

**Modélisation mécanique
de la
lithosphère :
méthodes numériques**

Plan du cours

I- Q1: La lithosphère comme un système continu ?
Q2: Modèle cinématique ou dynamique ?
Mécanique de la lithosphère : dark side and sunny side

II- Déformation du milieu continu

III- Contraintes et équilibre dynamique

IV- Rhéologie et lois de comportement

V- Modélisation mécanique des milieux discrétisés

VI- Un exemple de modélisation : la subduction

VII- Mise en pratique : le code ADELI

La modélisation mécanique : pourquoi et comment ?

Pourquoi modéliser la nature (les phénomènes) ?

Réponses étudiants M2 2007

- Avoir une vision globale des phénomènes
- simplifier un système complexe
- identifier des processus dans un cadre bien défini
- évaluer l'impact de paramètres sur l'évolution du système

La modélisation mécanique : pourquoi et comment ?

Pourquoi modéliser la nature (les phénomènes) ?

- Pour la reproduire au mieux
- Pour répondre à une question que vous vous posez
- Pour isoler les phénomènes physiques dominants
- Pour caler les paramètres des lois de comportement
- Pour interpréter des corrélations entre des observables
- Parce que vous avez choisi ce module

La modélisation : pourquoi et comment ?

Quel niveau de complexité choisir à priori ?

...sachant que :

- Tout ce qui est simple est faux
- Tout ce qui est compliqué est inutilisable

Paul Valéry

La modélisation : pourquoi et comment ?

Démarche possible :

- Partir d'un modèle complexe et le simplifier progressivement en fonction de l'accord avec les observations

- Partir d'un modèle simple et le compliquer progressivement

→ Trouver le niveau de complexité minimal compatible avec les observations

La modélisation : pourquoi et comment ?

Choix des outils :

- Numérique (code éléments finis, DF, particulière)
- Analogique
- Analytique

Pourquoi un modèle mécanique de subduction ?

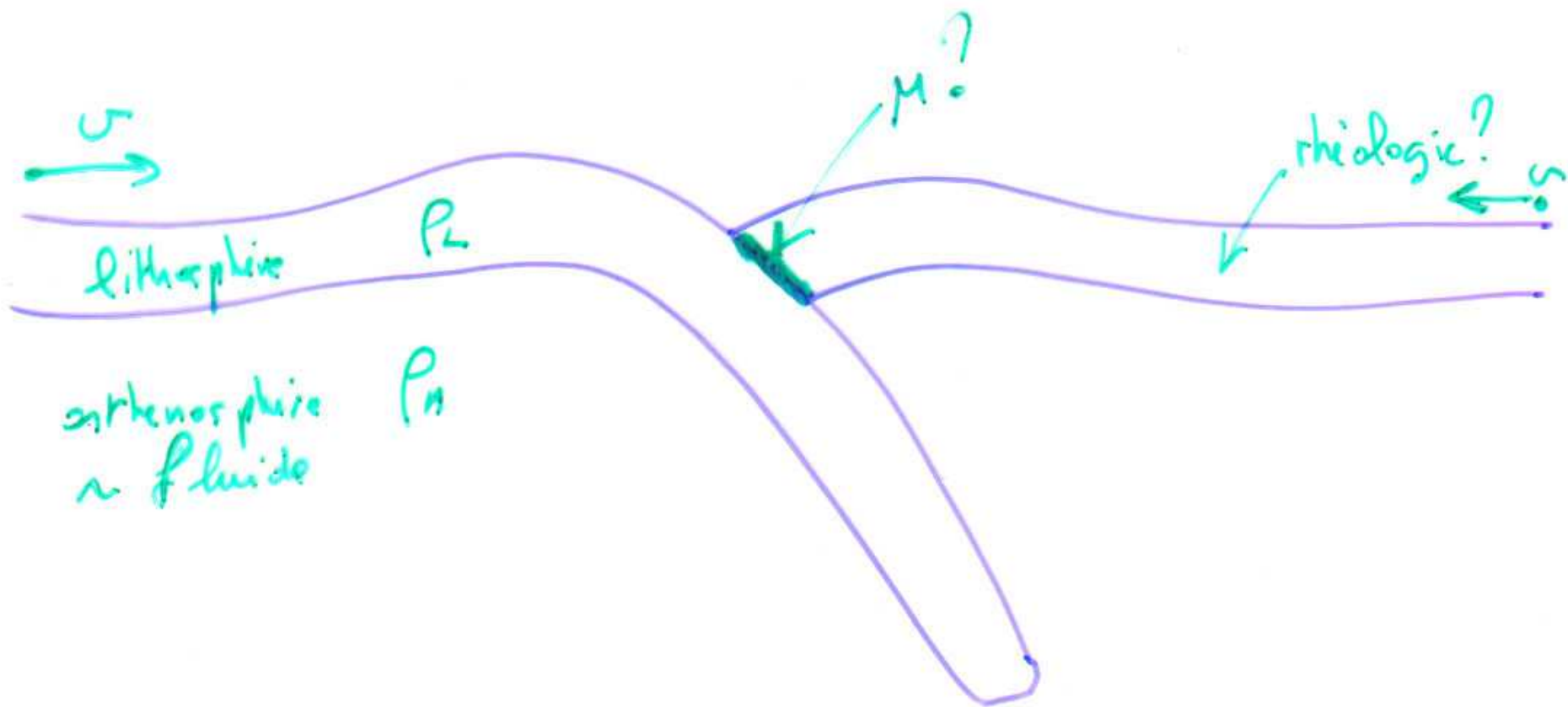
Relation entre les observables :

Topographie, mouvements verticaux, séismes

... et des inconnues :

Rhéologie de la lithosphère, couplage interplaque,
densité du slab

... en utilisant les lois de conservation de la mécanique



2D NUMERICAL MODELLING OF SUBDUCTION ZONE

1. Elastic model

- influence of the density contrast
- influence of the intra-plate friction

2. Elasto-plastic model

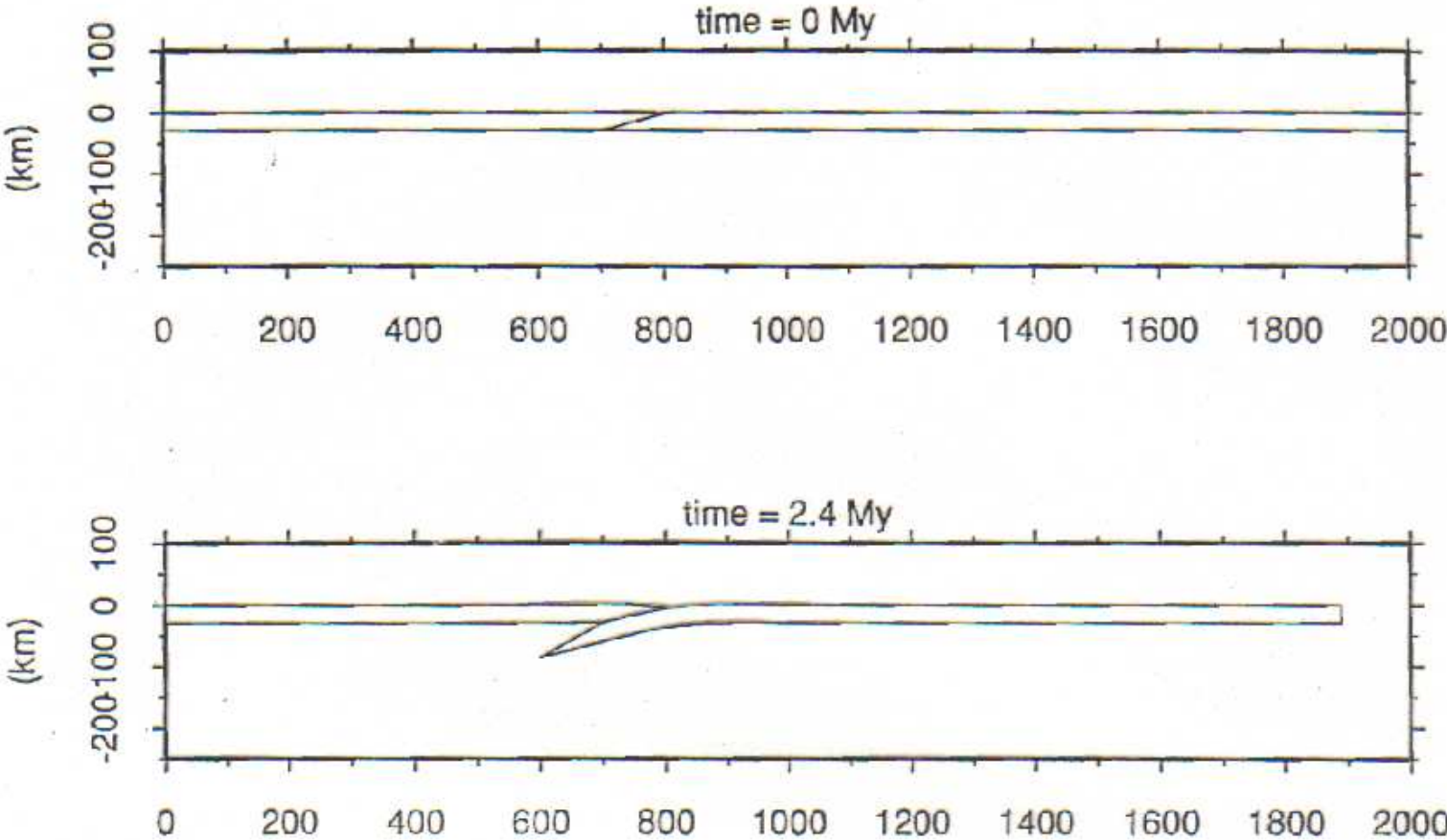
- the plastic bending plate problem

3. oceanic/continental subduction model

- back-arc extension
- roll-back
- frontal compression

Fig.4.2 Expérience 2 : Plaque homogène élastique

($H = 30 \text{ km}$, $\mu = 0$, $\Delta\rho = 0 \text{ kg.m}^{-3}$)



