

Schéma VF Multi-points pour modéliser les transferts thermiques dans les bassins sédimentaires

L. Agelas, I. Faille

Logiciel commercial Temis3D

Retour d'expérience sur des maillages 3D

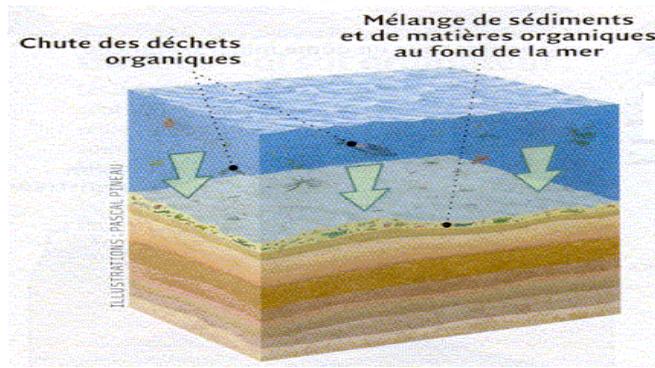
- Problématique
- Schémas MPFA
- Résultats, problèmes rencontrés

Institut Français du Pétrole, 1 et 4 avenue de Bois Préau, 92852 Rueil Malmaison

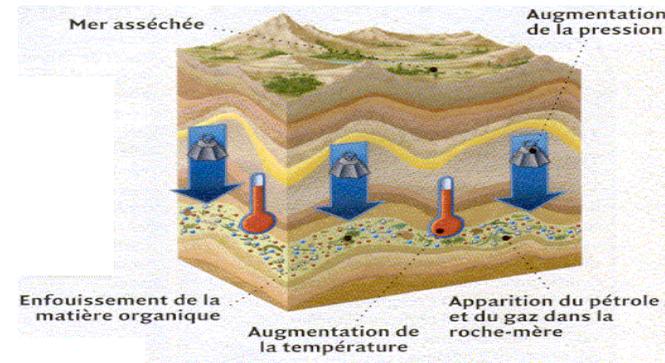
e-mail: Isabelle.Faille@ifp.fr

Simulation de bassins sédimentaires

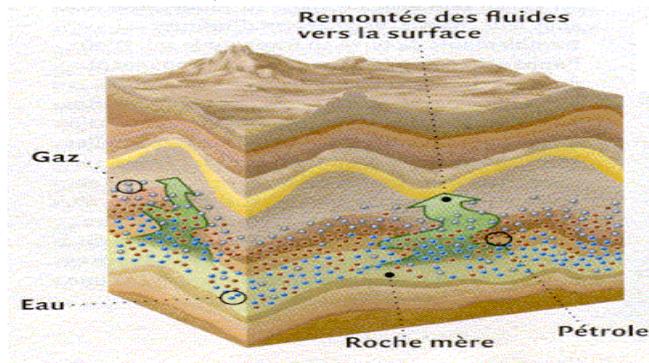
Dépot de sédiments
et de matière organique



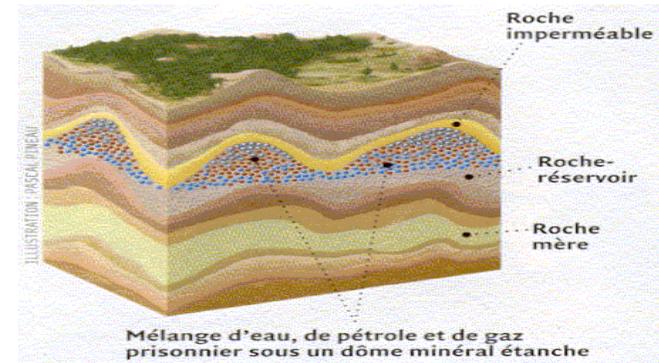
Enfouissement, augmentation de T
génération des hc



Expulsion / Migration des hc



Piégage des hc dans un réservoir



⇒ rôle important de la température

Modèles de bassin

- Transferts fluides : conservation de masse, Darcy

$$\frac{\partial(\phi S_\alpha \rho_\alpha)}{\partial t} + \text{div}(\phi S_\alpha \rho_\alpha \vec{V}_\alpha) = \rho_\alpha q_\alpha$$

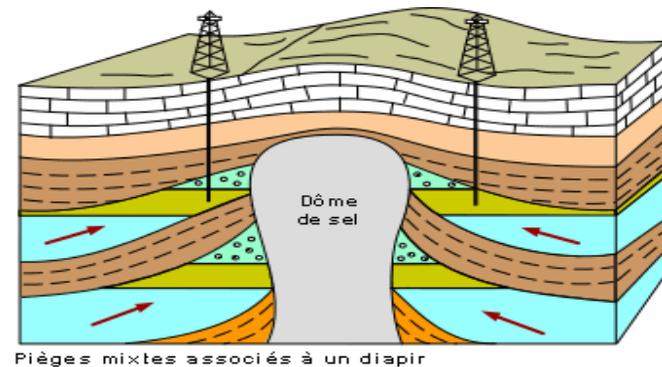
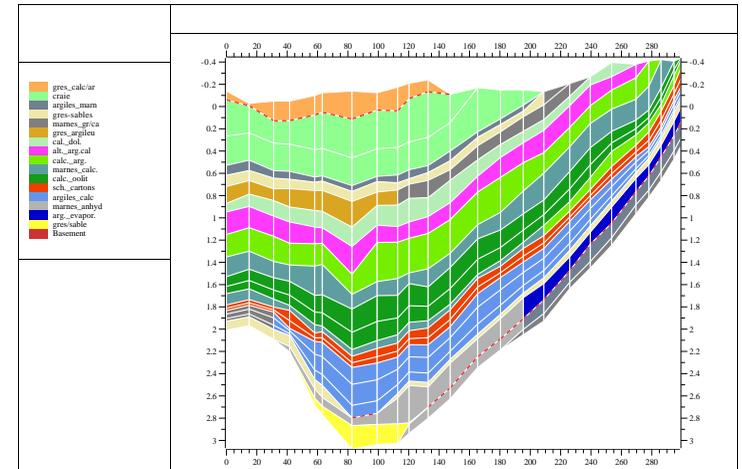
Terme source hc : **craquage thermique** par cinétique 1er ordre

