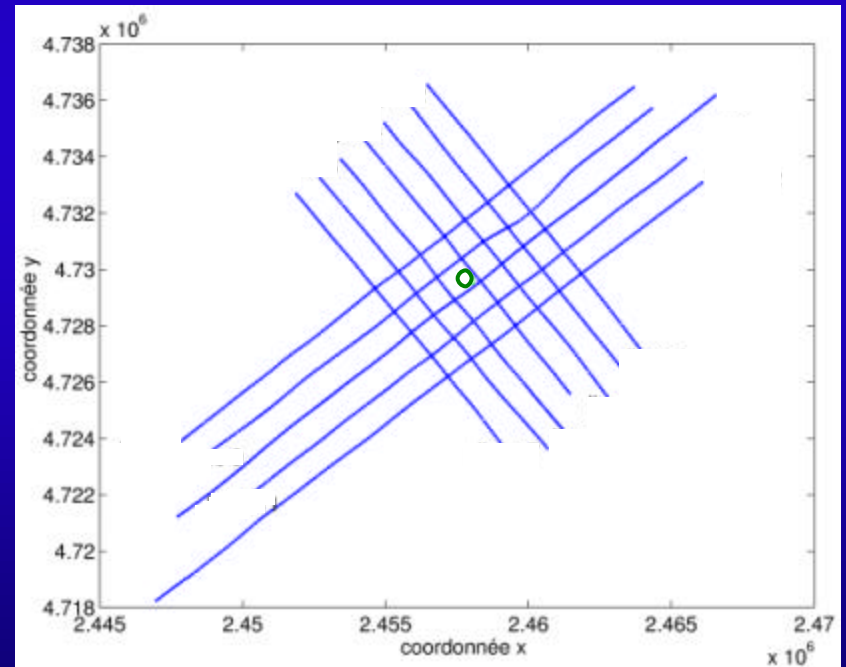


# Plan de la présentation

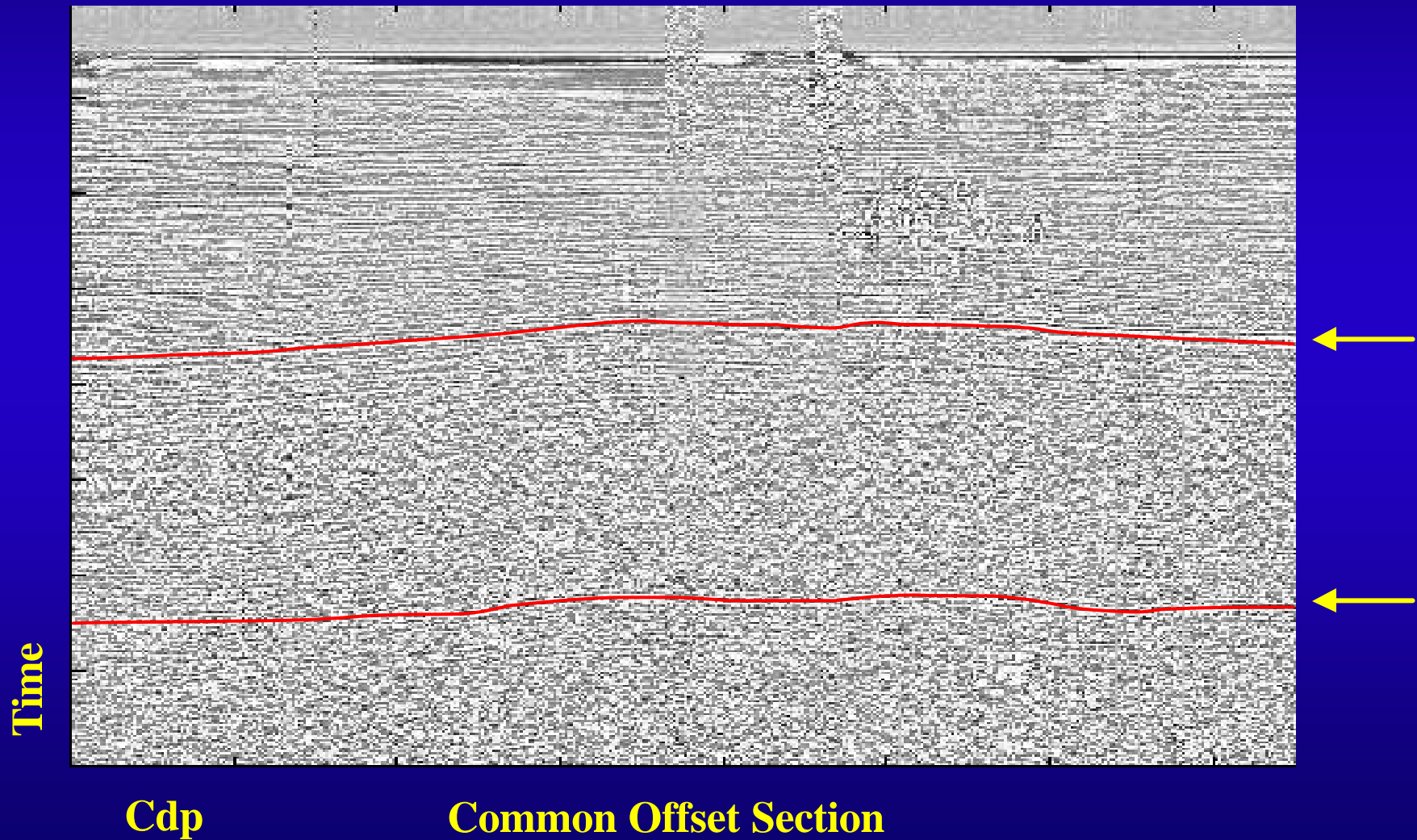
- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- **Modèle de covariance du champ de vitesse**
  - Modèle utilisé
  - Résultats synthétiques
  - **Application au cas réel**
- Simulation du champ de vitesse
- Conclusions

