

# Non stationnarité dans les modèles de type booléen. Application à la simulation d'unités sédimentaires

Marta Benito García-Morales

Directrice de thèse : H. Beucher

Le 15 décembre 2003

---

## Jury

Rapporteur : R. Bersezio

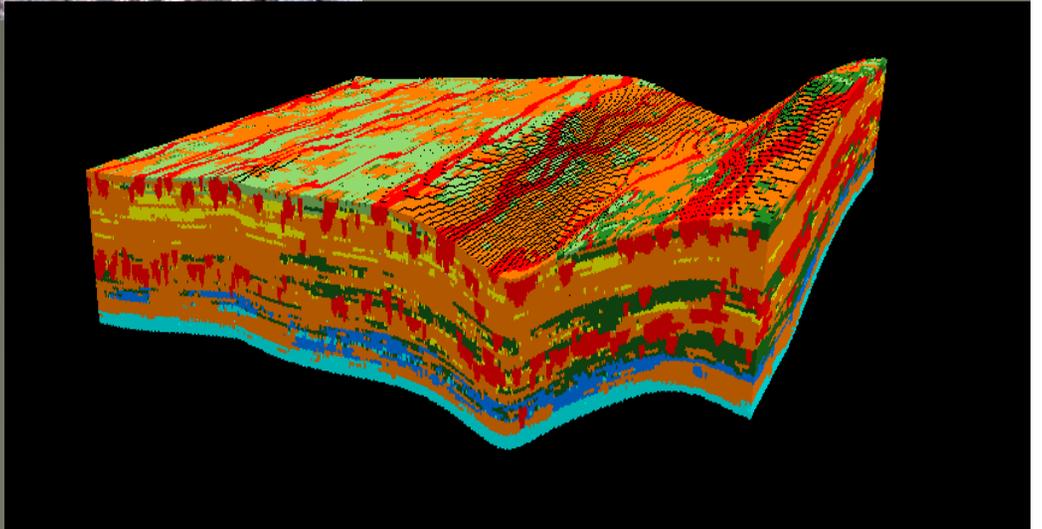
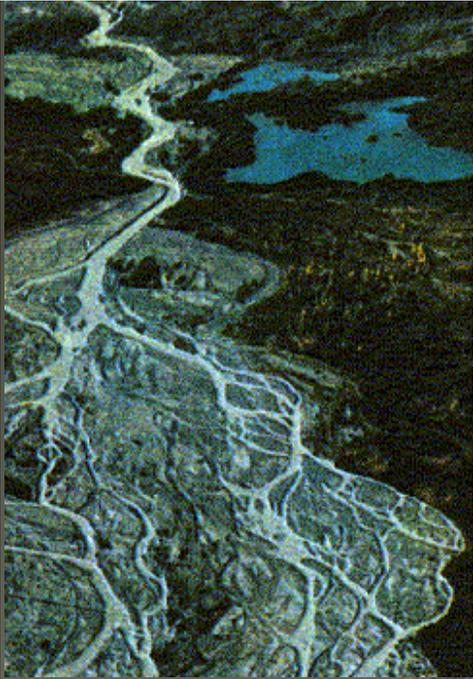
Rapporteur : L. Y. Hu

Examineur : P. Biver

Examineur : E. Elewaut

Examineur : C. Ravenne

Examineur : J. Rivoirard



Par Olivier Lerat IFP

# Faciès à modéliser : galets

*Introduction*

## Modèle booléen



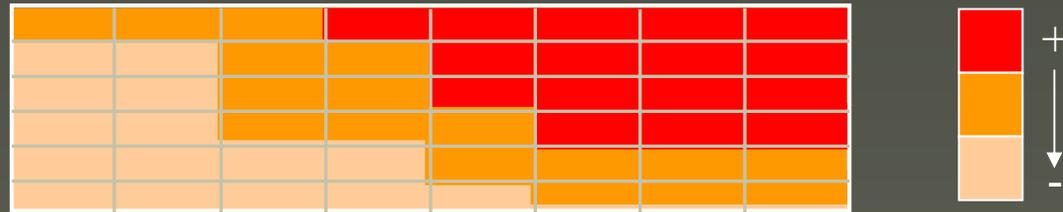
Deux paramètres :

- Objets
- Répartition spatiale

**Le modèle booléen est la réunion de tous les objets**



## Proportions du faciès



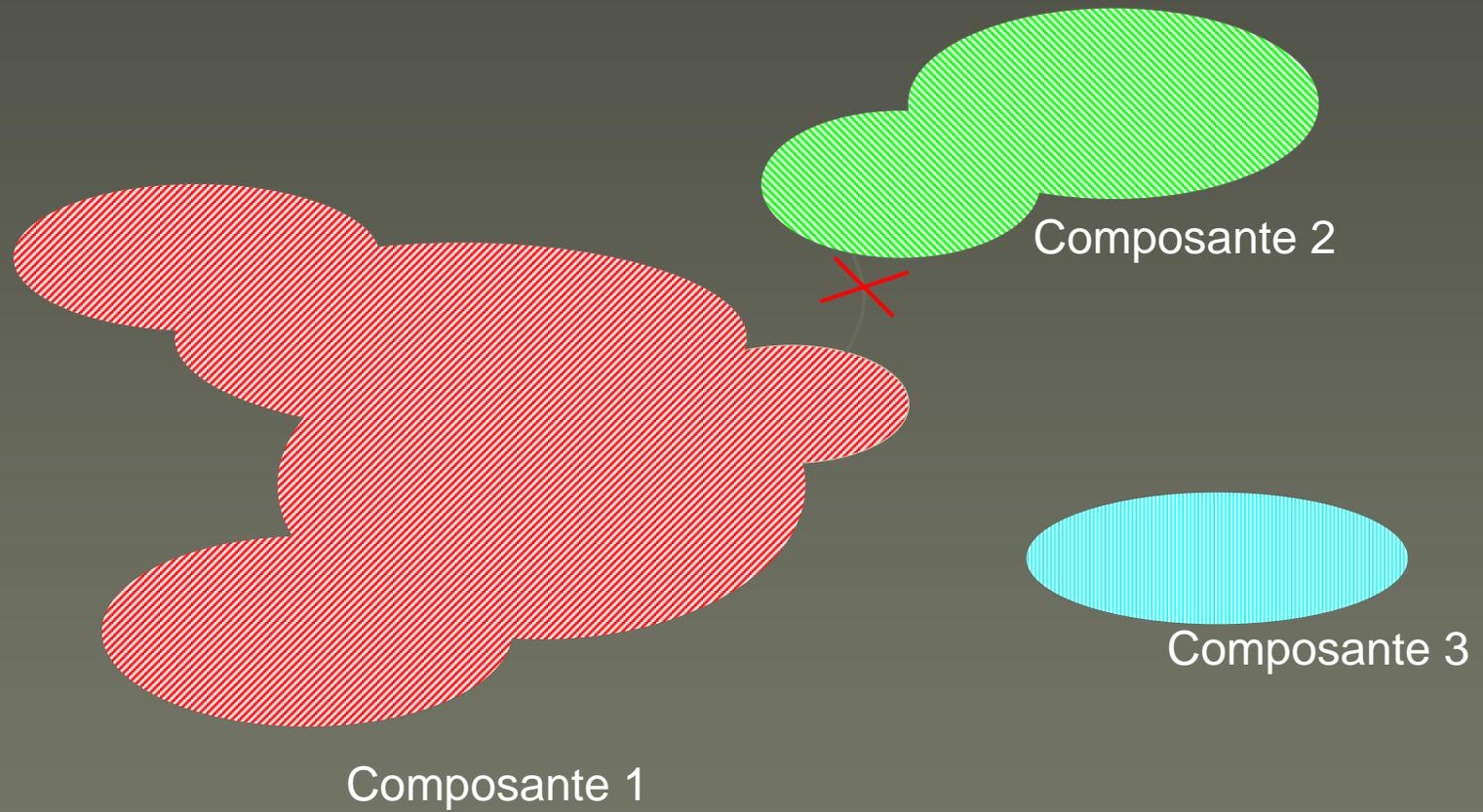
Les proportions :

- sont calculées à partir de l'information des puits
- quantifient la présence du faciès
- reflètent la répartition spatiale du faciès

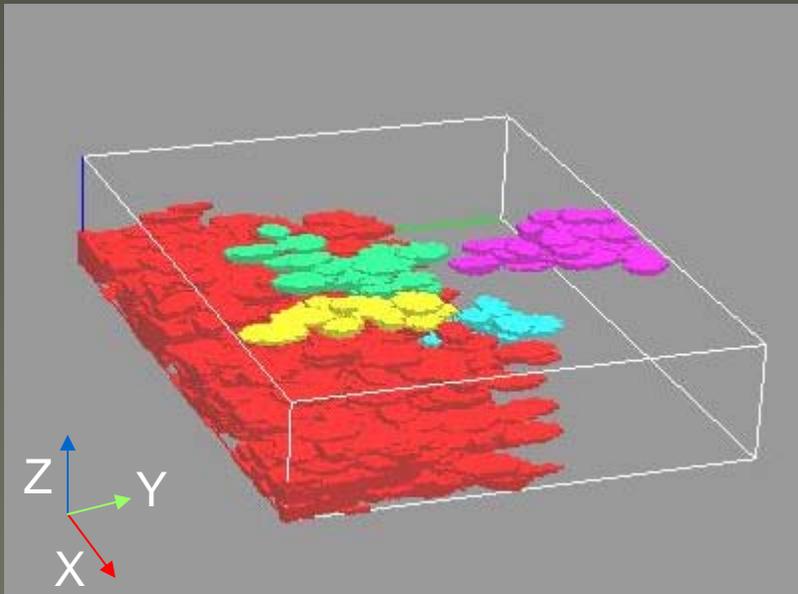
**Il est important de respecter les proportions dans les simulations.**

Pourquoi est-il important de tenir compte de la répartition spatiale du faciès ?

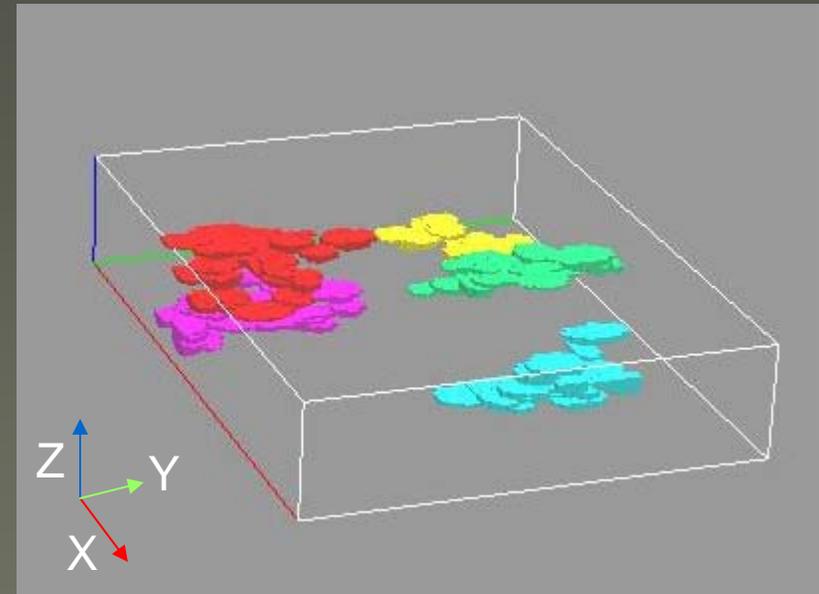
# Composantes connexes



Même porosité moyenne dans le volume : 18.3%



Images : Gocad



Images : Gocad

Composantes

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Seules les cinq premières composantes sont représentées

# Objectif

Reproduire la non stationnarité indiquée par les proportions dans les simulations booléennes.