- Equilibre mécanique vertical 1D, loi de compaction
- Transferts thermiques pour le milieu poreux :
accumulation + convection + conduction = radioactivité

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho c_b T) + \text{div}\left(\sum_{\alpha=s,w,o,g} \rho_\alpha \phi_\alpha S_\alpha c_\alpha T \vec{V}_\alpha - \lambda_b \overrightarrow{\text{Grad}T}\right) = q_h$$

Maillages utilisés

- Suit les couches géologiques
 - 3D : héxaèdres avec arêtes verticales (dégénérées)
- Bien adaptés aux écoulements
 - fortes hétérogénéités de la perméabilité
 - écoulements le long des couches ou verticaux
- Mal adaptés aux transferts conductifs
 - faibles contrastes de conductivités
 - dome de sel : imperméable mais très conducteur



Schémas

- Transferts fluides : schéma VF centrés sur les mailles à 2 points
 - Transferts thermiques : VF centrés sur les mailles
 - Flux convectifs : décentré amont
 - Flux conductifs
 - schéma à 2 points : résultats inacceptables
- isothermes qui suivent la déformation du maillage et donc les couches
- besoin d'un schéma précis

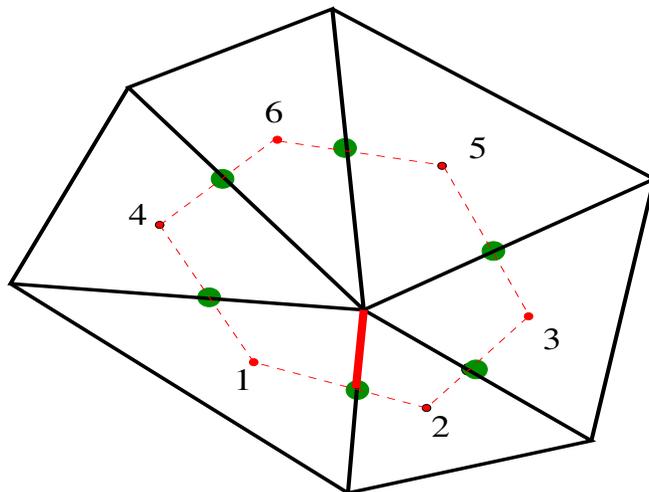
Schéma pour les flux conductifs

- Cahier des charges
 - schéma VF centré sur les mailles (conservatif)
 - maillages 2D, 3D (héxaèdres très déformés)
 - Approximation consistante du flux
 - capable de prendre en compte de faibles hétérogénéités
 - assurant le principe du max (robustesse quelque soit le maillage)
- Schéma Multi-points MPFA de l'équipe norvégienne de Aavatsmark

Principe des schémas MPFA

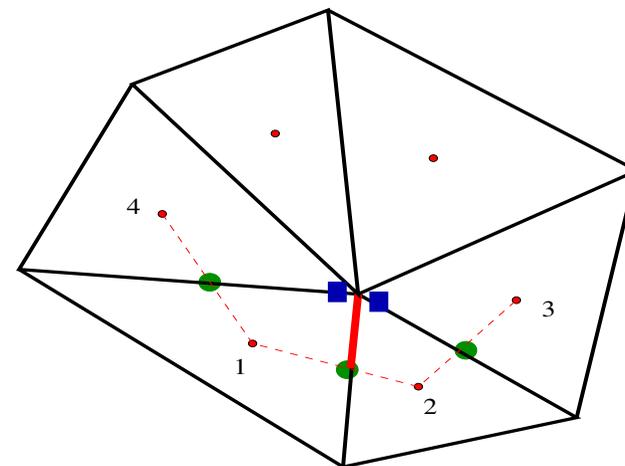
- Inconnues aux centres des mailles
- Approximation par demi-arête
 - Région d'interaction
 - Reconstruction "locale" de T : approximation affine par maille
 - Continuité flux, température entre mailles

O schéma



● Continuité du flux et de T

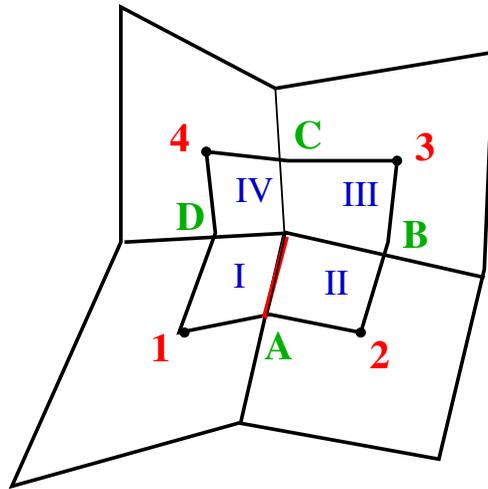
U schéma



● Continuité du flux et de T

■ Continuité de T

Ex : O schéma sur quadrangles



- Inconnues auxiliaires : T_A, T_B, T_C, T_D
- Approximation linéaire par sous-maille :

$$T_I(x, y) = T_1\varphi_1(x, y) + T_A\varphi_A(x, y) + T_B\varphi_B(x, y)$$

- Continuité des flux

$$\text{ex : } \lambda_I \overrightarrow{\text{grad}} T_I \cdot \vec{n}(x_A, y_A) = \lambda_{II} \overrightarrow{\text{grad}} T_{II} \cdot \vec{n}(x_A, y_A)$$