# Description des données

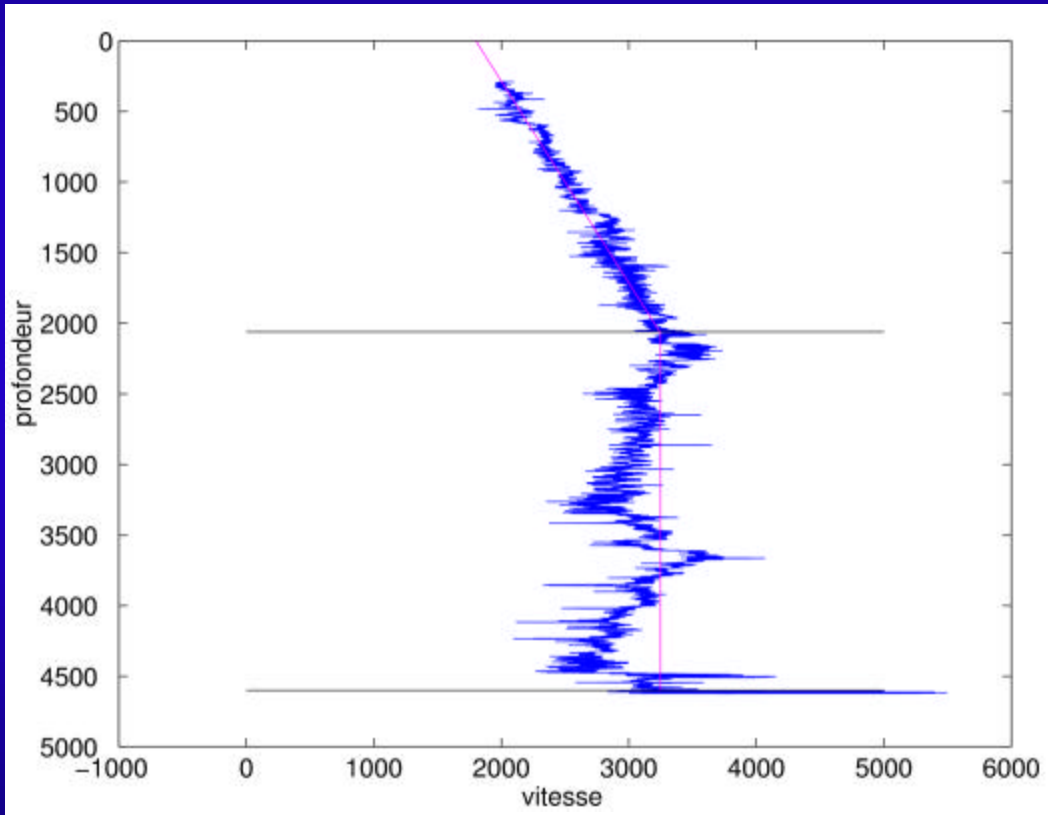
- Acquisition marine
- 46 hydrophones
- 50 m distance  
(entre tirs et  
entre récepteurs)
- 4 puits