# Plan

- ◆ Définition du modèle booléen
  - lien proportions - modèle
- ◆ Inférence de l'intensité de Poisson
  - Processus de déconvolution
  - Mise en œuvre
- ◆ Validation : deux cas d'étude
- ◆ Conclusions

$$X = \bigcup_{x \in \wp} A(x)$$

$\wp$  : **Processus de Poisson** en  $R^d$  des points d'implantation  $\Rightarrow$  détermine la répartition spatiale des objets à travers son **intensité  $\theta$** .

**$A(x)$**  : **Objet** localisé au point de Poisson  $x$ .

**Hypothèse** : La loi des objets ne dépend pas de leur position

$$\underbrace{P\{x \in X\}}_{\text{Probabilité modèle}} \equiv \underbrace{p(x)}_{\text{Proportion}}$$

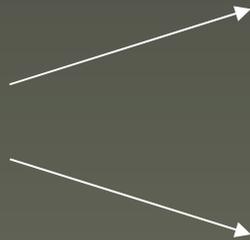
$$p(x) = 1 - \exp\left(-\int_{R^d} \theta(u) P\{x \in A(u)\} du\right)$$

Proportion du faciès

Intensité de Poisson  $\equiv$   
répartition spatiale des objets

Probabilité associée à l'objet  
 $\Rightarrow p_0(x) = P\{(x-u) \in A(0)\}$

Proportions  
du  
faciès



Répartition spatiale des objets  
(intensité de Poisson)

Caractéristiques des objets



1 information  
expérimentale



2 paramètres  
à déterminer

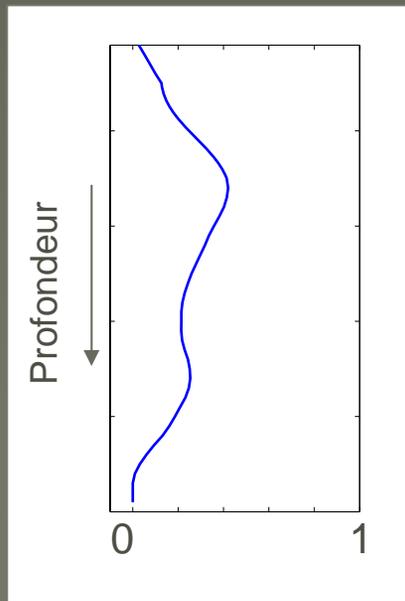
# Plan

- ◆ Définition du modèle booléen
  - lien proportions - modèle
- ◆ Inférence de l'intensité de Poisson
  - processus de déconvolution
  - mise en œuvre
- ◆ Validation : deux cas d'étude
- ◆ Conclusions

$$p(x) = 1 - \exp\left(-\int_{R^d} \theta(u) P\{x \in A(u)\} du\right)$$

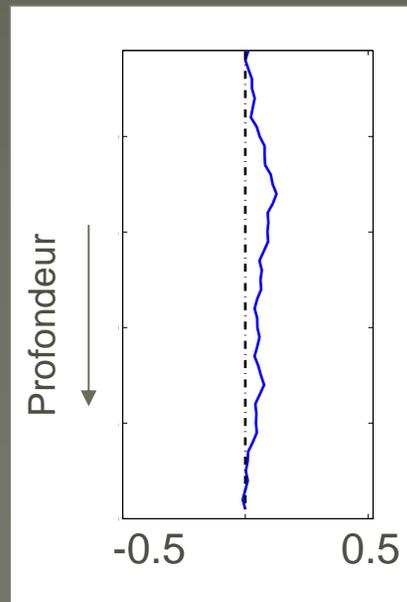
$$p(x) = 1 - e^{-\overbrace{\theta * p_0(x)}^{\text{convolution}}}$$

Proportions



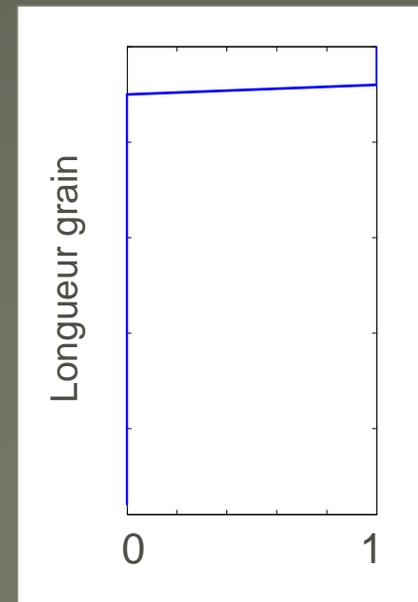
==

Intensité



\*

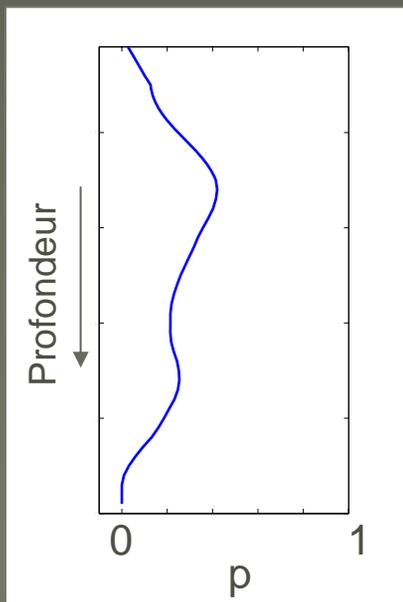
Objet



$$p(x) = 1 - \exp\left(-\int_{R^d} \theta(u) P\{x \in A(u)\} du\right)$$

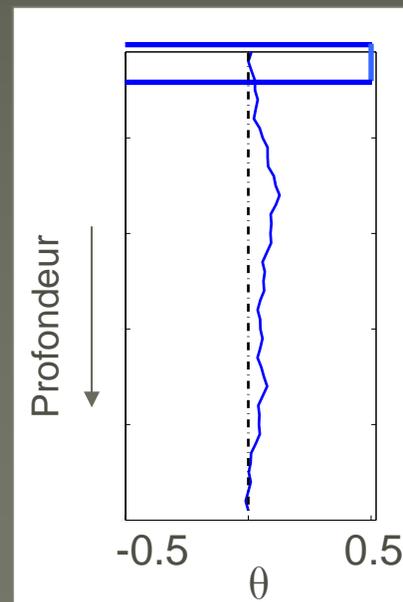
$$p(x) = 1 - e^{-\overbrace{\theta * p_0}^{\text{convolution}}(x)}$$

Proportions



||

$\theta * p_0$



## Processus de déconvolution :

- hypothèses sur les objets
  - fixer leurs caractéristiques a priori
- transformées de Fourier
  - transformer la convolution en un produit :

$$s(x) = -\ln(1 - p(x)) = \theta * p_0(x)$$

↓ TF

$$\hat{s}(v) = \hat{\theta} \cdot \hat{p}_0(v)$$

- extraction de l'intensité : filtre de Wiener

Filtre de Wiener : le meilleur estimateur de l'intensité  $\tilde{\theta}$ , qui minimise l'écart quadratique moyen.

$$\langle \|\theta - \tilde{\theta}\|^2 \rangle \text{ minimal}$$

Intensité estimée :

$$\hat{\tilde{\theta}}(\nu) = \hat{s}(\nu) \cdot \frac{\hat{p}_0(\nu)}{|\hat{p}_0(\nu)|^2 + \Gamma} \quad \forall \nu$$

s - lié aux proportions

$p_0$  - lié à l'objet

$\Gamma$  - rapport bruit sur intensité

- hypothèse : élément stabilisateur à valeur fixée arbitrairement petite

# Plan

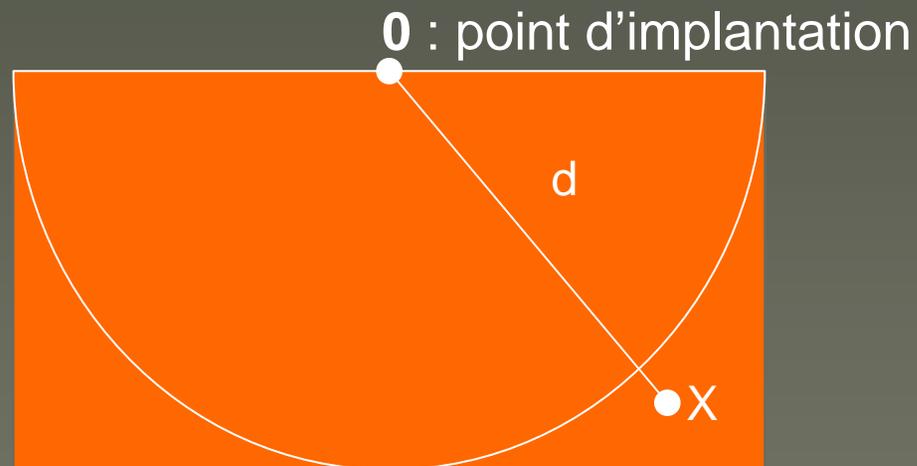
- ◆ Définition du modèle booléen
  - lien proportions - modèle
- ◆ Inférence de l'intensité de Poisson
  - processus de déconvolution
  - mise en œuvre
- ◆ Validation : deux cas d'étude
- ◆ Conclusions

## *Mise en oeuvre de la méthode :*

- Détermination de  $p_0$
- Effets de bord et domaine de calcul :
  - extrapolation et interpolation de la matrice de proportions
- Valeurs négatives de l'intensité :
  - lissage

$p_0$  : probabilité pour qu'un point  $x$  soit recouvert par un objet

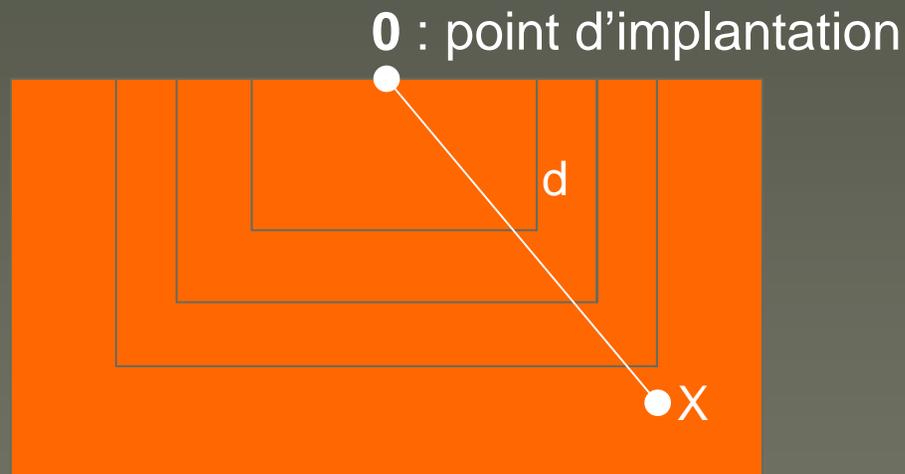
Si les dimensions de l'objet sont fixées :



$$p_0(x) = P\{x \in A(0)\} = \text{constante}$$

$p_0$  : probabilité pour qu'un point  $x$  soit recouvert par un objet

Si les dimensions de l'objet sont variables :



$$p_0(x) = P\{x \in A(0)\} = \text{variable avec } d$$

- $p_0$  contient toute l'information relative aux objets
- Plus les objets sont complexes et plus le calcul de  $p_0$  est complexe : une expression analytique peut ne pas exister
- Approximation :
  - 1) dans la déconvolution : approximer les objets complexes par des objets plus simples
  - 2) dans la simulation : introduire les objets complexes en corrigeant par le nombre d'objets à simuler