4 équations \longrightarrow élimination de T_A, T_B, T_C, T_D

- Flux = $\alpha_1 T_1 + \alpha_2 T_2 + \alpha_3 T_3 + \alpha_4 T_4$

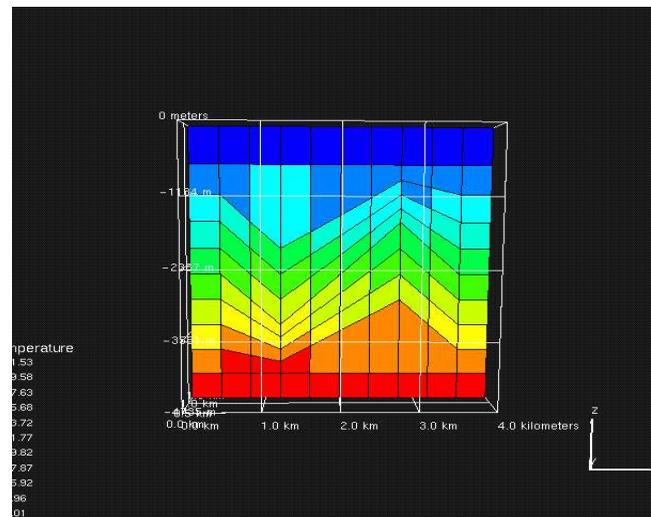
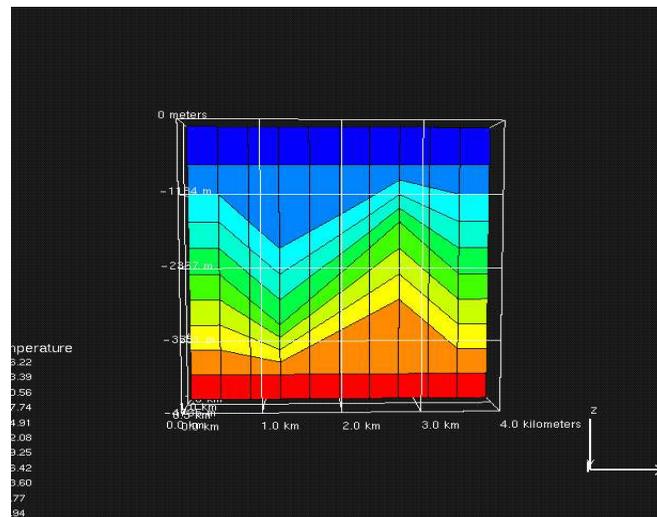
O-schéma

- Généralisation à 3D : schéma 27 points sur des hexaèdres
 - pas trop difficile à implémenter
 - système 12x12 par noeud, simplifié en tenant compte des verticales
 - schéma 2 points autour des points non structurés (biseaux)
- Avantages
 - Bonne prise en compte de la déformation du maillage, des hétérogénéités, de l'anisotropie
 - Dégénère vers une approx. à 2 points pour des maillages "orthogonaux"
- Inconvénients
 - pas de principe du max si maillage trop déformé