# Description des données



# Description des données

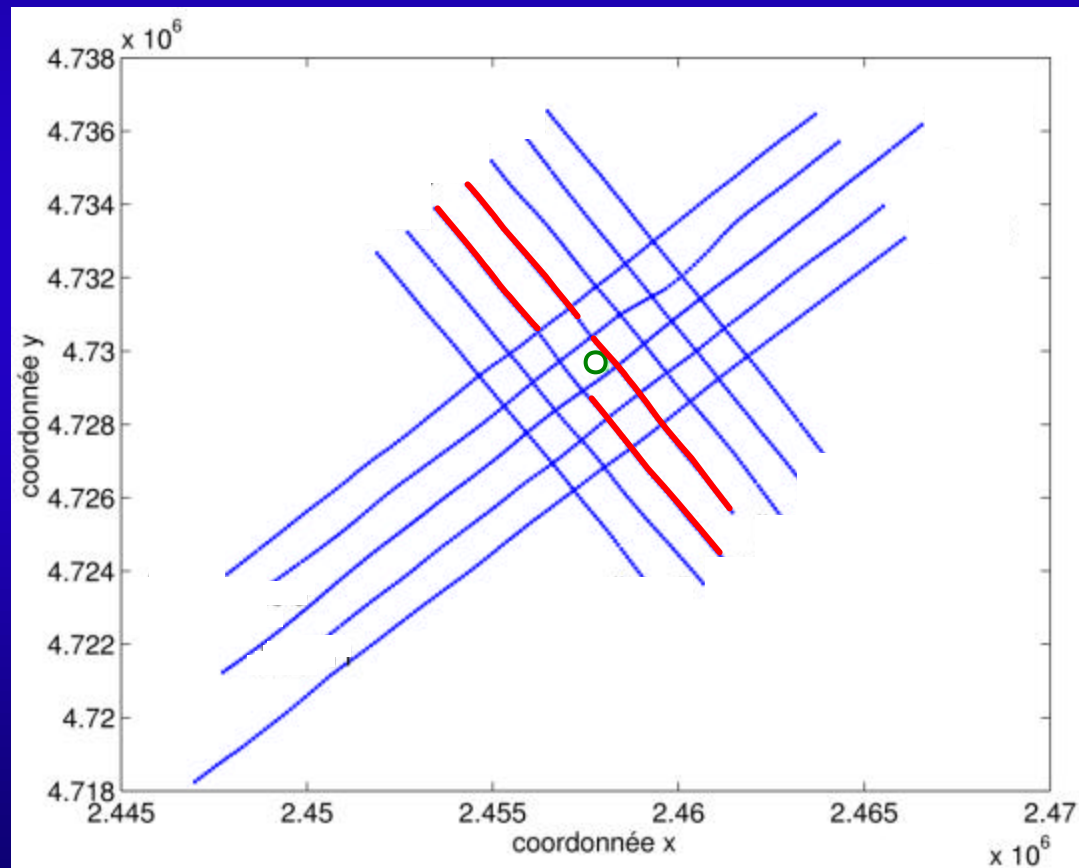


⇒ croissance linéaire  
dans la première  
couche

⇒ longueur de  
corrélation verticale

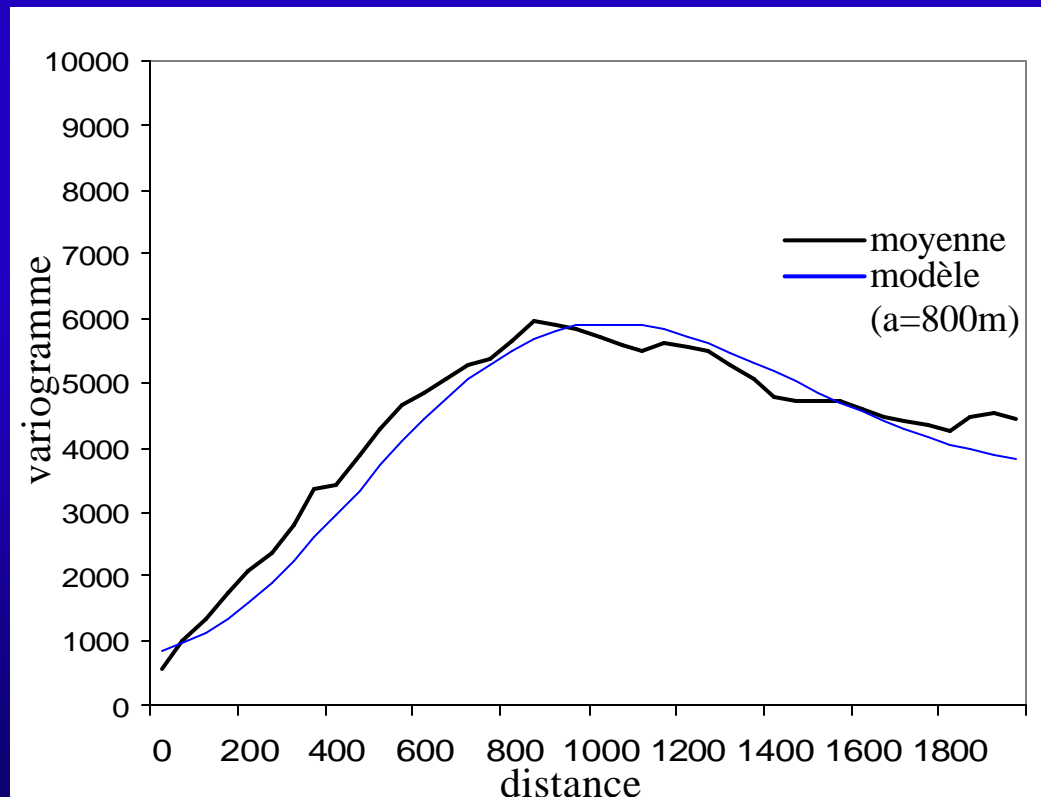
# Description des données

Premier essai : 4 morceaux de lignes



# Estimation de la longueur de corrélation horizontale

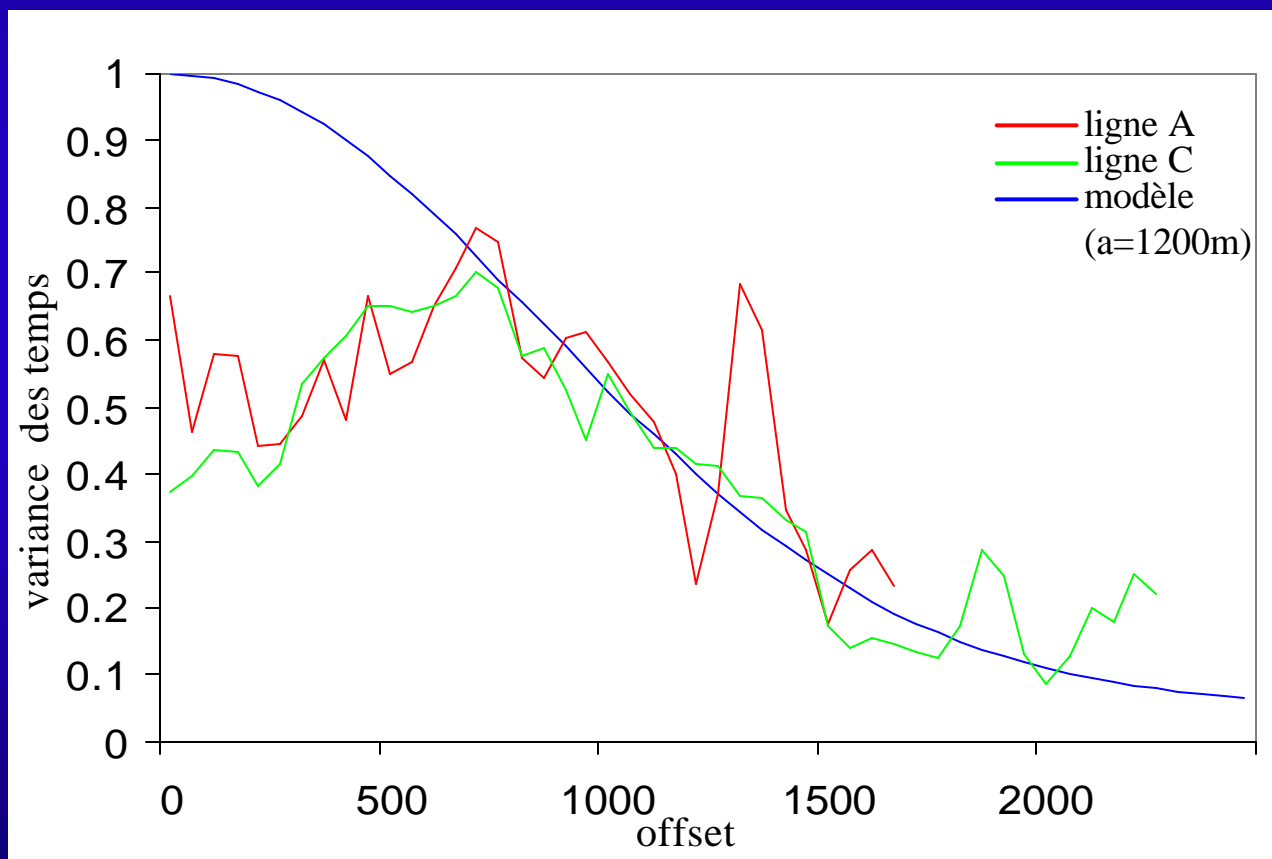
Variogrammes des profils de vitesse de stack



# Comparaison résultats obtenus avec méthode pre-stack

$$\frac{\text{Var}[T(x=a)]}{\text{Var}[T(0)]} = \frac{1}{2} + \frac{1}{A_0} \int_0^1 \int_0^\infty C_0\left(\sqrt{u^2 + z^2}\right) dz du$$
$$= f(\text{Cov})$$

# Comparaison résultats obtenus avec méthode pre-stack



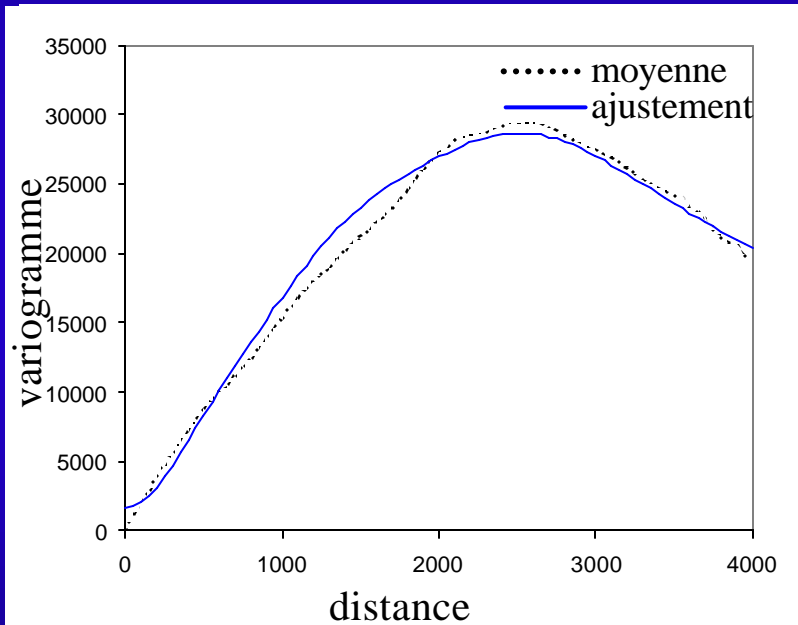


# Application au cas réel

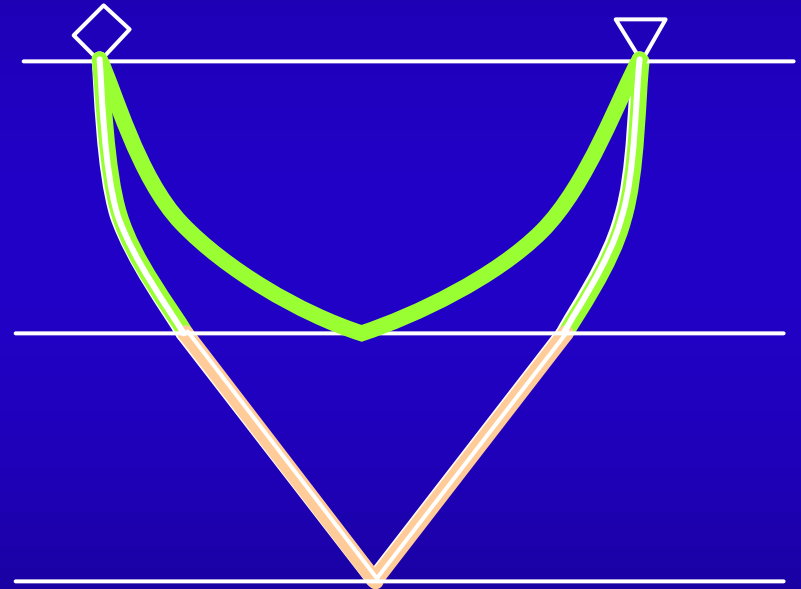
- Résultats de même ordre
- Utilisation méthode post-stack plus stable et plus simple