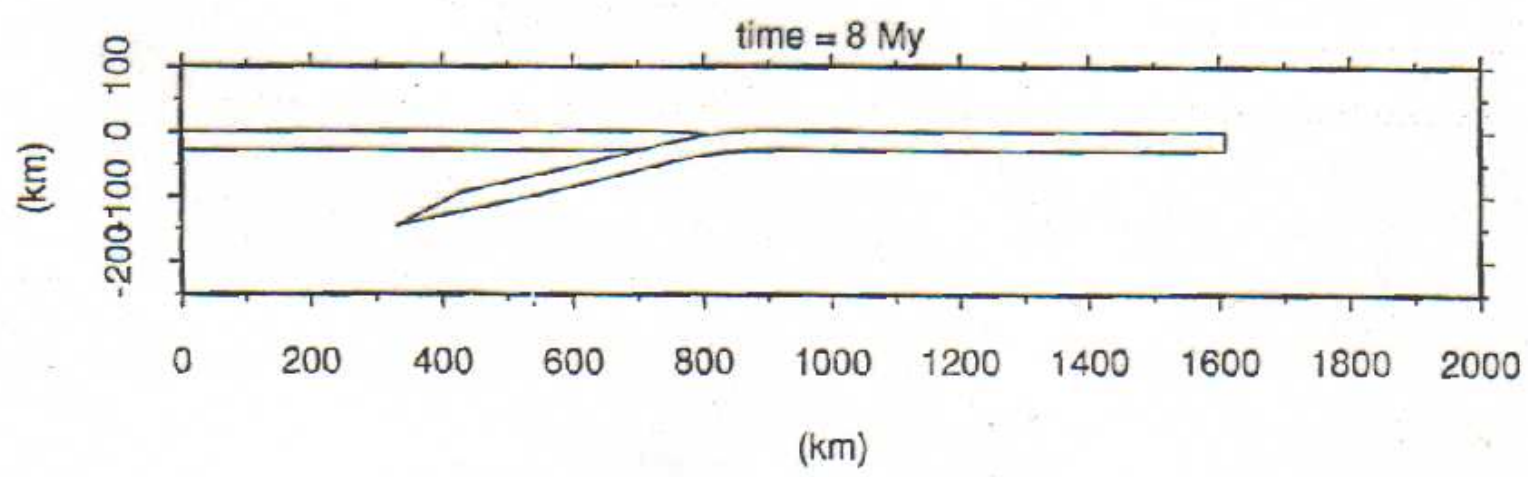
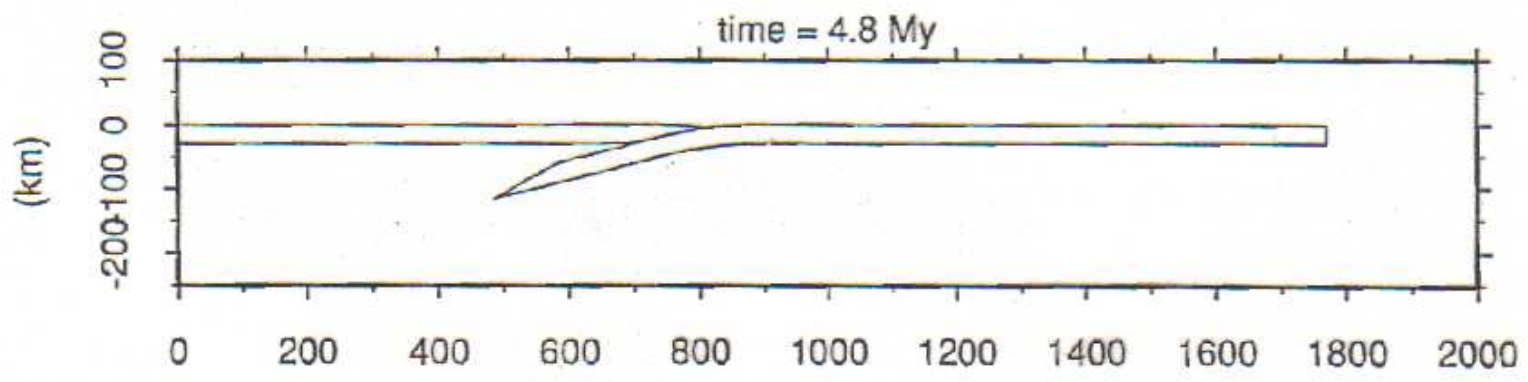


Fig.4.3 Expérience 3 : Plaque homogène élastique

($H = 30 \text{ km}$, $\mu = 0$, $\Delta\rho = 100 \text{ kg.m}^{-3}$)