Test de Kershaw

Conduction stationnaire
Solution schéma 2 points

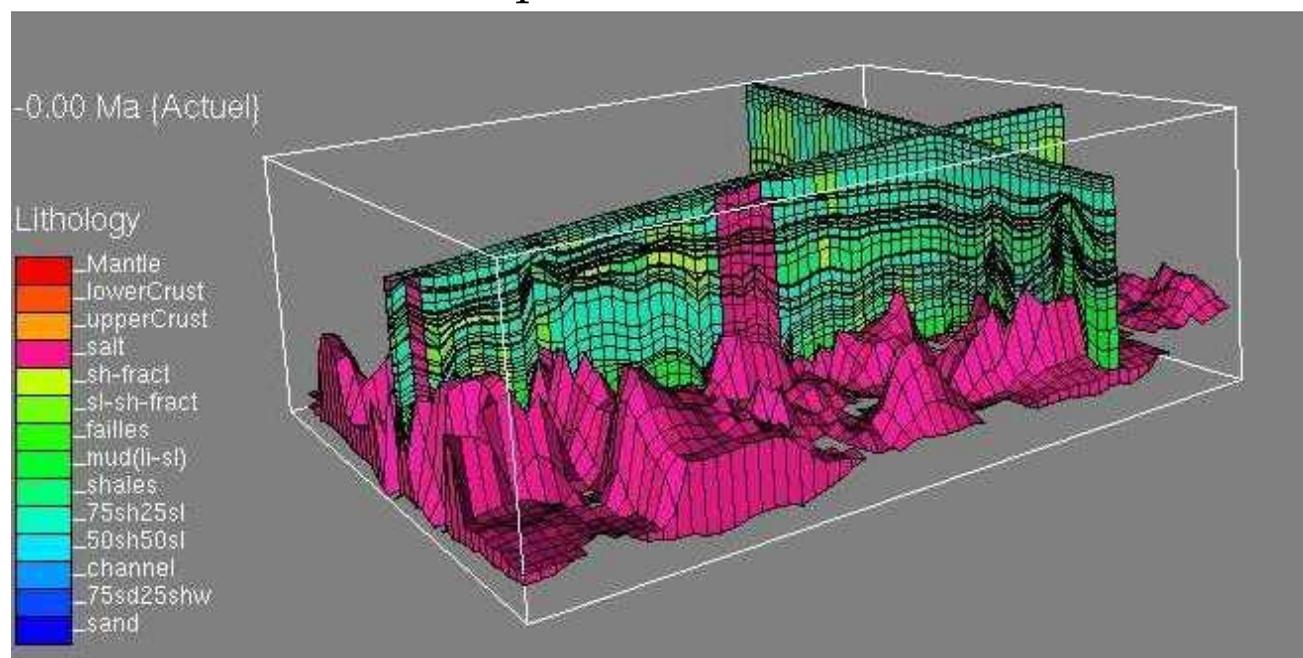
Solution O schéma
= Solution exacte



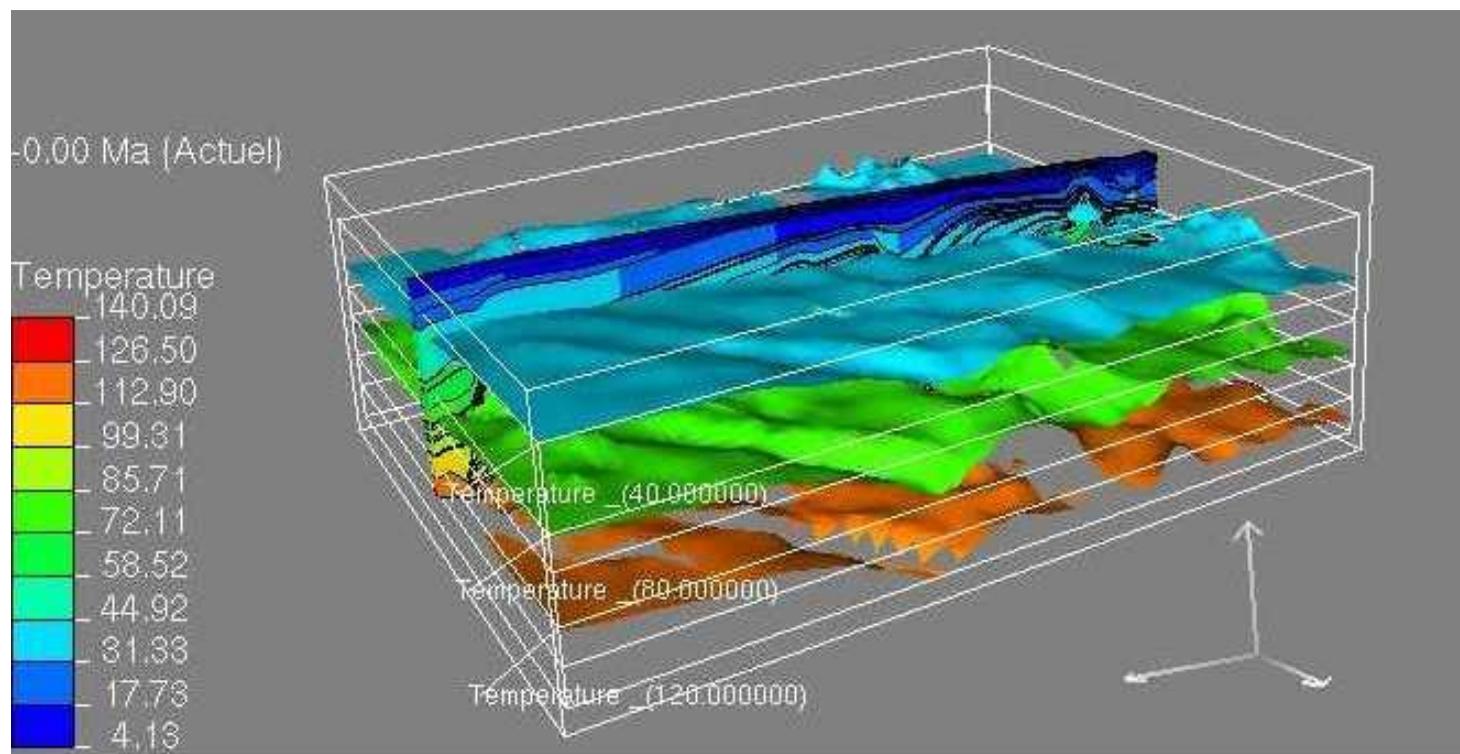
Ex 1 : maillage pas trop déformé

