Modèles et schémas numériques pour la modélisation de genèse de bassins sédimentaires

Thèse présentée par G. Enchéry le 9 Septembre 2004

Université de Marne-la-Vallée - Laboratoire Analyse et Mathématiques Appliquées

Institut Français du Pétrole - DTIMA

La simulation de genèse de bassins sédimentaires

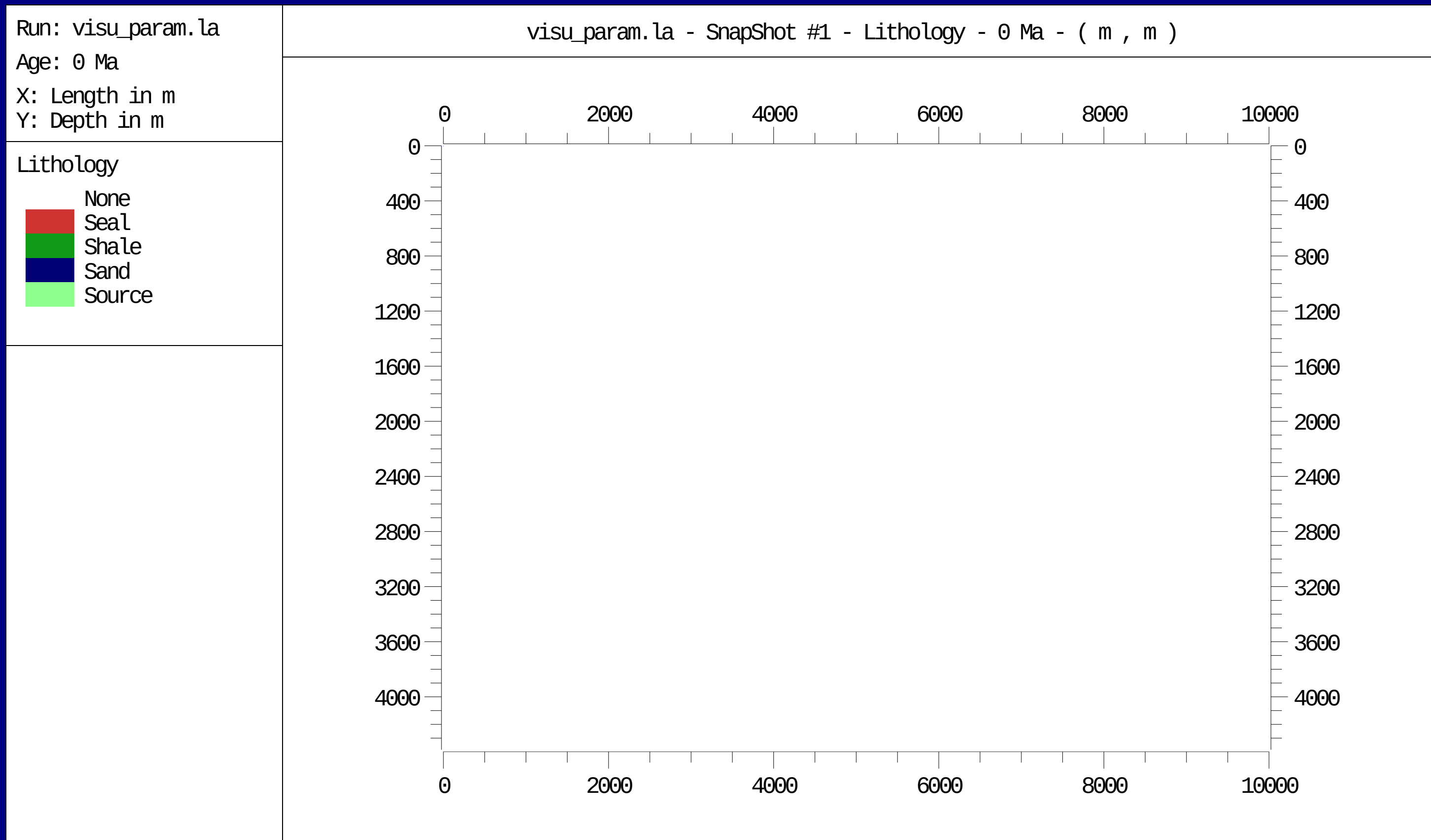
Objectifs

- Intégrer les lois issues de la géochimie, géologie, mécanique des sols... dans un même simulateur.
- Valider les modèles à partir de données issues de bassins connus.
- Améliorer l'exploration pétrolière dans des zones inconnues.

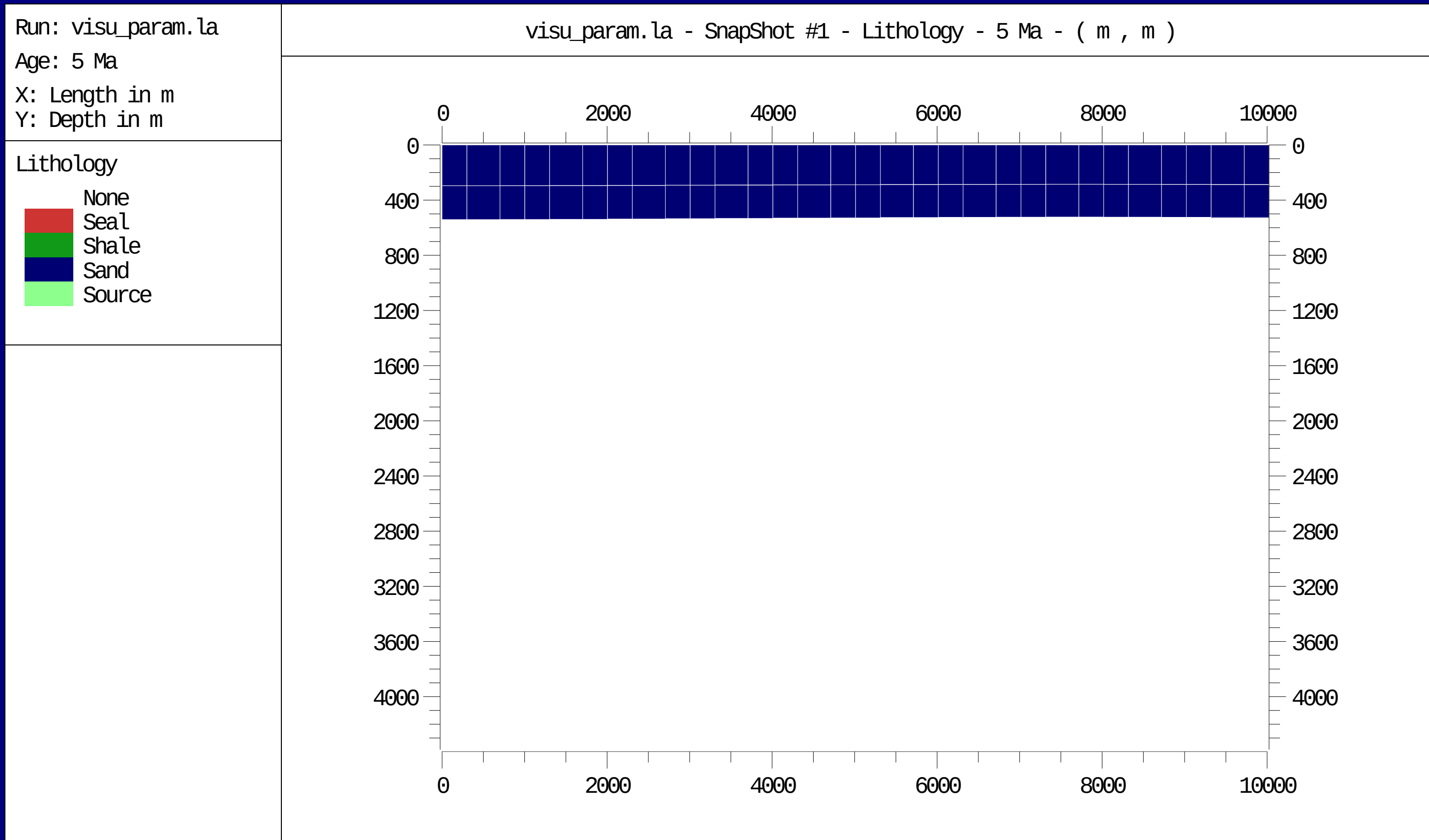
Phénomènes à modéliser

- Dépôt, compaction et érosion des sédiments
- Craquage des hydrocarbures au sein des roches mères
- Migration des hydrocarbures à l'intérieur du bassin
- Formation des réservoirs

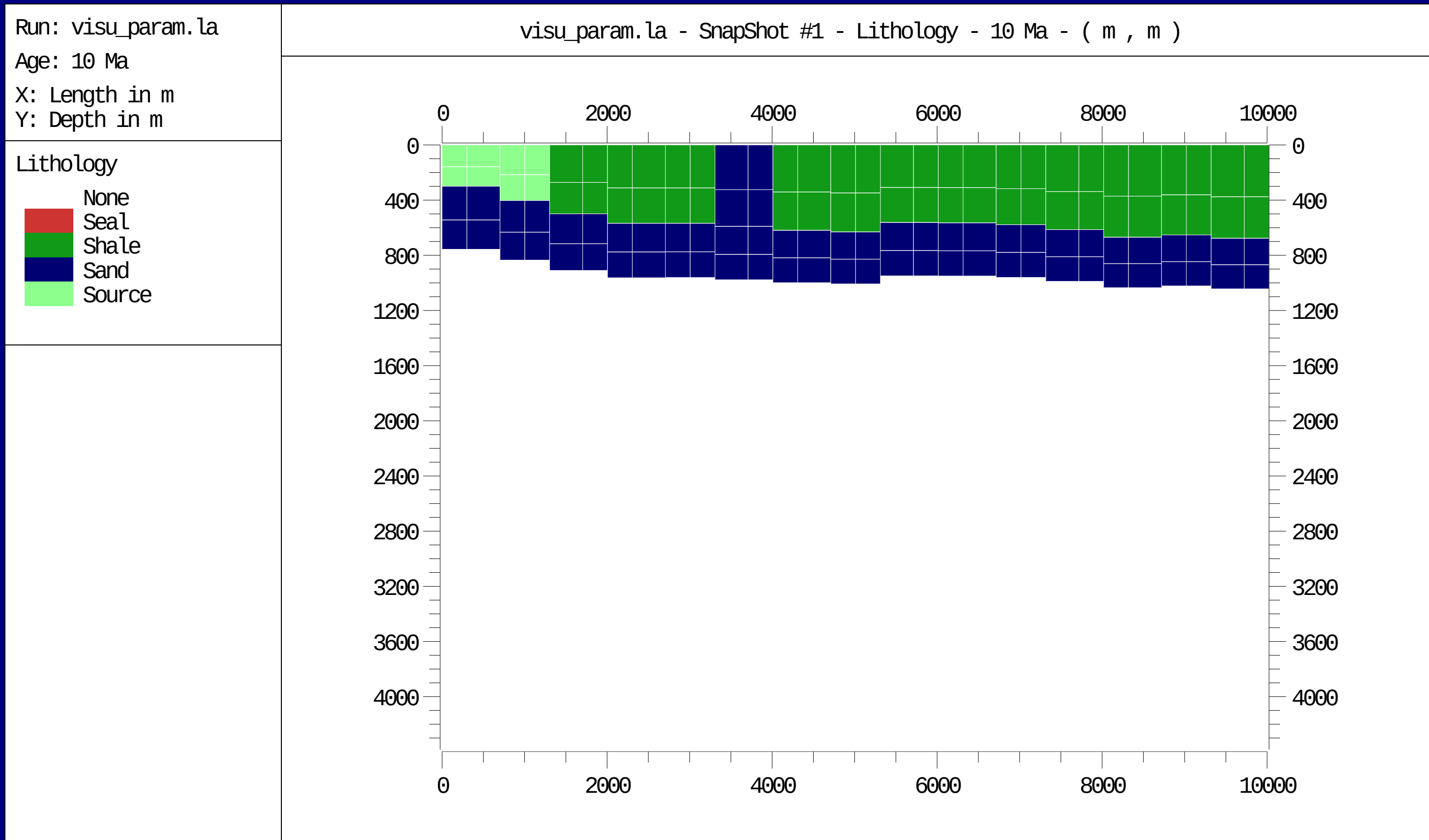
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



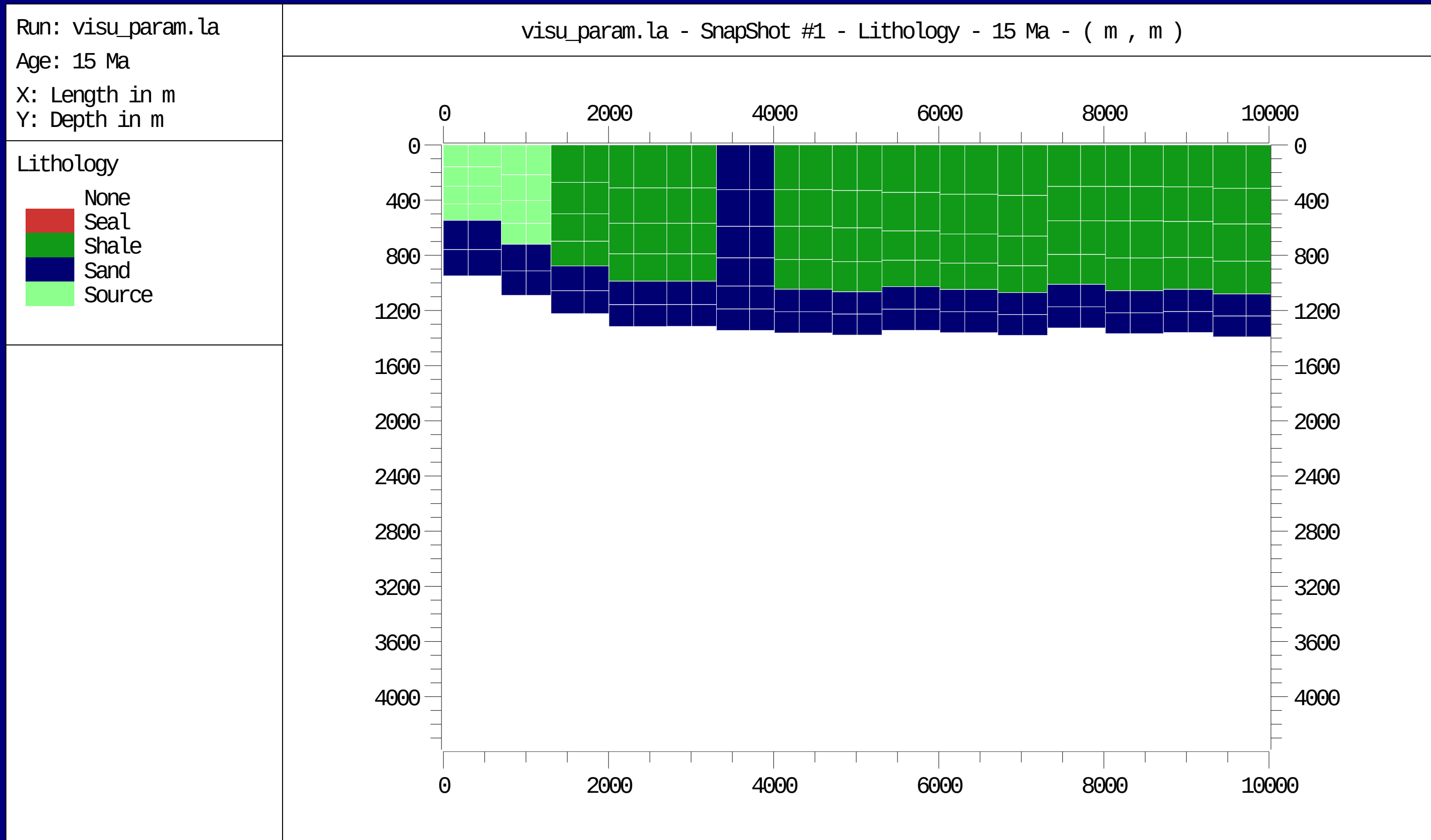
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