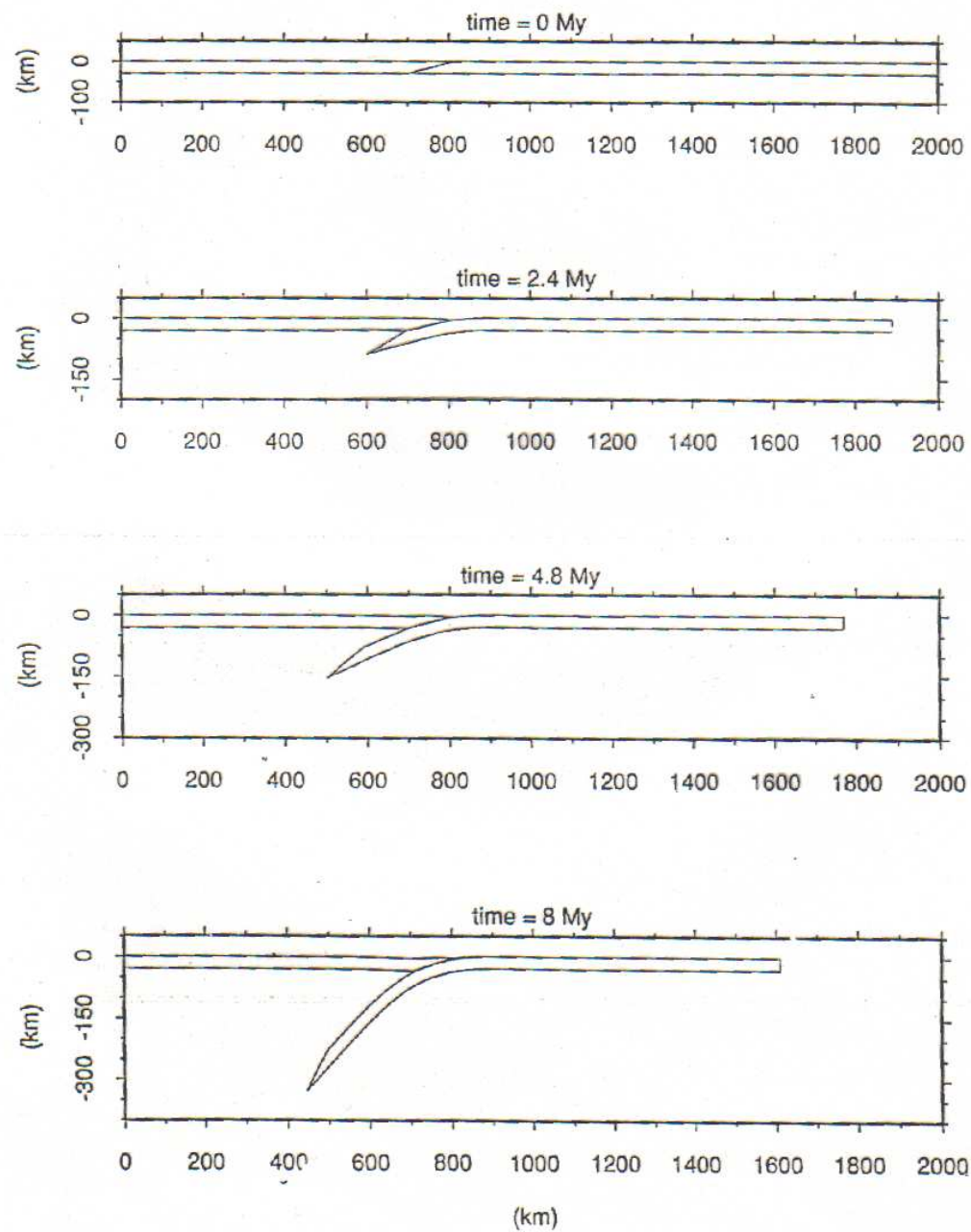
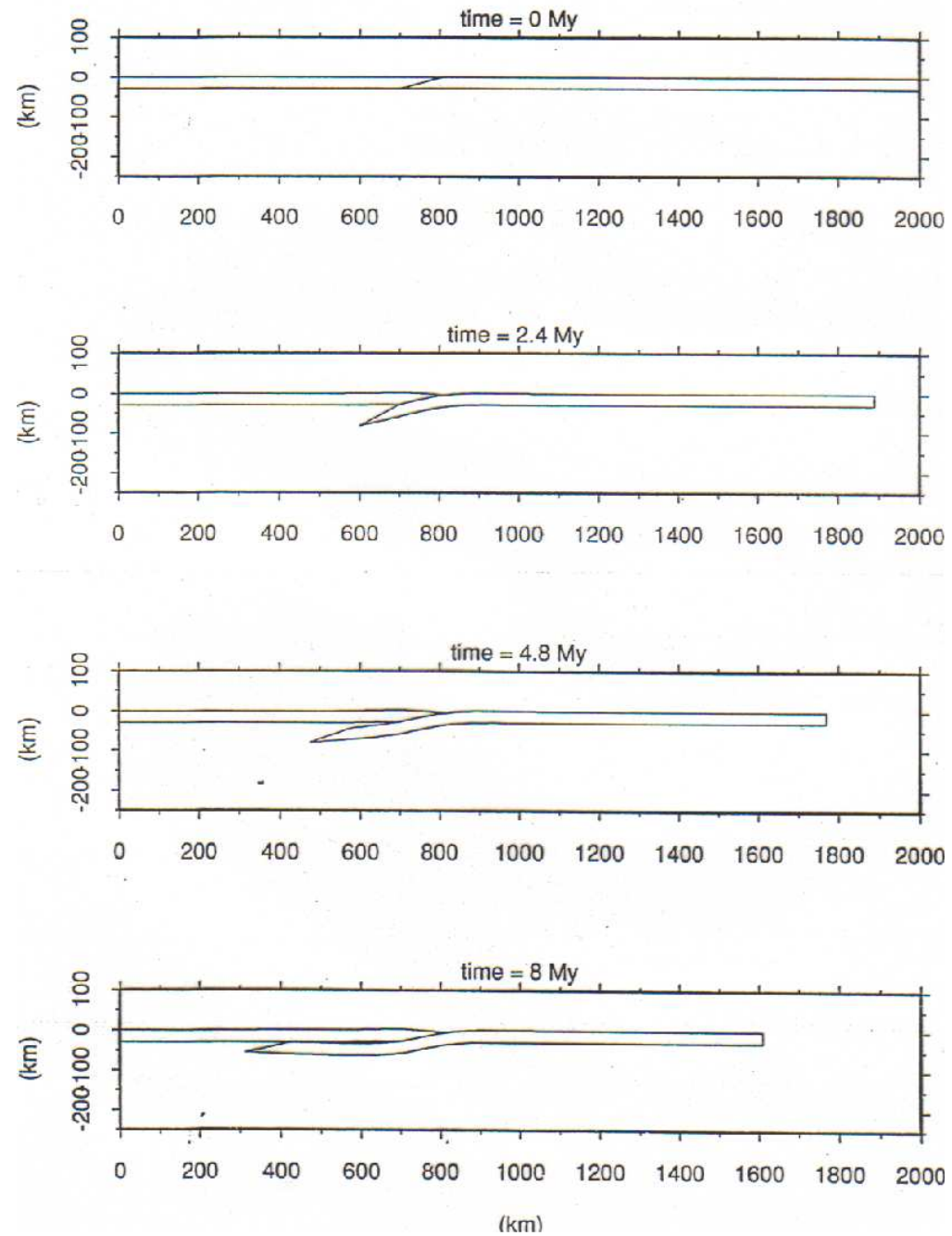
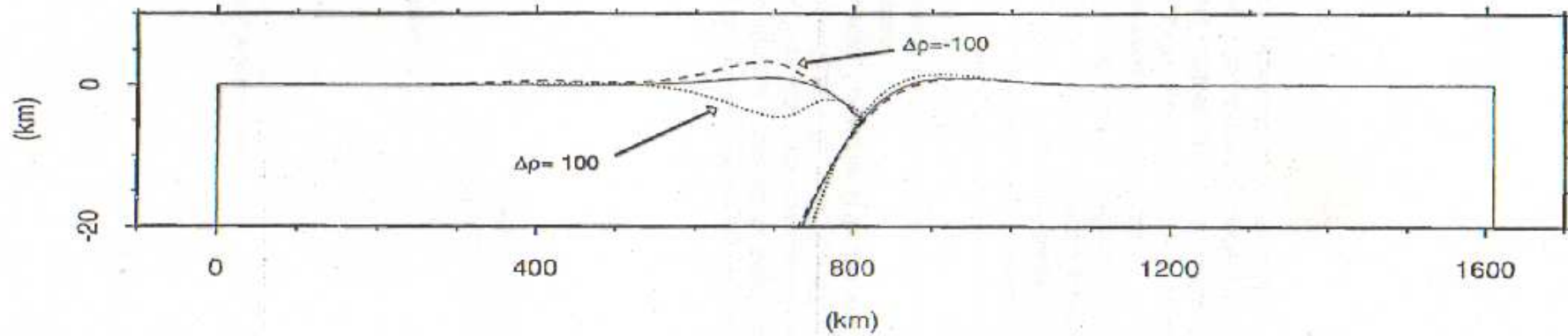


Fig.4.1 Expérience 1 : Plaque homogène élastique

($H = 30 \text{ km}$, $\mu = 0$, $\Delta\rho = -100 \text{ kg.m}^{-3}$)



Comparaison des topographies obtenues pour $\Delta\rho = -100, 0$ et 100 kg.m^{-3}



**Fig.4.11 Champs de contraintes déviatoriques principales
(en fin d'essai) pour différents contrastes de densité.
(cas élastiques. Expériences 1, 2 et 3)**