# Modélisation d'un milieu multicouche

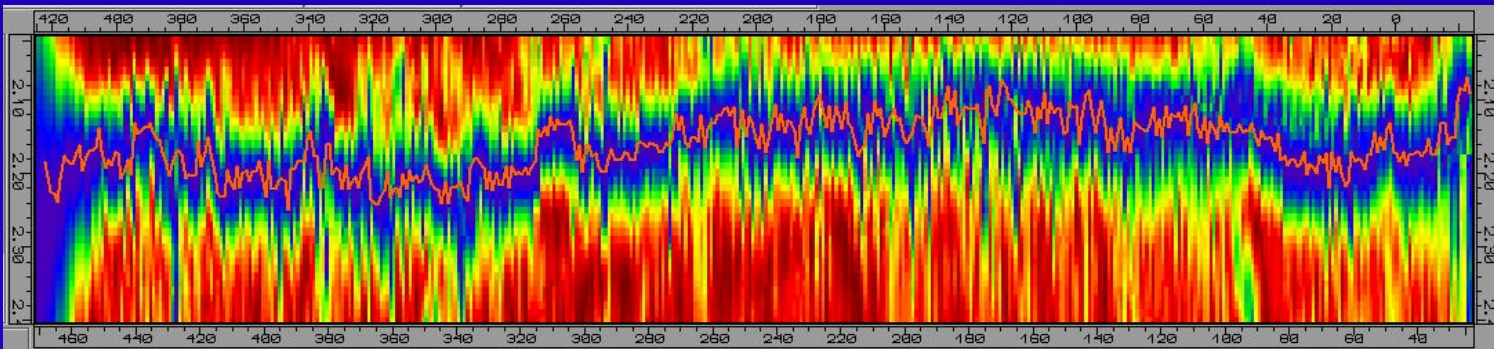
Variogramme des vitesses de stack  
couche inférieure