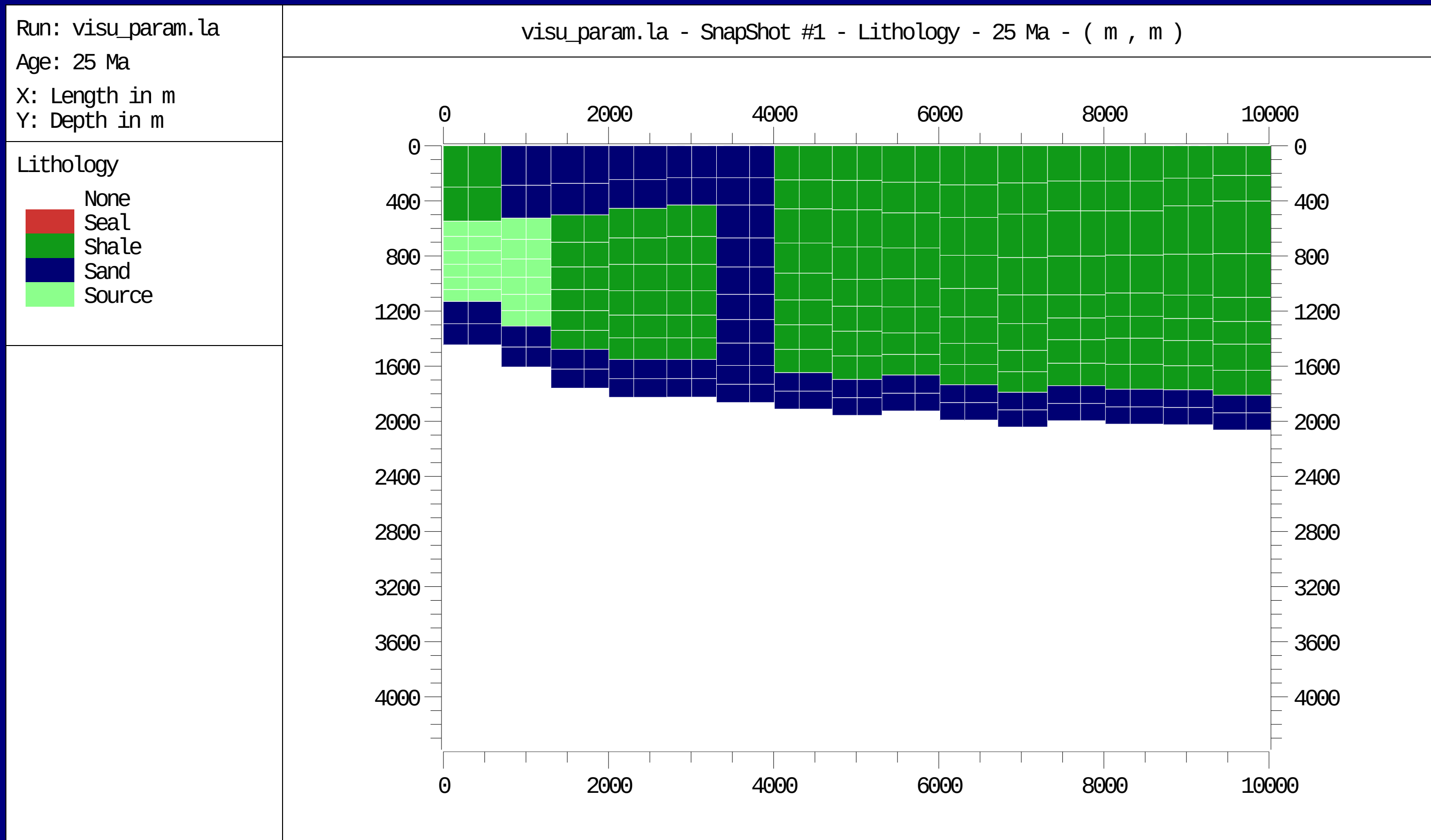
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



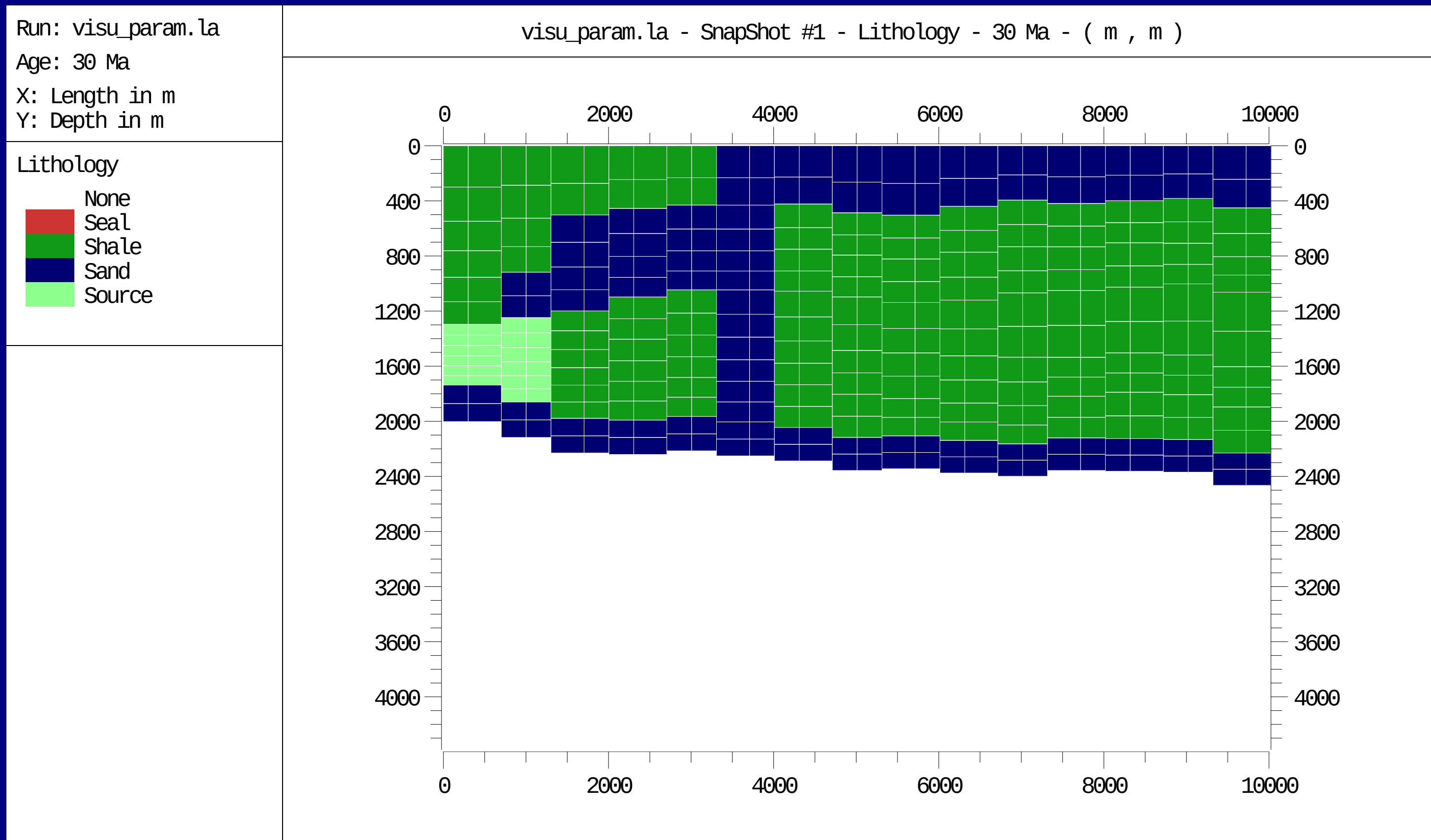
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



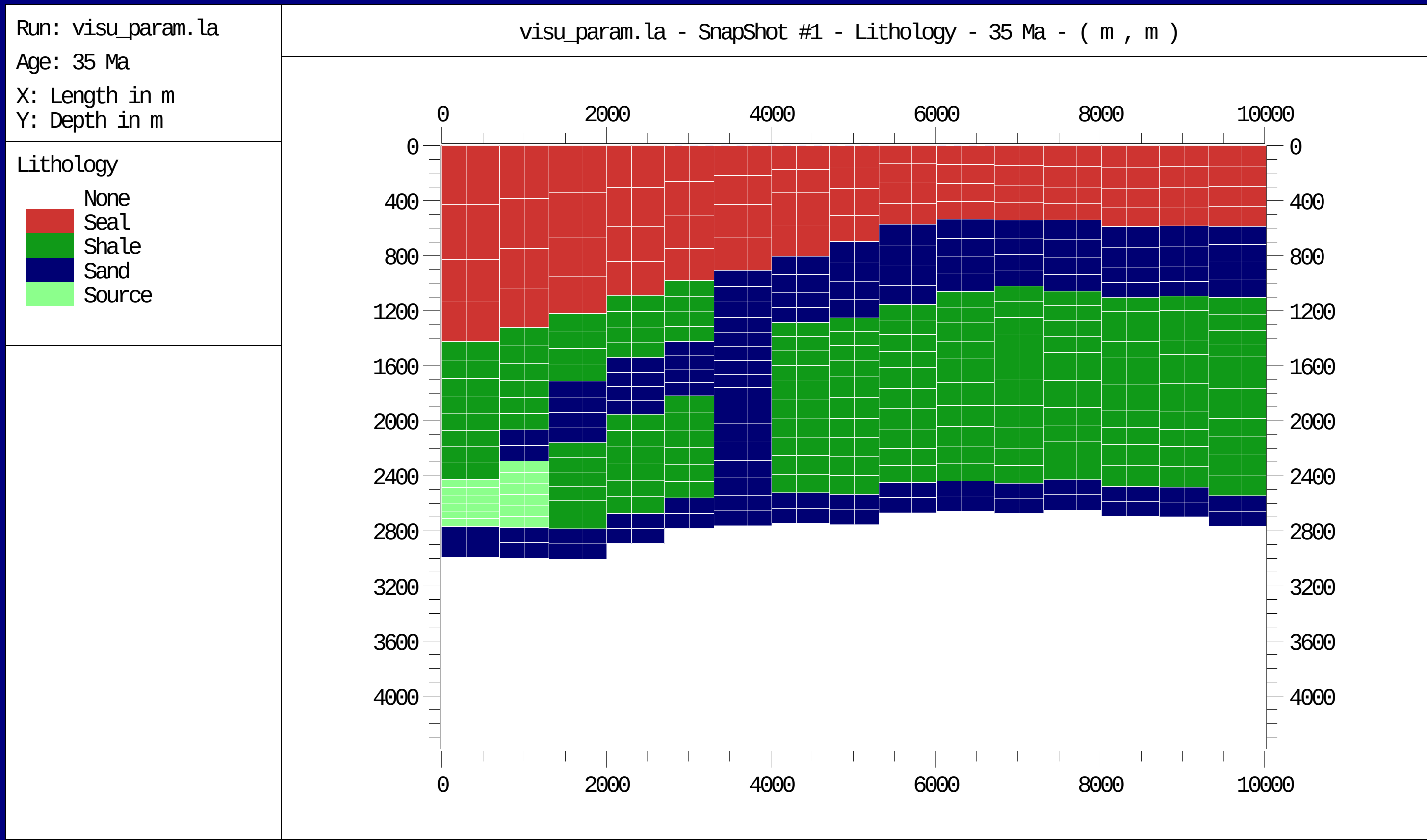
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



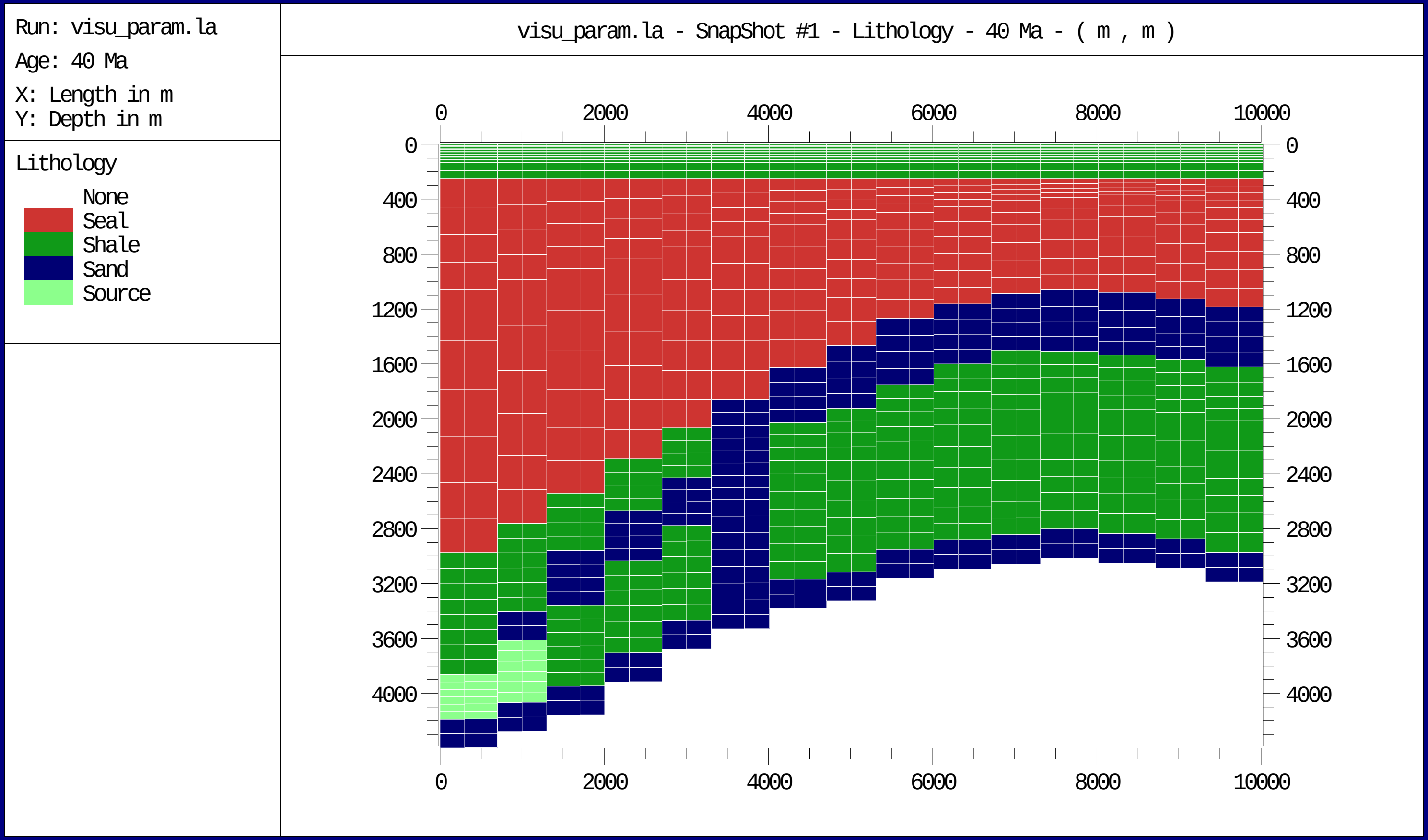
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