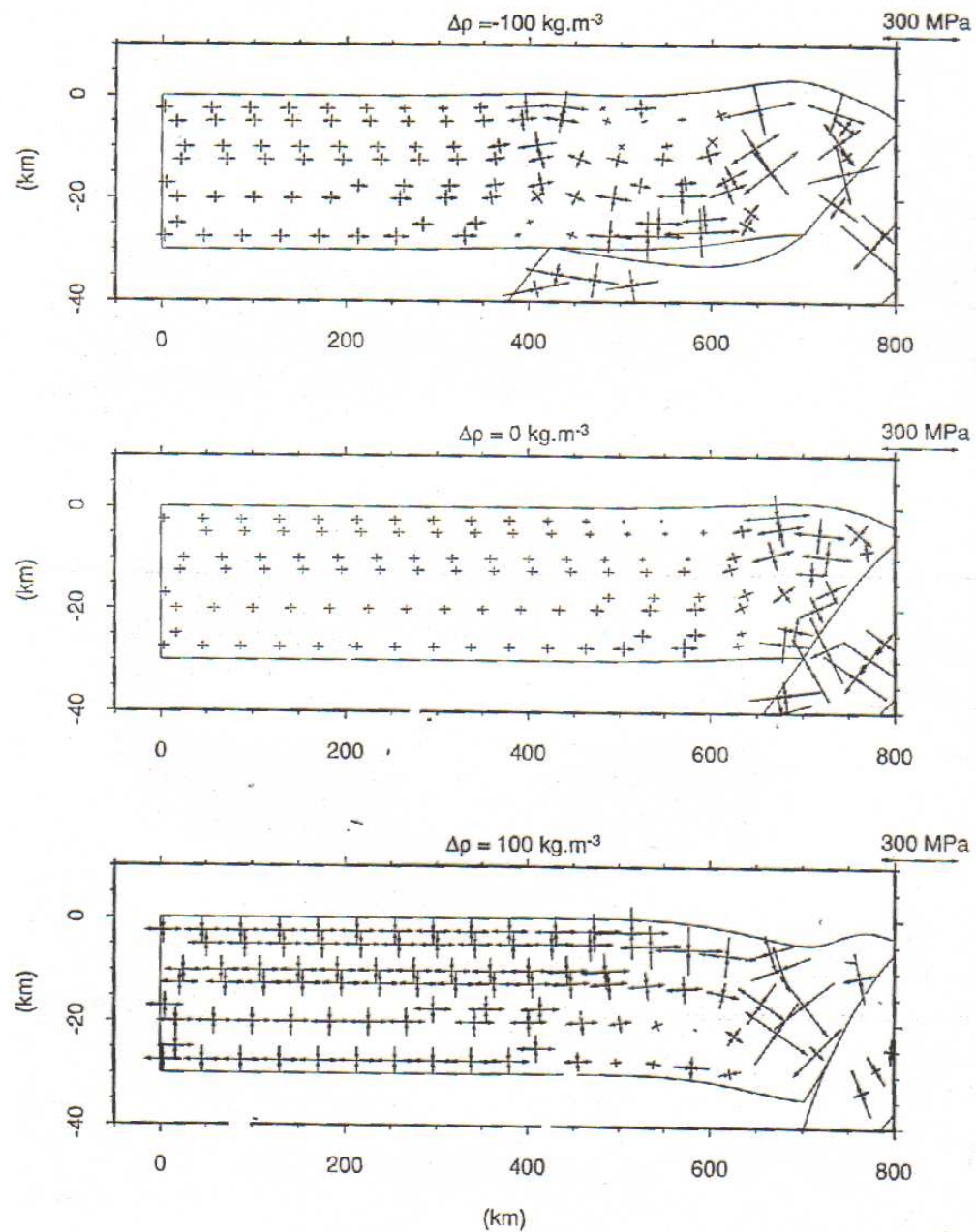
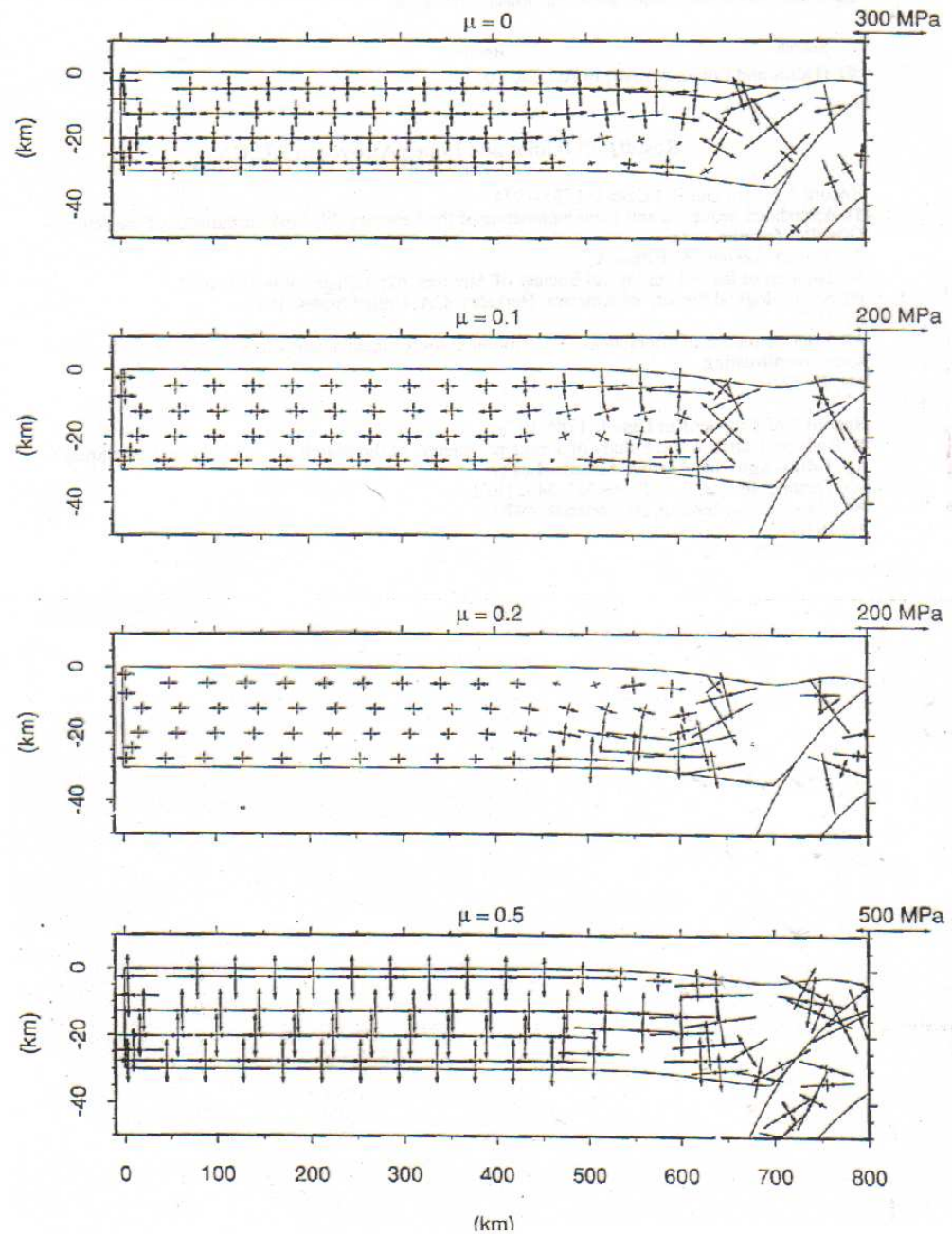
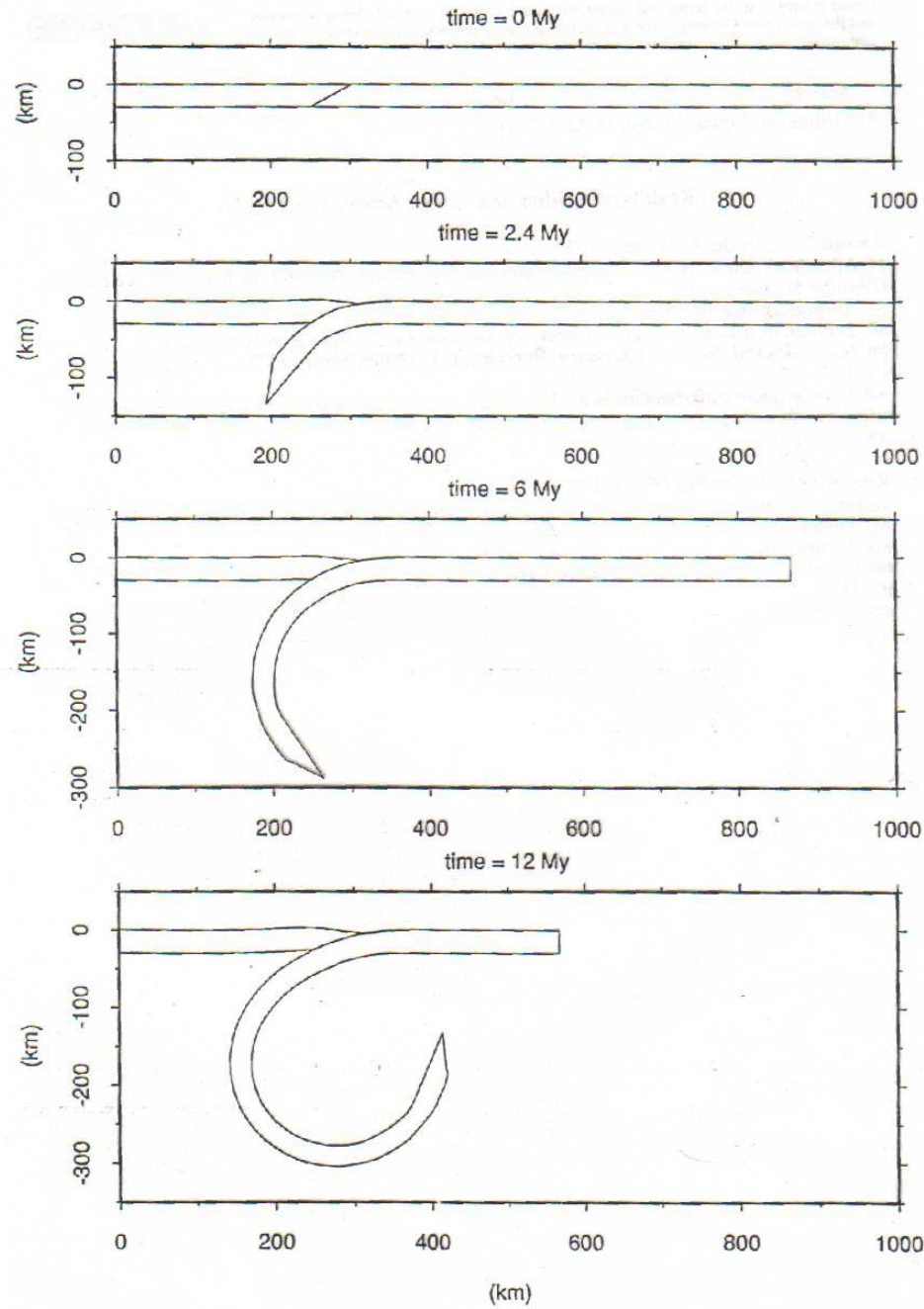


Fig.4.13 Champs de contraintes déviatoriques principales (en fin d'essai) pour différentes valeurs du coefficient de friction (Cas élastiques. Expériences 4, 5 et 6)



