



Exploration et production d'hydrocarbures

Printemps des sciences

L'Energie

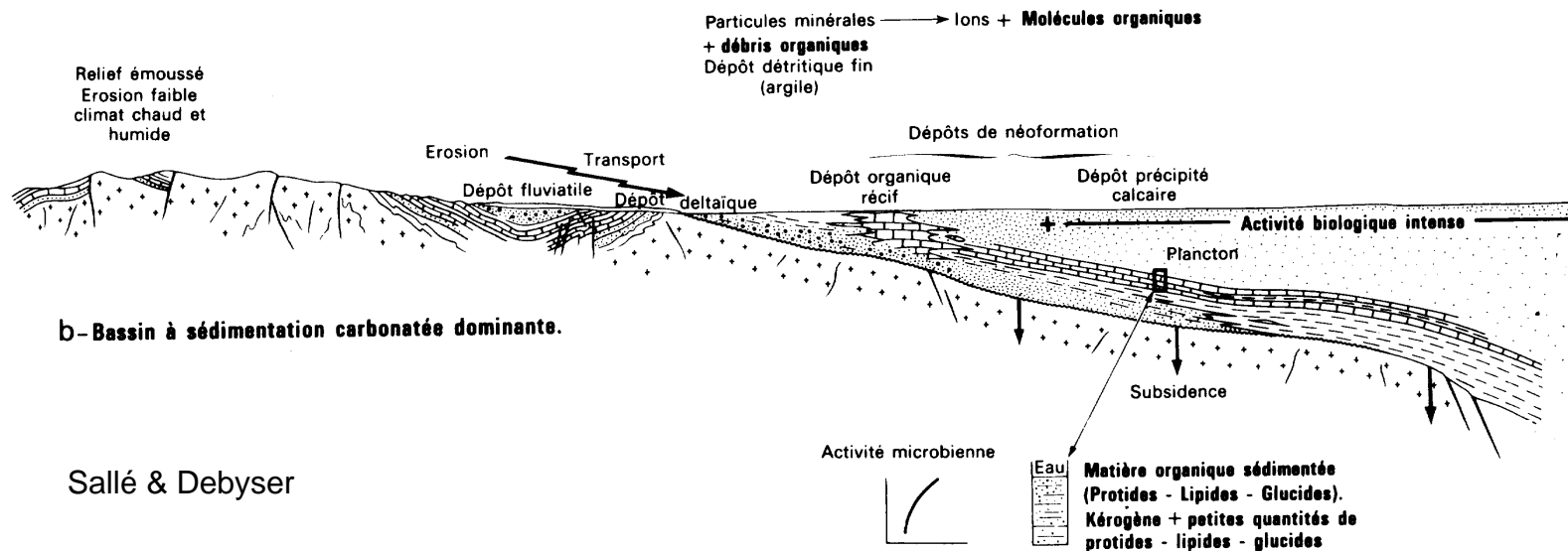
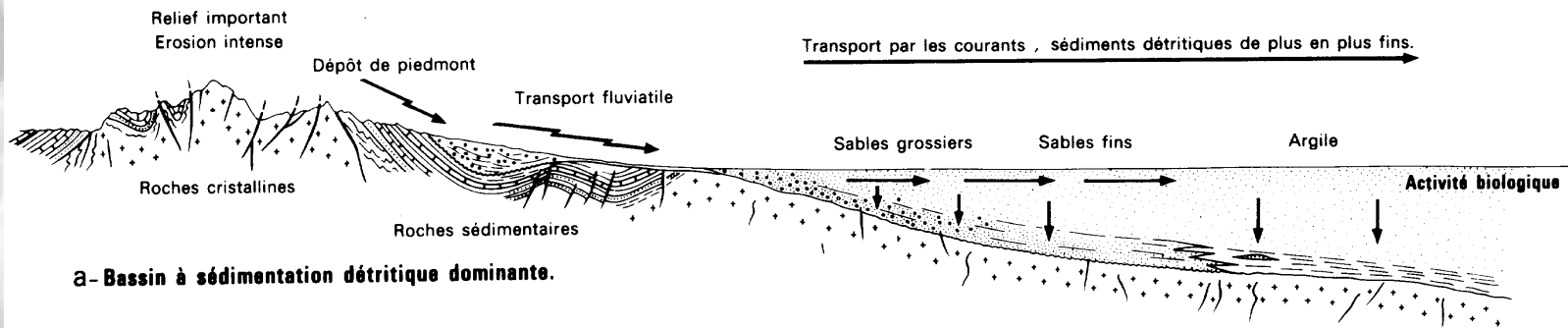
ULg – 18 au 24 mars 2002

Energies fossiles

- Charbon
- Pétrole, huile, gaz
- Uranium
- Géothermie
- ...