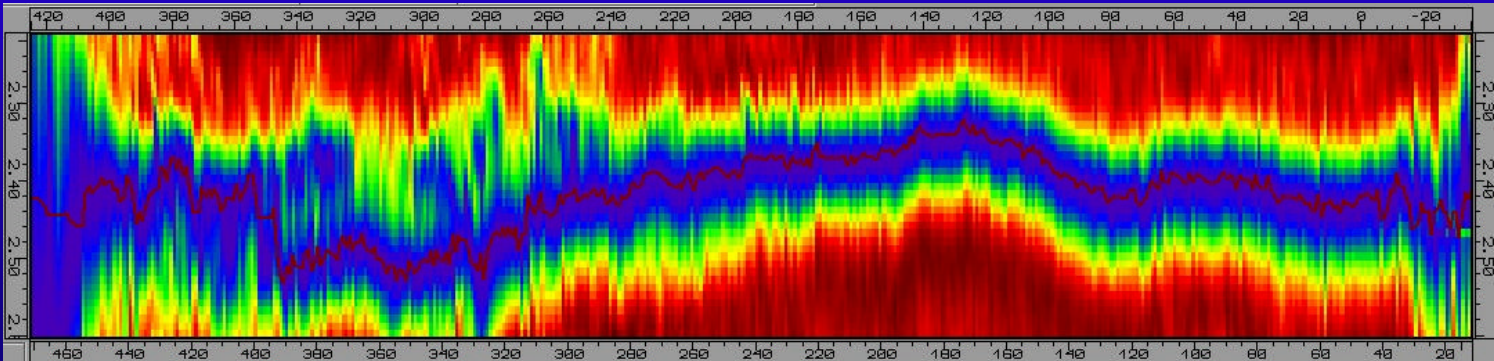
ure



# Quantification de l'incertitude sur le pointé

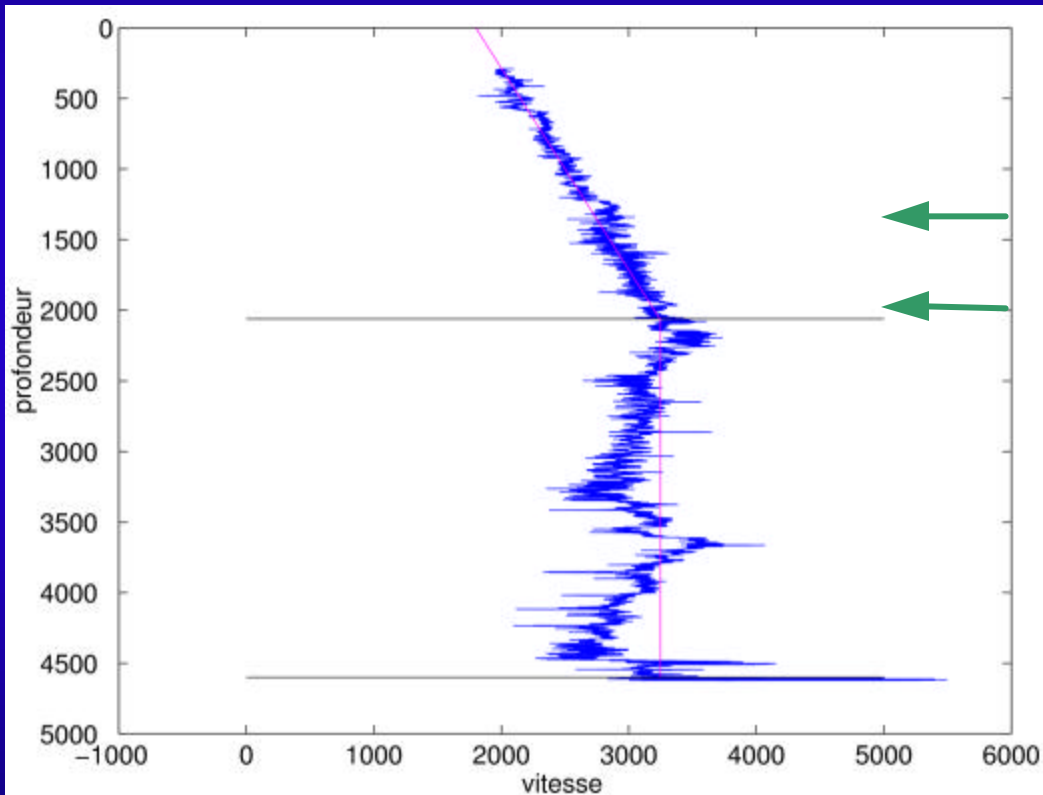


horizon 1



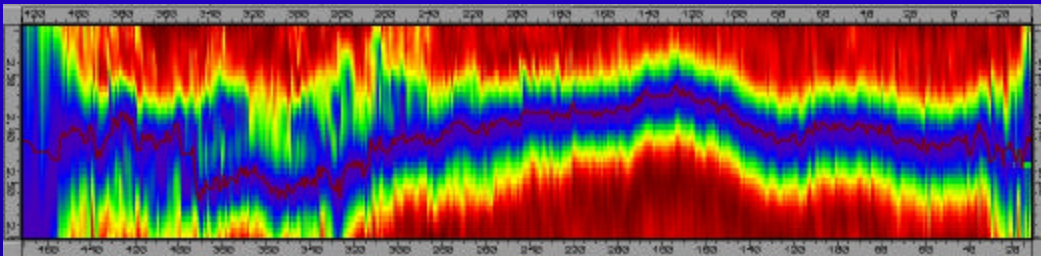
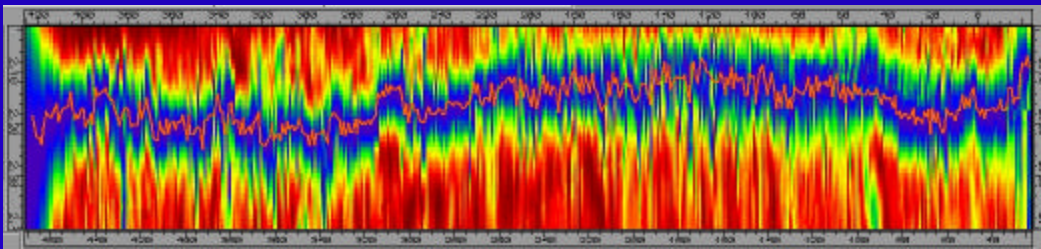
horizon 2

# Description des données



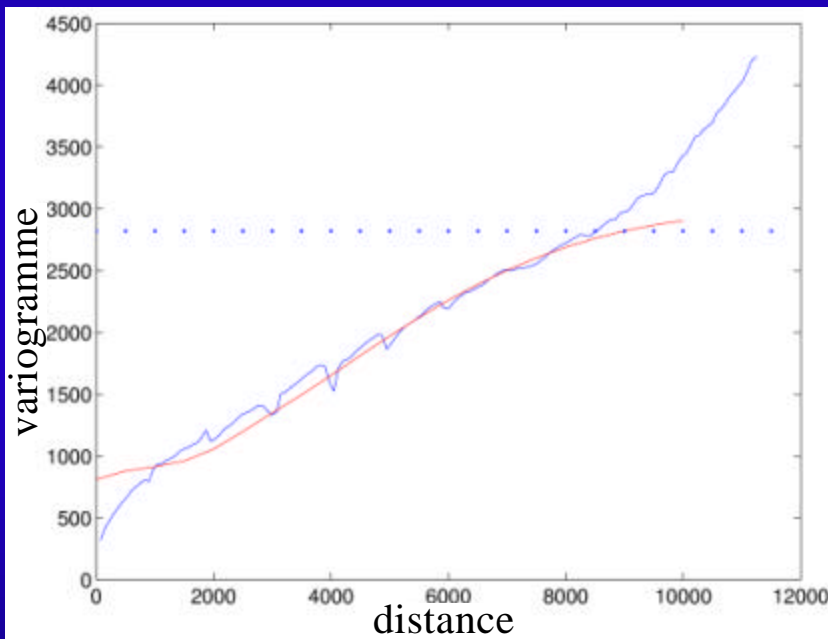
⇒ deux mesures  
situées dans la  
première couche

# Quantification de l'incertitude sur le pointé

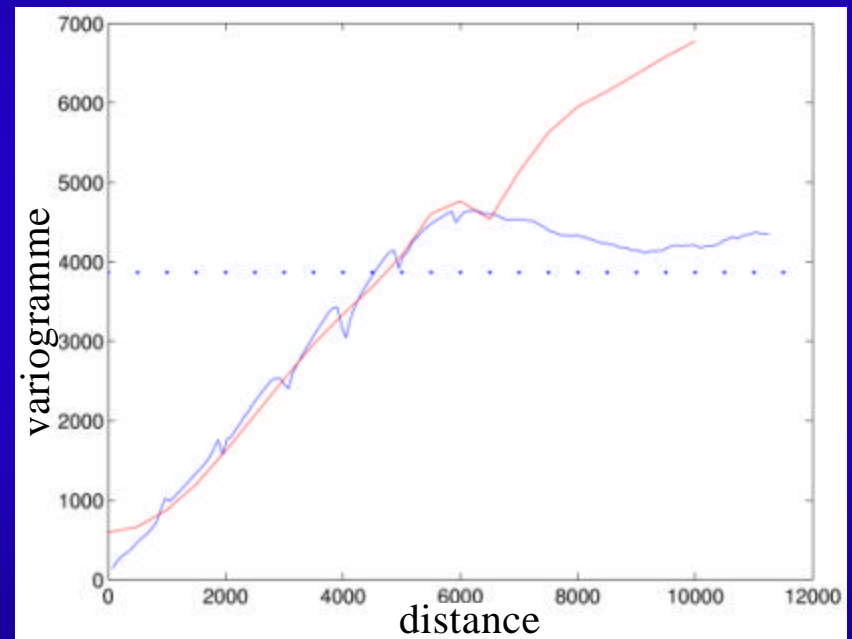


Horizon 1 pointé  
avec moins  
grande précision

# Quantification de l'incertitude sur le pointé



horizon 1



horizon 2

Variogrammes des vitesses de stack

# Plan de la présentation

- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- Modèle de covariance du champ de vitesse
- Simulation du champ de vitesse
  - Modèle utilisé
  - Application au cas réel
- Conclusions

# Simulation conditionnelle

Simulation complète du champ de vitesse instantanée  
(puits fictifs)

- conditionnée par les vitesses soniques aux puits  
 $\Rightarrow$  *Par chaîne de Markov*

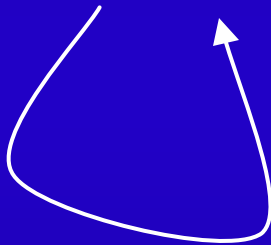
- conditionnée par les vitesses de sommation  
 $\Rightarrow$  *Par fonction de pénalité*