Distribution des lithologies

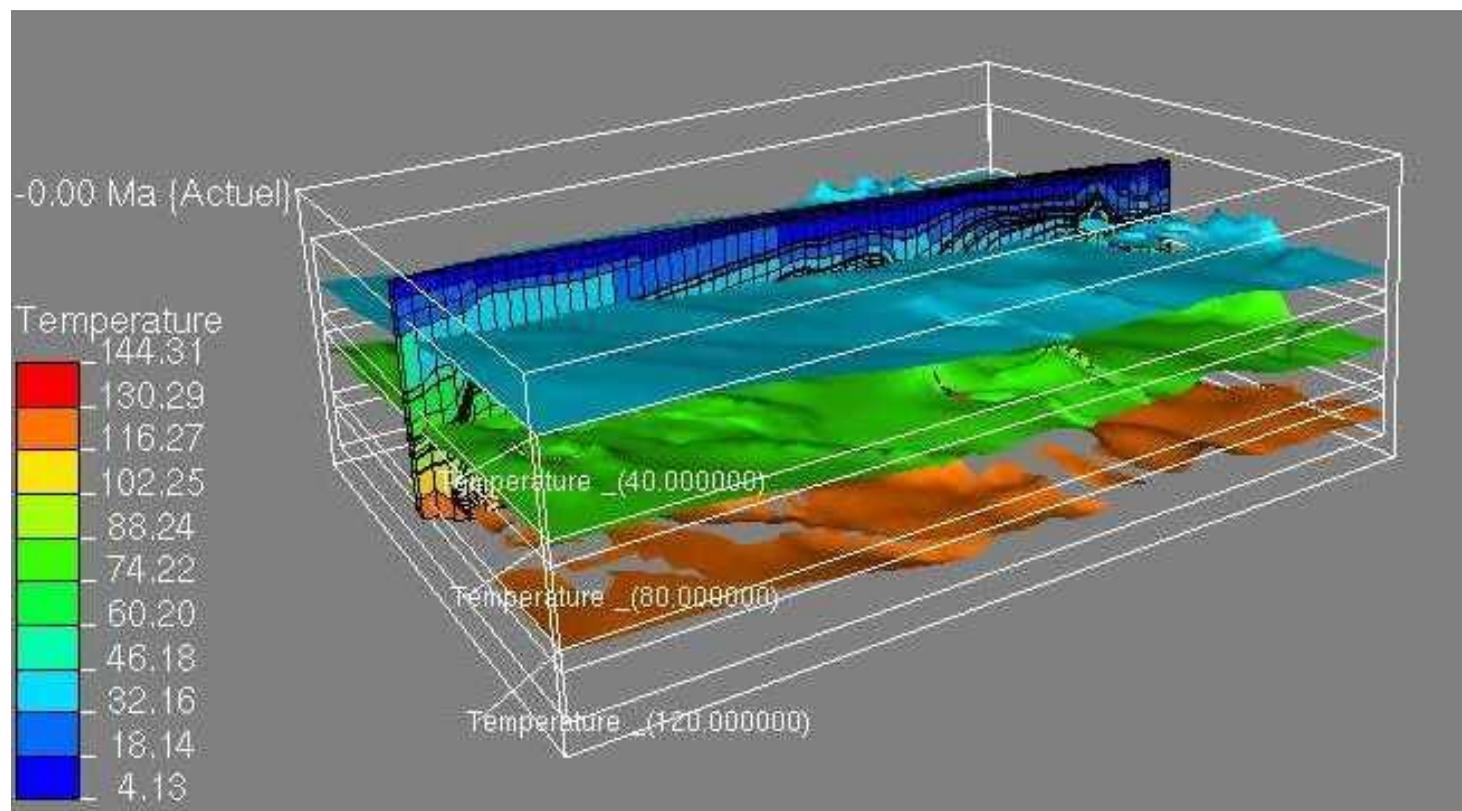
Echelle verticale x 5 pour la visu



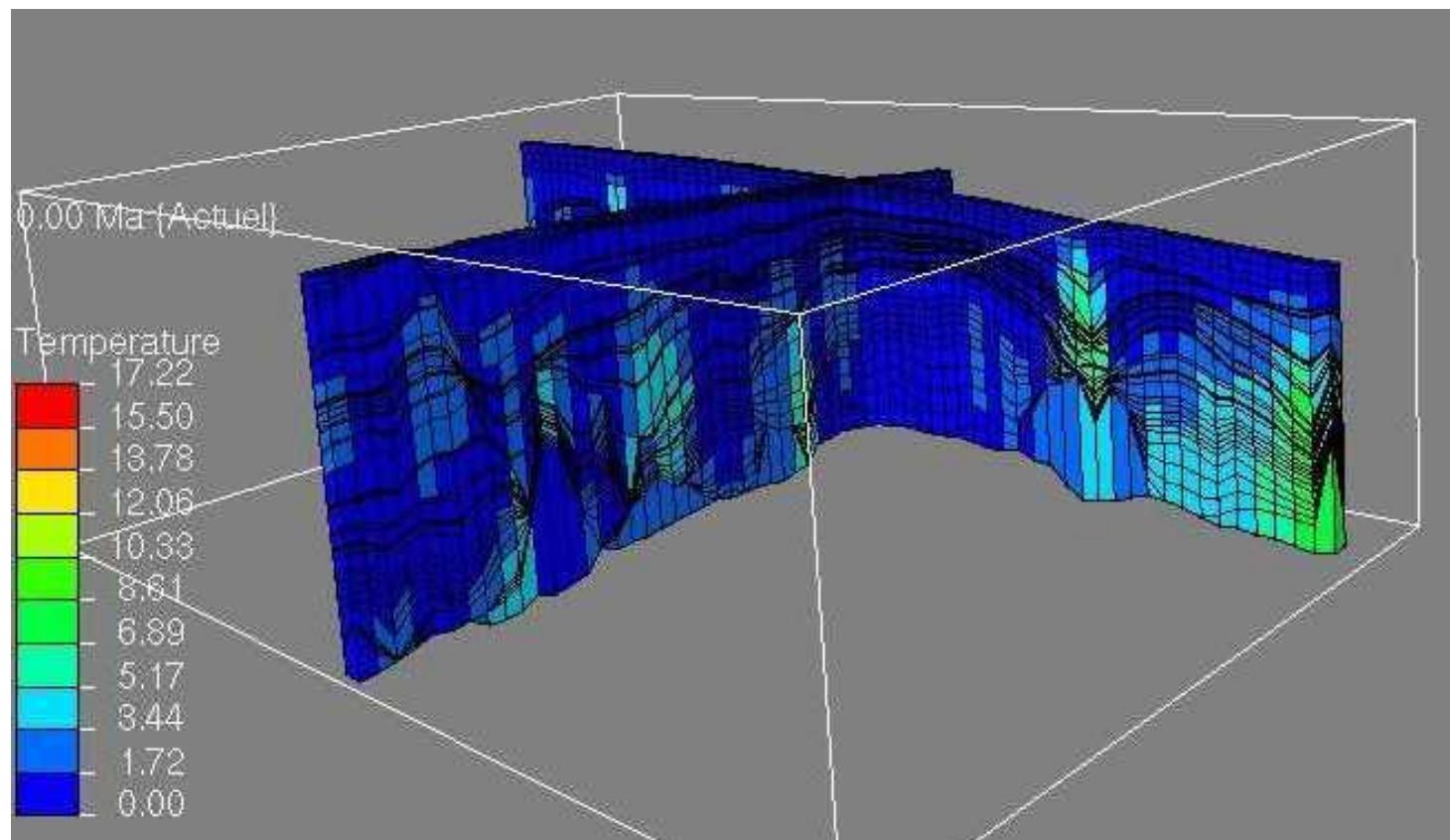
Ex 1 : Isothermes schéma 2 points