Formation des gisements de pétrole

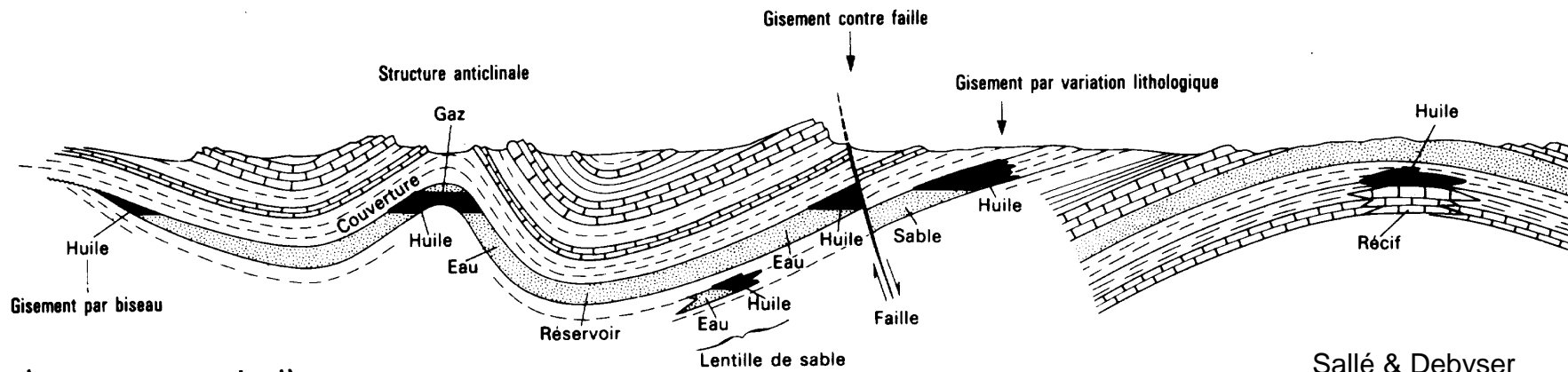
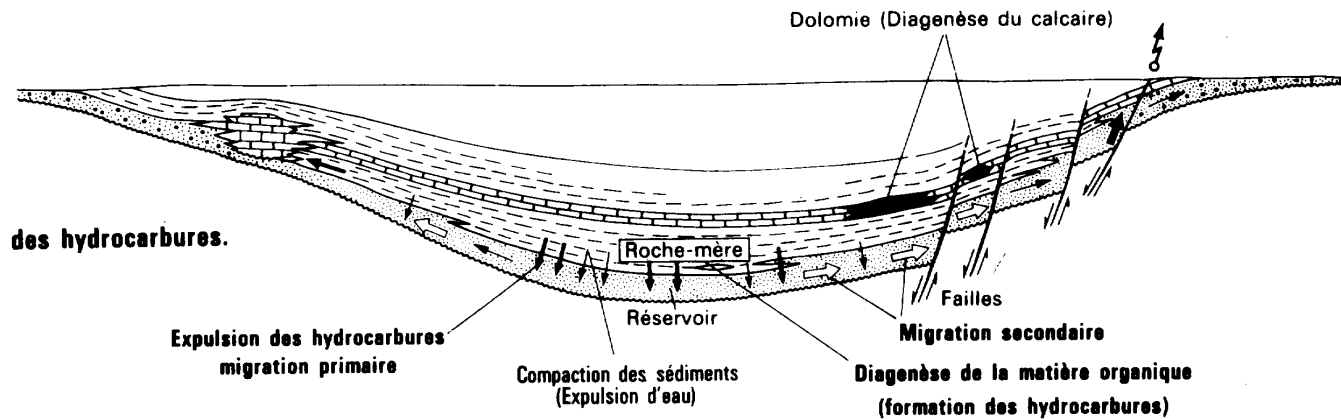
Le pétrole se forme au sein de certaines roches sédimentaires (**roches-mères**) par transformation de la matière organique qui y est incorporée au moment du dépôt



Sallé & Debysier

Par **migration**, le pétrole se déplace vers la roche-**réservoir**, où il reste piégé, en fonction des conditions géologiques. Les gisements pétroliers se situent donc dans des structures géologiques caractéristiques.

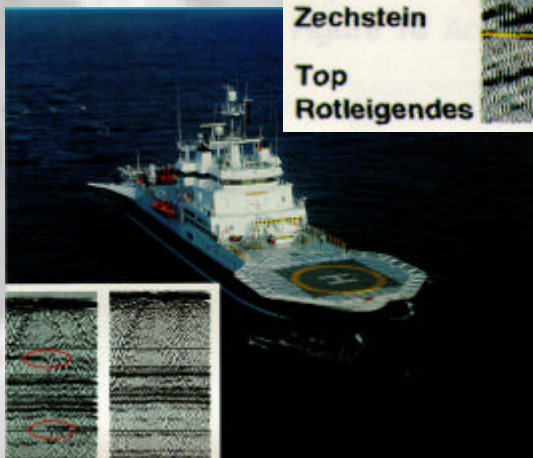
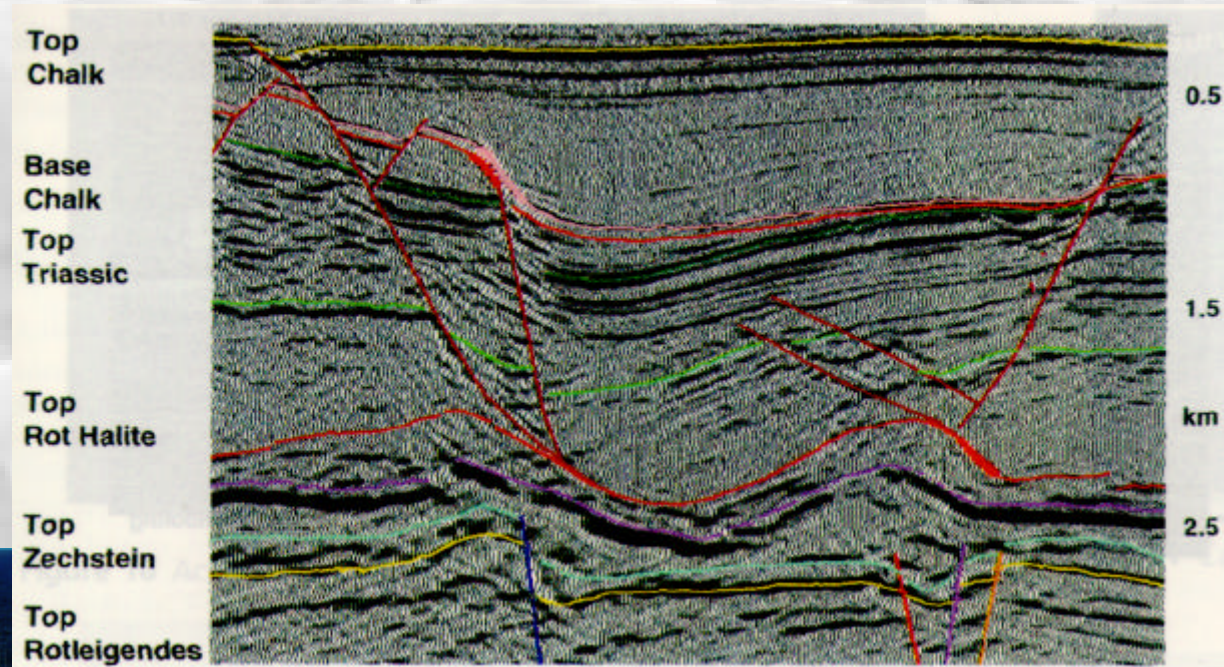
C-Schéma de genèse et migration des hydrocarbures.