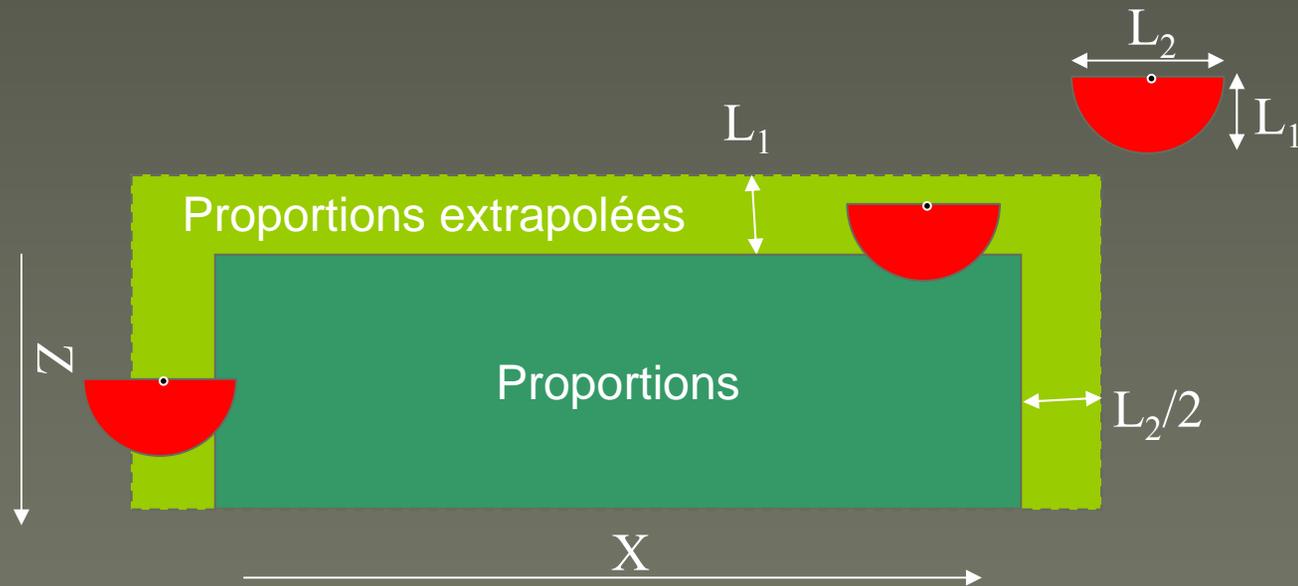
## *Mise en oeuvre de la méthode :*

- Détermination de  $p_0$
- Effets de bord et domaine de calcul :
  - extrapolation et interpolation de la matrice de proportions
- Valeurs négatives de l'intensité :
  - lissage

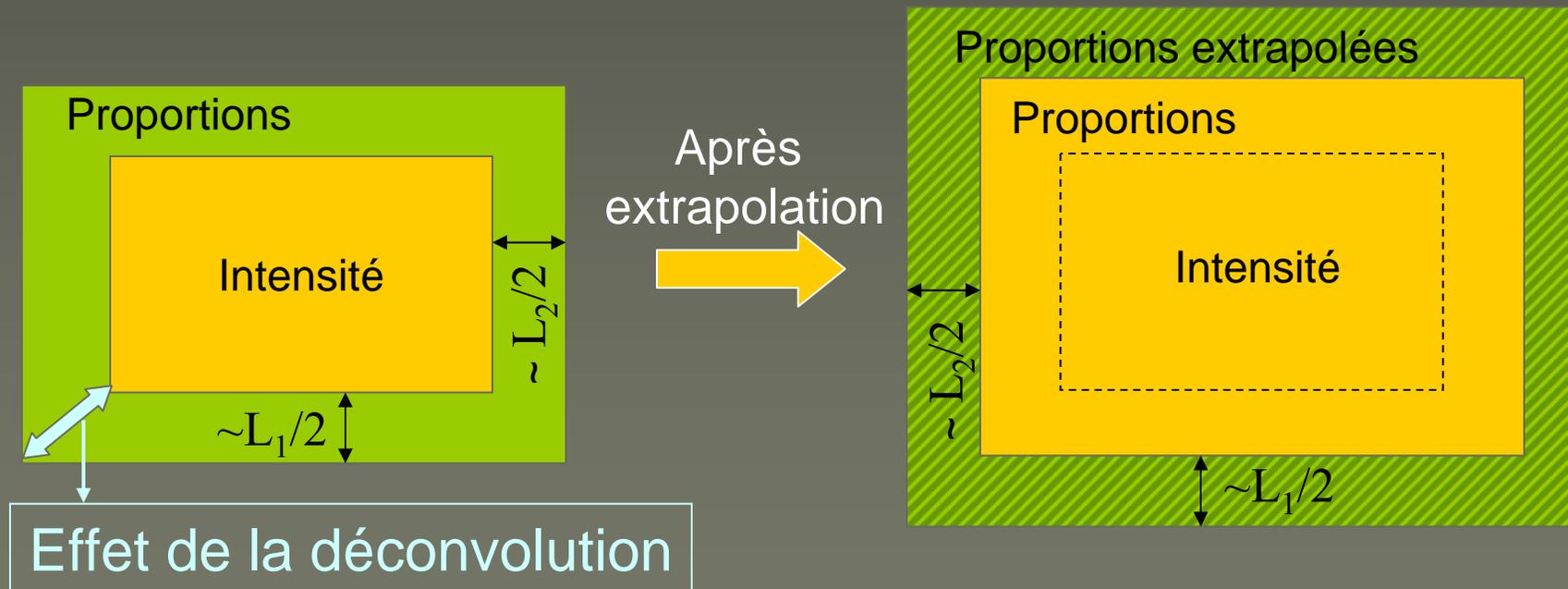
## Effets de bord et domaine de calcul :

- la taille du support de simulation est déterminée par la taille du support des proportions
- l'intensité doit être connue sur un support plus grand à cause des effets de bord
- les mailles de la grille des proportions et de la grille de  $p_0$  doivent être cohérentes

# Contribution des objets implantés à l'extérieur $\Rightarrow$ extrapolation



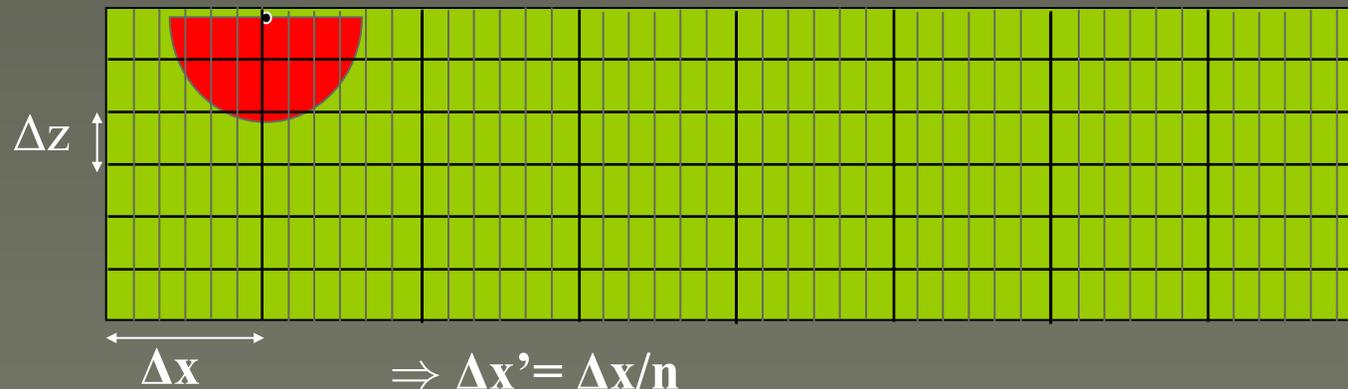
Déconvolution : diminution de la zone de calcul  $\Rightarrow$  **extrapolation**



Déconvolution  $\Rightarrow p_0$  et  $p$  doivent être sur la même maille

En pratique : les proportions sont obtenues sur des mailles larges

Problème : Définition précise des objets  $\Rightarrow$  **interpolation**

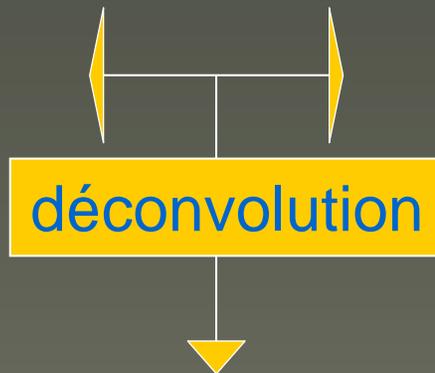
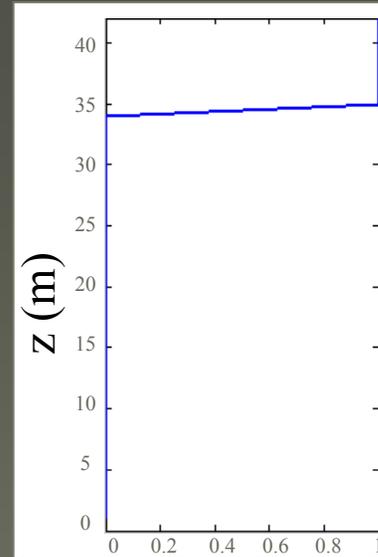
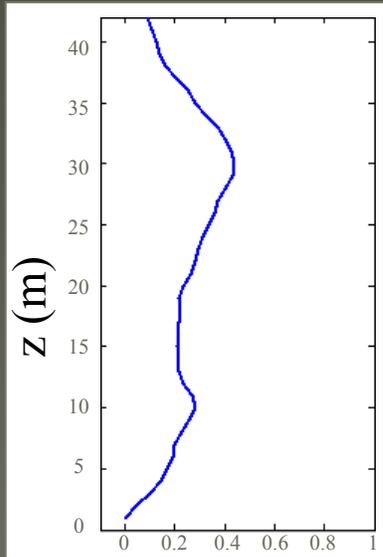