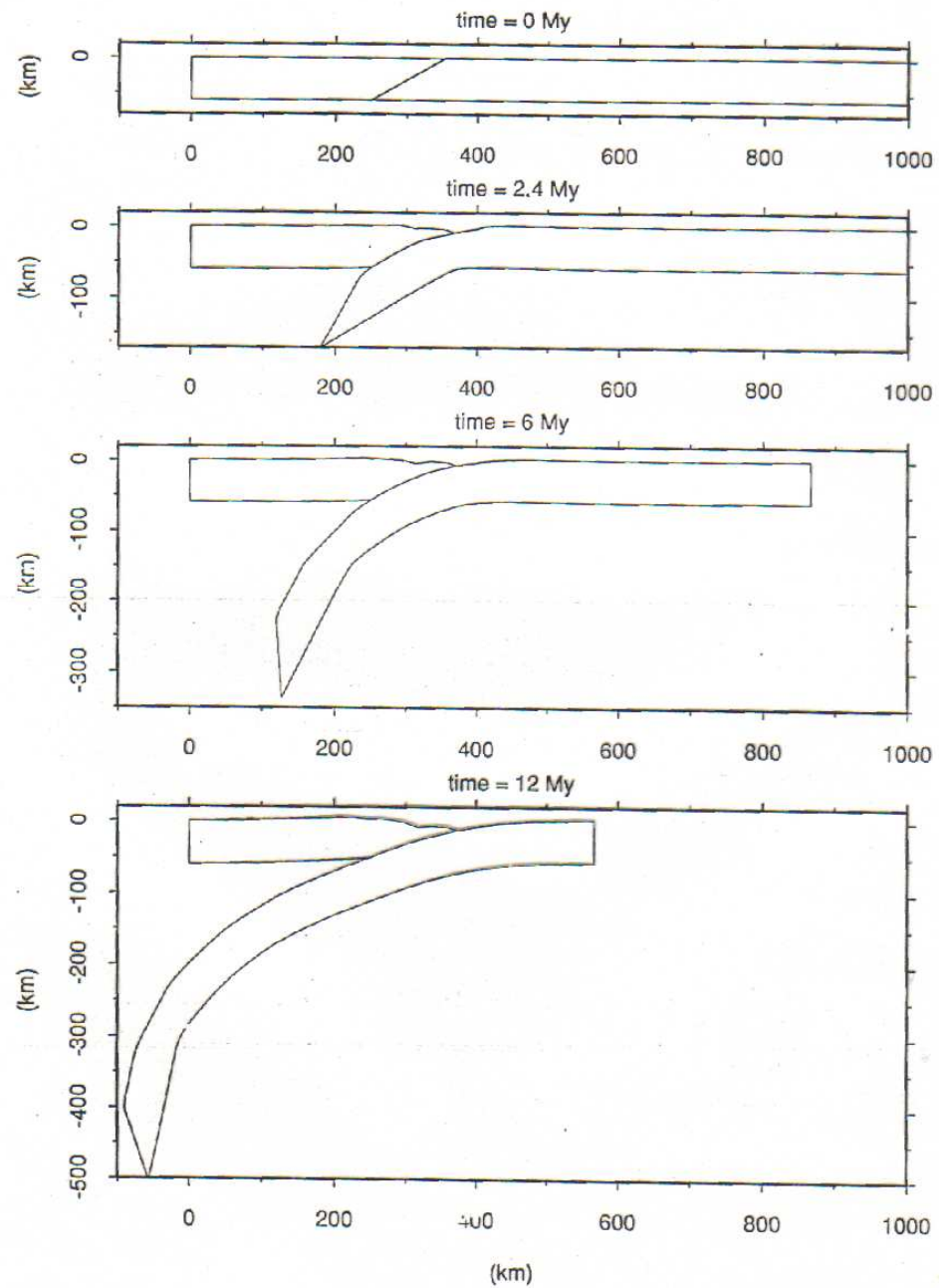
/home/kgin/rhassani/adeli3p2/fina05/shessai/ph30km

Homogeneous elastoplastic plate ($\mu = 0$, $H = 30$ km)



/home/ljih/rhassani/adeli3p2/fina05/shessai/pdruc2

Homogeneous elastoplastic plate ($\mu = 0$, $H = 60$ km)

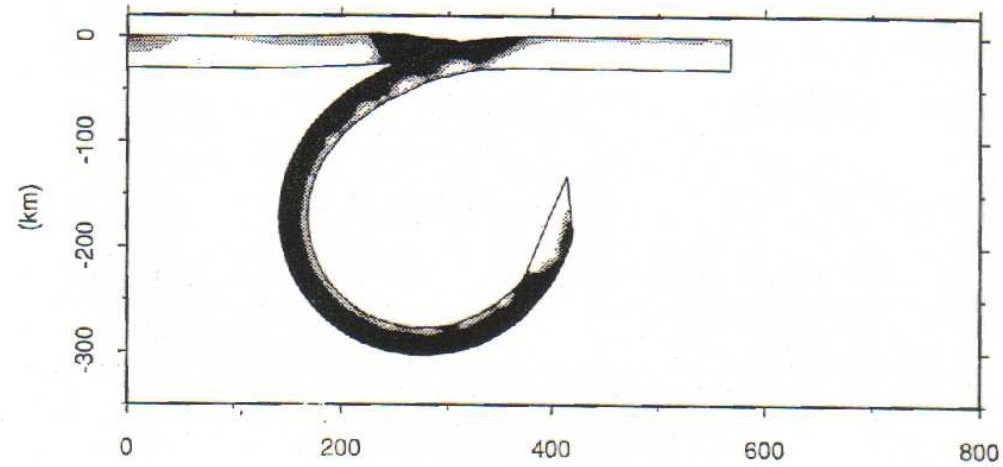


Homogeneous elastoplastic plates with different initial thickness

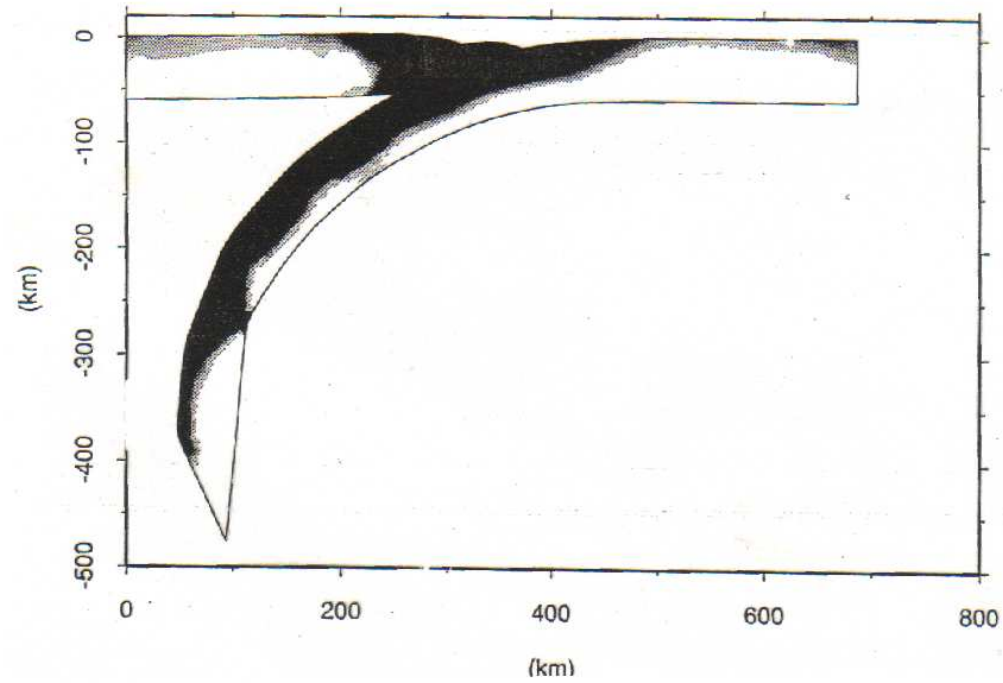
($\mu = 0$, $\Delta\rho = 0 \text{ kg.m}^{-3}$)

Equivalent plastic strain ($\geq 2\%$)

H = 30 km



H = 60 km



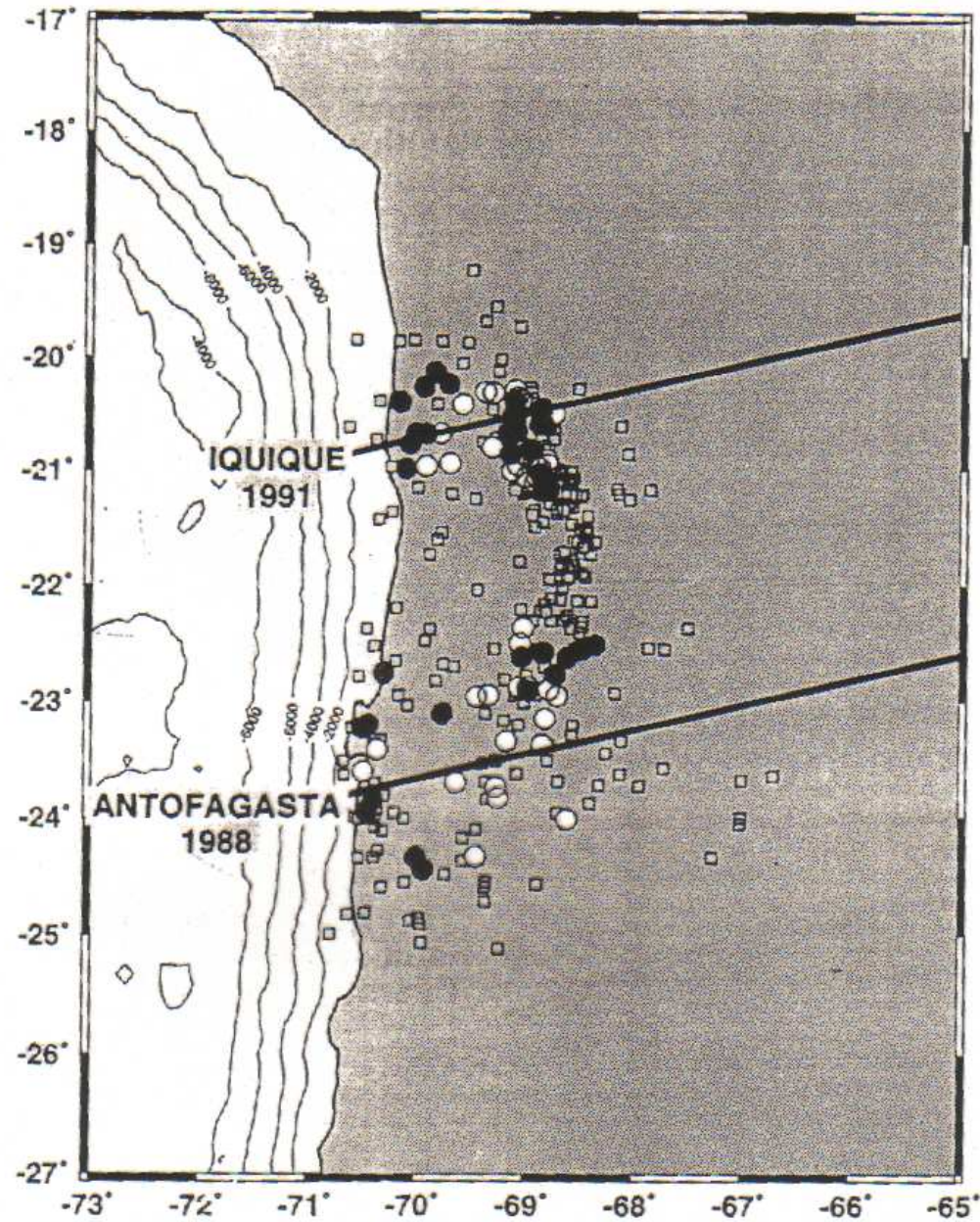


Figure 2. Epicentral distribution of reliable microearthquakes recorded by fieldworks at Antofagasta (1988) and Iquique (1991). Dark and white circles correspond to reverse and normal faulting events, respectively. Grey squares represent microearthquakes without focal mechanism solution. The locations of the profiles corresponding to each episode of fieldwork, oriented in the convergence direction, are also shown.