d- Principaux types de pièges.

Sallé & Debysier

La prospection pétrolière utilise de nombreuses méthodes. Parmi les plus courantes, la prospection géophysique par sismique réflexion (marine ou terrestre) donne une image de la structure du sous-sol.



Bateau de prospection géophysique

**Camions vibrateurs
Pour sismique terrestre**



Les résultats de la prospection géophysique permettent d'implanter au mieux les forages de reconnaissance.



Réservoirs pétroliers de mer du Nord

- Roche réservoir : grès, craies, ...
- Couverture : 70 m de mer, 3000 de sédiments argileux



Cadre géologique et tectonique

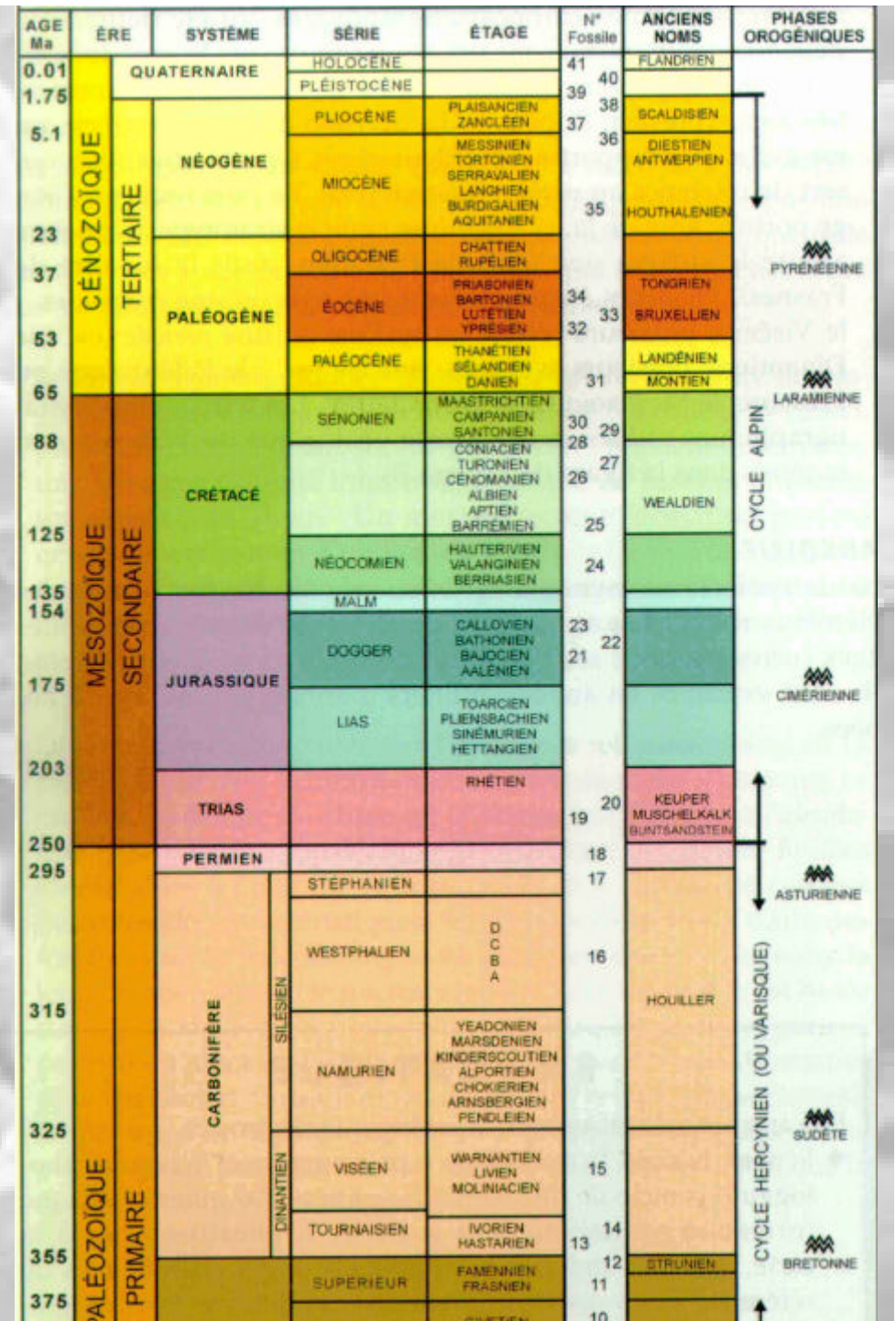
Age :