## *Mise en oeuvre de la méthode :*

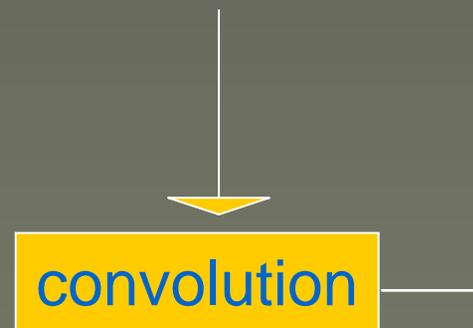
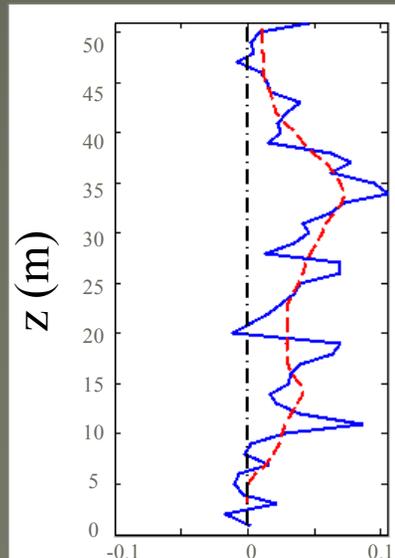
- Détermination de  $p_0$
- Effets de bord et domaine de calcul :
  - extrapolation et interpolation de la matrice de proportions
- Valeurs négatives de l'intensité :
  - lissage

Proportions initiales  $p(z)$

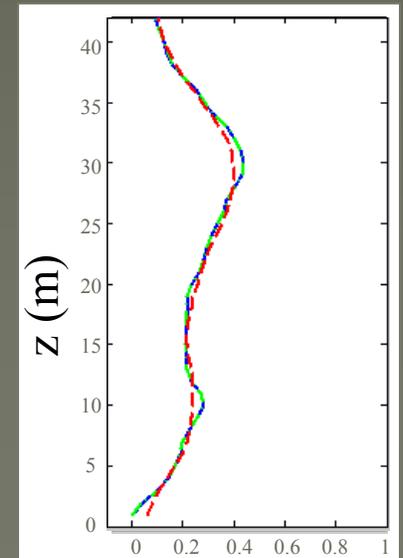
Probabilité associée au grain primaire  $p_0(z)$



Intensité  $\theta(z)$



Proportions estimées



- L'intensité est obtenue par un processus de déconvolution à partir d'une courbe ou matrice de proportions quelconque.
- Les caractéristiques des objets sont fixées a priori.
- La méthode d'inférence proposée requiert :
  - une définition des objets en termes de probabilité ;
  - un traitement préalable des proportions ;
  - une correction des valeurs négatives de l'intensité.
- Le nombre moyen d'objets à simuler est directement obtenu à partir de l'intensité calculée.

# Plan

- ◆ Définition du modèle booléen
  - lien proportions - modèle
- ◆ Inférence de l'intensité de Poisson
  - Processus de déconvolution
  - Mise en œuvre
- ◆ Validation : deux cas d'étude
- ◆ Conclusions

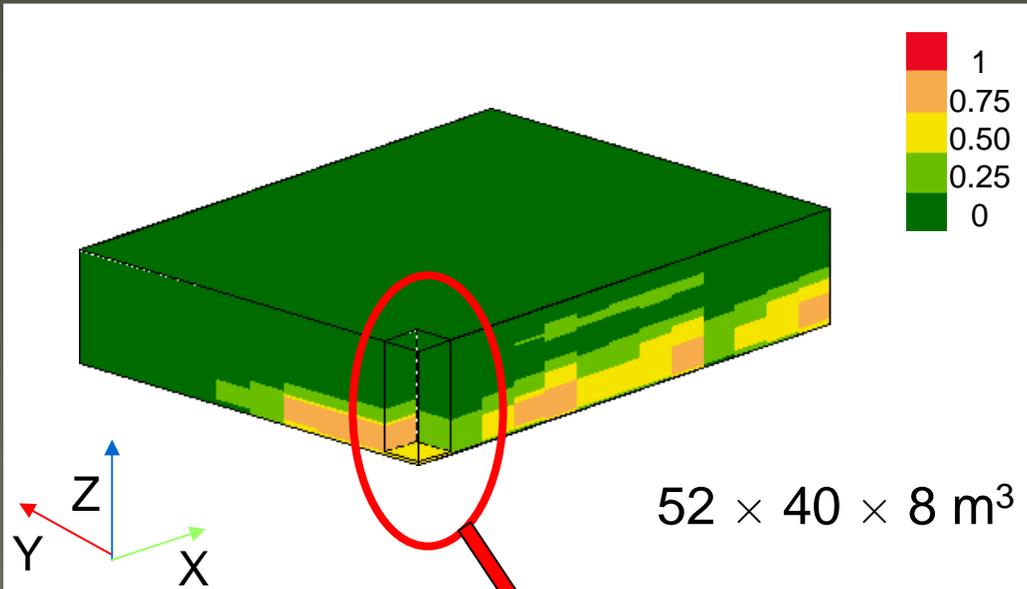
# Cas d'étude 1

Échelle locale

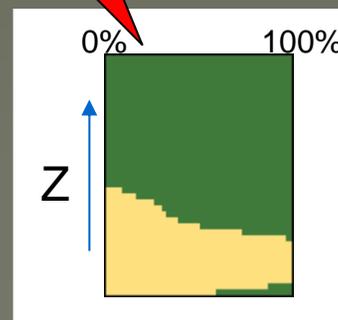
Cas fictif : simulations non conditionnelles



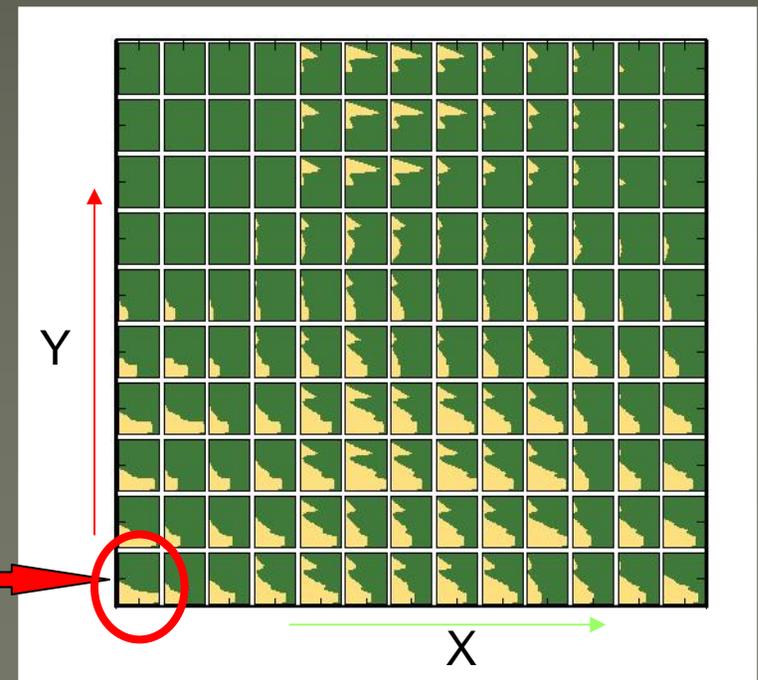
## Bloc des proportions



CPV : Courbe de Proportion Verticale



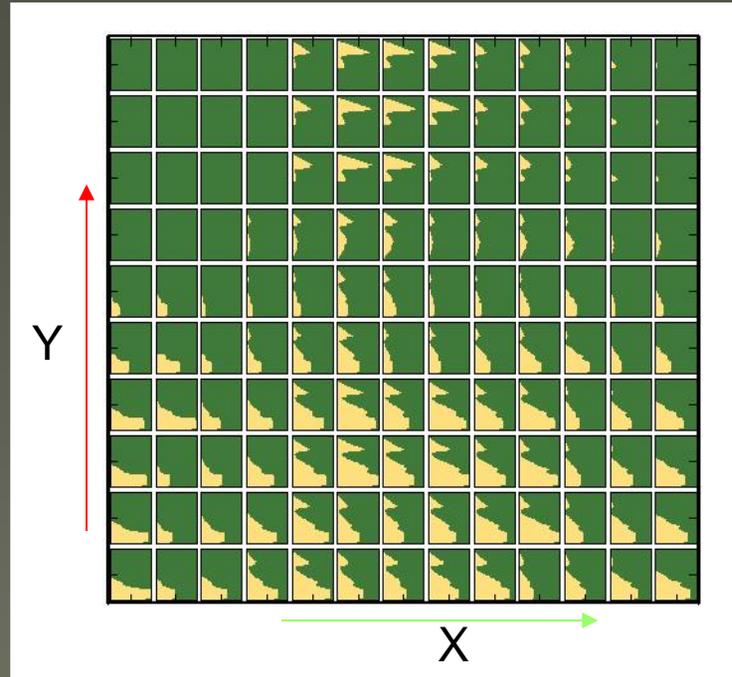
## Matrice de CPV



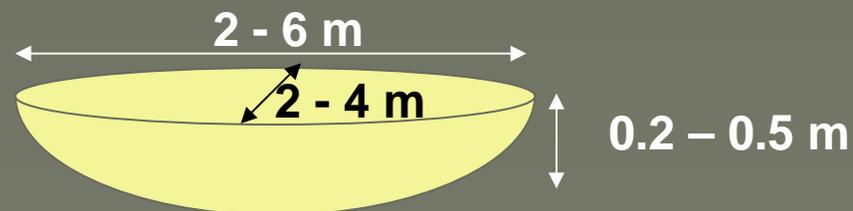
# Données initiales

Cas d'étude 1

Matrice de CPV : en jaune le faciès étudié



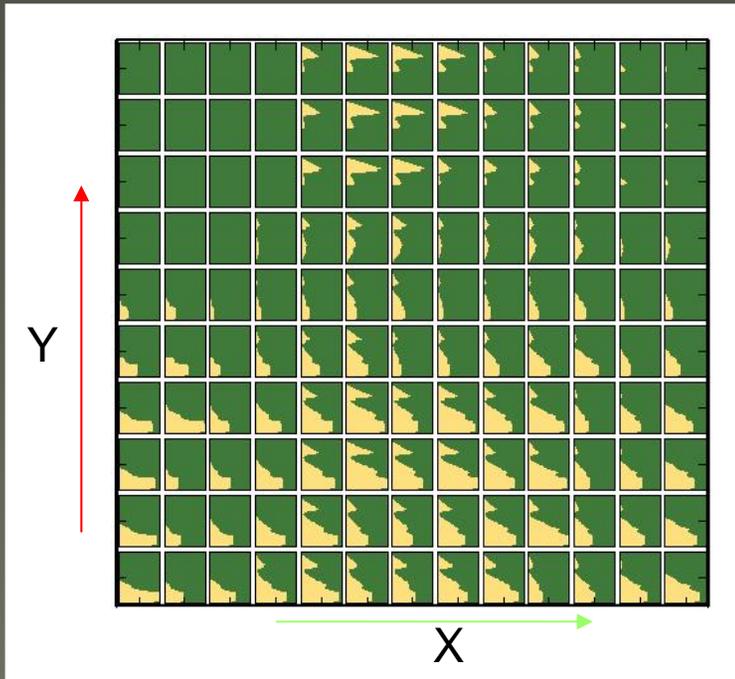
Objet : faciès modélisé par des lentilles de taille variable