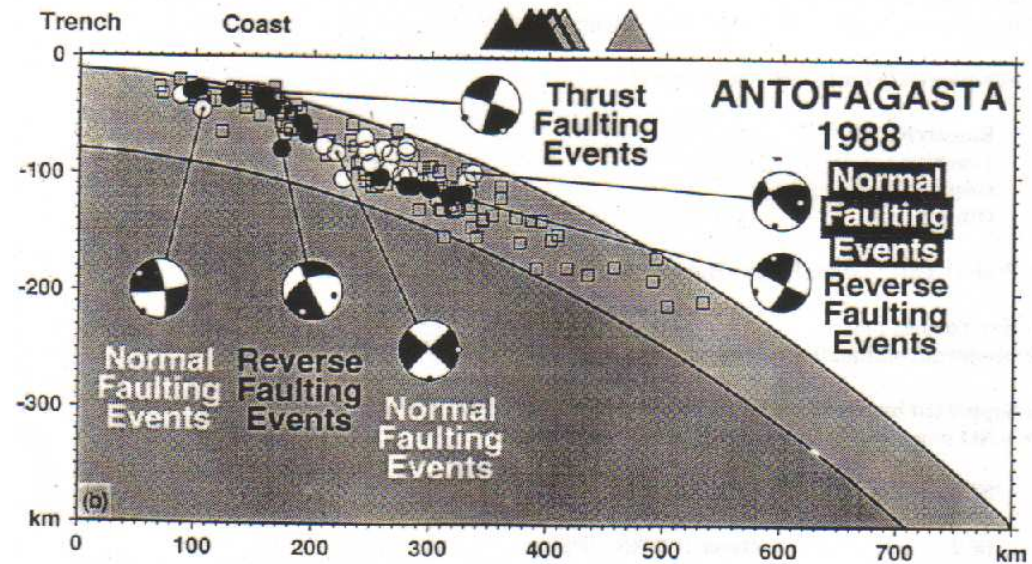
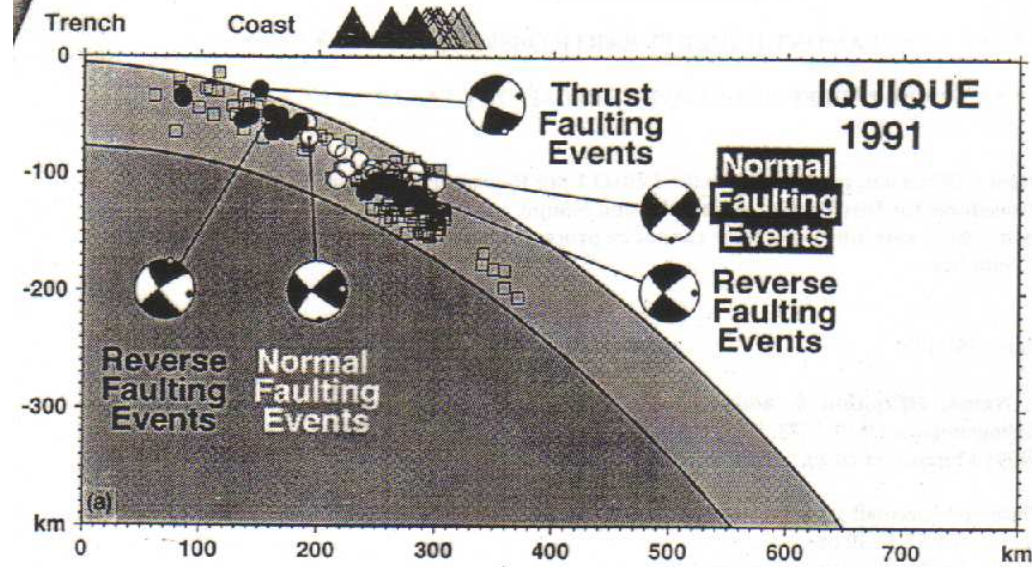


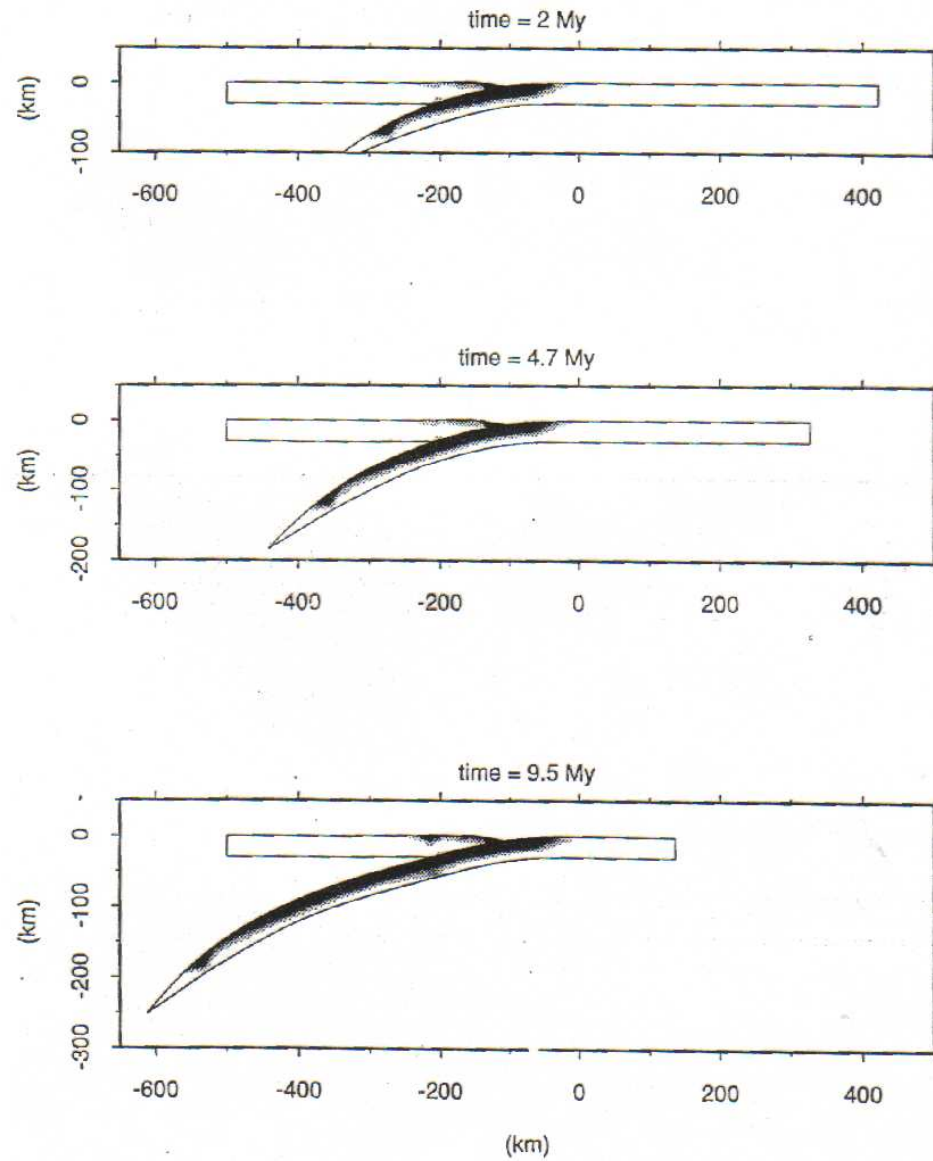
Figure 3. (a) Iquique profile. Symbols as in Fig. 2. The vertical lower hemispherical projections of the focal mechanism solution (rotated in the same direction as the profile) of some characteristic events are presented. Each focal mechanism has a P-axis (dark dot) and T-axis (white dot). The origin at the trench, the location of the coastline, and the projection of the Quaternary and active volcanoes (grey and black triangles, respectively) are also shown. (b) Antofagasta profile. Symbols as in (a).