60 à 80 millions d'années

Ere secondaire (mésozoïque)

système **Crétacé** (creta = craie)
(Omalius d'Halloy, 1822)

Echelle stratigraphique

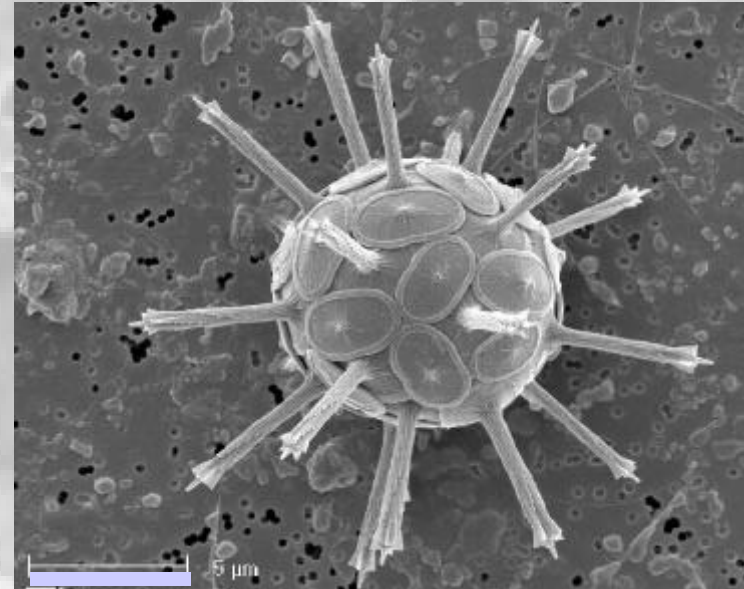


coccosphères : squelettes (externes), plus ou moins fragmentés, d'algues unicellulaires "coccolithophoridés", constituées d'un assemblage de **coccolithes**, formés de plaquettes de calcite, de dimensions de l'ordre de 0.1 μm à 1 μm .