Ex 1 : Isothermes schéma O schéma

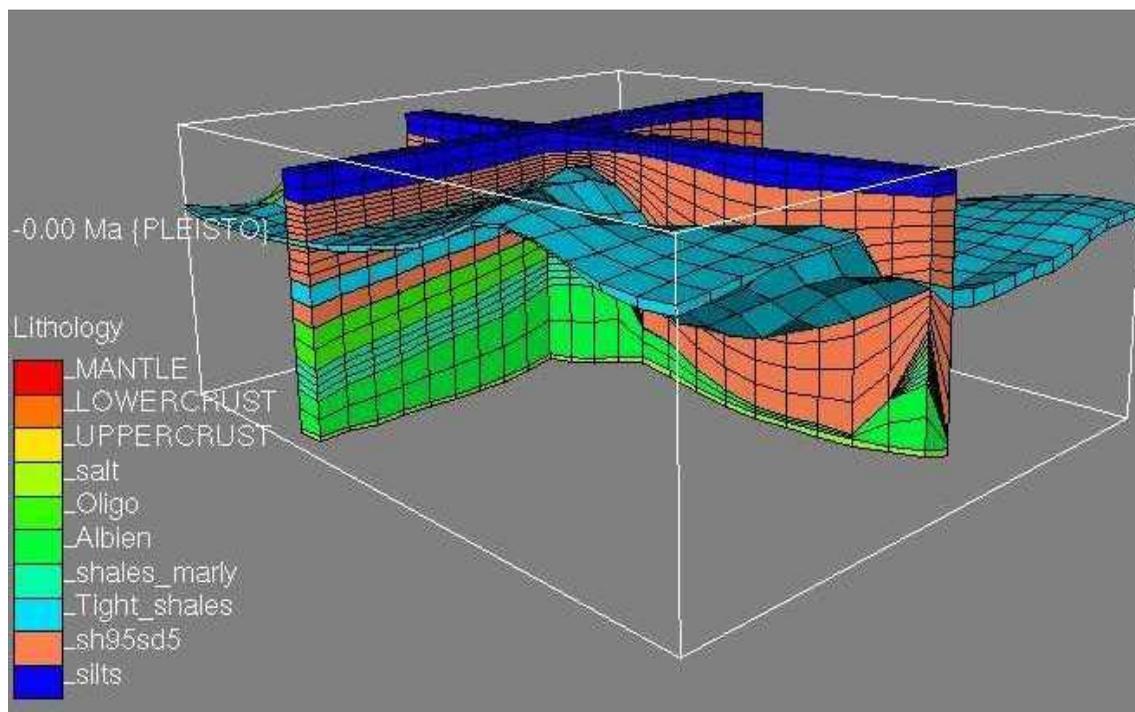


Ex 1 : Différence 2points / Oschéma



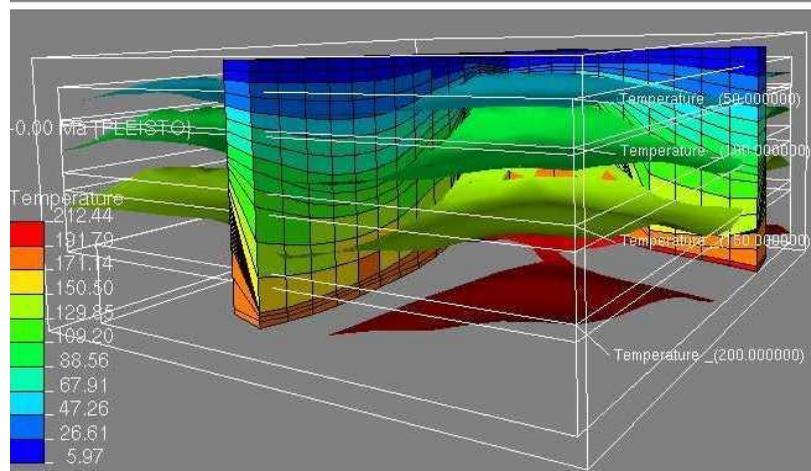
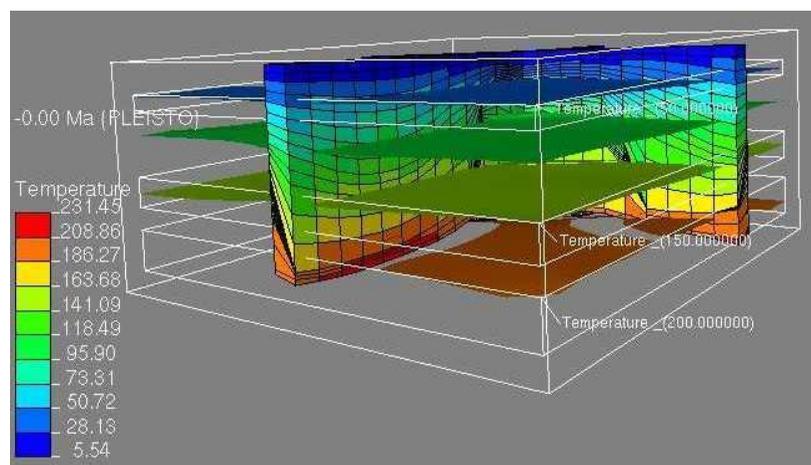
Ex 2 : limites du O-schéma