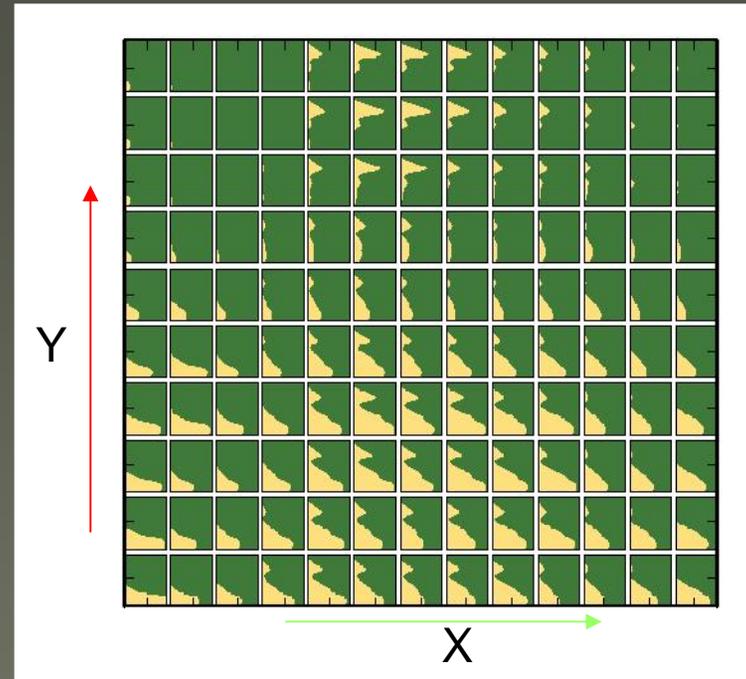
# Résultat de déconvolution : modèle obtenu

Cas d'étude 1

Proportion initiale



Proportion modèle

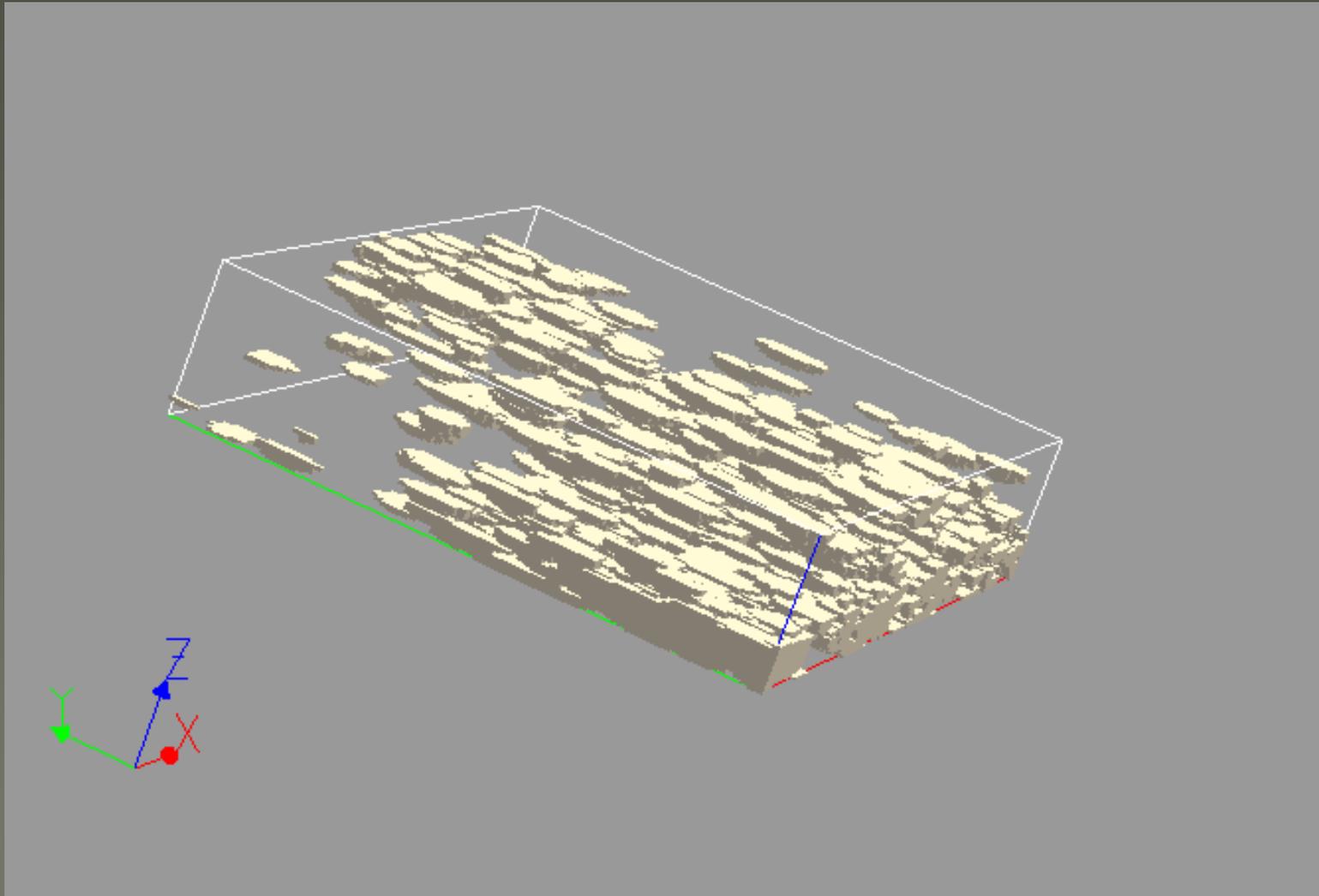


Les proportions initiales sont bien récupérées dans le modèle.

Les proportions du modèle sont légèrement plus lissées.

# Exemple de simulation

Cas d'étude 1

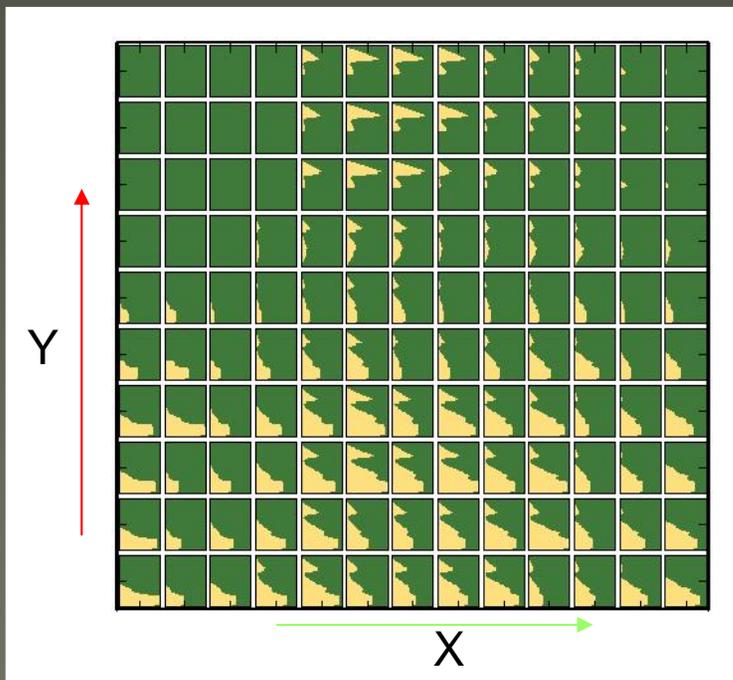


Images : Gocad

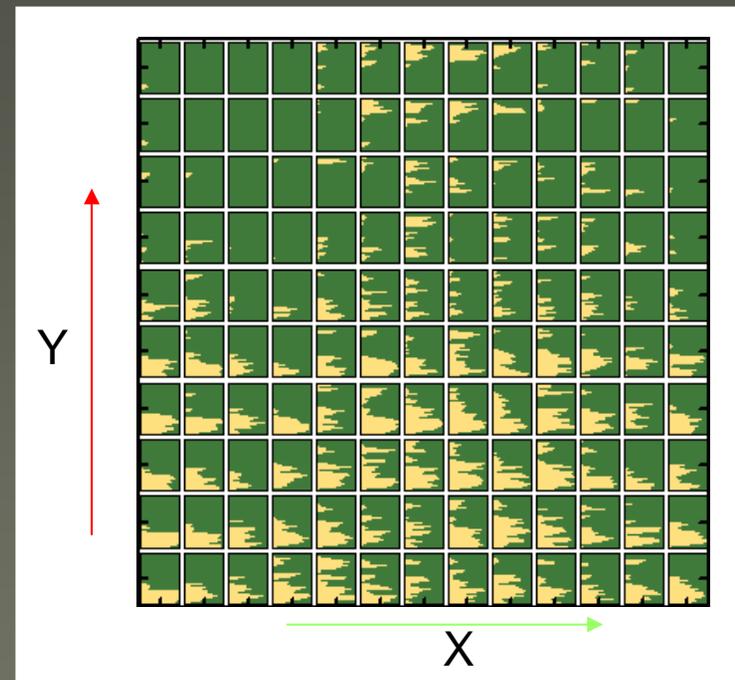
Deux critères de validation, comparaison entre :

- la matrice des proportions initiales et la matrice des proportions calculées sur les simulations
- la proportion globale moyenne (sur tout le volume) initiale et la proportion globale moyenne calculée sur la simulation