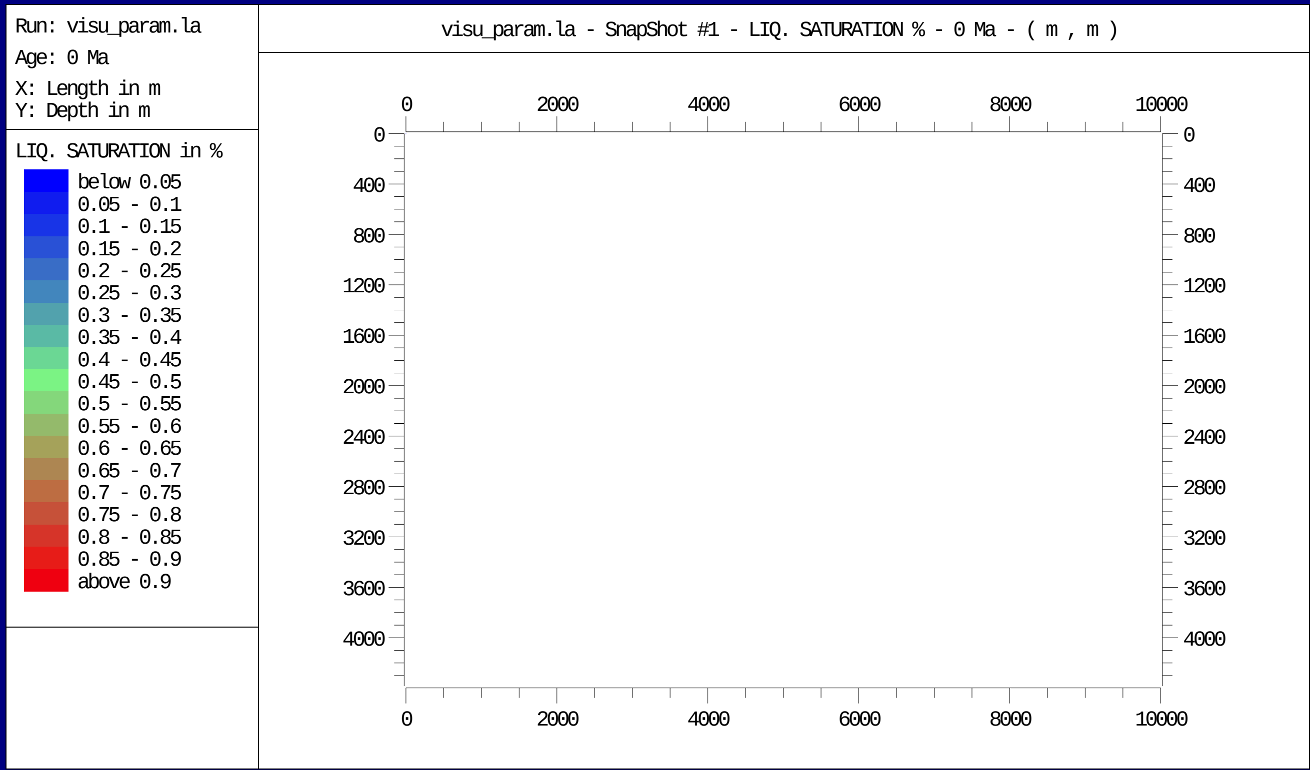
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



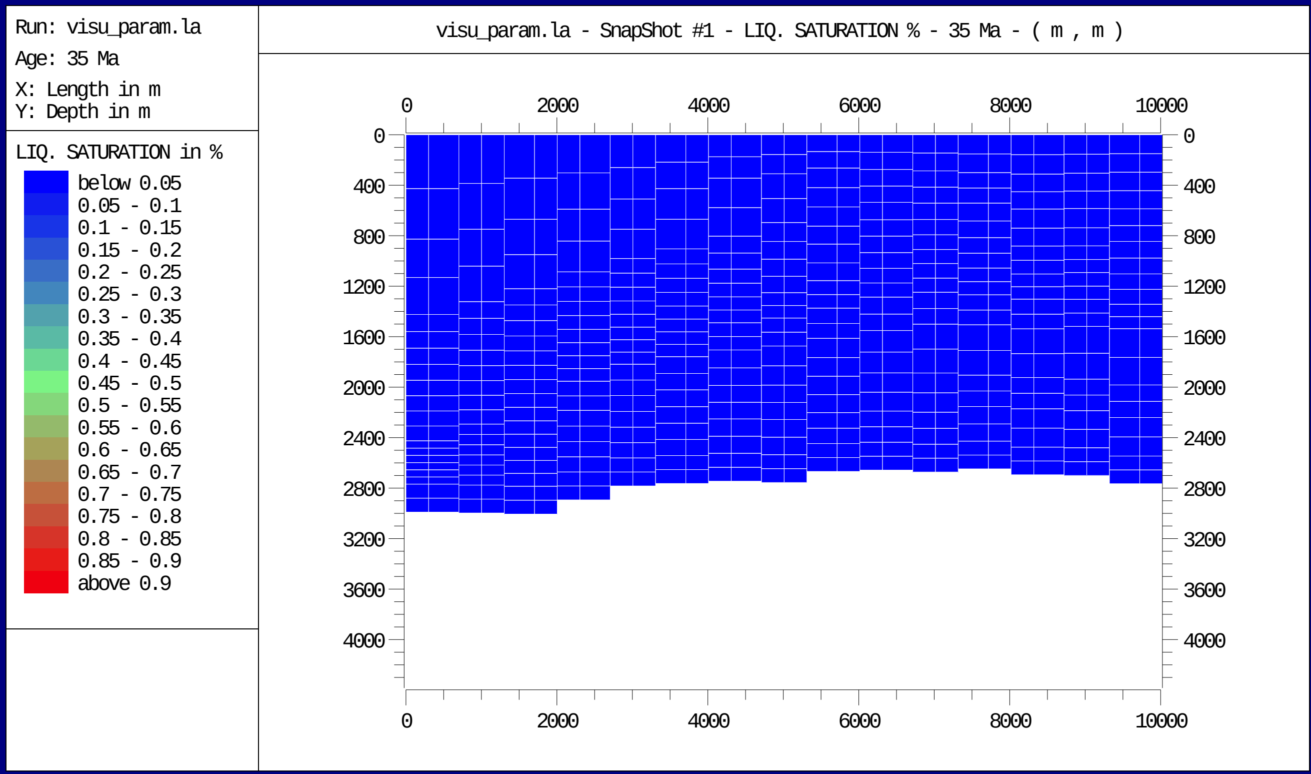
Dépôt, compaction et érosion des sédiments



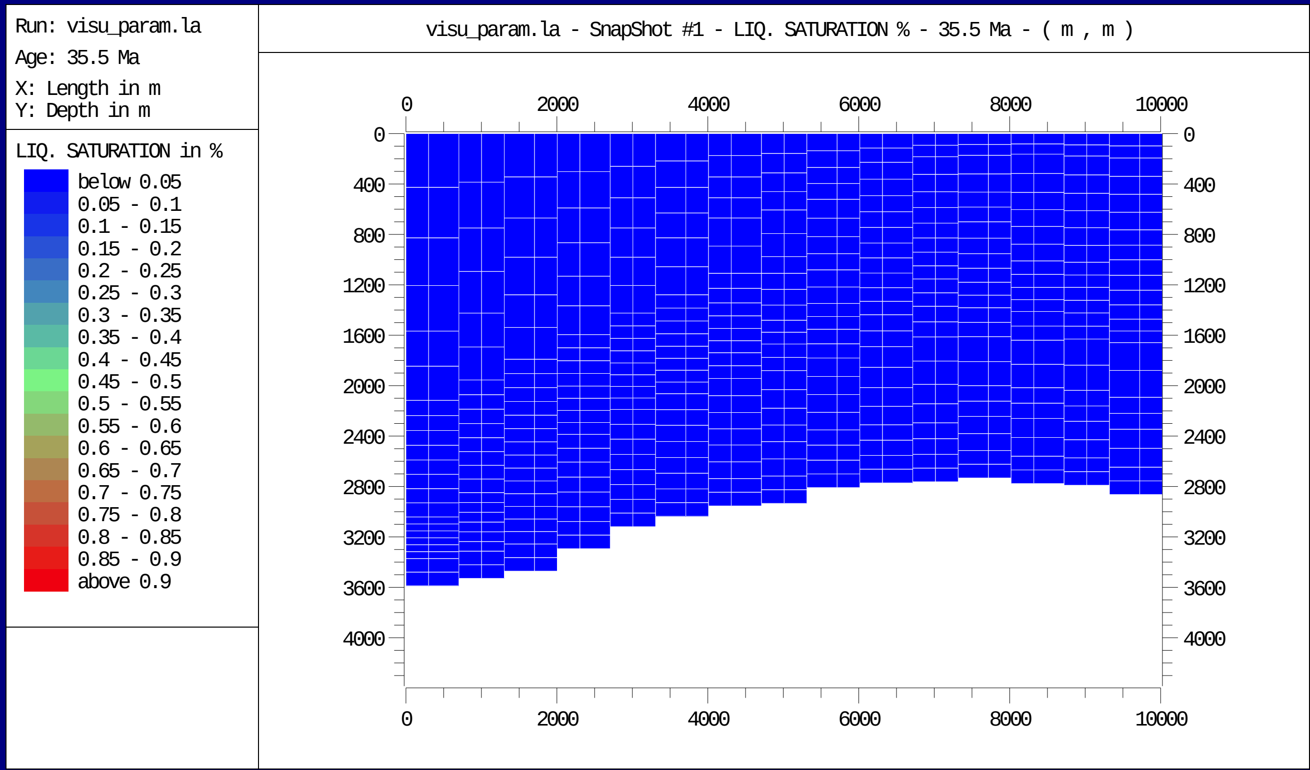
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



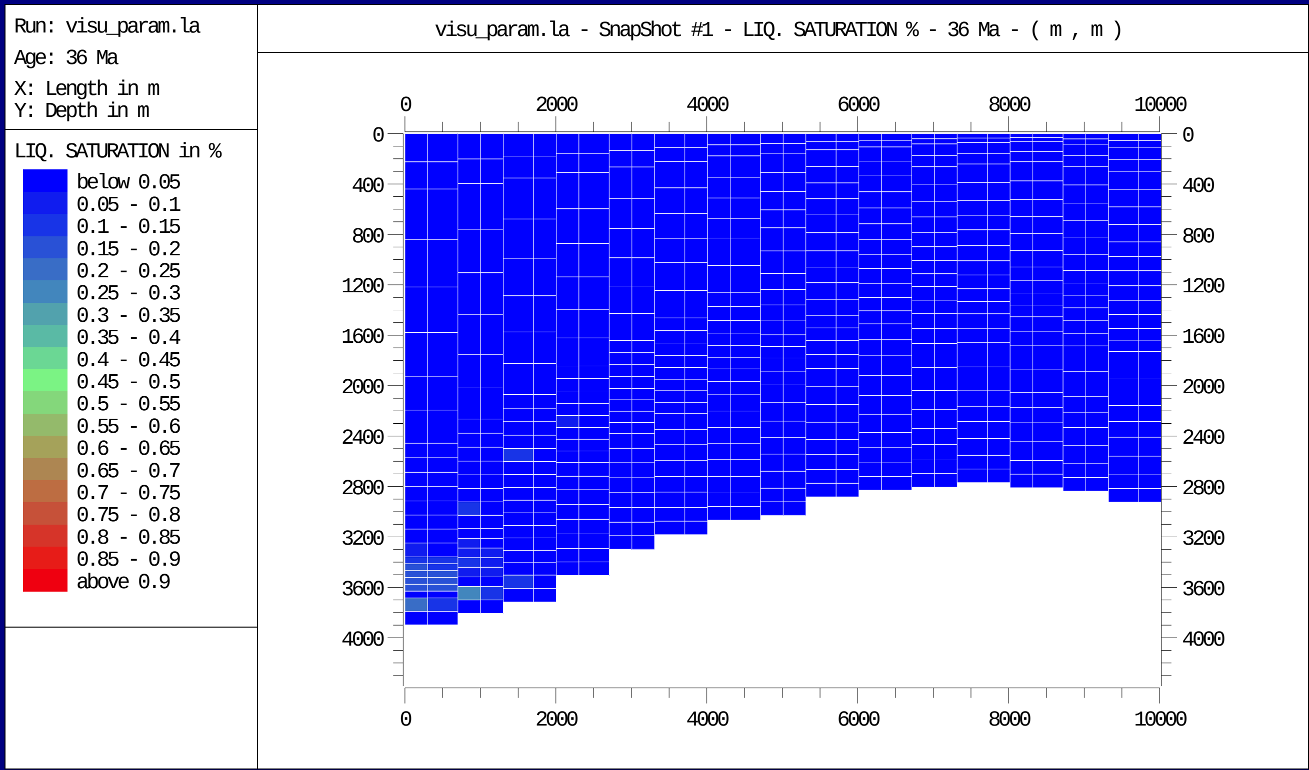
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



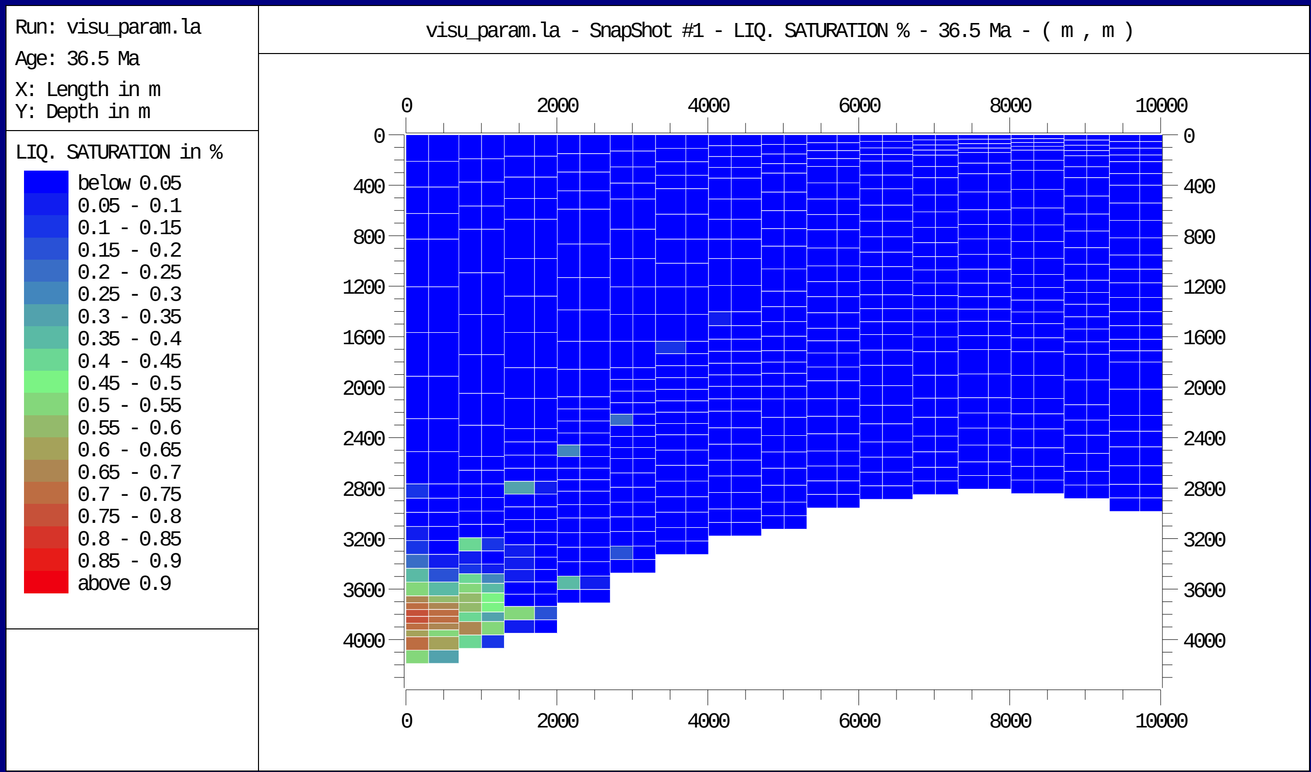
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