1 μm

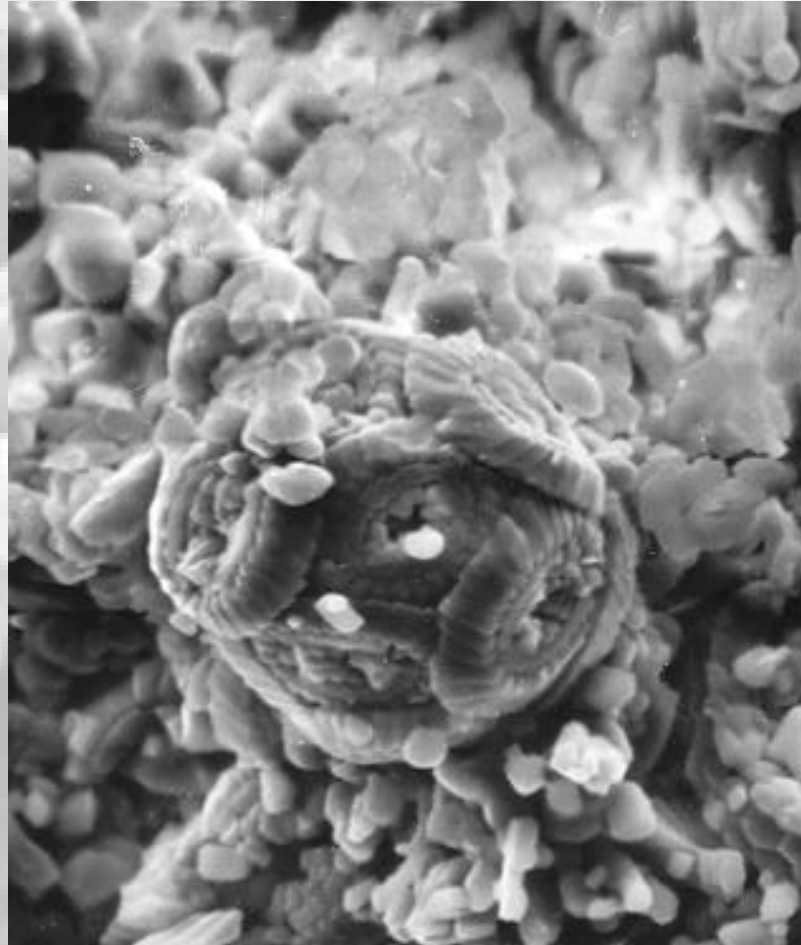
coccosphères



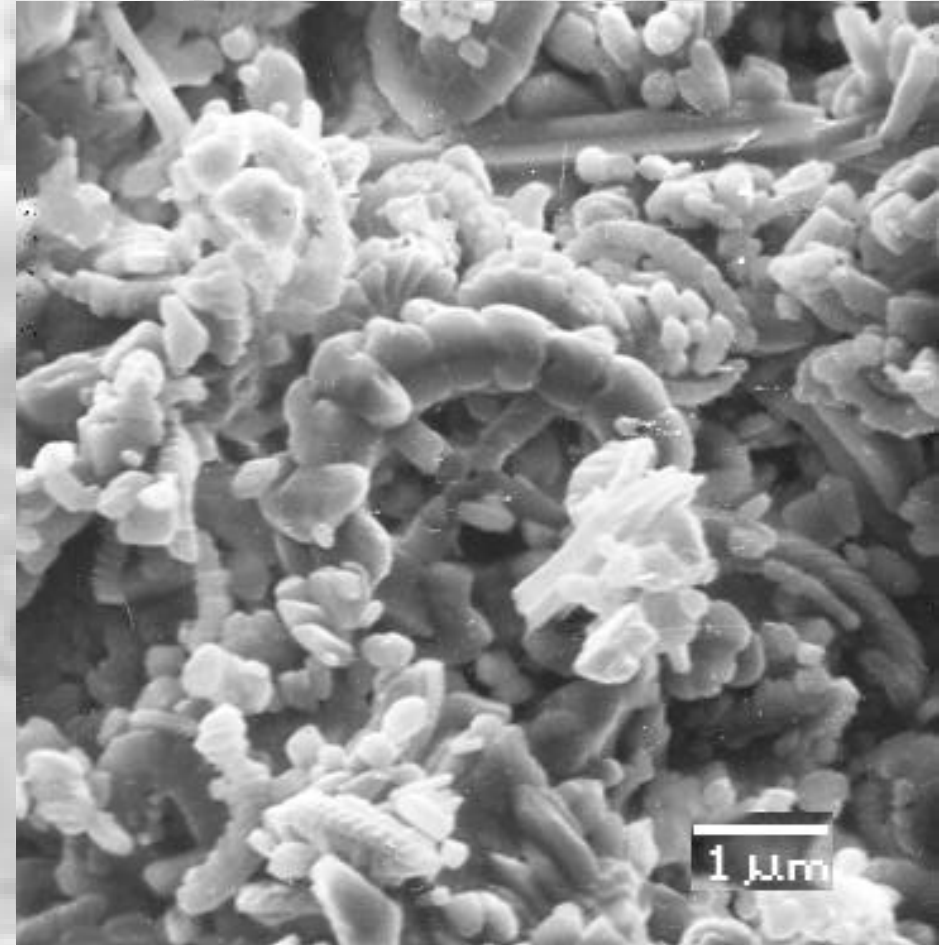
5 μm

photos au microscope électronique à balayage (MEB)