## Proportion initiale



## Proportion calculée sur la simulation



Proportion  
moyenne  
sur le volume

Initiale  
18.3%

Simulation  
19.0%

# Cas d'étude 2

Échelle du réservoir

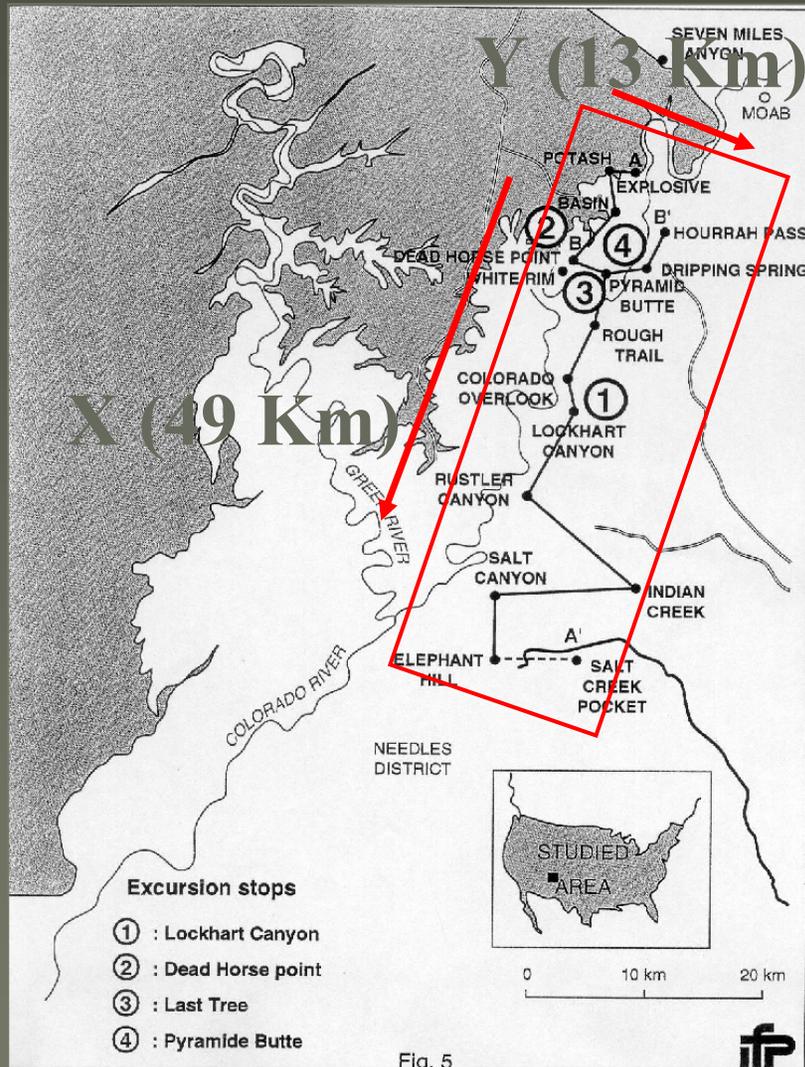
Cas réel : simulations conditionnelles



# Séries continentales du Permien de l'Utah

Cas d'étude 2

## Plan de position des coupes



NE : dépôts d'origine fluviatile

SO : dépôts d'origine éolien

Image : IFP

Eschard et al. (1997) ; Clément (1999) ; Lerat et al. (1999)

# Données : coupes sédimentologiques

Cas d'étude 2

- 15 coupes sédimentologiques
- 280 m de dépôts
- 9 unités (épaisseur 20 - 50 m, très variable à l'intérieur d'une unité)
- 9 lithofaciès

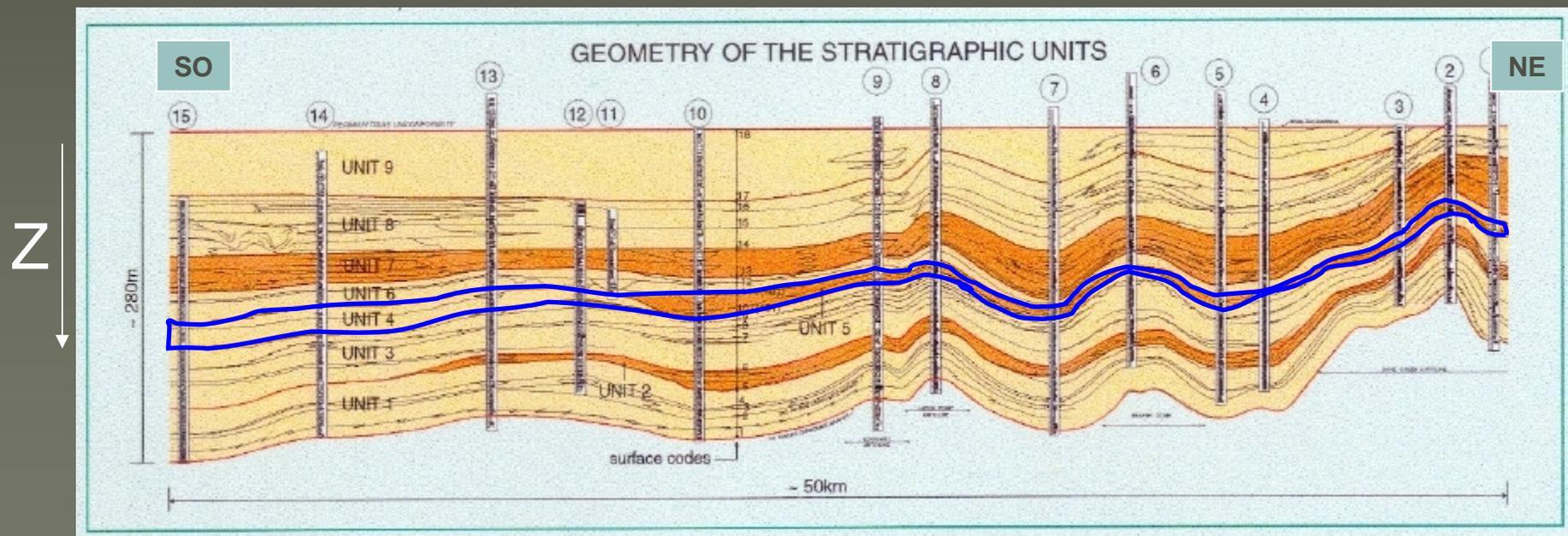


Image : IFP

SO

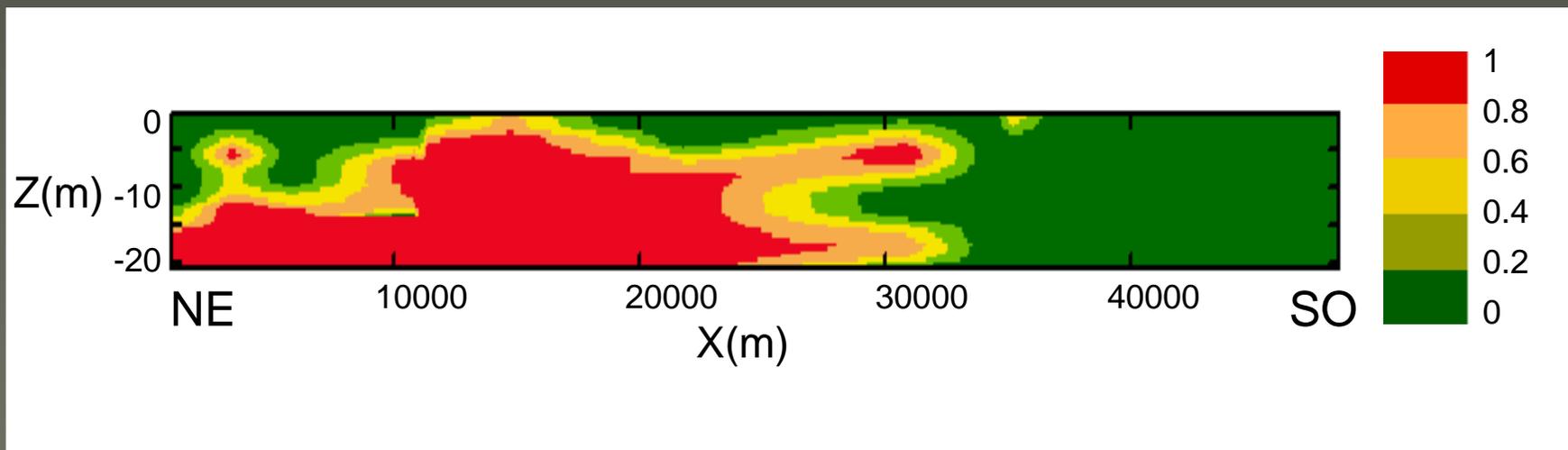
X

NE

# Section 2D des proportions initiales

Cas d'étude 2

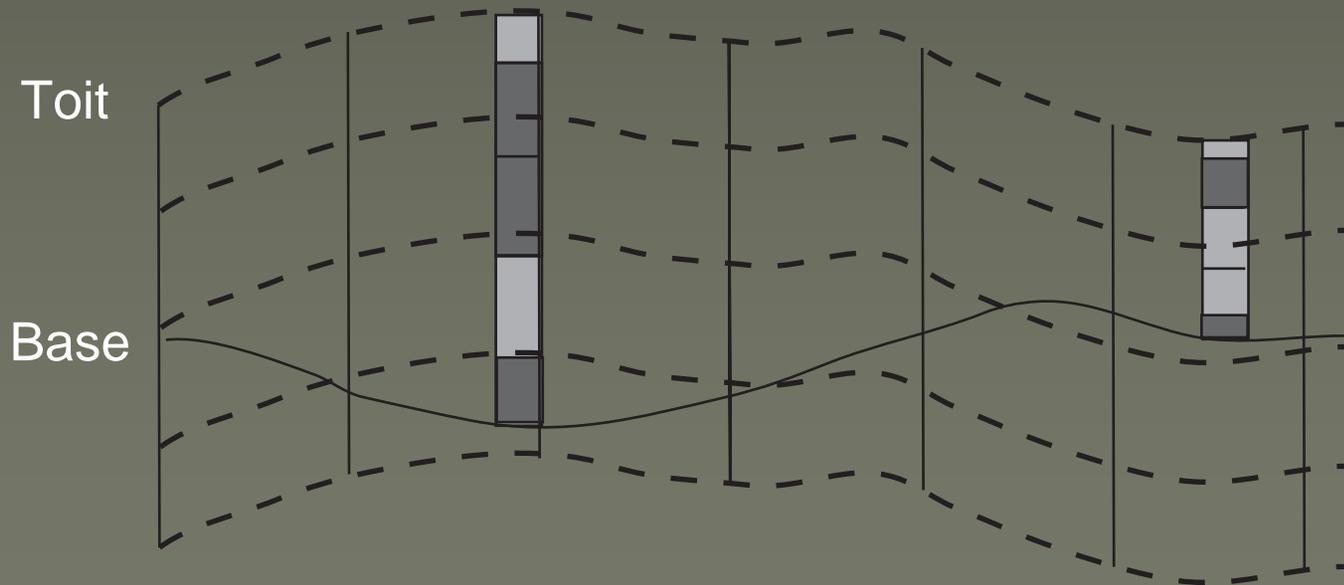
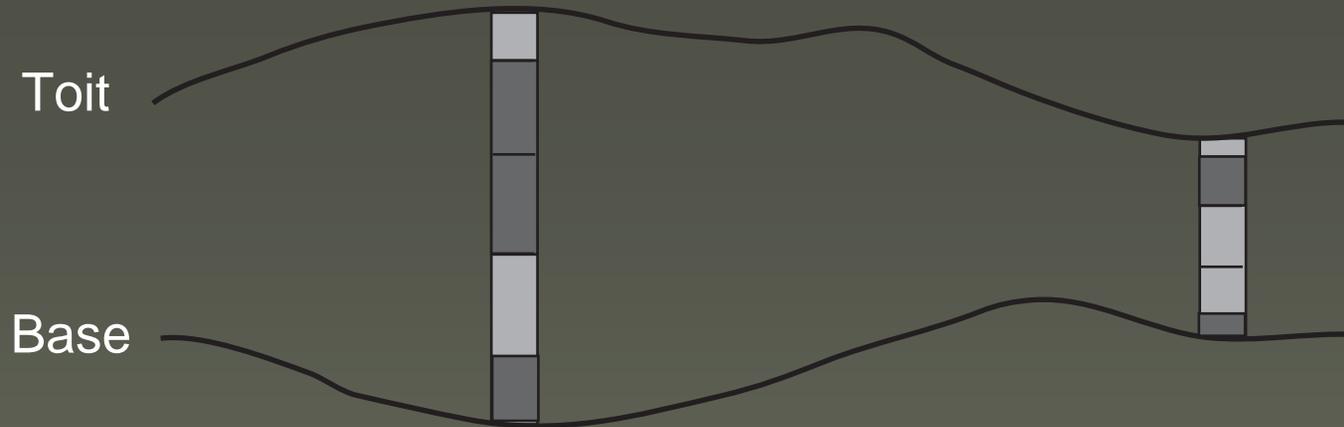
## Faciès chenal