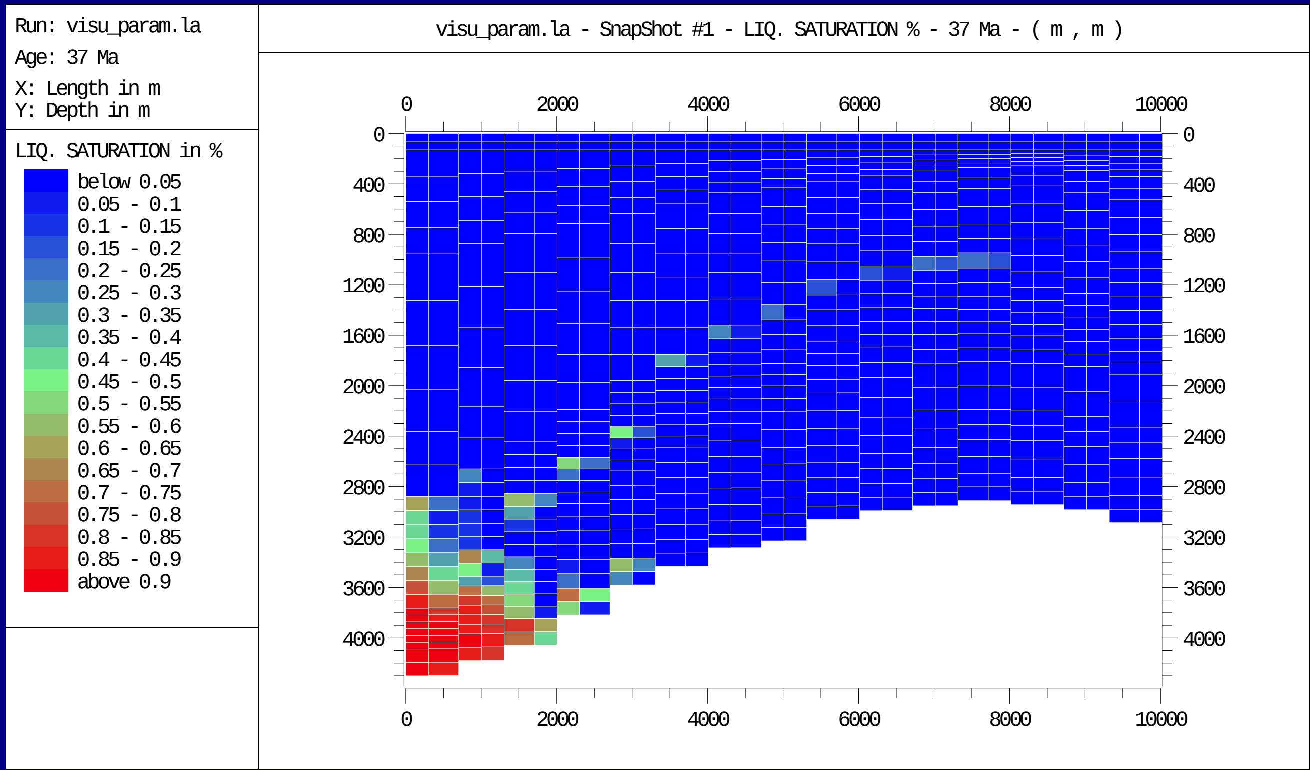
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



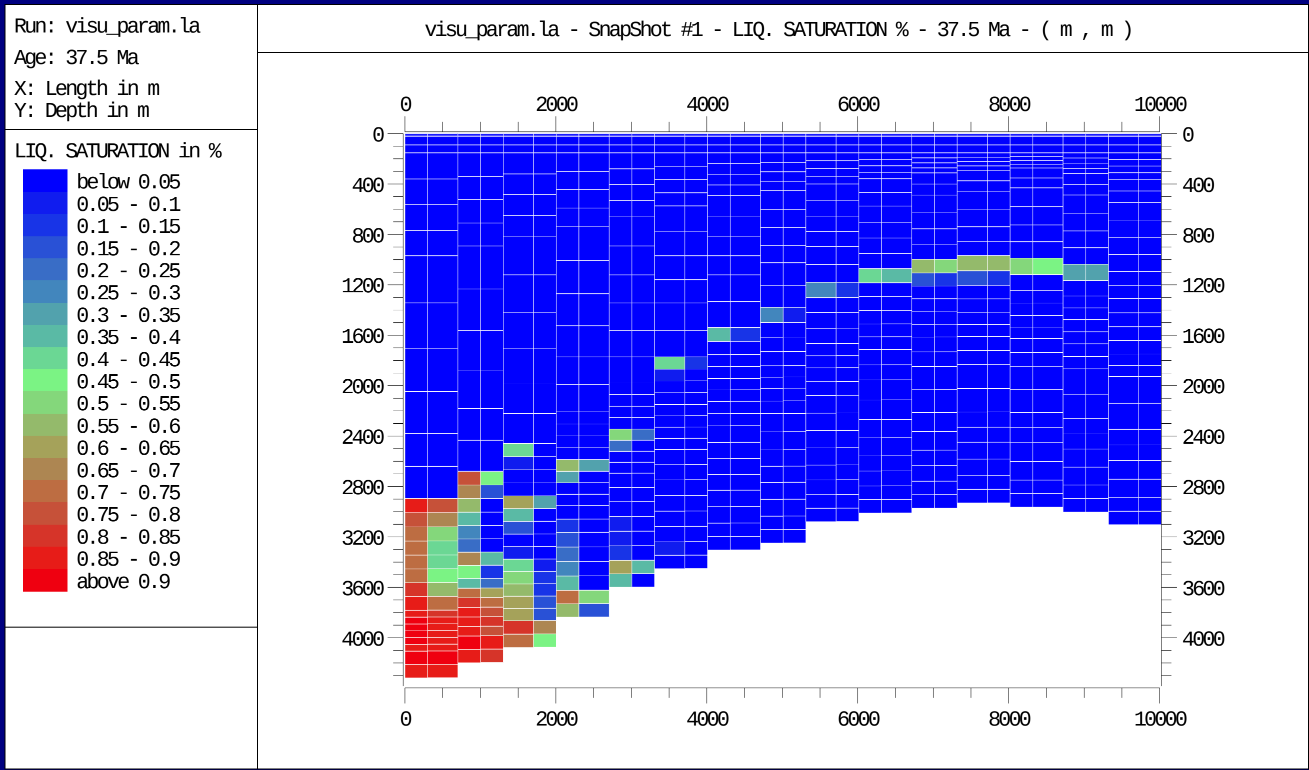
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



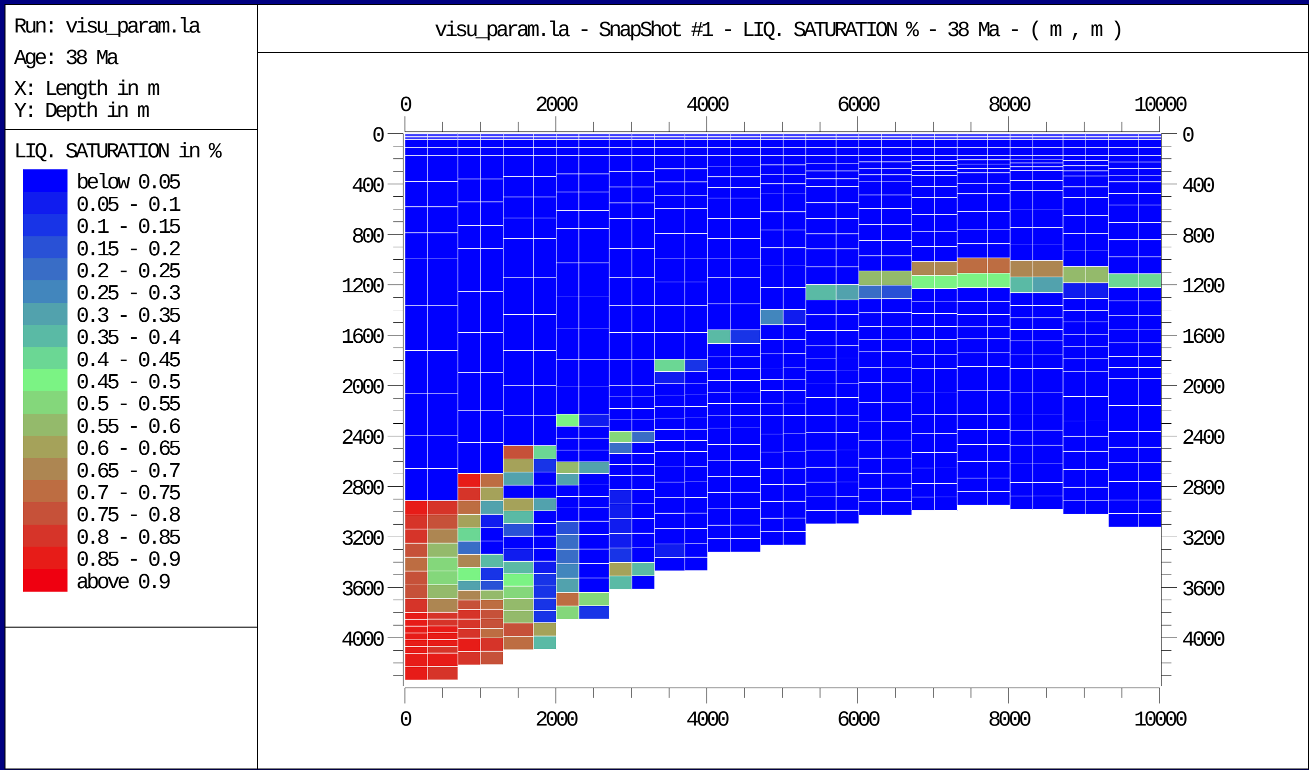
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



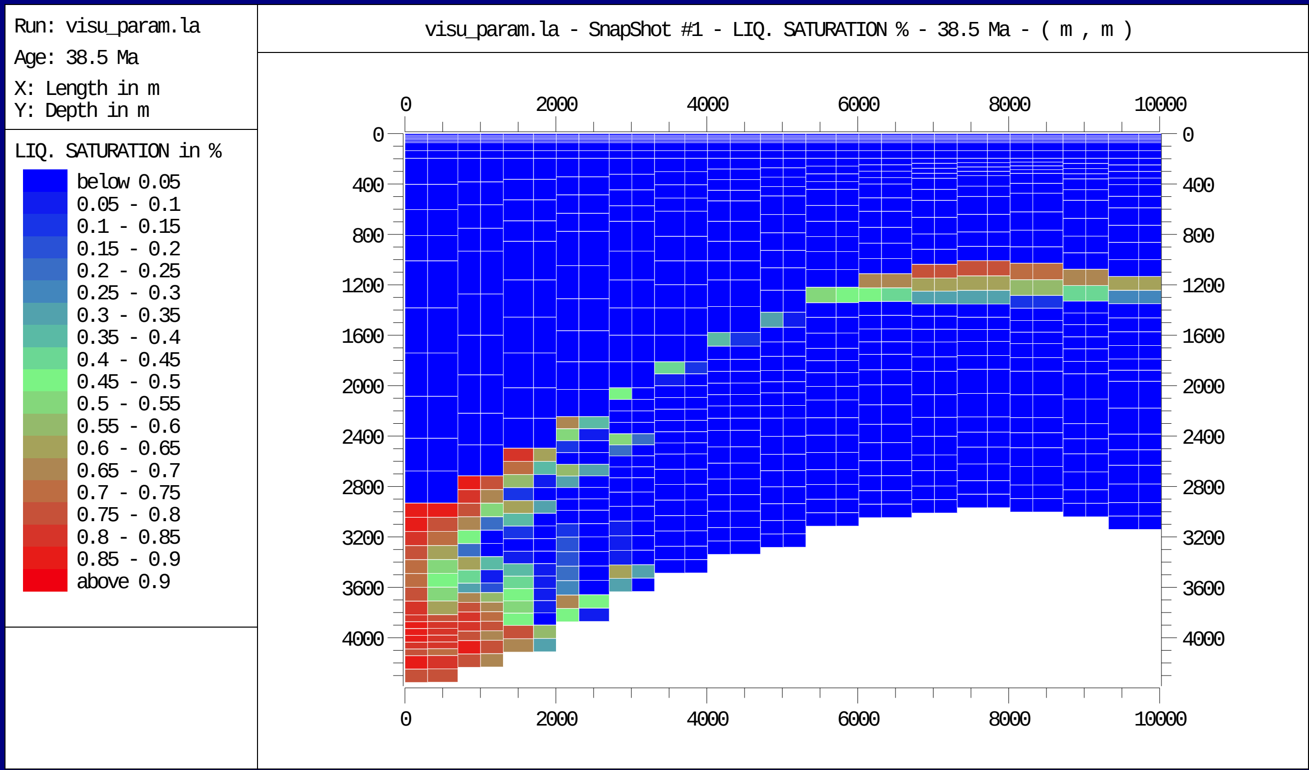
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



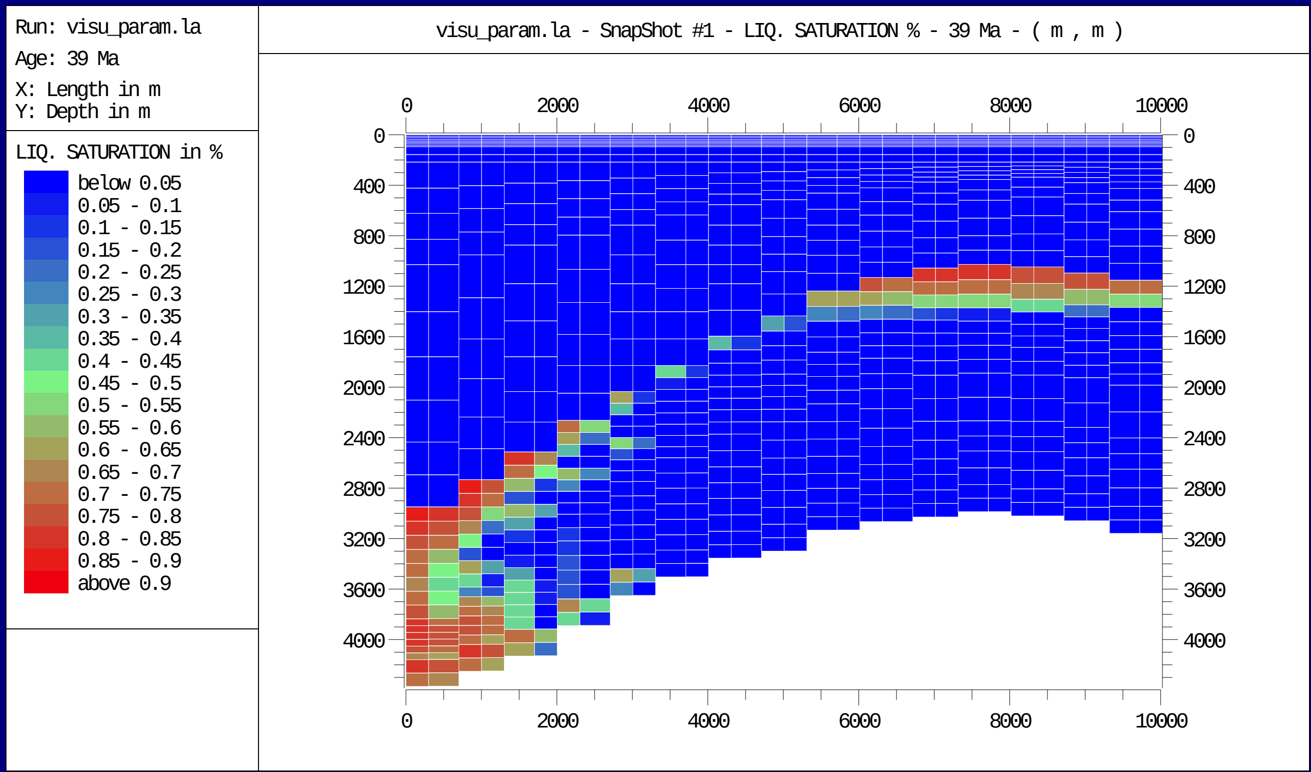
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