Craie de Lixhe (Hallembaye - carrière CBR) (Liège chalk) craie de référence



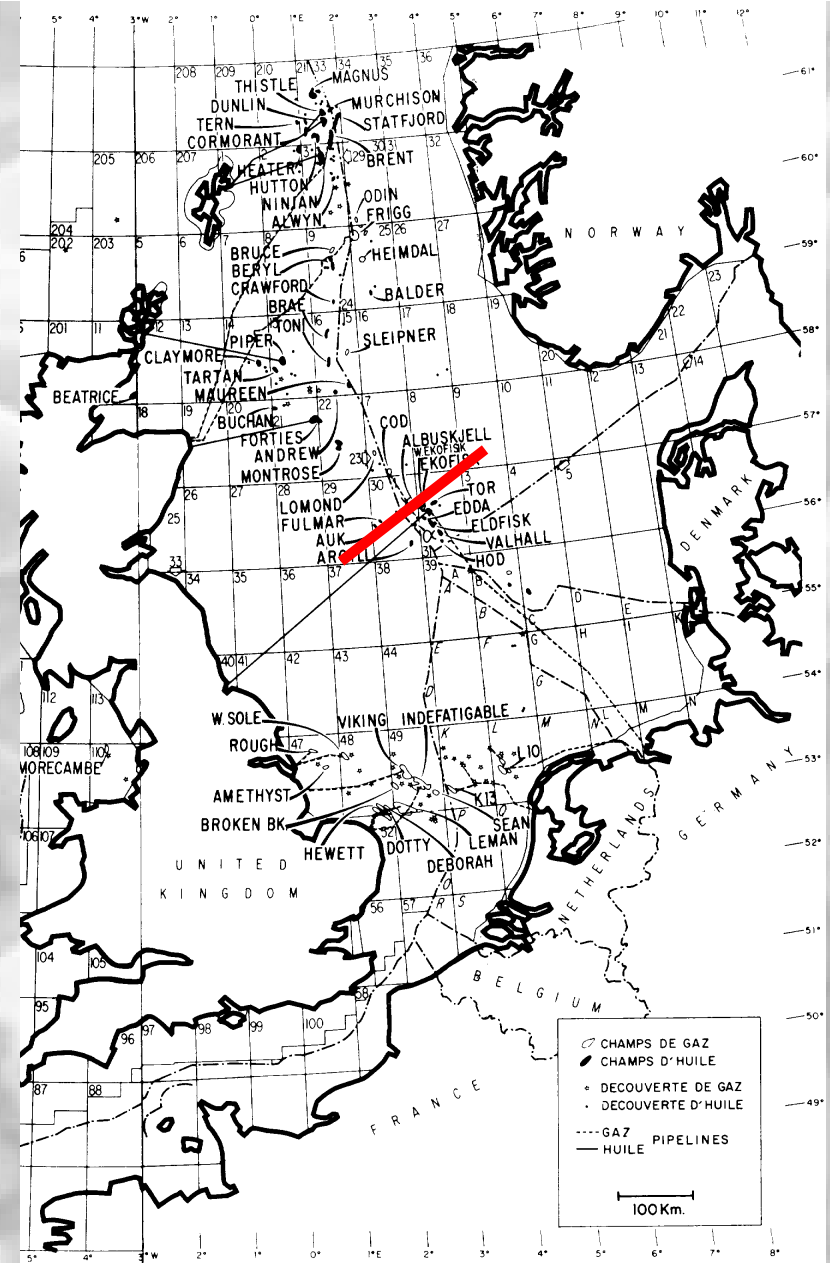
coccosphère



coccolithe et débris

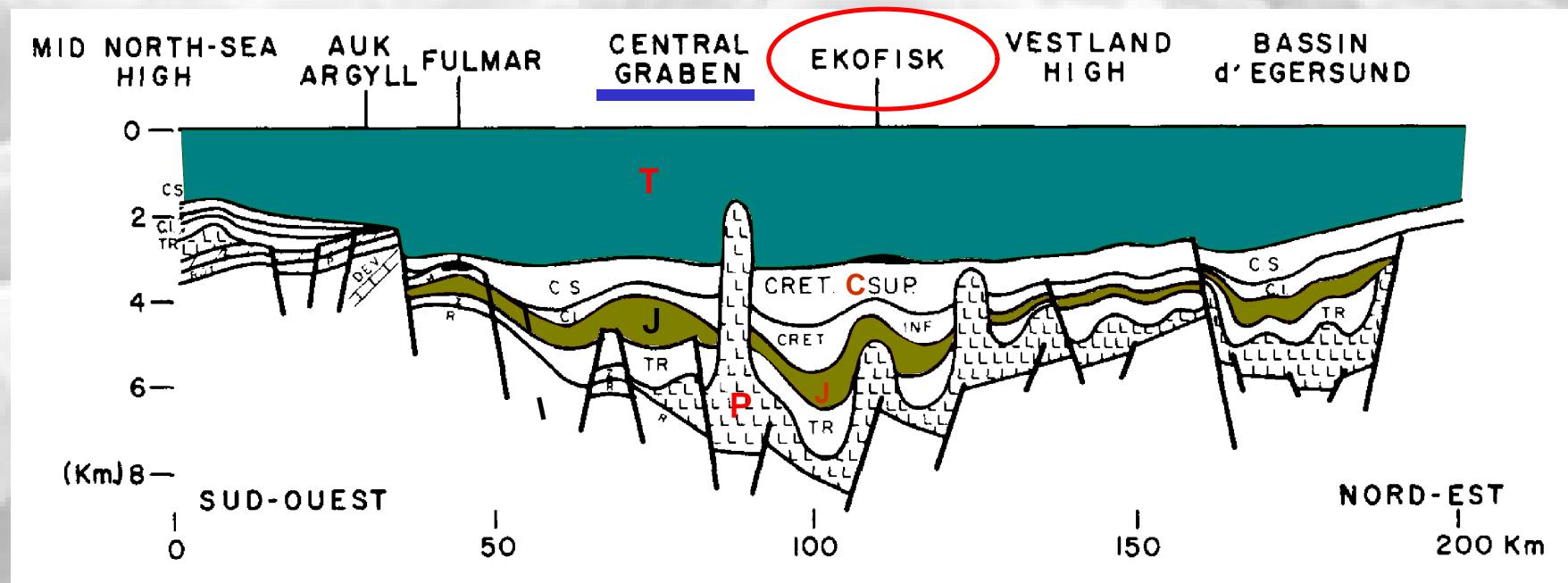
photos au microscope électronique à balayage (MEB)

Carte géologique et localisation des gisements pétroliers



d'après Masson et al., 1980 & Dheur, 1989

Coupe Sud-Ouest – Nord-Est à travers la Mer du Nord



Echelle verticale exagérée 10 x

d'après Masson et al., 1980 & Dheur, 1989c

Tertiaire : couverture

Crétacé supérieur : réservoir

Jurassique : roches mères

Permien : évaporites - halokynèse

Ekofisk

Ekofisk

8 km x 5 km

2.5 milliards m³ de pétrole
(15 milliards de barils)