$$J = \sum \left[ V_{STACK} - V_{STACK\_SIMU} \right]^2$$

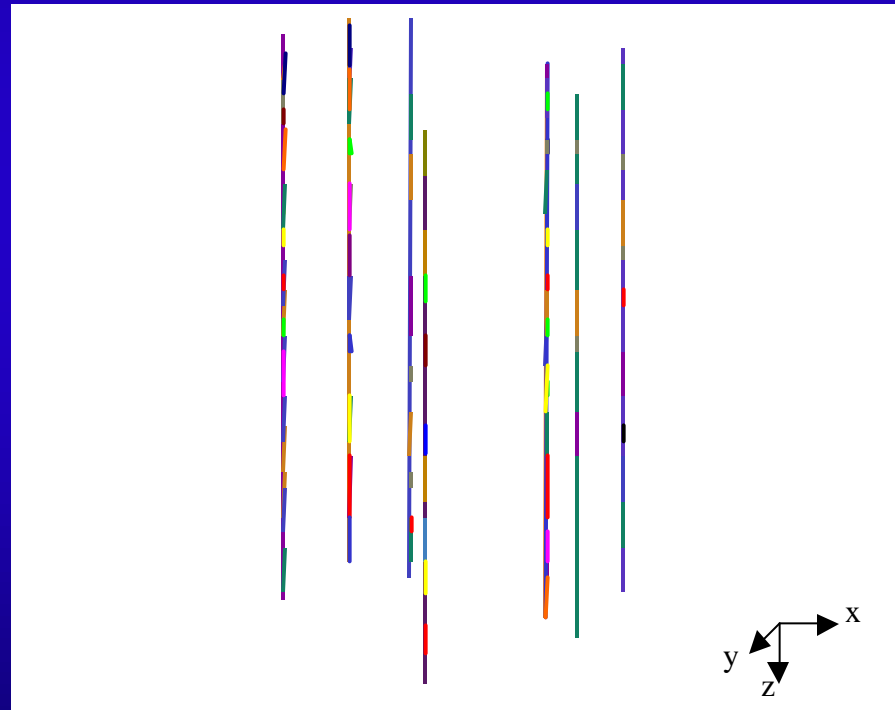
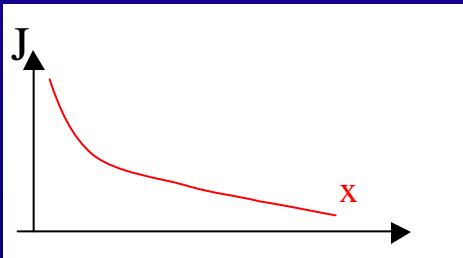


# Simulation conditionnelle

Simu conditionnées  
aux puits



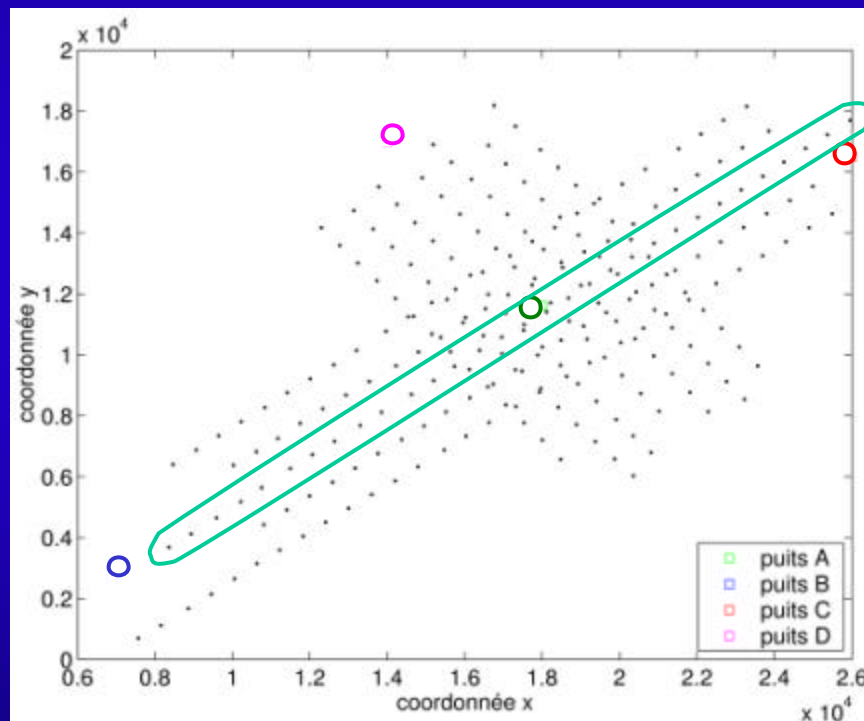
Echantillonneur de Gibbs  
bloc  
avec critère d'acceptation  
(Metropolis-Hastings)



# Plan de la présentation

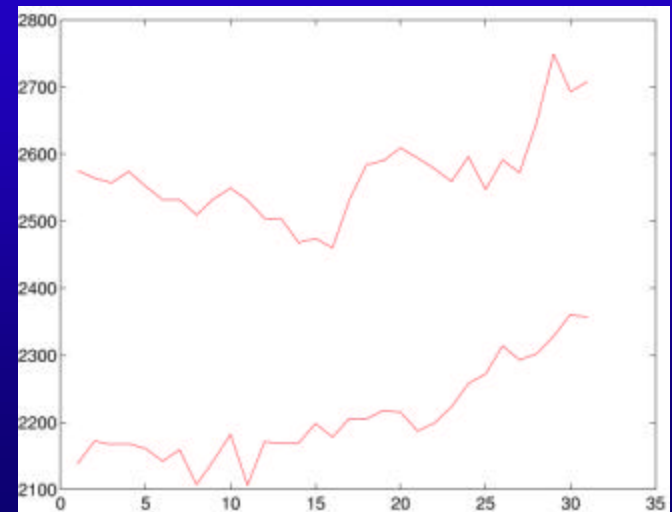
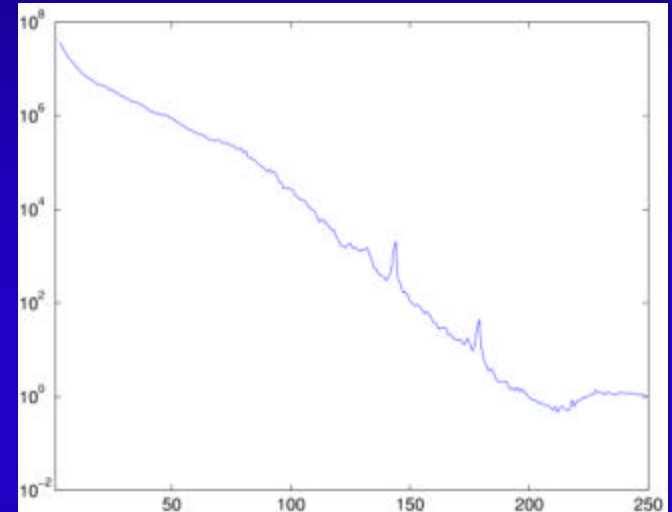
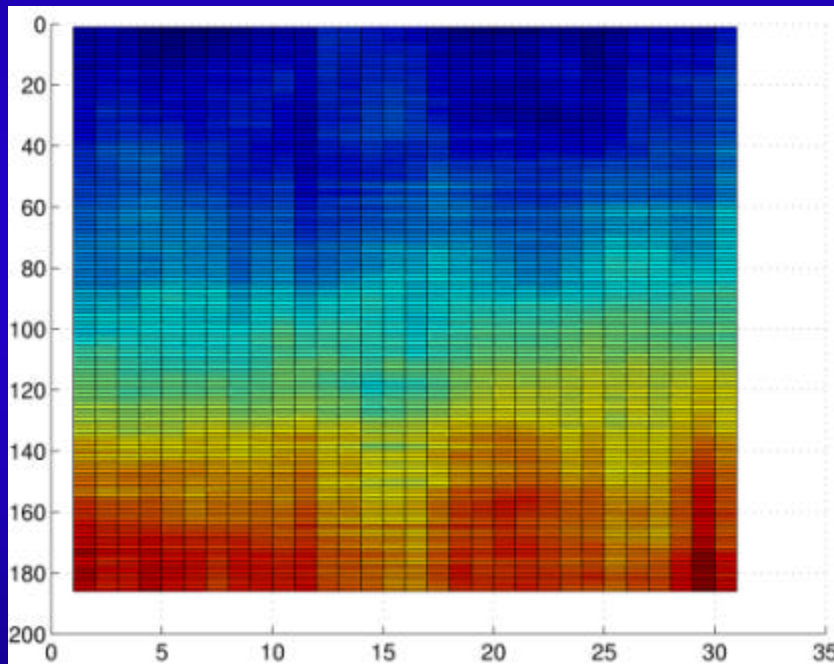
- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- Modèle de covariance du champ de vitesse
- Simulation du champ de vitesse
  - Modèle utilisé
  - Application au cas réel
- Conclusions