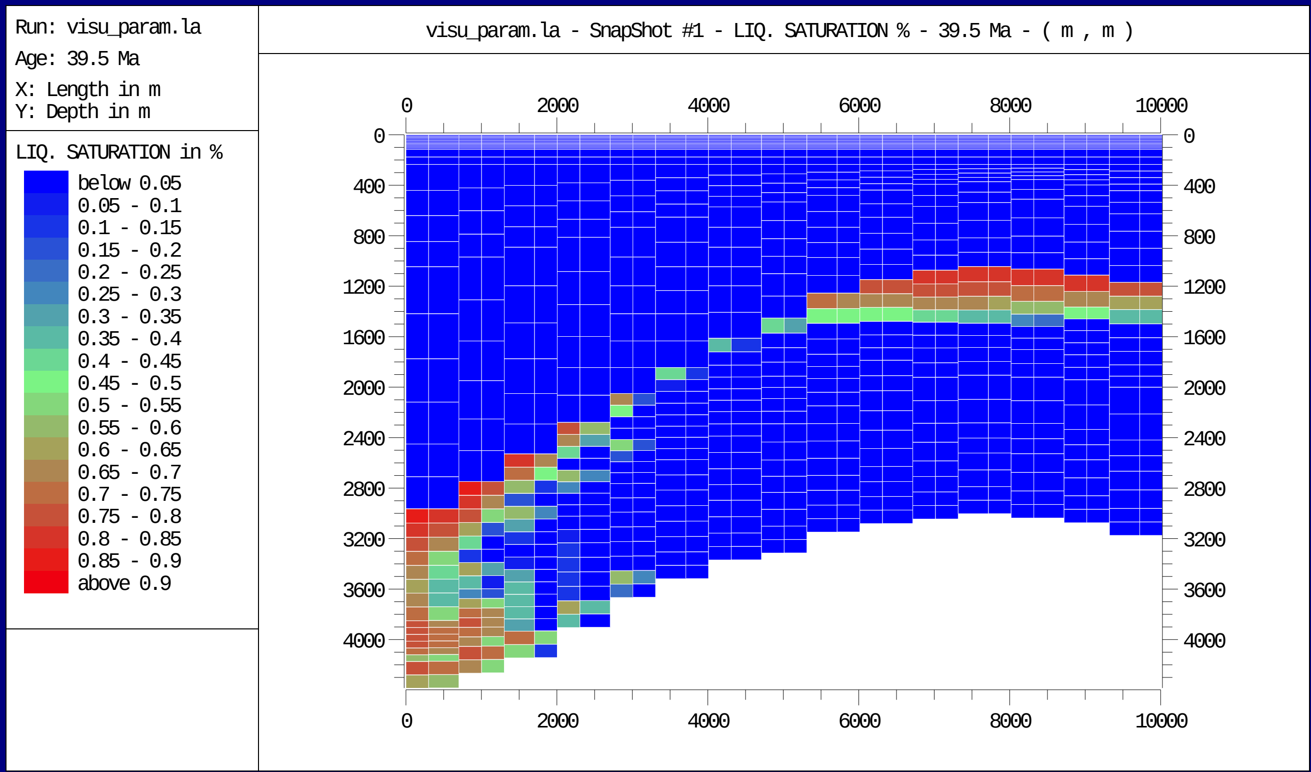
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



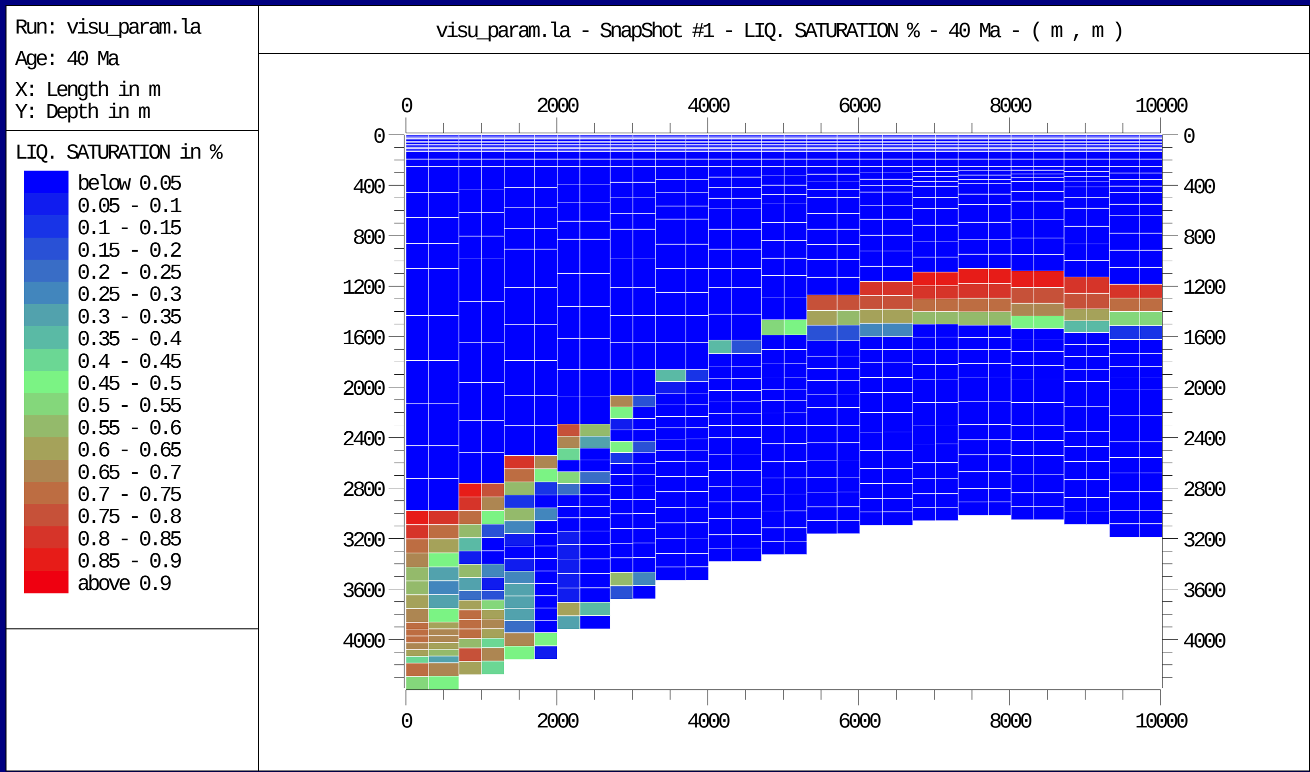
Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



Craquage, migration des hydrocarbures et formation des réservoirs



Vers une amélioration des modèles et des schémas numériques existants

Difficultés actuelles

- Complexité des modèles actuels (hétérogénéités, anisotropies, déformation du milieu au cours du temps...)
- Les résultats mathématiques obtenus sur les schémas industriels correspondent rarement à des cas réalistes.

Axes de recherche

- Vérifier que les schémas actuels présentent de bonnes propriétés mathématiques sur des modèles de plus en plus complexes.
- S'assurer que ces schémas modélisent fidèlement la physique des bassins.

Plan

1. Le modèle Dead-Oil

2. Un schéma à nombre de Péclet variable

3. Pression capillaire et changement de type de roches

4. Conclusions et perspectives

Plan

1. Le modèle Dead-Oil

2. Un schéma à nombre de Péclet variable

3. Pression capillaire et changement de type de roches

4. Conclusions et perspectives

Le modèle Dead-Oil

Hypothèses

- Un milieu poreux isotrope Ω
- La porosité ϕ et la perméabilité Υ ne dépendent que de la variable d'espace.
- Les écoulements sont diphasiques (s : saturation en huile) immiscibles et incompressibles
- Ils sont soumis aux gradients des pressions des phases, $\overrightarrow{\nabla} p_\alpha$, $\alpha \in \{o, w\}$, et à la gravité $\overrightarrow{g}$.
- Pas de termes sources

Les équations de Darcy

$$\boxed{\left\{\begin{array}{c} \phi\dfrac{\partial s}{\partial t} + \mathrm{div}\Big(\Upsilon\ \eta_o(s)(\rho_o\overrightarrow{g} - \overrightarrow{\nabla} p_o)\Big) = 0 \text{ sur } \Omega\times(0,T) \\ -\phi\dfrac{\partial s}{\partial t} + \mathrm{div}\Big(\Upsilon\ \eta_w(s)(\rho_w\overrightarrow{g} - \overrightarrow{\nabla} p_w)\Big) = 0 \text{ sur } \Omega\times(0,T) \\ p_o = p_w + \pi(s) \end{array}\right.}$$

Conditions aux limites

$$\forall\alpha\in\{o,w\},\ \Upsilon\left(\eta_\alpha(s)(\rho_\alpha\overrightarrow{g} - \overrightarrow{\nabla} p_\alpha)\right).\overrightarrow{n} = 0 \text{ sur } \partial\Omega\times(0,T)$$

Condition initiale

$$s(.,0) = s_{\mathrm{ini}} \text{ sur } \Omega$$

Le système découplé

$$\boxed{\begin{cases} \operatorname{div}(\overrightarrow{Q}) = 0 \text{ sur } \Omega \times (0,T) \\ \phi \dfrac{\partial s}{\partial t} + \operatorname{div}\Big(f(s, \overrightarrow{Q}, \overrightarrow{G}) - \Upsilon \overrightarrow{\nabla} \varphi(s) \Big) = 0 \text{ sur } \Omega \times (0,T) \end{cases}}$$

où

- $\overrightarrow{Q} = \Upsilon \left(\Big(\eta_o(s)\rho_o + \eta_w(s)\rho_w \Big) \overrightarrow{g} - \eta_T(s) \overrightarrow{\nabla} \bar{p} \right)$,
- $\bar{p} = p + \displaystyle\int_0^s \frac{\eta_o}{\eta_T}(v)\pi^{'}(v)dv$,
- $f(s, \overrightarrow{Q}, \overrightarrow{G}) = \dfrac{\eta_o}{\eta_T}(s)\overrightarrow{Q} + \dfrac{\eta_o \eta_w}{\eta_T}(s)\overrightarrow{G}$,
- $\overrightarrow{G} = \Upsilon(\rho_o - \rho_w)\overrightarrow{g}$,
- $\varphi^{'}(s) = \dfrac{\eta_o(s)\eta_w(s)}{\eta_o(s) + \eta_w(s)} \pi^{'}(s)$.

Plan

1. Le modèle Dead-Oil

2. Un schéma à nombre de Péclet variable

3. Pression capillaire et changement de type de roches

4. Conclusions et perspectives

Plan

1. Le modèle Dead-Oil
2. Un schéma à nombre de Péclet variable
3. Pression capillaire et changement de type de roches
4. Conclusions et perspectives

Le schéma amont des pétroliers

$$\boxed{\begin{aligned} m(K)\phi_K \frac{s_K^{n+1} - s_K^n}{\delta t} + \sum_{L \in N(K)} \quad & F(s_K^{n+1}, s_L^{n+1}, Q_{K,L}^{n+1}, G_{K,L}) - \\ & \Upsilon_{K|L}(\varphi(s_L^{n+1}) - \varphi(s_K^{n+1})) = 0 \end{aligned}}$$

où

- $F(s_K^{n+1}, s_L^{n+1}, Q_{K,L}^{n+1}, G_{K,L}) = \dfrac{(\eta_o)_{K|L}^{n+1}\Big(Q_{K,L}^{n+1} + (\eta_w)_{K|L}^{n+1} G_{K,L}\Big)}{(\eta_o)_{K|L}^{n+1} + (\eta_w)_{K|L}^{n+1}}$,
- $G_{K,L} = \Upsilon_{K|L}(\rho_o - \rho_w) g \delta z_{K,L}$.

Caractéristiques du flux $F(.,.,Q_{K,L}^{n+1},G_{K,L})$

- Le calcul des mobilités $(\eta_\alpha)_{K|L}^{n+1}$ s'effectue en fonction du sens d'écoulement de la phase α :

$$(\eta_\alpha)_{K|L}^{n+1} = \begin{cases} \eta_\alpha({S_K}^{n+1}) & \text{si } \rho_\alpha g \delta z_{K,L} - \delta(p_\alpha)_{K,L}^{n+1} \geq 0, \\ \eta_\alpha({S_L}^{n+1}) & \text{sinon.} \end{cases}$$

  Le choix des mobilités amont est complétement déterminé par la donnée de $Q_{K,L}^{n+1}$ et de $G_{K,L}$ (A. Pfertzel, 1987).

- Le flux est monotone : $F(.,.,Q_{K,L}^{n+1},G_{K,L})$ est croissante par rapport à son premier argument et décroissante par rapport à son second argument.

Le schéma à nombre de Péclet variable

$$\boxed{\begin{aligned} m(K)\phi_K \frac{s_K^{n+1} - s_K^n}{\delta t} + \sum_{L \in N(K)} \quad & \mathcal{F}(\theta_{K|L}^{n+1}, s_K^{n+1}, s_L^{n+1}, Q_{K,L}^{n+1}, G_{K,L}) - \\ & \Upsilon_{K|L}(\varphi(s_L^{n+1}) - \varphi(s_K^{n+1})) = 0 \end{aligned}}$$

où

- $\mathcal{F}(\theta, a, b, Q, G) = \theta F(a, b, Q, G) + (1 - \theta) F(\frac{a+b}{2}, \frac{a+b}{2}, Q, G)$,
- le paramètre $\theta_{K|L}^{n+1}$ est choisi de façon à centrer au maximum la partie convective du flux tout en assurant la monotonie du schéma.

Résultats mathématiques

- Stabilité L^∞ du calcul des saturations, existence d'une solution discrète.

- Convergence du schéma :

1. $\boxed{s_{\mathcal{D}_m} \overset{m\to+\infty}{\longrightarrow} s \in L^\infty(\Omega\times(0,T))\bigcap L^q(\Omega\times(0,T)),}$

   pour tout $1 \le q < \infty$,

2. $\boxed{\varphi(s) \in L^2(0,T,H^1(\Omega)),}$

3. $$\boxed{\begin{array}{l}\forall\psi \in C_{\text{test}},\\ \displaystyle\int_0^T\int_\Omega s\psi_t + f(s,\overrightarrow{Q},\overrightarrow{G}).\overrightarrow{\nabla}\psi - \overrightarrow{\nabla}\varphi(s)\overrightarrow{\nabla}\psi\; dxdt +\\ \displaystyle\int_\Omega s_{\text{ini}}\psi(.,0)dx = 0,\end{array}}$$

   où $C_{\text{test}} = \{h \in H^1(\Omega\times(0,T))\ /\ h(.,T) = 0\}$.