Proportion dans le repère de travail (plan XZ)  
Hypothèse : invariance selon Y

# Repère de travail : parallèle au toit de l'unité

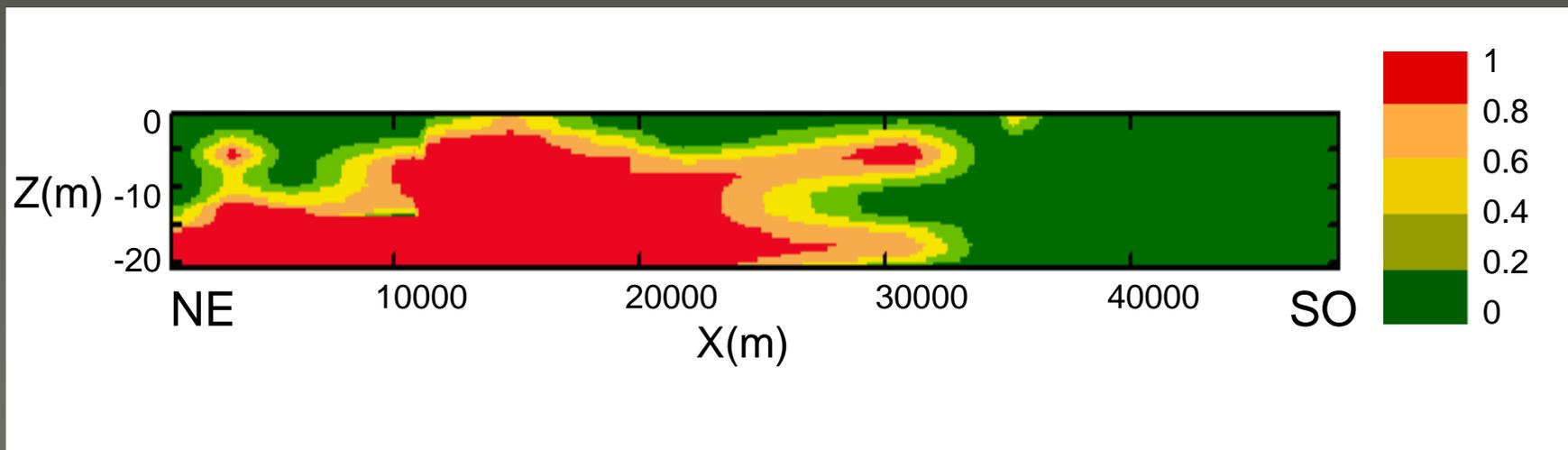
*Cas d'étude 2*



# Section 2D des proportions initiales

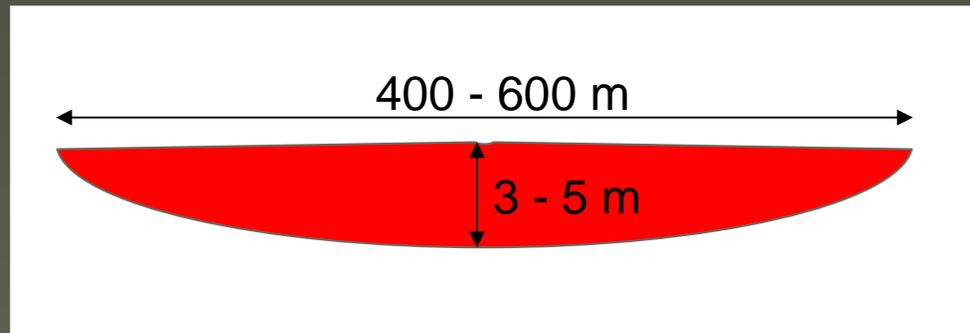
Cas d'étude 2

## Faciès chenal

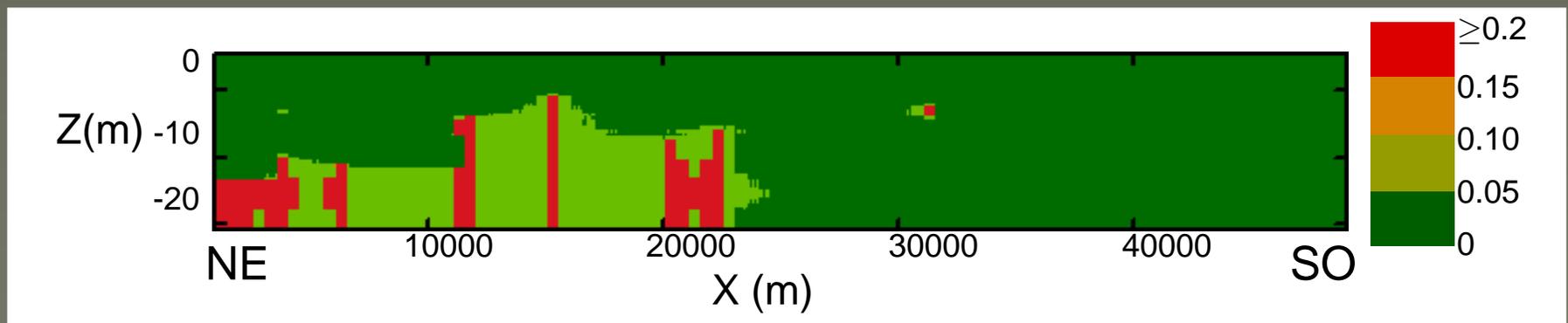


Proportion dans le repère de travail (plan XZ)  
Hypothèse : invariance selon Y

**Objet :** Faciès chenal modélisé par des sinusoïdes de section :



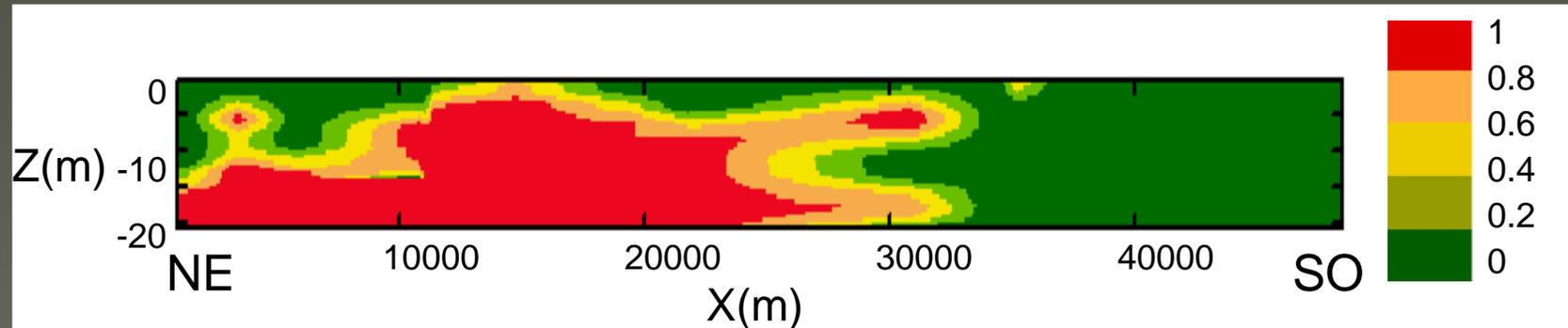
**Intensité** obtenue avec la méthode de déconvolution



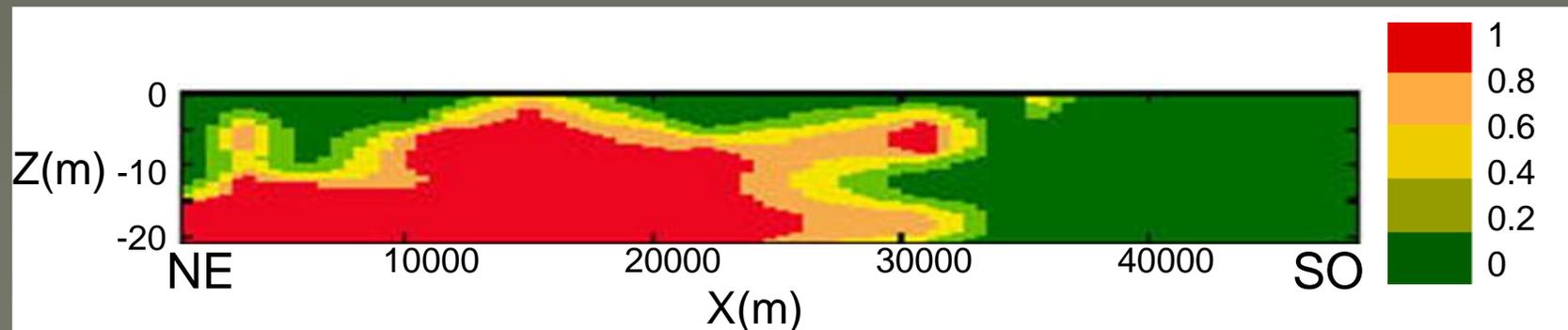
# Résultat de déconvolution : modèle obtenu

