

# Modèle dynamique de suivi d'interface par analyse d'images 4D

---

Etienne Mémin<sup>(1)</sup> - Sylvie Schueller-Messier<sup>(2)</sup> - Jean-François  
Lecomte<sup>(2)</sup>

(1) - INRIA Fluminance - Rennes

(2) - IFP Energies nouvelles - Rueil Malmaison

01 décembre 2020

Collaboration INRIA/IFPEN



Direction  
GÉORESSOURCES



DIRECTION  
SCIENCES ET  
TECHNOLOGIES  
DU NUMÉRIQUE



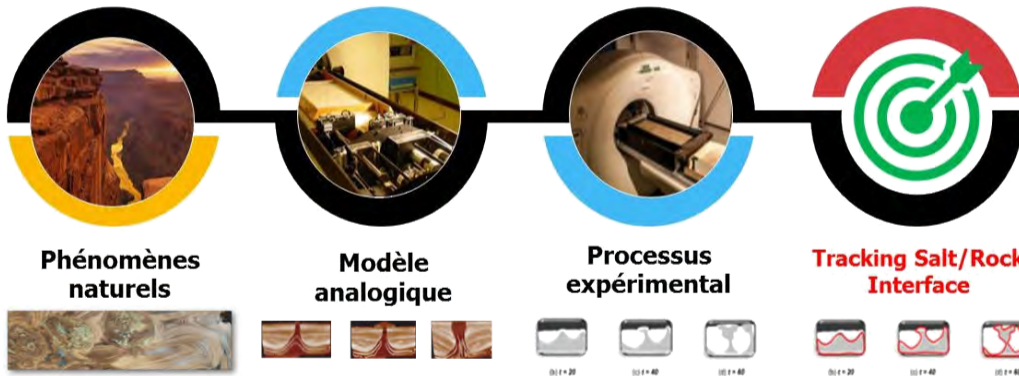
Tracking  
Salt/Rock  
Interface

Thèse 2012

Suivi de courbes libres fermées déformables  
par processus stochastique.  
C. Avenel. E. Mémin.

*Inria*

Fluminance



## Une expertise théorique



- Suivre les déformations inter-frames
- Courbe à partir d'une représentation en **LevelSet**
- **Équation d'évolution** dans l'espace du LevelSet.

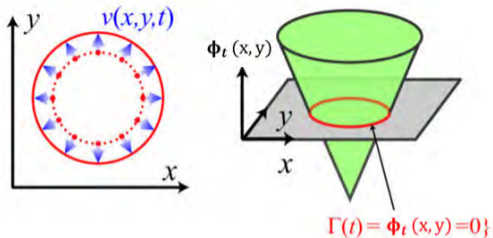
- Mise en œuvre au travers d'un **filtre particulière**.
- Une mesure du **déplacement/vitesse** de la courbe est toujours disponible

## Une Application



- Code **C++/Python**
- Rendre le code compilable et exécutable pour nos données.
- Optimiser le code
- Compréhension des paramètres.





Définir la fonction  $\Phi_t(x, y) = 0$  sur le contour  $\Gamma_t$  et telle que:

$$\begin{cases} \Phi_t(x, y) < 0 & \text{si } (x, y) \text{ à l'intérieur} \\ \Phi_t(x, y) > 0 & \text{si } (x, y) \text{ à l'extérieur} \end{cases}$$

Choisir  $\Phi$  comme **Distance signée** à l'interface  $\Gamma$ .

## Équation d'évolution

$$\Phi_{t+1} = \Phi_t + \Delta t \omega_n ||\nabla \Phi||$$

connaître  $\begin{cases} \Phi_0 \\ \omega_n \end{cases}$ ,

### ● LevelSet Initial



Image de départ



Image binaire



Image distance :  $\Phi_0$

[Danielsson, 1980]



- $d\Phi(\omega_n, \mathbf{B})$

- $\omega_n$  Champ de vitesse estimé (selon la normale du plan)

- $\mathbf{B}$  Mouvement brownien

- $\omega_n(\mathbf{v}, F)$

- $\mathbf{v}$  Champ de vitesse issu des trajectoires  $\Psi$  [Pons et al., 2006]

- $F$  Force de Chan-Vese (composante photométrique locale) [Chan et al., 2000]

- $\omega_n = \beta(t)\mathbf{v}^t \mathbf{n} + (1-\beta(t))\delta_\Phi F(\Phi)$

- $\beta(t)$  Pondération entre  $\mathbf{v}$  et  $F$ . Empirique.

- Champ de vitesse  $\mathbf{v}$

- $\Psi$  autre levelset qui stocke les déplacements entre deux images successives.