Preuve de convergence

- La semi-norme $L^2(0,T,H^1(\Omega))$ discrète de la fonction $\varphi(s_{\mathcal{D}})$ est bornée :

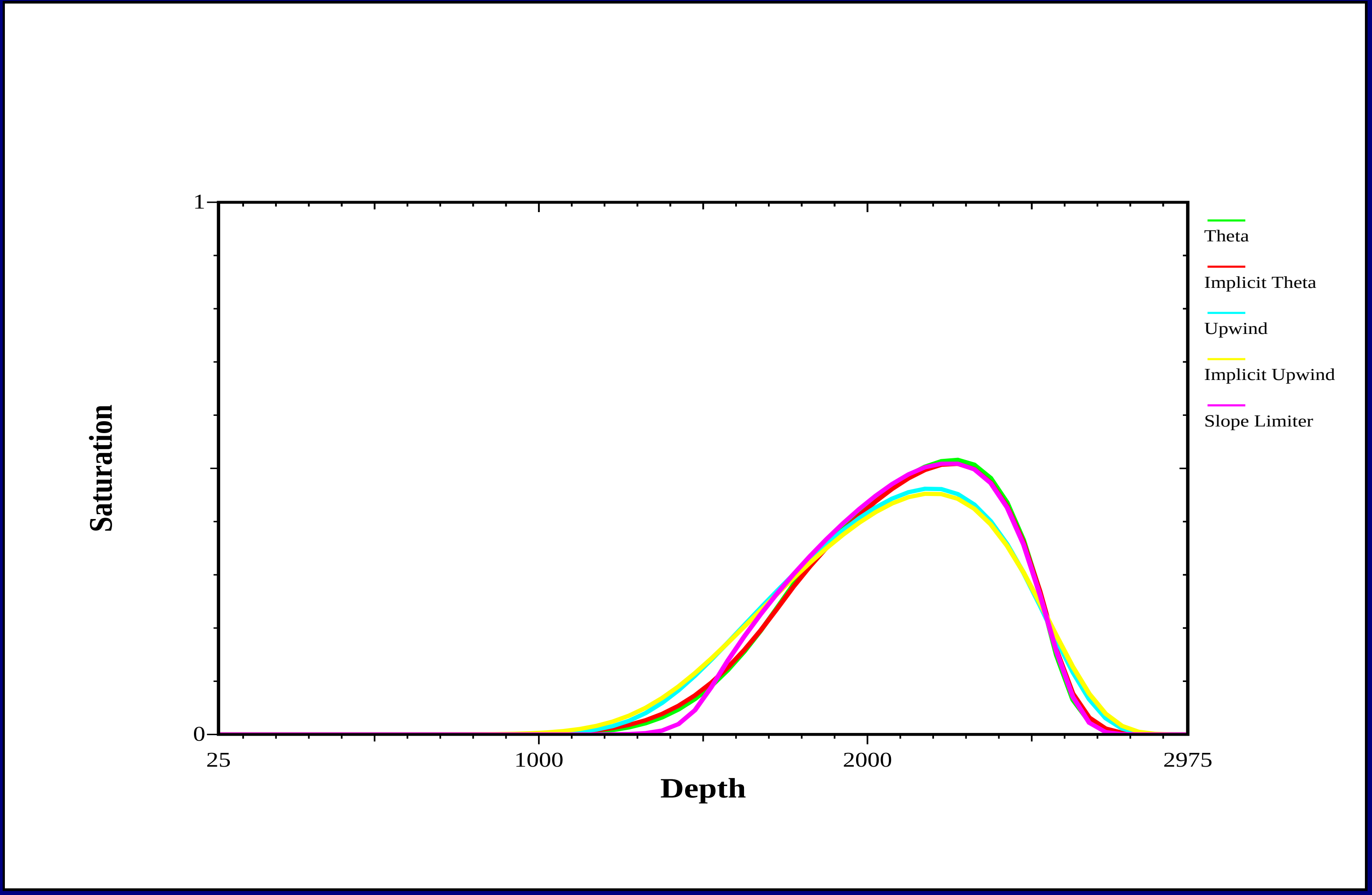
$$\boxed{|\varphi(s_{\mathcal{D}})|_{1,\mathcal{D}}^2 = \sum_{n=0}^{M} \delta t \sum_{K|L\in\mathcal{E}_{int}} \tau_{K|L}(\varphi(s_L^{n+1}) - \varphi(s_K^{n+1}))^2 \leq C.}$$

- Les translations en temps et en espace de la fonction $\varphi(s_{\mathcal{D}})$ sont également bornées :
  - $\boxed{\|\varphi(s_{\mathcal{D}}(x+\xi,t)) - \varphi(s_{\mathcal{D}}(x,t))\|_{L^2(\Omega\times(0,T))} \leq C(\xi),}$
  - $\boxed{\|\varphi(s_{\mathcal{D}}(x,t+\tau)) - \varphi(s_{\mathcal{D}}(x,t))\|_{L^2(\Omega\times(0,T))} \leq C(\tau).}$

- Grâce au théorème de Kolmogorov, nous en déduisons l'existence d'une sous-suite convergeant dans $L^2(\Omega\times(0,T))$ vers une solution faible. La régularité de la fonction $\varphi(s)$ est obtenue grâce à la semi-norme $L^2(0,T,H^1(\Omega))$ discrète.

Résultats numériques

- $\Omega = (0, 3000)$, $D = (2600, 3000)$
- $\phi = 0.1$
- $\mu_o = 5$ cP, $\mu_w = 1$ cP, $\rho_o = 800\,\mathrm{kg.m}^{-3}$, $\rho_w = 1100\,\mathrm{kg.m}^{-3}$
- Υ donnée par la loi de Kozeny Karman,
- $kr_o(s) = s$, $kr_w(s) = 1 - s$, $\eta_o(s) = \frac{kr_o(s)}{\mu_o}$, $\eta_w(s) = \frac{kr_w(s)}{\mu_w}$, $\pi(s) = 0.3s$
- $$s_{\mathrm{ini}}(x) = \begin{cases} 1.0 & \text{si } x \in D \\ 0.0 & \text{sinon} \end{cases}$$


1
0
25
1000
2000
2975
Depth
Saturation
Theta
Implicit Theta
Upwind
Implicit Upwind
Slope Limiter

Conclusion

Caractéristiques du schéma :

- précis et simple à mettre en œuvre
- Il peut être utilisé sous une forme implicite ou explicite.
- Ses propriétés mathématiques sont valables pour des domaines de dimension quelconque.

Plan

1. Le modèle Dead-Oil

2. Un schéma à nombre de Péclet variable

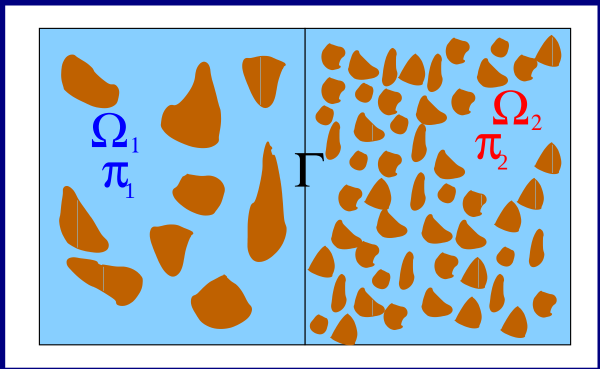
3. Pression capillaire et changement de type de roches

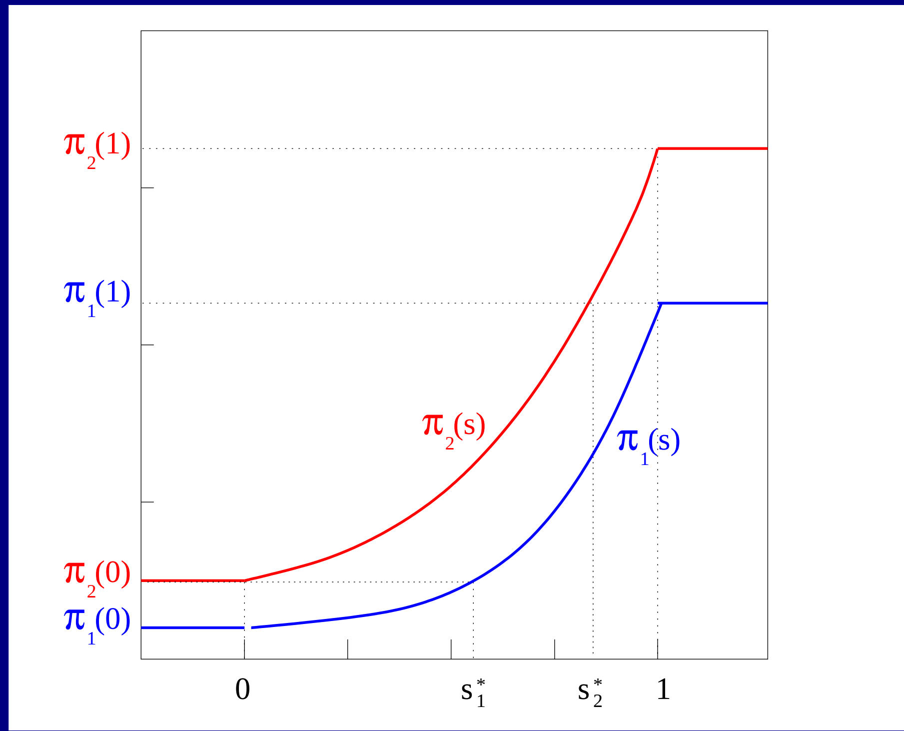
4. Conclusions et perspectives

Plan

1. Le modèle Dead-Oil
2. Un schéma à nombre de Péclet variable
3. Pression capillaire et changement de type de roches
4. Conclusions et perspectives

Discontinuité des forces capillaires





Equations de Darcy

$$\boxed{\left\{\begin{array}{l} \phi\dfrac{\partial s}{\partial t} - \mathrm{div}\Big(\eta_o(.,s)(\overrightarrow{\nabla} p_o - \rho_o \overrightarrow{g})\Big) = 0 \\ -\phi\dfrac{\partial s}{\partial t} - \mathrm{div}\Big(\eta_w(.,s)(\overrightarrow{\nabla} p_w - \rho_w \overrightarrow{g})\Big) = 0 \\ p_o - p_w = \pi(.,s) \end{array}\right.}$$

Conditions d'interface

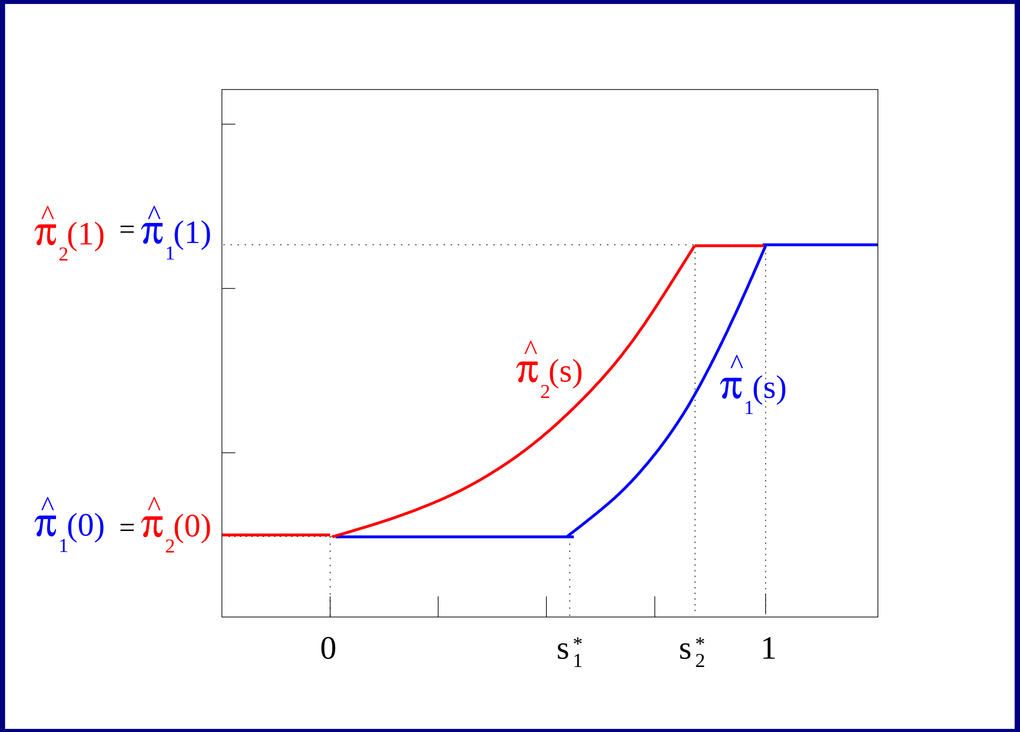
- **Conservation de la masse**

$$\boxed{\begin{array}{c} \eta_{\beta,1}(s_{1,\Gamma})\Big((\overrightarrow{\nabla} p)_{\beta,1,\Gamma} - \rho_\beta \overrightarrow{g}\Big).\overrightarrow{n}_{1,\Gamma} = \\ -\eta_{\beta,2}(s_{2,\Gamma})\Big((\overrightarrow{\nabla} p)_{\beta,2,\Gamma} - \rho_\beta \overrightarrow{g}\Big).\overrightarrow{n}_{2,\Gamma} \end{array}}$$

- **Condition en pression ($1^{\text{ère}}$ écriture)**

$$\boxed{\eta_{\beta,1}(s_{1,\Gamma})(p_{\beta,1,\Gamma} - p_{\beta,2,\Gamma})^+ - \eta_{\beta,2}(s_{2,\Gamma})(p_{\beta,2,\Gamma} - p_{\beta,1,\Gamma})^+ = 0}$$

- Condition en pression (2^{nde} écriture)



$$\boxed{\eta_{\beta,1}(s_{1,\Gamma})(p_{\beta,1,\Gamma} - p_{\beta,2,\Gamma})^+ - \eta_{\beta,2}(s_{2,\Gamma})(p_{\beta,2,\Gamma} - p_{\beta,1,\Gamma})^+ = 0}$$

$$\Updownarrow$$

$$\boxed{\hat{\pi}_1(s_{1,\Gamma}) = \hat{\pi}_2(s_{2,\Gamma})}$$

En effet,

si $0 \leq s_{1,\Gamma} \leq s_1^*$

- $p_{o,1,\Gamma} < p_{o,2,\Gamma}$ et $p_{w,2,\Gamma} = p_{w,1,\Gamma}$
- $s_{2,\Gamma} = 0$

L'huile est piégée en Ω_1.

si $s_1^* \leq s_{1,\Gamma}, s_{2,\Gamma} \leq s_2^*$

- $p_{o,1,\Gamma} = p_{o,2,\Gamma}$ et $p_{w,2,\Gamma} = p_{w,1,\Gamma}$

L'huile et l'eau traversent Γ.

si $s_2^* \leq s_{2,\Gamma}$

- $p_{o,1,\Gamma} = p_{o,2,\Gamma}$ et $p_{w,2,\Gamma} < p_{w,1,\Gamma}$
- $s_{1,\Gamma} = 1$

L'eau est piégée en Ω_2.

Simplification du modèle

Le modèle continu

- Un milieu poreux $\Omega = \Omega_1 \bigcup \Omega_2 \subset \mathbb{R}^d$
- Un écoulement diphasique, immiscible, incompressible uniquement soumis aux effets capillaires
- Pour tout $i \in \{1, 2\}$ sur chaque domaine Ω_i, nous avons

$$\phi(x) = \phi_i, \quad \eta_\beta(x,s) = \eta_{\beta,i}(s), \quad \pi(x,s) = \pi_i(s).$$

- La frontière $\partial\Omega$ est imperméable.

- Pour tout $i \in \{1,2\}$,

$$\boxed{\phi_i \frac{\partial s}{\partial t} - \Delta \varphi_i(s) = 0 \text{ on } \Omega_i \times (0,T)}$$

avec $\varphi_i^{'}(s) = \dfrac{\eta_{o,i}\eta_{w,i}}{\eta_{o,i}+\eta_{w,i}}(s)\pi_i^{'}(s)$.