Sous Bloc extrait d'un cas réel



Ex 2 : limites du O-schéma

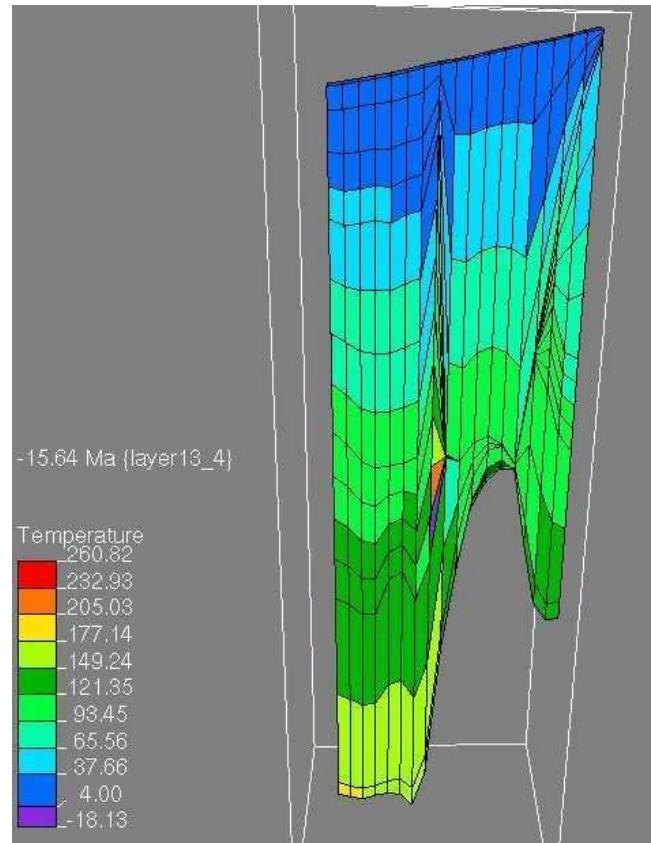
Isothermes O-schéma / 2points



Ex 2 : Principe du maximum

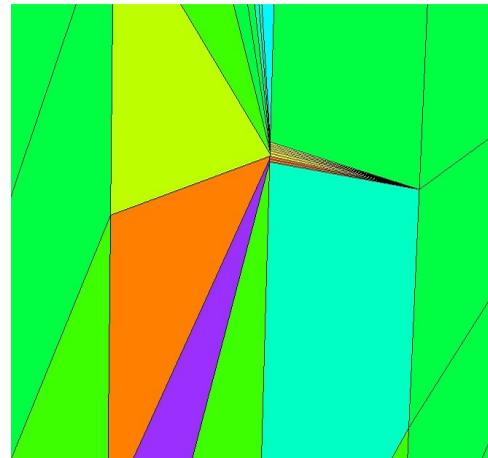
Déformation artificielle en changeant les échelles horizontales (facteur 10)

- Températures négatives
- Pb de solveurs



Ex 2 : Principe du maximum

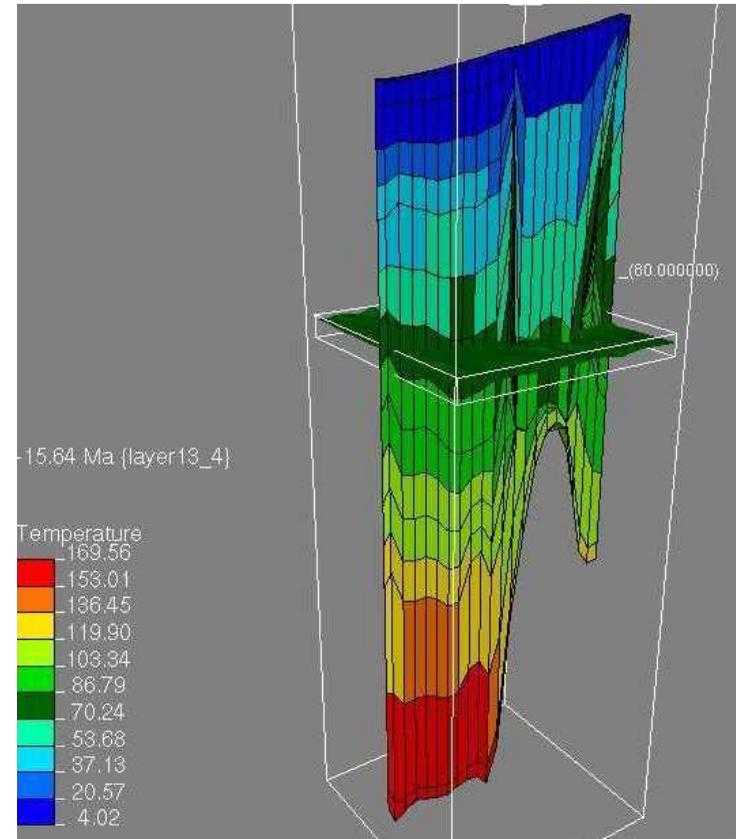
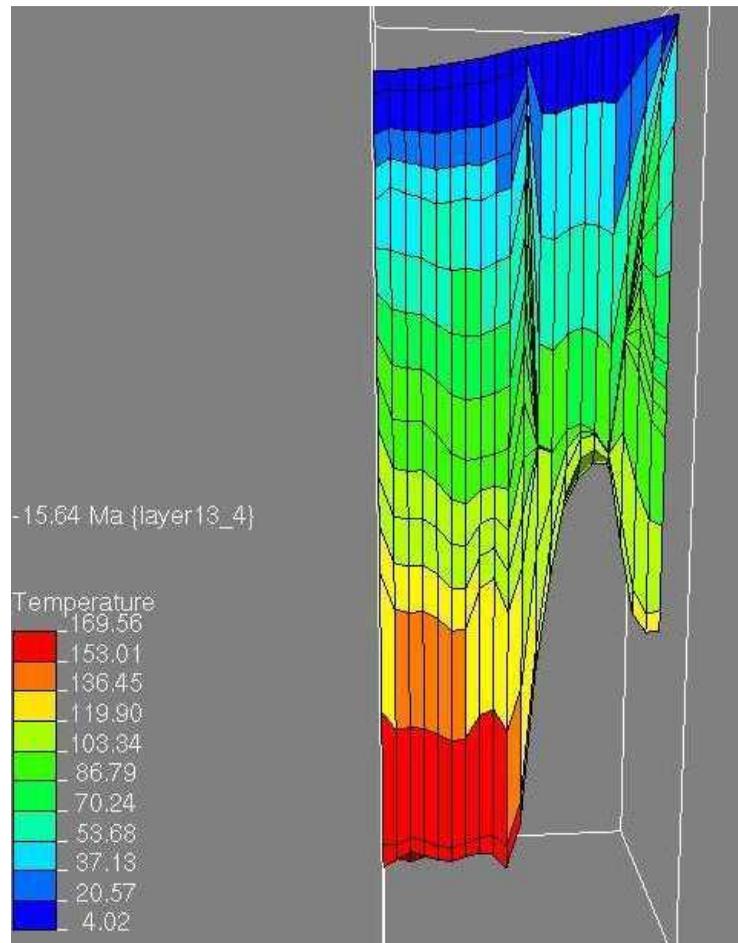
Zoom sur la zone à problème