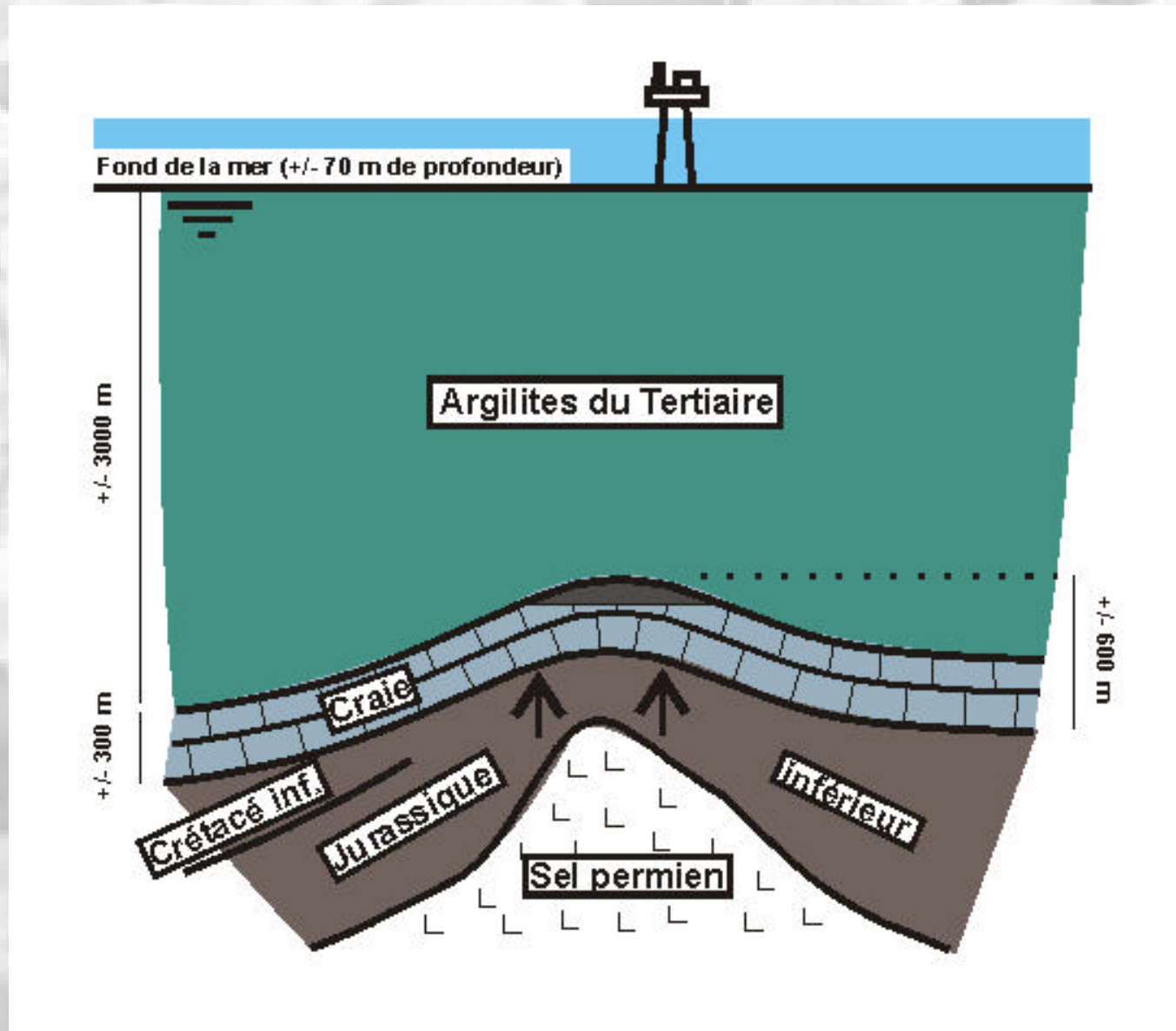
185 milliards m³N de gaz

découverte en 1969

exploitation 1971-2050



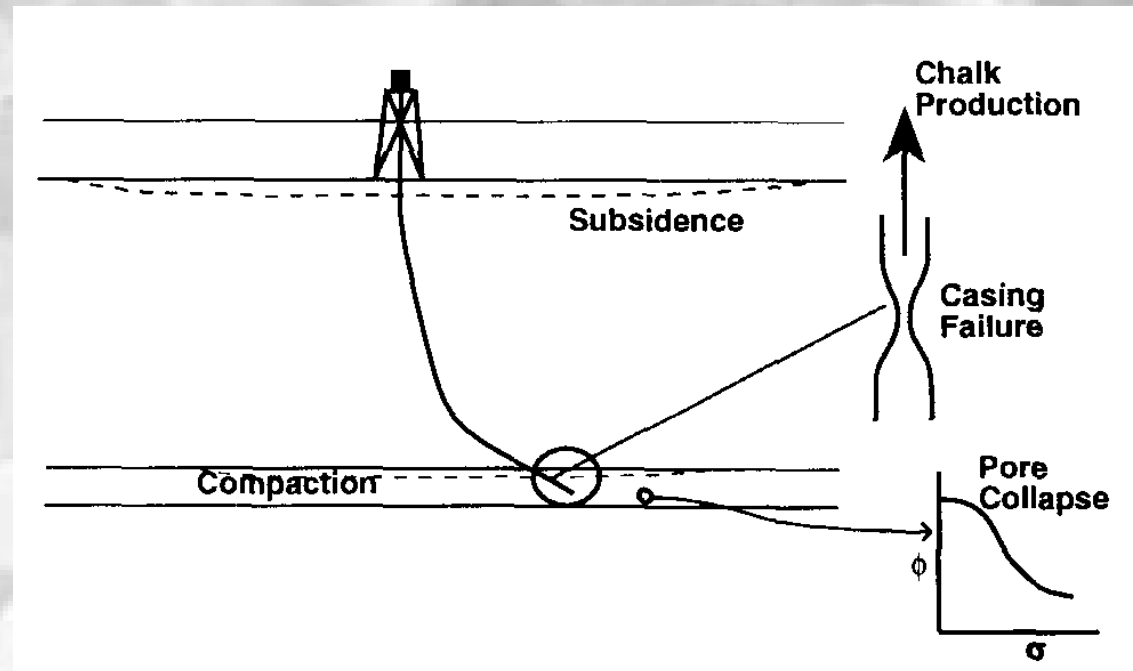
Coupe géologique (très) schématique du gisement d'Ekofisk



adapté de Masson et al., 1980 & Dheur, 1989

Problèmes posés

- ruptures de tubages
- production de craie (envahissement des puits)
- **compaction - subsidence**