- Sur l'interface $\Gamma = \partial\Omega_1 \bigcap \partial\Omega_2$, nous imposons
  - la <u>continuité du flux</u> :

$$\boxed{\overrightarrow{\nabla}\varphi_1(s_{1,\Gamma}).\overrightarrow{n}_{1,2} = -\overrightarrow{\nabla}\varphi_2(s_{2,\Gamma}).\overrightarrow{n}_{2,1},}$$

  - la <u>condition en pression</u> :

$$\boxed{\hat{\pi}_1(s_{1,\Gamma}) = \hat{\pi}_2(s_{2,\Gamma}).}$$

La formulation faible

1. Pour tout $i \in \{1,2\}$, $s = s_i$ sur $\Omega_i \times (0,T)$ avec $s_i \in L^\infty(\Omega_i \times (0,T))$, $0 \leq s_i \leq 1$, $\varphi_i(s_i) \in L^2(0,T,H^1(\Omega_i))$,

2. Pour tout $\psi \in C_{test} = \{\psi \in H^1(\Omega \times (0,T)) \ / \ \psi(.,T) = 0\}$,

$$\boxed{\begin{aligned}&\int_0^T \int_{\Omega_1} s_1 \psi_t - \overrightarrow{\nabla} \varphi_1(s_1).\overrightarrow{\nabla}\psi \ dxdt + \\ &\int_0^T \int_{\Omega_2} s_2 \psi_t - \overrightarrow{\nabla} \varphi_2(s_2).\overrightarrow{\nabla}\psi \ dxdt + \int_\Omega s_{ini}\psi(.,0)dx = 0.\end{aligned}}$$

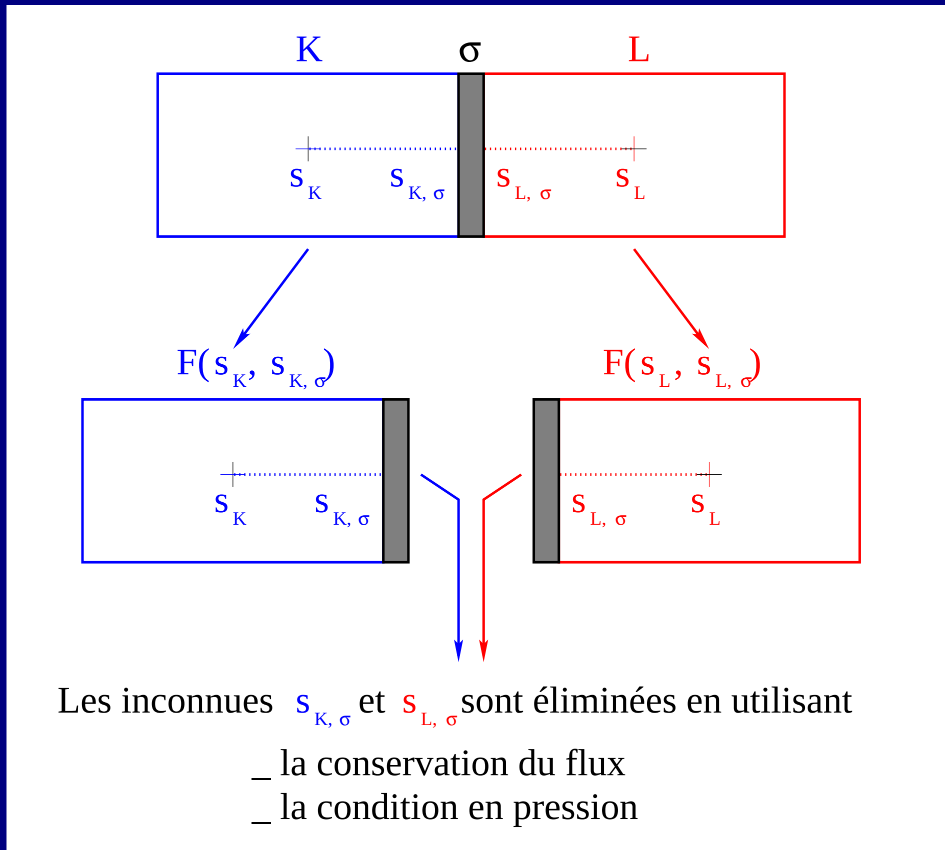
3. La fonction $w = \Psi(\hat{\pi}_i(s_i))$ sur $\Omega_i \times (0,T)$ avec

$$\Psi : \left\{ \begin{array}{l} [\pi_2(0), \pi_1(1)] \rightarrow \mathbb{R} \\ p \mapsto \displaystyle\int_{\pi_2(0)}^{p} \min(\lambda_1(\pi_1^{(-1)}(a)), \lambda_2(\pi_2^{(-1)}(a)))da \end{array} \right.$$

appartient à $L^2(0,T,H^1(\Omega))$.

Schéma volumes finis

Principe



Définition

Pour tous $n \in \{0, \ldots, M\}$, $K \in \mathcal{T}_i$, $i \in \{1, 2\}$, $(s_K^{n+1})_{K \in \mathcal{T}}$ satisfait

$$\boxed{\begin{array}{l} m(K)\phi_i \dfrac{s_K^{n+1} - s_K^n}{\delta t} + \displaystyle\sum_{L \in N(K), L \in \mathcal{T}_i} \tau_{K|L} \left(\varphi_i(s_K^{n+1}) - \varphi_i(s_L^{n+1})\right) + \\ \displaystyle\sum_{\sigma \in \mathcal{E}_{int,1,2} \bigcap \mathcal{E}_K} \frac{m(\sigma)}{d_{K,\sigma}} \left(\varphi_i(s_K^{n+1}) - \varphi_i(s_{K,\sigma}^{n+1})\right) = 0 \end{array}}$$

où, pour tous $K|L \in \mathcal{E}_{int,1,2}$, $K \in \mathcal{T}_1$ et $L \in \mathcal{T}_2$, $s_{K,K|L}^{n+1}$ et $s_{L,K|L}^{n+1}$ sont solutions de

$$\boxed{\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{\varphi_1(s_K^{n+1}) - \varphi_1(s_{K,K|L}^{n+1})}{d_{K,K|L}} = \dfrac{\varphi_2(s_{L,K|L}^{n+1}) - \varphi_2(s_L^{n+1})}{d_{L,K|L}}, \\ \hat{\pi}_1(s_{K,K|L}^{n+1}) = \hat{\pi}_2(s_{L,K|L}^{n+1}). \end{array} \right.}$$

Résultats

- Stabilité du calcul des saturations, existence d'une solution discrète.
- A une sous-suite près $(s_{\mathcal{D}_m})_{m\in\mathbb{N}}$ est telle que

$$\boxed{\begin{array}{l} s_{\mathcal{D}_m} \overset{m\to+\infty}{\longrightarrow} s_1 \text{ dans } L^q(\Omega_1\times(0,T))\bigcap L^\infty(\Omega_1\times(0,T)), \\ s_{\mathcal{D}_m} \overset{m\to+\infty}{\longrightarrow} s_2 \text{ dans } L^q(\Omega_2\times(0,T))\bigcap L^\infty(\Omega_2\times(0,T)) \end{array}}$$

  pour tout $1 \le q < \infty$.
- Les fonctions s_i, $i \in \{1, 2\}$, satisfont le problème faible.

Preuve de convergence

- Pour tout $i \in \{1,2\}$, $|\varphi_i(s_{\mathcal{D}})|_{1,\mathcal{D},i}$ est bornée et sur l'interface Γ, nous avons

$$\boxed{\begin{aligned} 0 \le \sum_{n=0}^{M} \delta t \sum_{(K,L)\in\mathcal{E}_\Gamma} \tau_{K,K|L} \left(\varphi_1(s_K^{n+1}) - \varphi_1(s_{K,K|L}^{n+1})\right)\left(\pi_1(s_K^{n+1}) - \pi_2(s_L^{n+1})\right) = \\ \sum_{n=0}^{M} \delta t \sum_{(K,L)\in\mathcal{E}_\Gamma} \tau_{L,K|L} \left(\varphi_2(s_{L,K|L}^{n+1}) - \varphi_2(s_L^{n+1})\right)\left(\pi_1(s_K^{n+1}) - \pi_2(s_L^{n+1})\right) \le C. \end{aligned}}$$

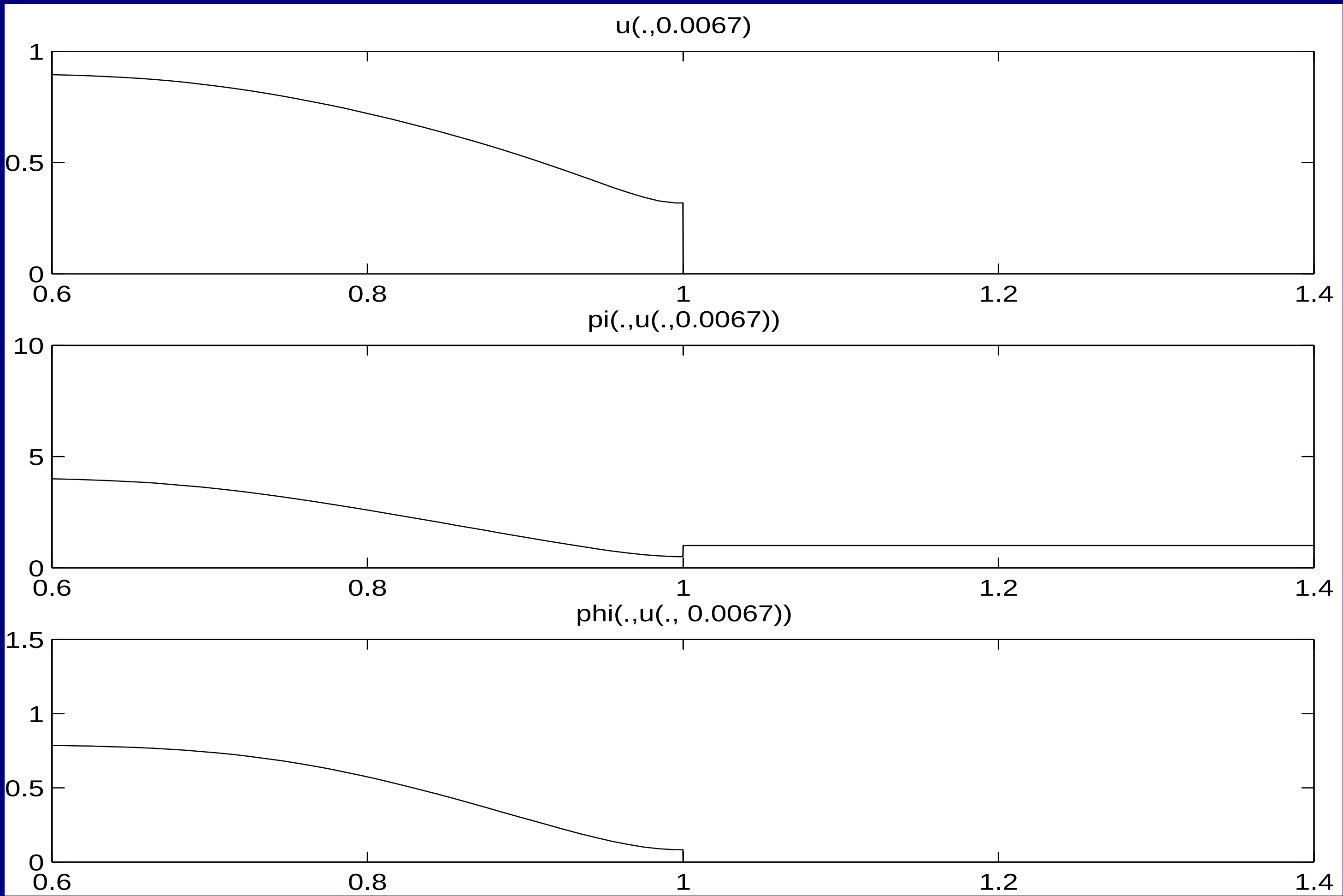
- Soit $w_{\mathcal{D}}$ la fonction définie pour tous $n \in \{0,...,M\}$, $i \in \{1,2\}$, $K \in \mathcal{T}_i$ par $w_K^{n+1} = \Psi(\hat{\pi}_i(s_K^{n+1}))$. Nous avons

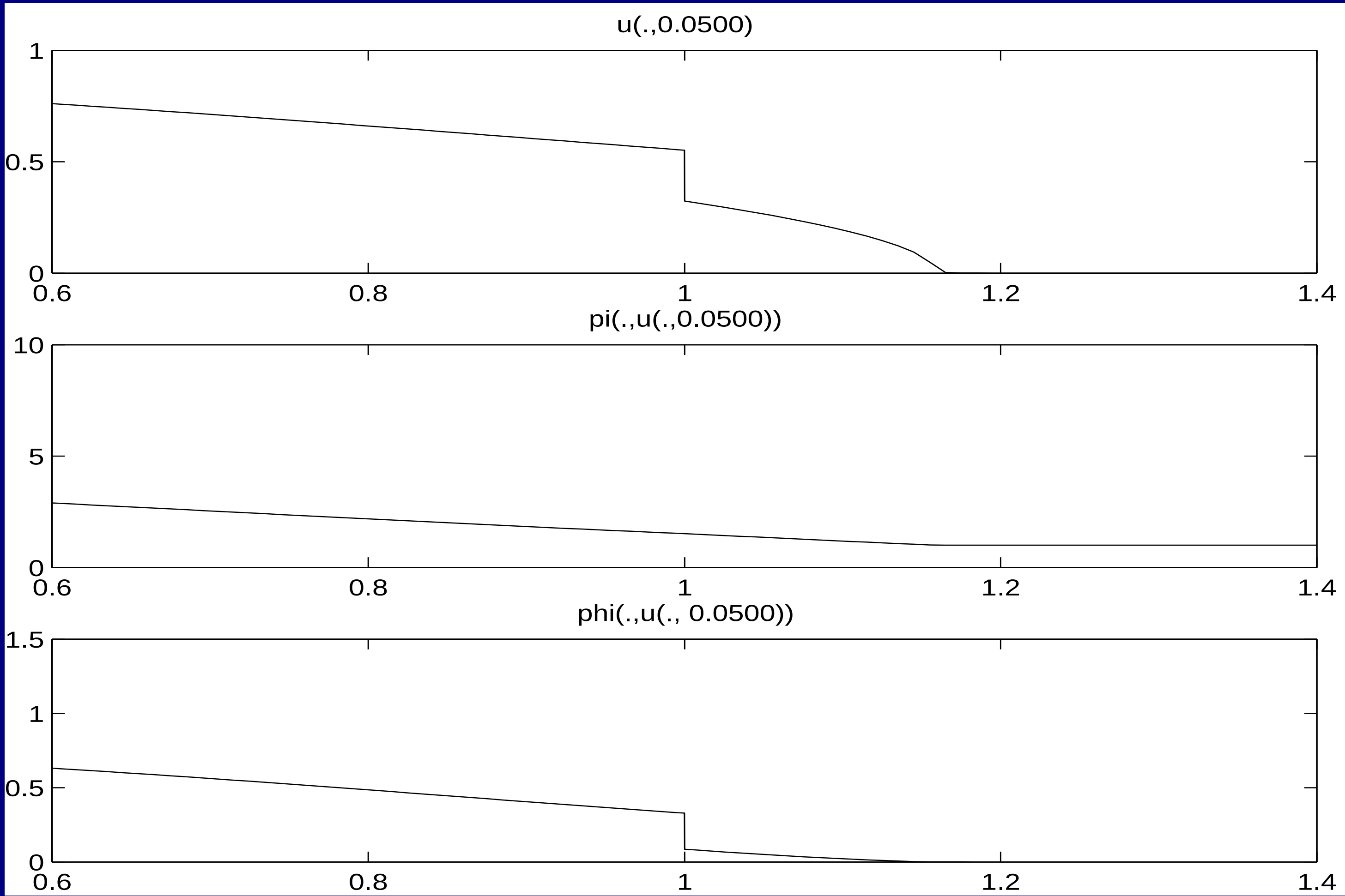
$$\boxed{|w_{\mathcal{D}}|_{1,\mathcal{D}} \le C.}$$

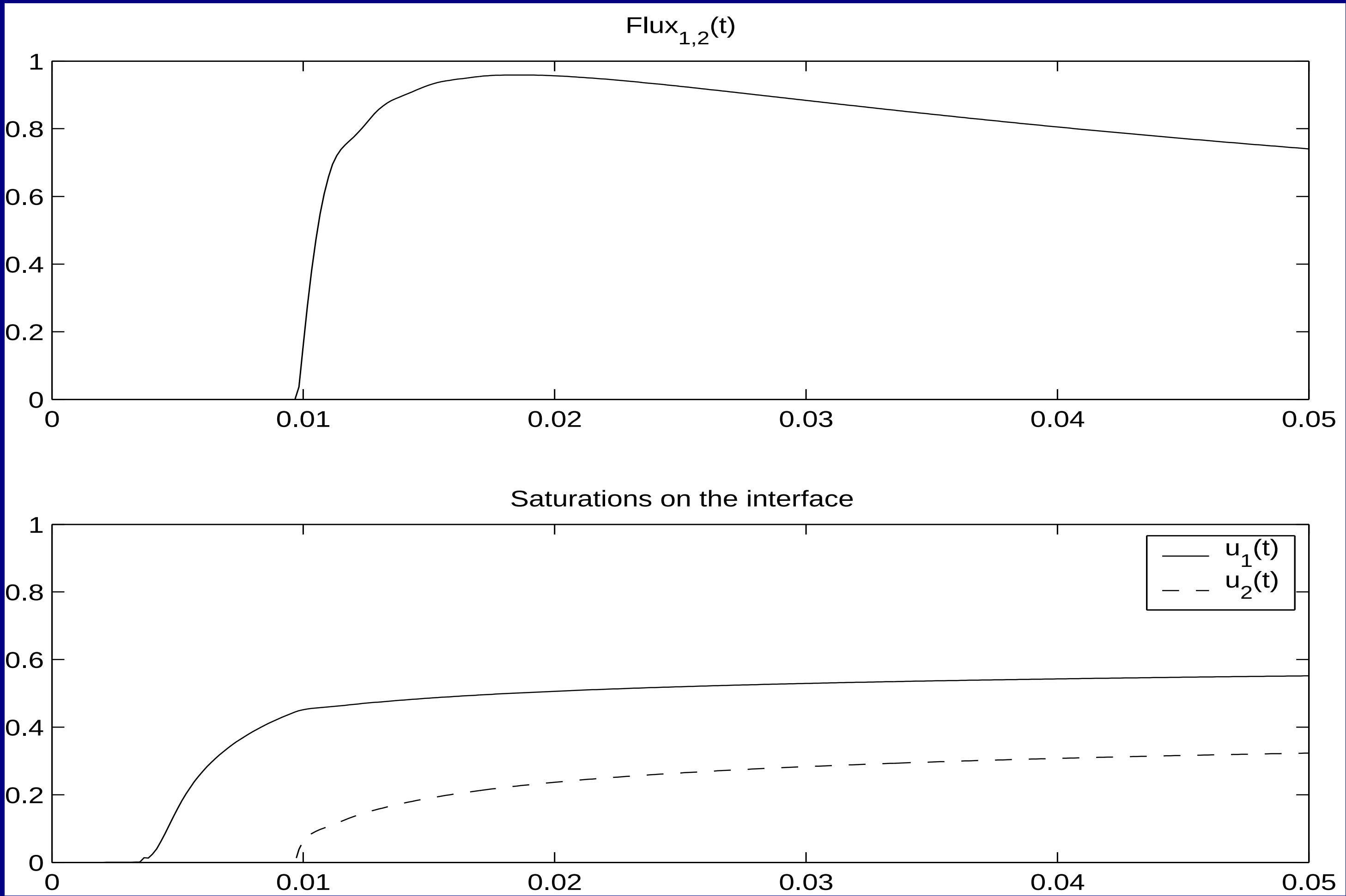
Résultats numériques

Test 1

- $\Omega_1 =]0,1[$, $\Omega_2 =]1,2[$, $\phi_1 = \phi_2 = 1$
- $\eta_o(s) = s$, $\eta_w(s) = 1 - s$, $\pi_1(s) = 5s^2$, $\pi_2(s) = 5s^2 + 1$
- $s_{\text{ini}}(x) = \begin{cases} 0.9 & \text{si } x < 0.9 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $\delta t = \frac{1}{6}.10^{-3}$, $\delta x = 10^{-2}$