# Application au cas réel

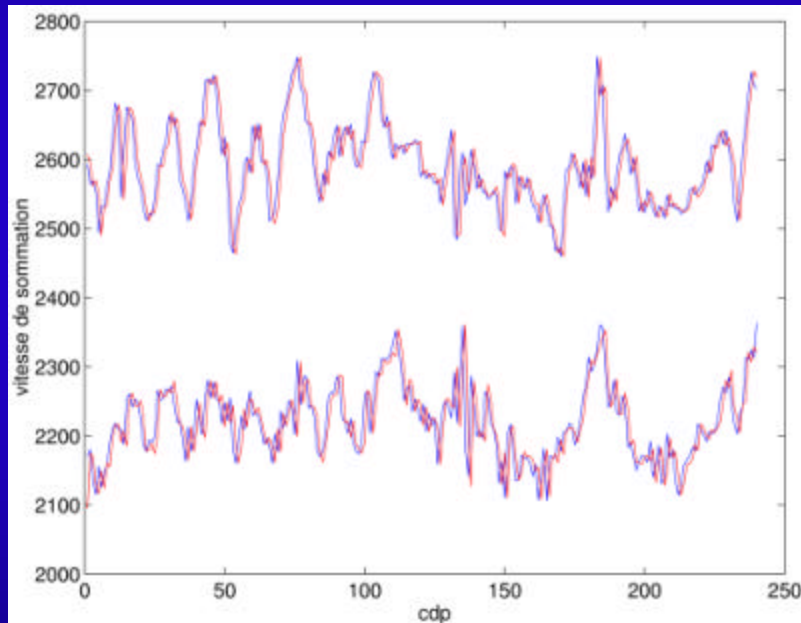


Plan de position des données

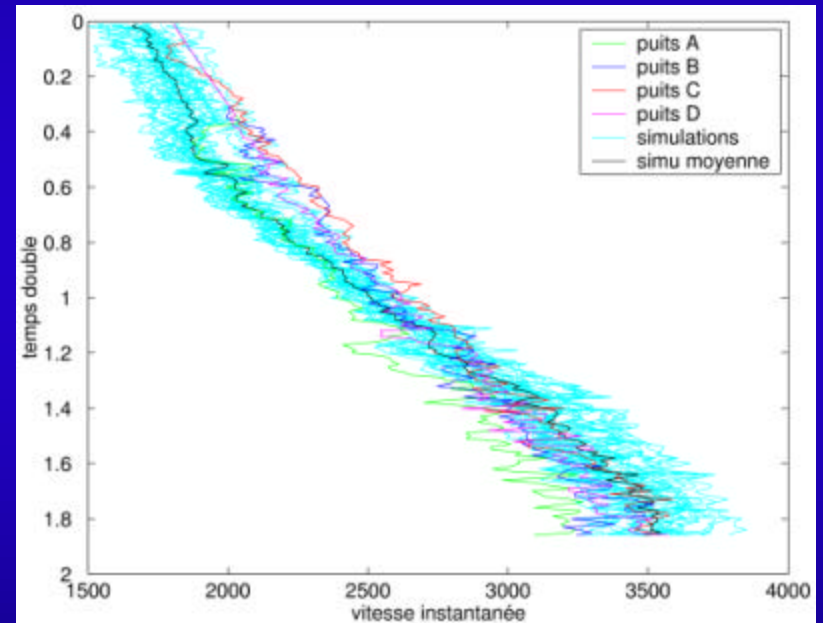
# Application au cas réel



# Application au cas réel



conditionnement



champ de vitesse

# Plan de la présentation

- Introduction : principales techniques d'exploration pétrolière
- Modèle de covariance du champ de vitesse
- Simulation du champ de vitesse
  - Modèle utilisé
  - Application au cas réel
- Conclusions

# Conclusions

- Modélisation du champ de vitesse instantanée  
(cas non stationnaire et multi-couches)
- Simulation du champ de vitesse

# Perspectives

- Réaliser une étude permettant de quantifier le gain de précision obtenu au moyen des méthodes
- Milieu à géométrie complexe
- Modélisation stochastique du champ de vitesses  $S$





# Modélisation stochastique de champs de vitesse géophysique en exploration pétrolière

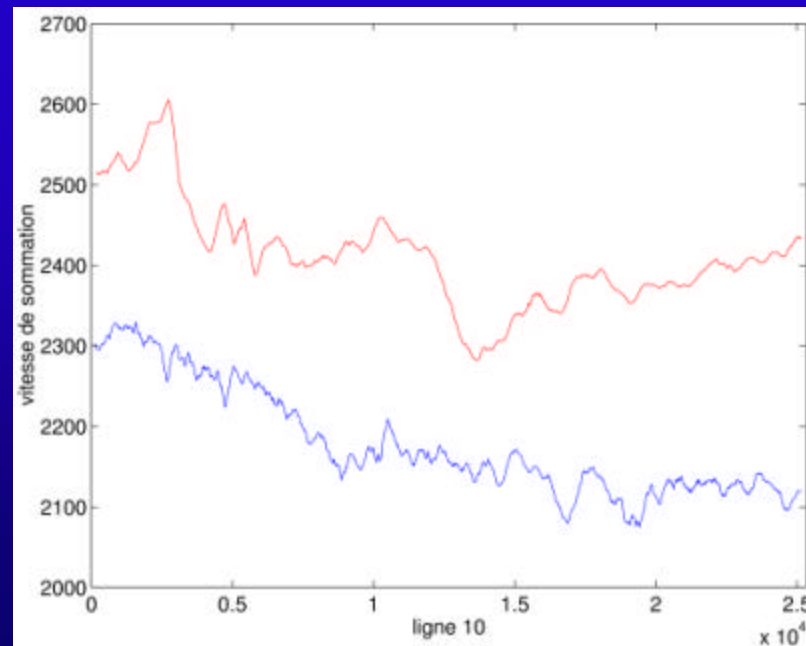
D. Geraets

le 21 octobre 2002



# Lissage des courbes HVA

Les analyses de vitesses ne permettent pas de distinguer des objets de taille inférieure à la zone de Fresnel