Cas d'étude 2

## Proportion initiale



## Proportion du modèle



# Simulation des chenaux

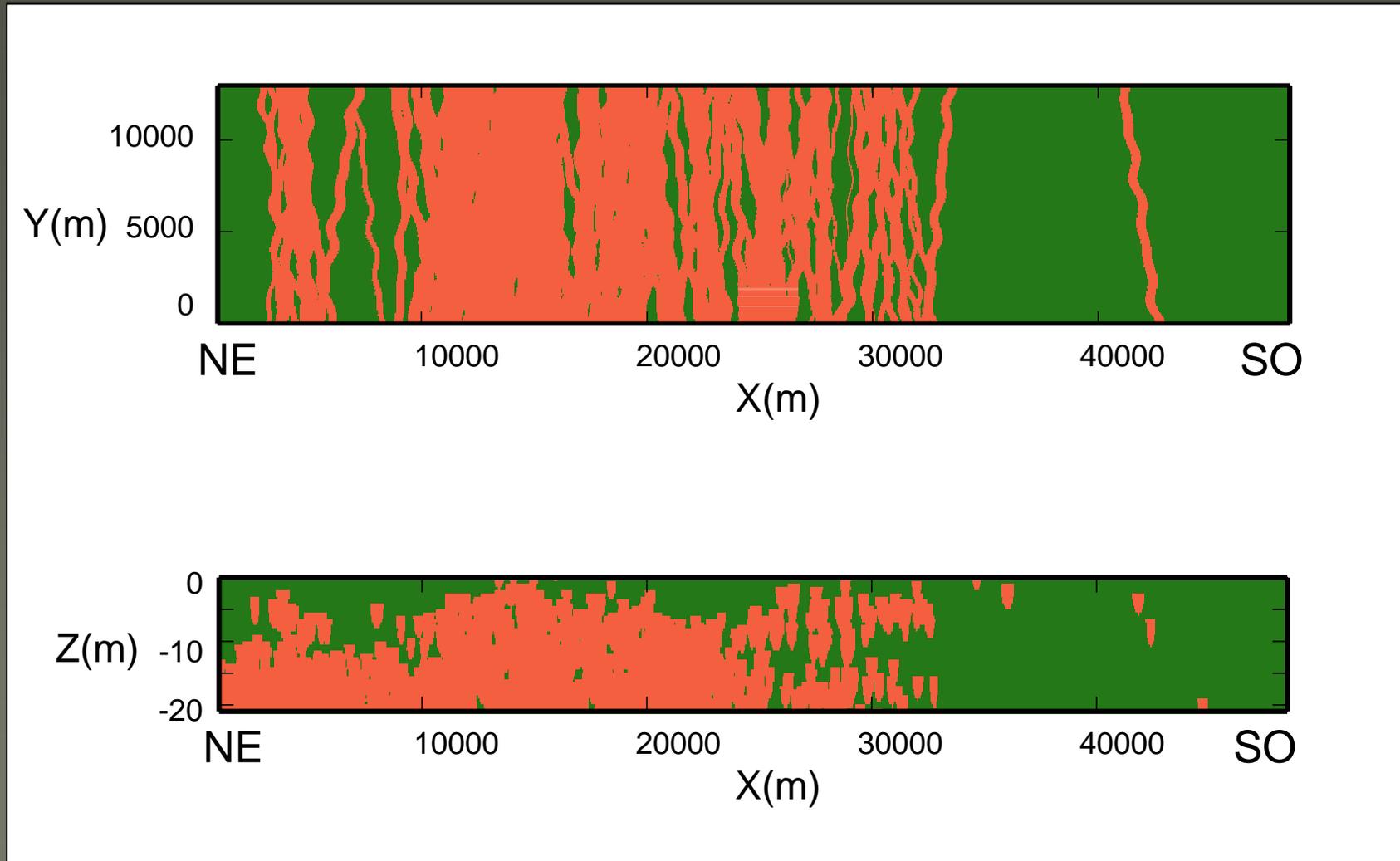
Cas d'étude 2



# Exemple de simulation

Cas d'étude 2

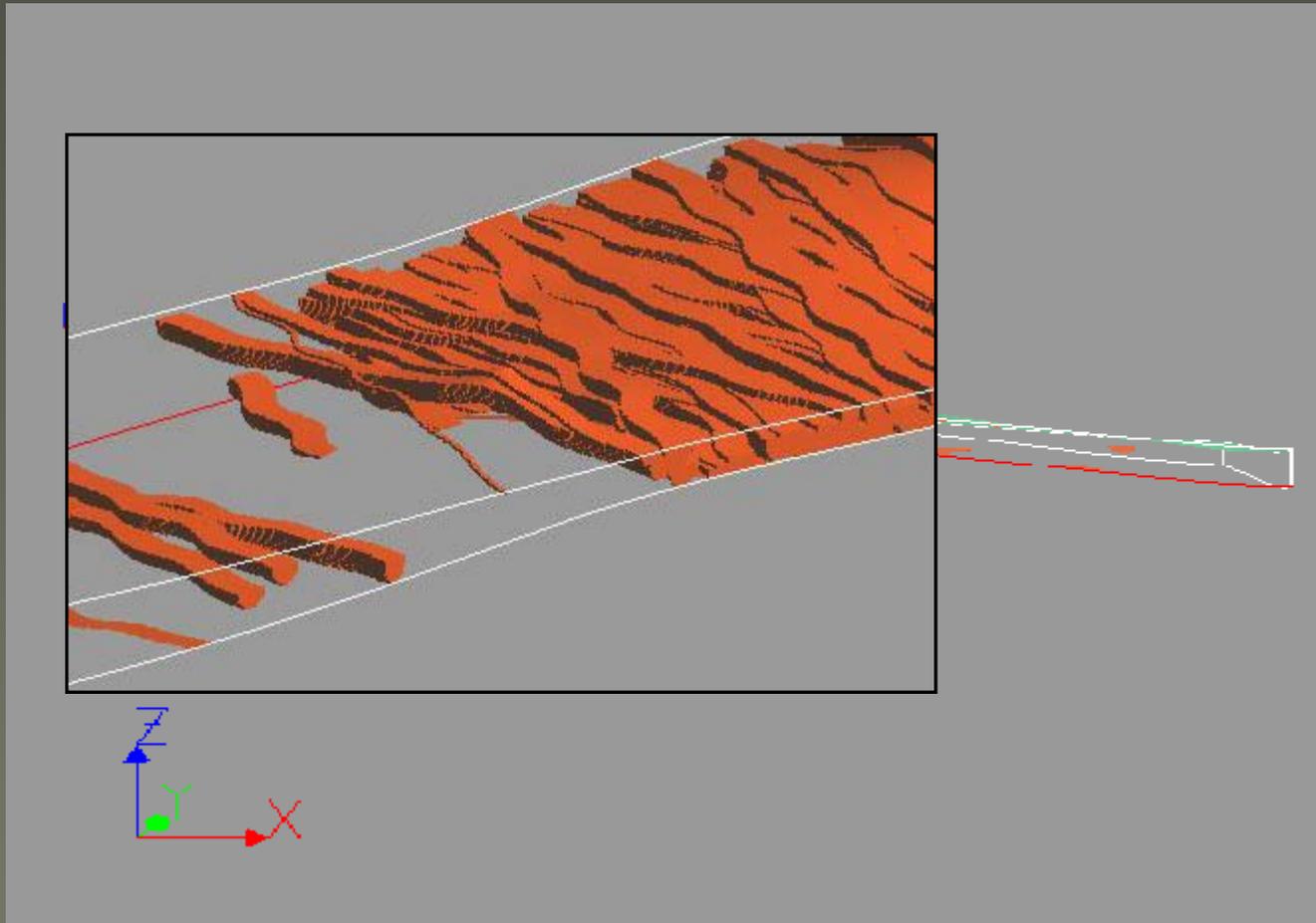
Repère de travail



# Exemple de simulation

## Repère structural de l'unité

*Cas d'étude 2*



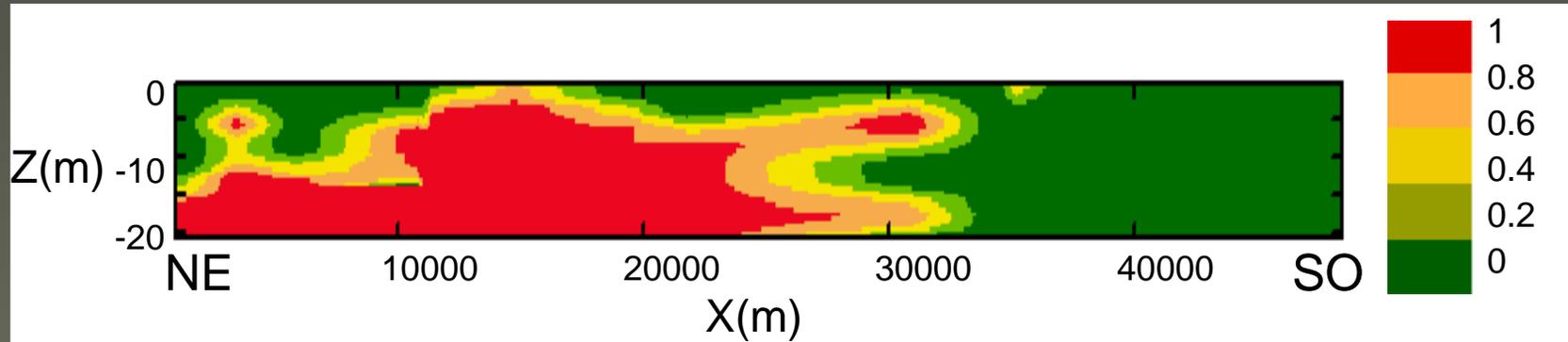
Images : Gocad

# Analyse des résultats : proportions

Cas d'étude 2

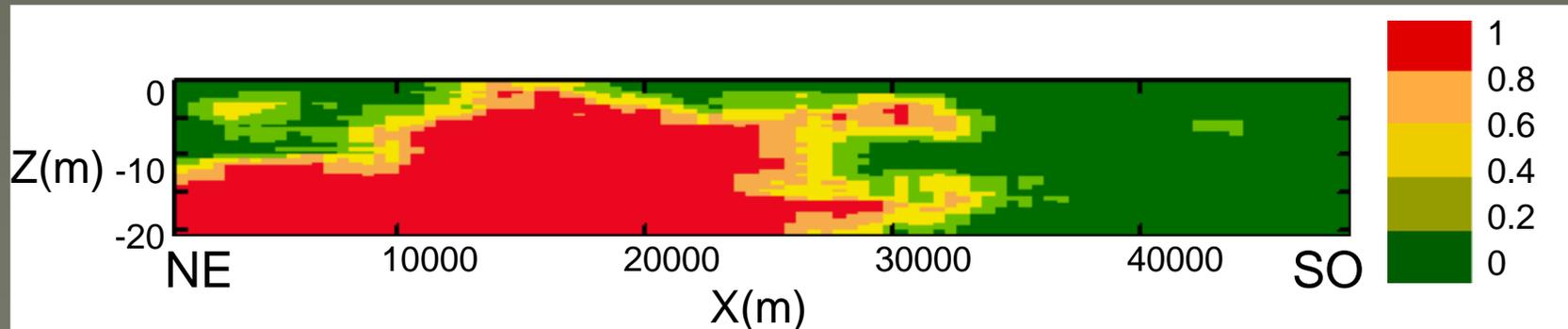
Proportion initiale

Proportion moyenne sur le volume : 44%



Proportion sur la simulation

Proportion moyenne sur le volume : 46%



# Plan

- ◆ Définition du modèle booléen
  - lien proportions - modèle
- ◆ Inférence de l'intensité de Poisson
  - Processus de déconvolution
  - Mise en œuvre
- ◆ Validation : deux cas d'étude
- ◆ Conclusions

## *Limitations :*

- Les objets sont indépendants de leur position.
- Les transitions brusques dans les proportions sont reproduites sous une forme lissée dans le modèle, et de même pour les valeurs nulles.
- L'application à des objets très grands (« infinis ») par rapport au volume de simulation est difficile.

## *Résultats (1/2) :*

- La méthode de déconvolution proposée permet d'estimer facilement l'intensité de Poisson du modèle booléen à partir des proportions.
- La non stationnarité dans la répartition spatiale des faciès est ainsi reproduite dans le modèle booléen.
- Elle donne de bons résultats : la distribution verticale et latérale des proportions et la proportion globale sont bien restituées dans les simulations.

## *Résultats (2/2) :*

- Elle peut être appliquée à différents problèmes :  
hétérogénéités à l'échelle du réservoir,  
hétérogénéités à l'intérieur des chenaux, fractures  
...
- Les objets, dans ces exemples, sont assez  
élémentaires. Des objets plus réalistes peuvent être  
utilisés s'il y a une information descriptive et  
statistique suffisante.

## *Perspectives :*

- Reproduire les variations brusques dans les proportions.
- L'application à des simulations multifaciès.
- L'application à des objets « infinis » : modèle hybride ?