/home/ljih/rhassani/adeli3p2/fina05/courbure/pcrbr3

Homogeneous elastoplastic plate ($\mu = 0$, $H = 30$ km)

with an initial curvature ($R = 750$ km)

Equivalent plastic strain ($\geq 2\%$)



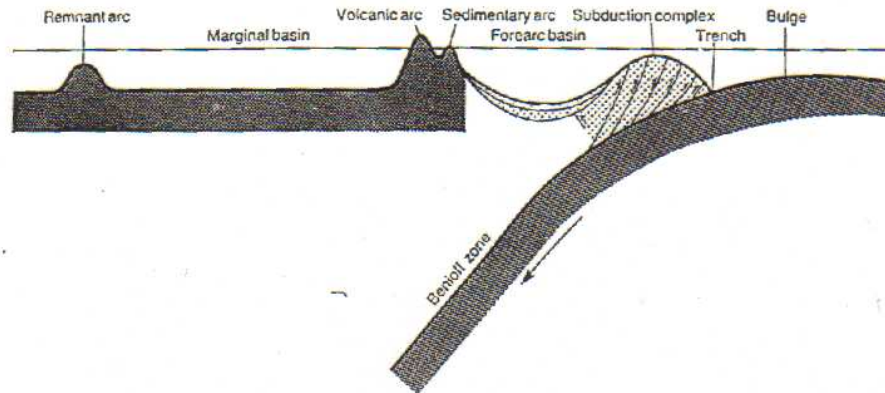
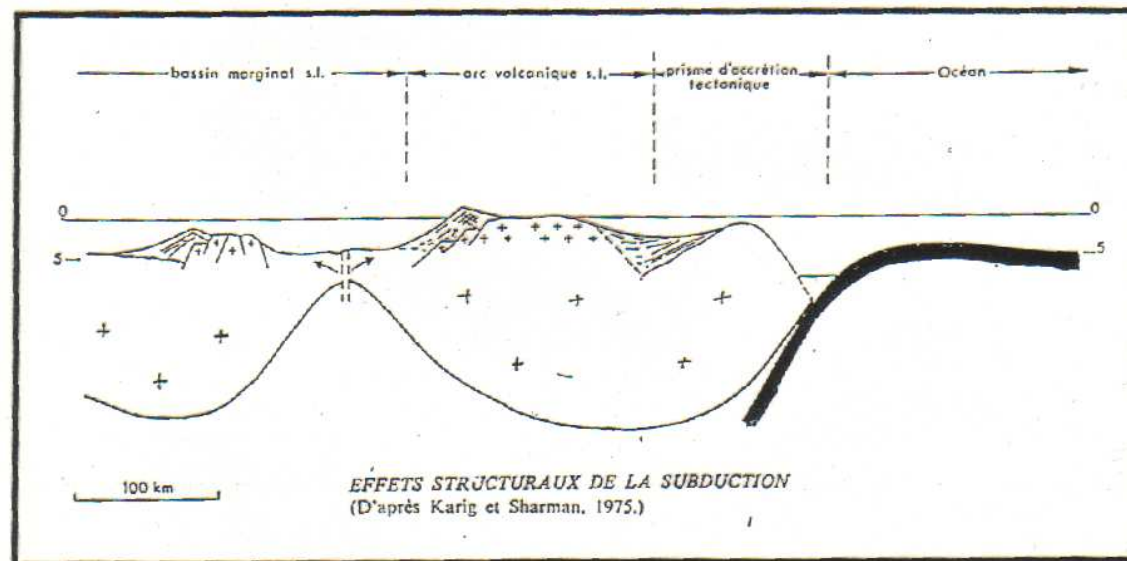


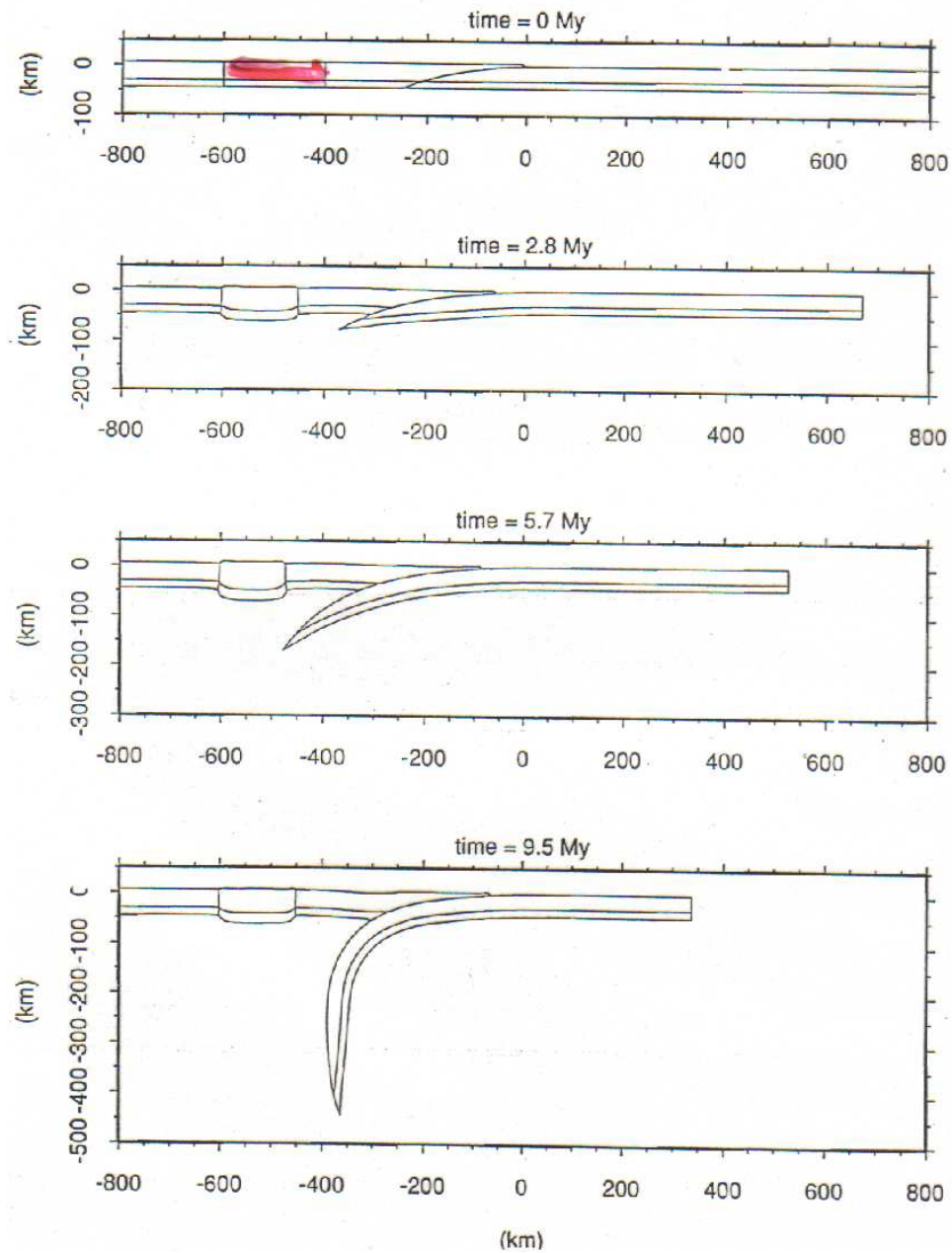
Fig. 8.2 Generalized schematic morphology of an oceanic subduction zone.

(in *Global Tectonics*, Kearey & Vine)



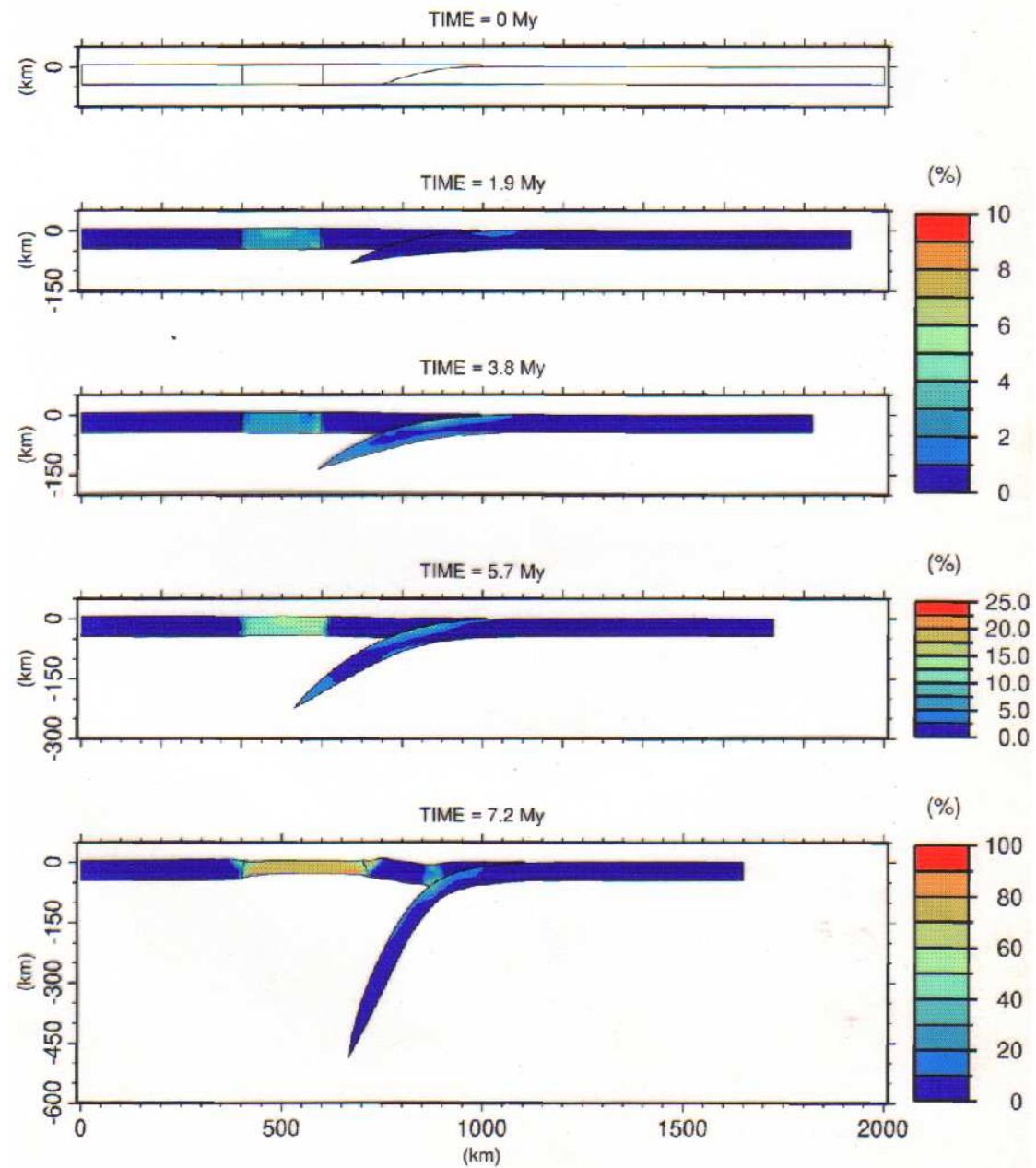
/home/ljih/rhassani/adeli3p2/fina05/modele6/pvf1dA