# Lissage des courbes HVA

Non dans le cadre de la variographie

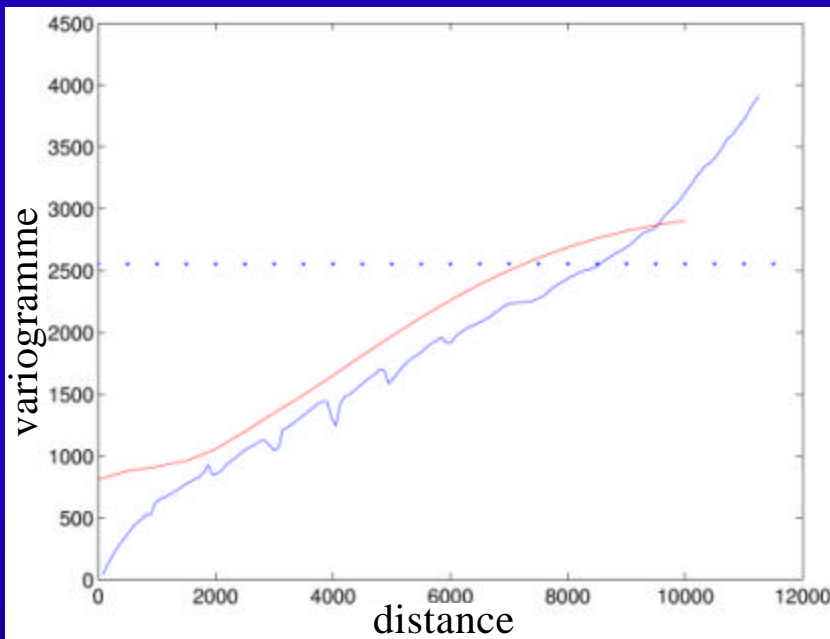
*P altération des statistiques*

*P pas bruit blanc (présence d'information)*

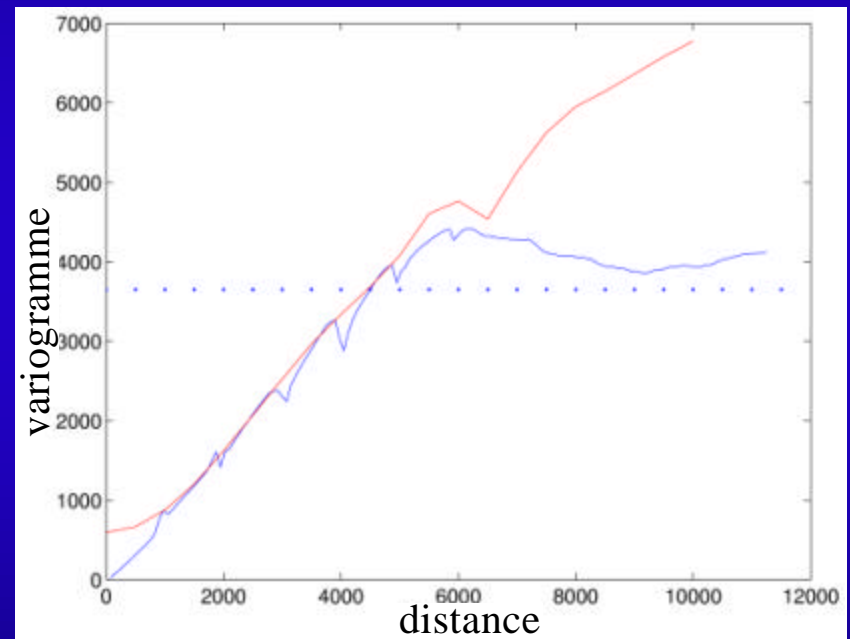
Oui pour le conditionnement des simulations

*(mais prise en compte d'incertitude dans données conditionnantes peut être réalisée autrement)*

# Quantification de l'incertitude sur le pointé



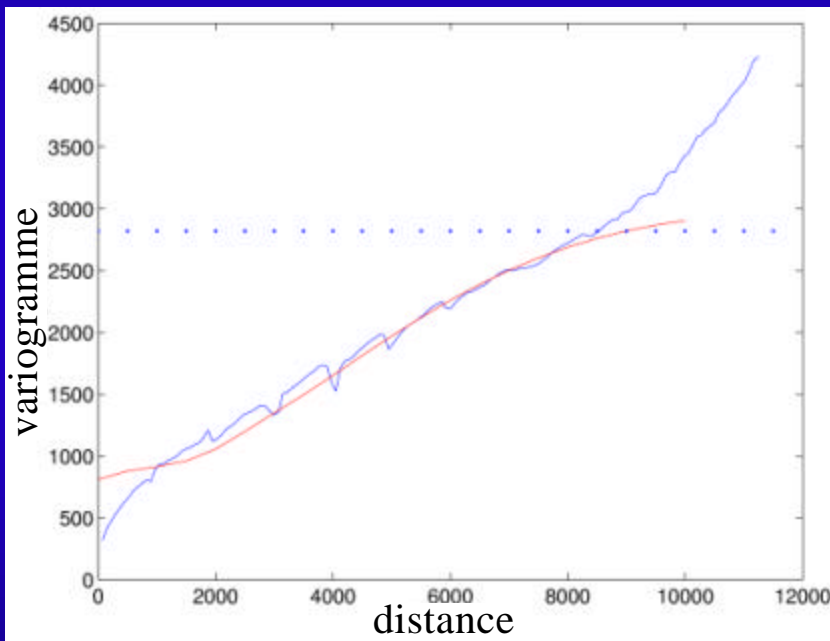
horizon 1



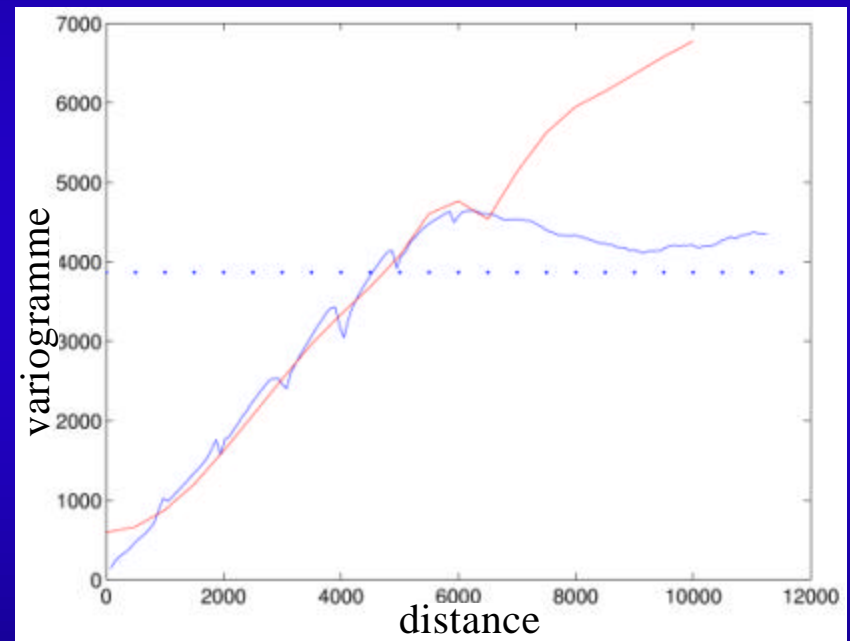
horizon 2

Variogrammes des vitesses de stack lissées

# Quantification de l'incertitude sur le pointé



horizon 1



horizon 2

Variogrammes des vitesses de stack