- évolue en même temps que  $\Phi$

- $\mathbf{v} = \frac{\Delta\Psi}{\Delta t}$  vitesse se déduit des déplacements.

- Force  $F$

- Deux histogrammes tridimensionnels de référence. Un pour l'intérieur et un pour l'extérieur de l'objet.

- Histogramme local au voisinage du pixel  $x$ .

- Distance de Bhattacharya

- Mouvement brownien  $\mathbf{B}$

- $d\Phi_i^{stochastique} = d\Phi + B_i$

# g-h Filter ( $\alpha - \beta$ Filter)



- État Initial  $\Phi_0$
- Variable d'état: Surface implicite  $\Phi_{1:k}$
- Observations:  $z_k$  Images.



$\Phi_0$



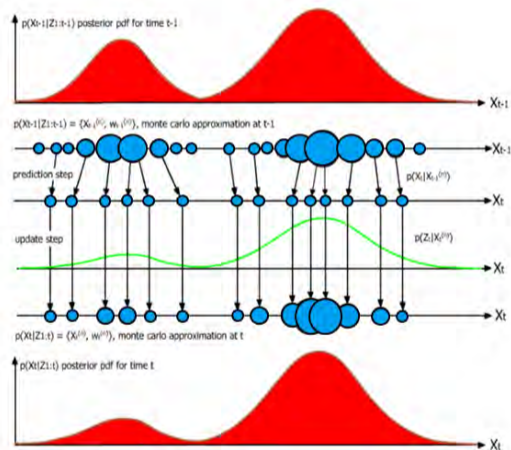
$\Phi_{1:k}$

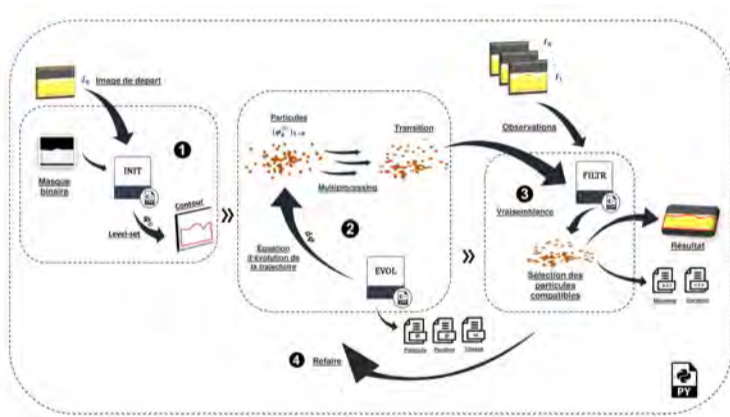


$z_k$

- Étape de prédiction : **Modèle d'évolution**
  - $\Phi_k = \Phi_{k-1} + d\Phi(\omega_n, \mathbf{B})$
  - la fonction  $\Phi_k$  sert de support au level-set et représente l'interface sel/roche qui évolue au cours du temps.
  - la fonction  $d\Phi$  l'évolution spatio-temporelle de l'interface à tout instant  $t$
- Étape de mise à jour : **Modèle d'observation**
  - $Z_k = H(\Phi_k) + b$ 
    - $b$ : bruit d'observation
    - $H(\Phi_k)$  Lien entre les observations et la variable d'état.
  - $p(z_k | \Phi_k) \approx \exp(-\lambda d_{Bath}(h_{in}, h_{est}))$ 
    - distance de Bhattacharya entre histogramme objet  $h_{in}$  et histogramme local  $h_{est}$
    - $\lambda$  Constante positive choisie de manière empirique

- **Filtre particulaire** / méthodes de Monte-Carlo séquentielles
- Avec **rééchantillonnage d'importance séquentielle (SIR)**
- Concentré sur **les zones les plus significatives** de l'espace des états.





Souhaieb Aouayeb, 2020

La Mise En Place D'un  
Outil De Suivi Graphique  
De Structures Salifères

Souhaieb Aouayeb, 2020

Application du code sur un modèle analogique en utilisant 1000 particules.

Makki Karim, 2021

## **Stochastic Filtering for Surface Evolution Tracking** Application to Salt/Rock Interface Tracking in Geology

- Filtrage stochastique 2D de l'interface sel/roche sur les images.
  - Coupler à la base de modèles analogiques.
  - Améliorer les résultats (Meilleur paramétrage, remplacer quelques modules )
  - Interpréter la LevelSet de tracking du déplacement  $\Psi$
- Stratégie de parallélisation.
- Extension des équations d'évolution au cas 3D.
  - Notamment par *l'interpolation* des données manquantes

*Innovater les énergies*

Retrouvez-nous sur :

 [www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)

 @IFPENinnovation