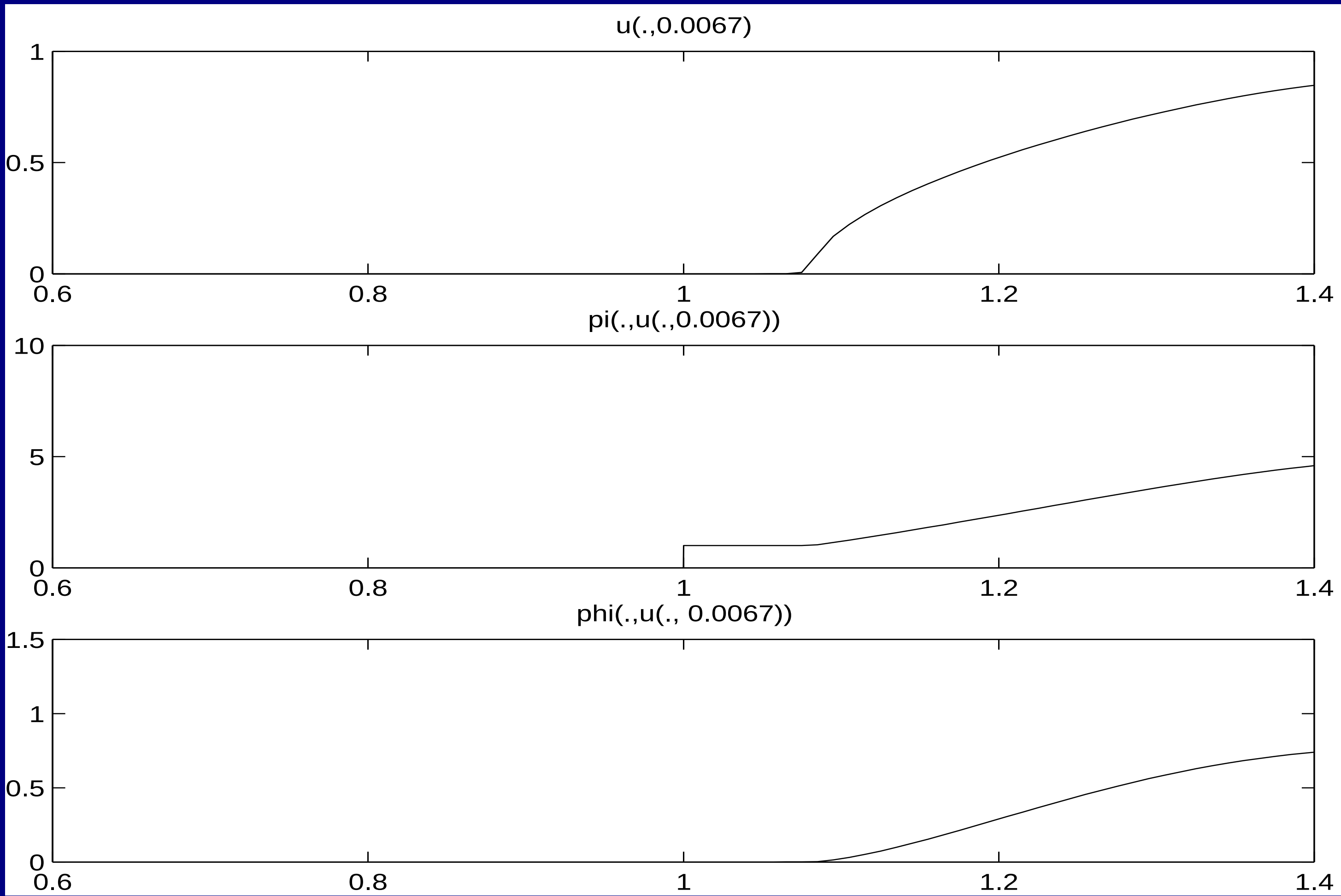

u(.,0.0067)
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
pi(.,u(.,0.0067))
10
5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
phi(.,u(., 0.0067))
1.5
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4

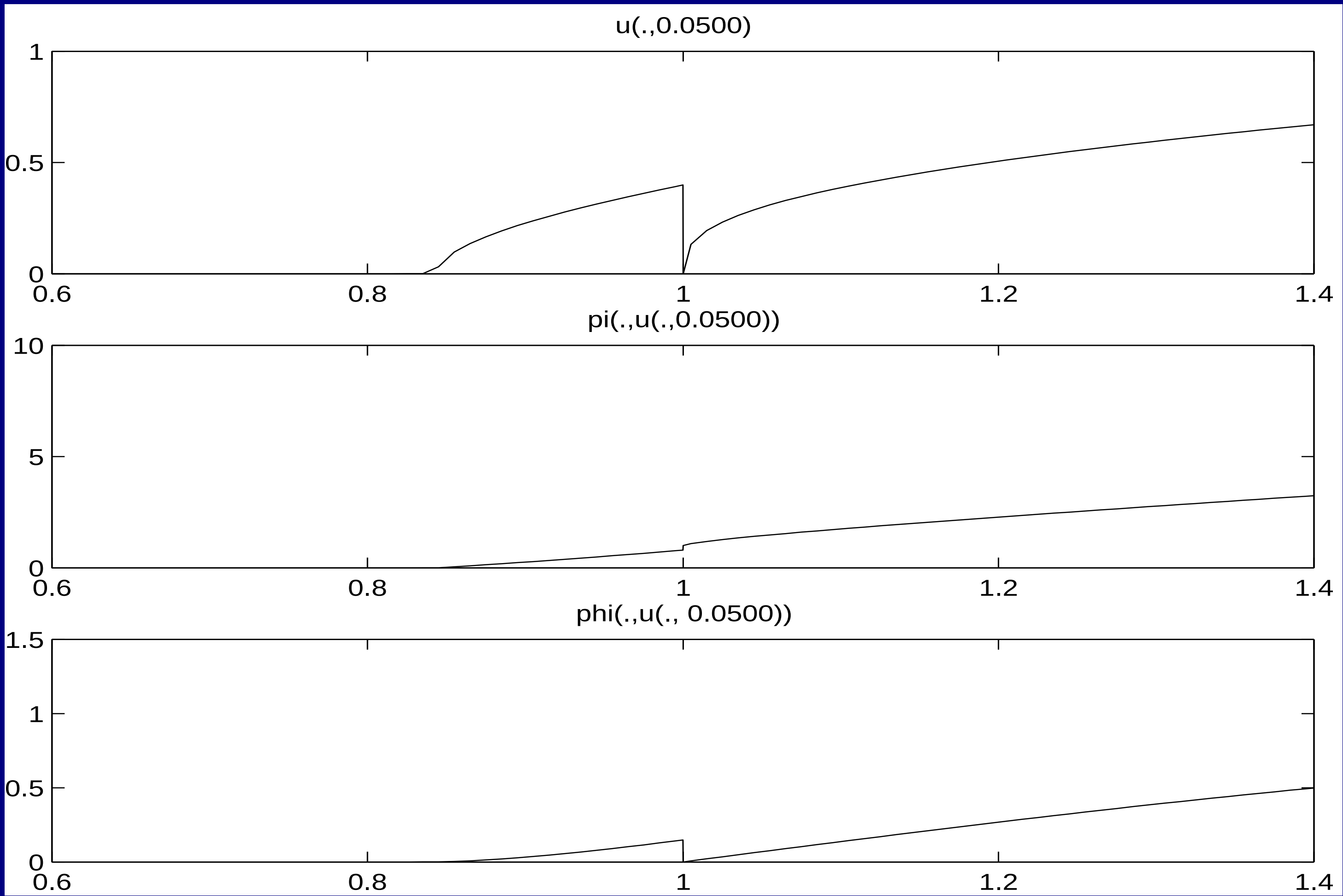

u(.,0.0500)
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
pi(.,u(.,0.0500))
10
5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
phi(.,u(., 0.0500))
1.5
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4

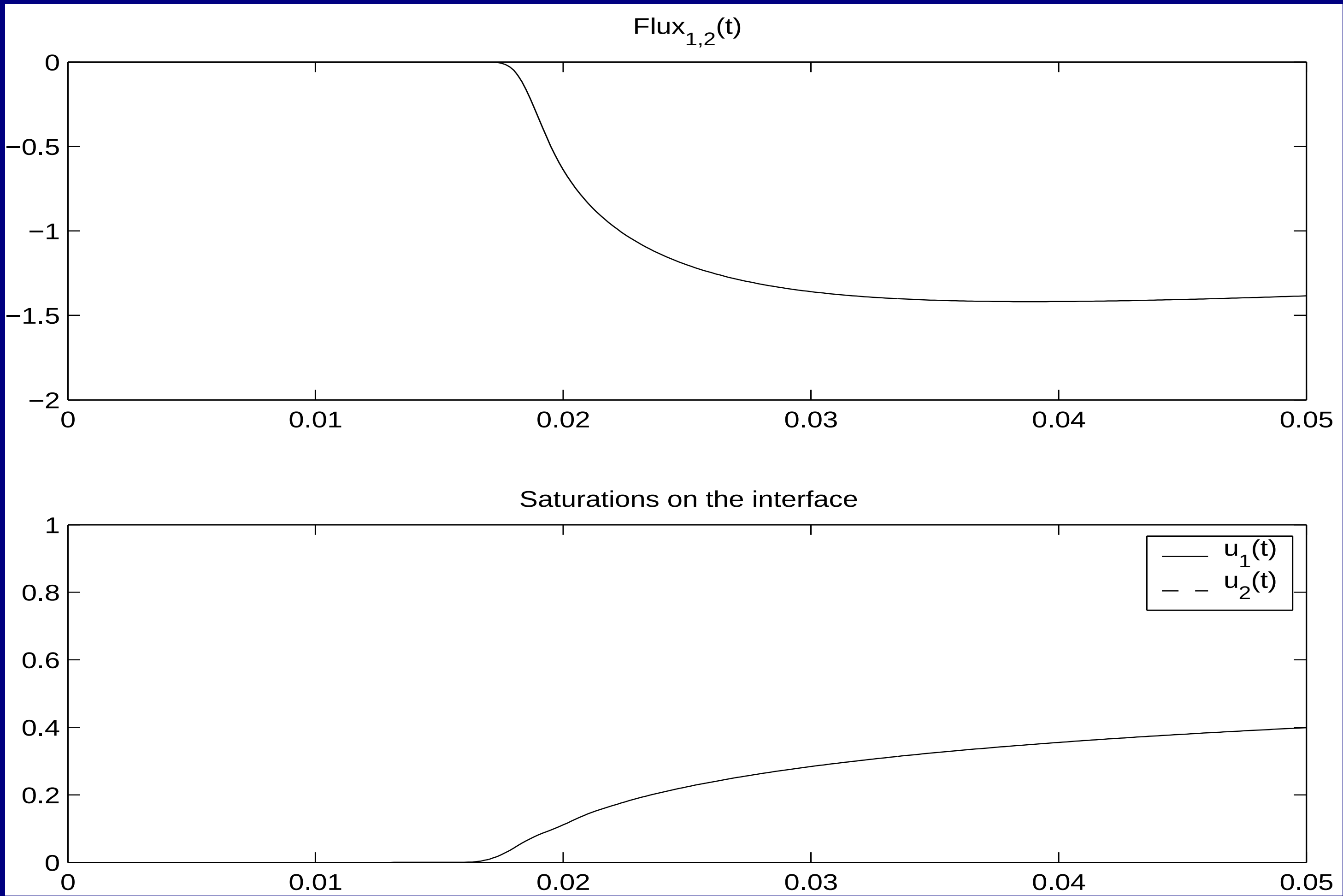

Flux1,2(t)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
Saturations on the interface
u1(t)
u2(t)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05

Test 2

- $\Omega_1 =]0,1[$, $\Omega_2 =]1,2[$, $\phi_1 = \phi_2 = 1$
- $\eta_o(s) = s$, $\eta_w(s) = 1 - s$, $\pi_1(s) = 5s^2$, $\pi_2(s) = 5s^2 + 1$
- $s_{\text{ini}}(x) = \begin{cases} 0.9 & \text{si } x > 1.2 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$
- $\delta t = \frac{1}{6}.10^{-3}$, $\delta x = 10^{-2}$


u(.,0.0067)
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
pi(.,u(.,0.0067))
10
5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
phi(.,u(., 0.0067))
1.5
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4


u(.,0.0500)
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
pi(.,u(.,0.0500))
10
5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4
phi(.,u(., 0.0500))
1.5
1
0.5
0
0.6
0.8
1
1.2
1.4


Flux$_{1,2}$(t)
0
−0.5
−1
−1.5
−2
0
0.01
0.02
0.03
0.04
0.05
Saturations on the interface
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
u$_1$(t)
u$_2$(t)

Conclusion

- Meilleure compréhension des pièges capillaires
- Définition des conditions d'interface permettant d'améliorer la précision des schémas
- Extension possible à un modèle tenant compte de la gravité et d'un flux total
- L' unicité de la solution faible n'a été démontrée que dans un cas particulier (C.J. van Duijn, 2003).

Plan

1. Le modèle Dead-Oil
2. Un schéma à nombre de Péclet variable
3. Pression capillaire et changement de type de roches
4. Conclusions et perspectives

Plan

1. Le modèle Dead-Oil

2. Un schéma à nombre de Péclet variable

3. Pression capillaire et changement de type de roches

4. Conclusions et perspectives

Conclusions

- Extension des résultats mathématiques existants sur le schéma amont des pétroliers à des modèles d'écoulements plus proches de la simulation de bassin
- Mise au point d'un schéma peu coûteux et plus précis que le schéma amont des pétroliers
- Meilleure compréhension des mécanismes de barrières capillaires

Perspectives

- Extension de l'étude du schéma amont des pétroliers à des écoulements plus complexes (compressibles, compositionnels...)
- Amélioration des modèles existants par la prise en compte d'autres phénomènes physiques (diffusion, dispersion des espèces hydrocarbures, migration du gaz par diffusion dans l'eau...)
- Diminution des temps de calcul