($\mu = 0.1$, $\Delta\rho = 100 \text{ kg.m}^{-3}$, $R = 750 \text{ km}$)



Backarc opening and Trench roll-back

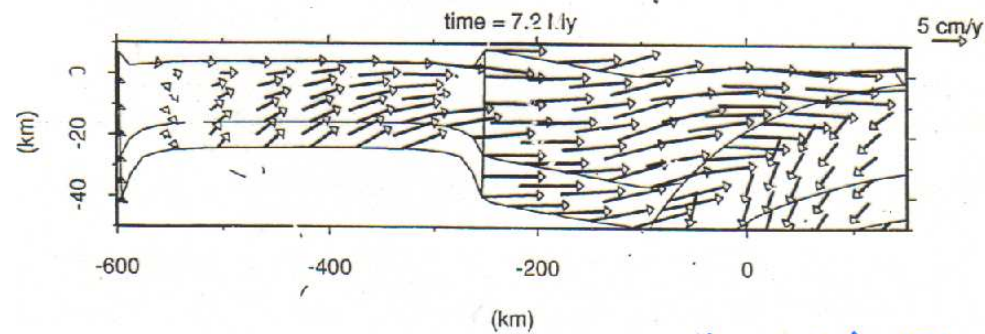
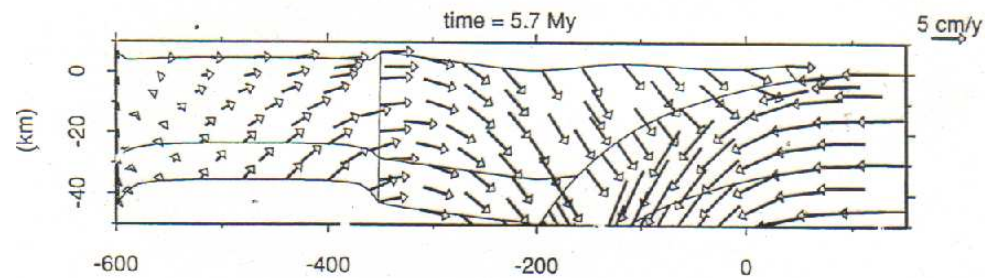
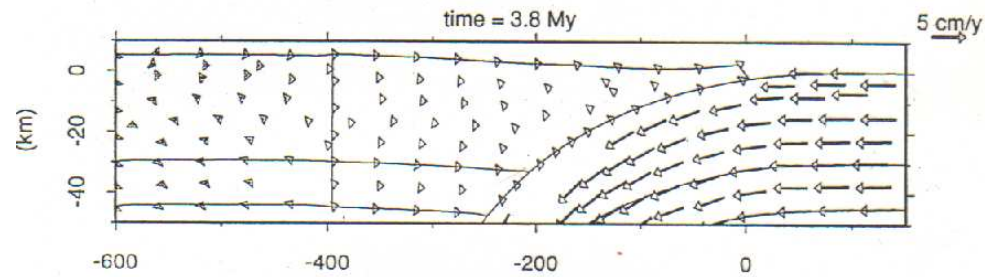
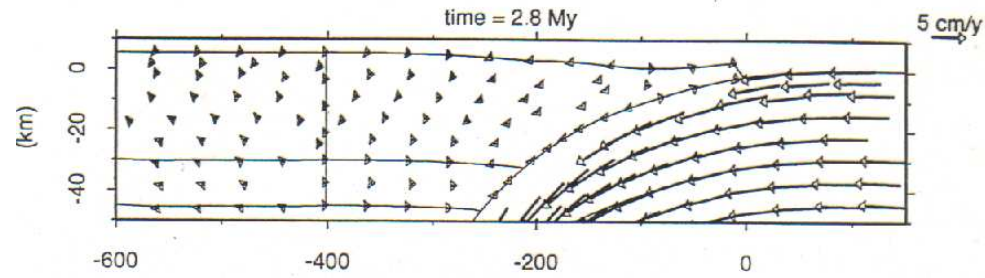
Deviatoric Strain Intensity



/home/ljih/rhassani/adeli3p2/fina05/modele6/pvf5dA

($\mu = 0.05$, $\Delta\rho = 100 \text{ kg.m}^{-3}$, $R = 750 \text{ km}$)

Velocity Field

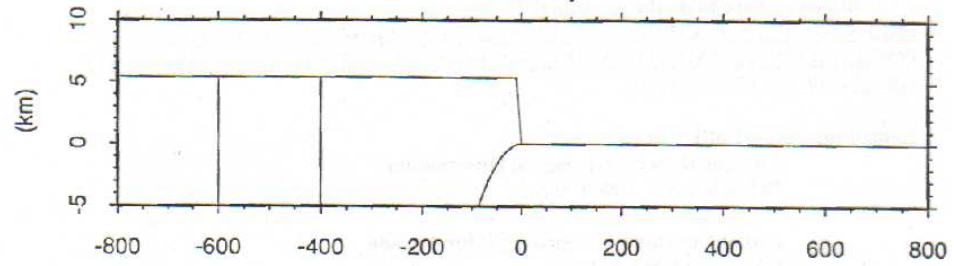


/home/ljih/rhassani/adeli3p2/fina05/modele6/pvf5dA

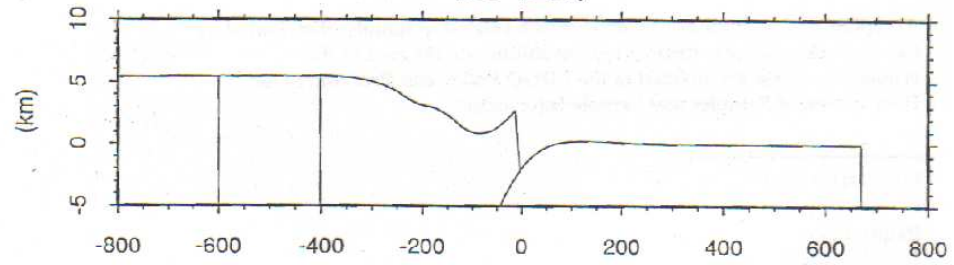
($\mu = 0.05$, $\Delta\rho = 100 \text{ kg.m}^{-3}$, $R = 750 \text{ km}$)

Topography Evolution

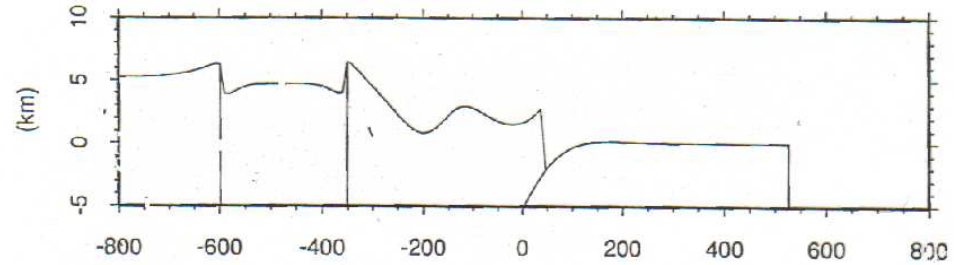
time = 0 My



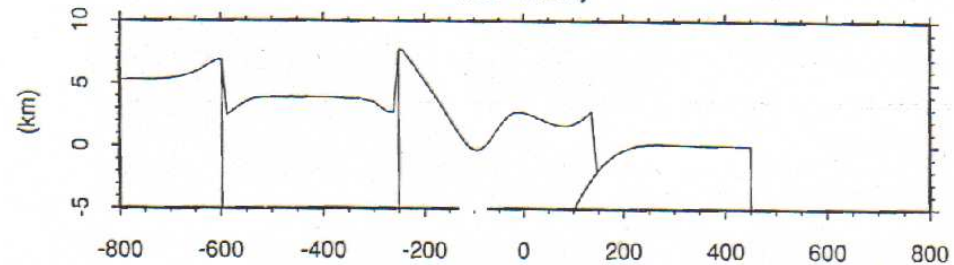
time = 2.8 My



time = 5.7 My



time = 7.2 My



(km)

/home/ljih/rhassani/adeli3p2/fina05/modele6/pvf5dA

($\mu = 0.05$, $\Delta\rho = 100 \text{ kg.m}^{-3}$, $R = 750 \text{ km}$)

Main deviatoric stress in the convergence zone