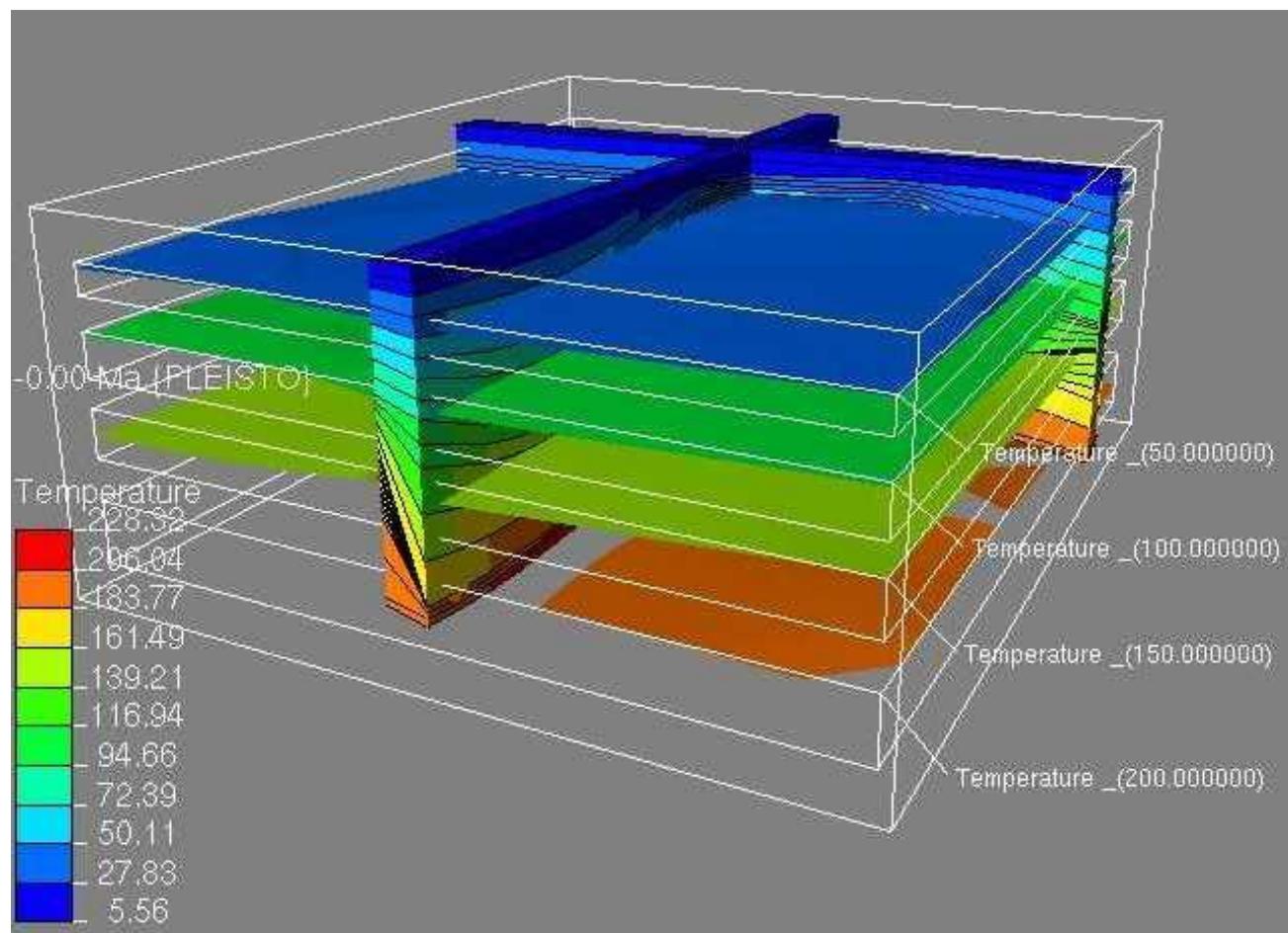
Remèdes :

- Amélioration des maillages : 3D mobile, pas toujours simple...
- Changement “local” de schéma : schéma à 2 points suivant les coefficients du flux sur une arête
 - coefficients principaux (mailles voisines) du mauvais signe
 - autres coefficients “pas trop grands” par rapport aux coeff principaux

Schéma modifié



Bloc original - schéma modifié



Conclusion - Perspectives

- O schéma + 2 points : solution pragmatique, relativement robuste
- Principe du max pas garanti
- Articles récents de l'équipe norvégienne
 - Mise en évidence de la perte du principe du max sur un maillage de parallélogrammes
 - Alternative : région d'interaction construite avec les mailles dont les centres sont les plus proches, Z-schéma