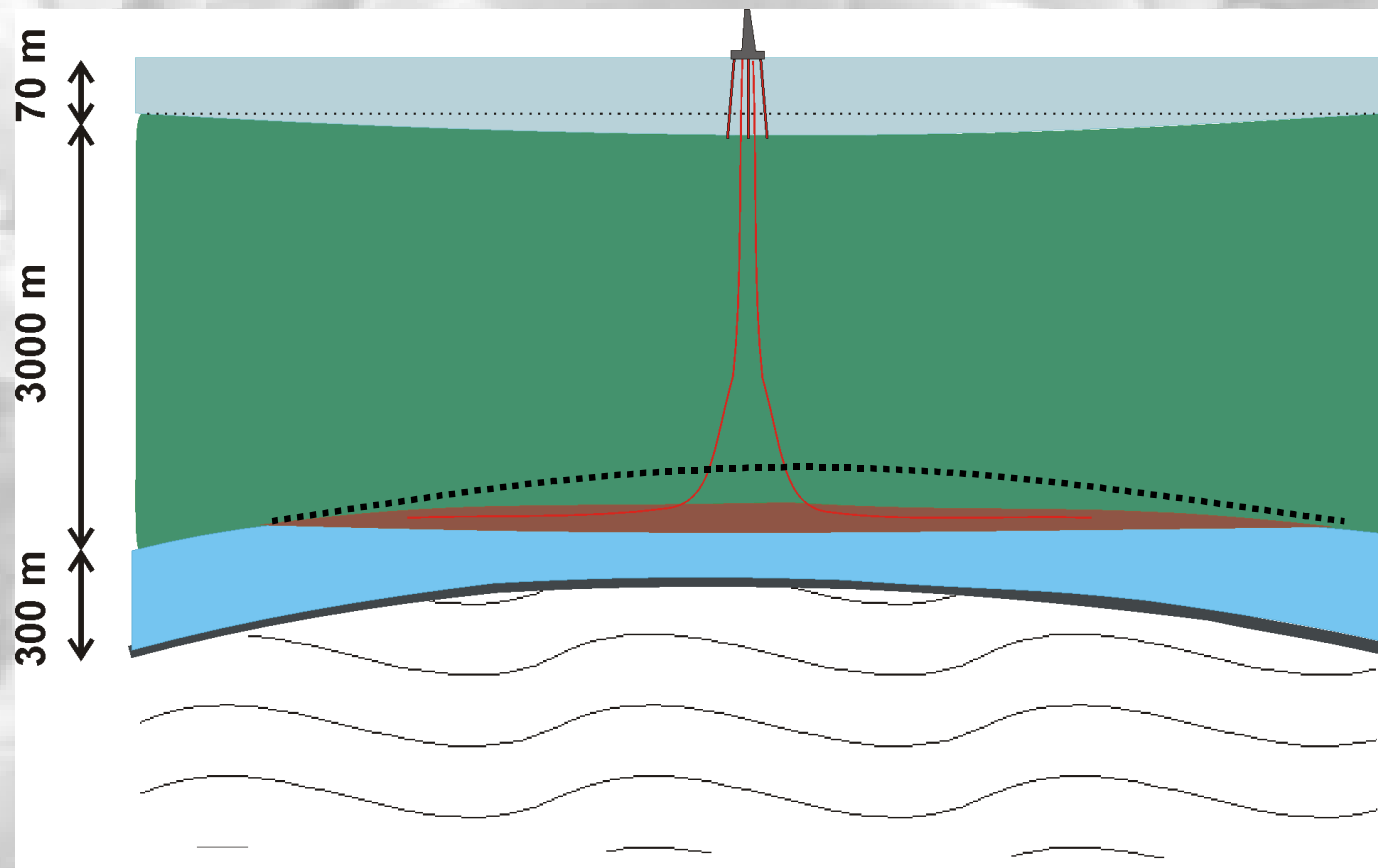
Andersen, 1995

Déplétion du réservoir (par production de pétrole) :

- pression initiale (1971) : **48 MPa**
- diminution de la pression : lente durant 6 ans puis à 2 MPa/an
- pression en 1985 : **25 (24 à 27) MPa**

⇒ **compaction** (répercutée à travers les 3000 m de couverture argileuse)

⇒ **"subsidence"** du fond de la mer



Subsidence du fond de la mer :

- constatée en 1984
- 1985 : 3 m, taux 50 cm/an
- 1986 : relevage de 6 m
injections d'eau de mer ("waterflooding") pour
 - maintenir la pression du réservoir
 - améliorer la récupération du pétrole.
- fin des '90 : subsidence continue (malgré l'injection à bilan volumique nul)
comportement mécanique de la craie :
effondrement lorsque l'huile est balayée par l'eau
- construction d'un nouveau complexe : Ekofisk 2

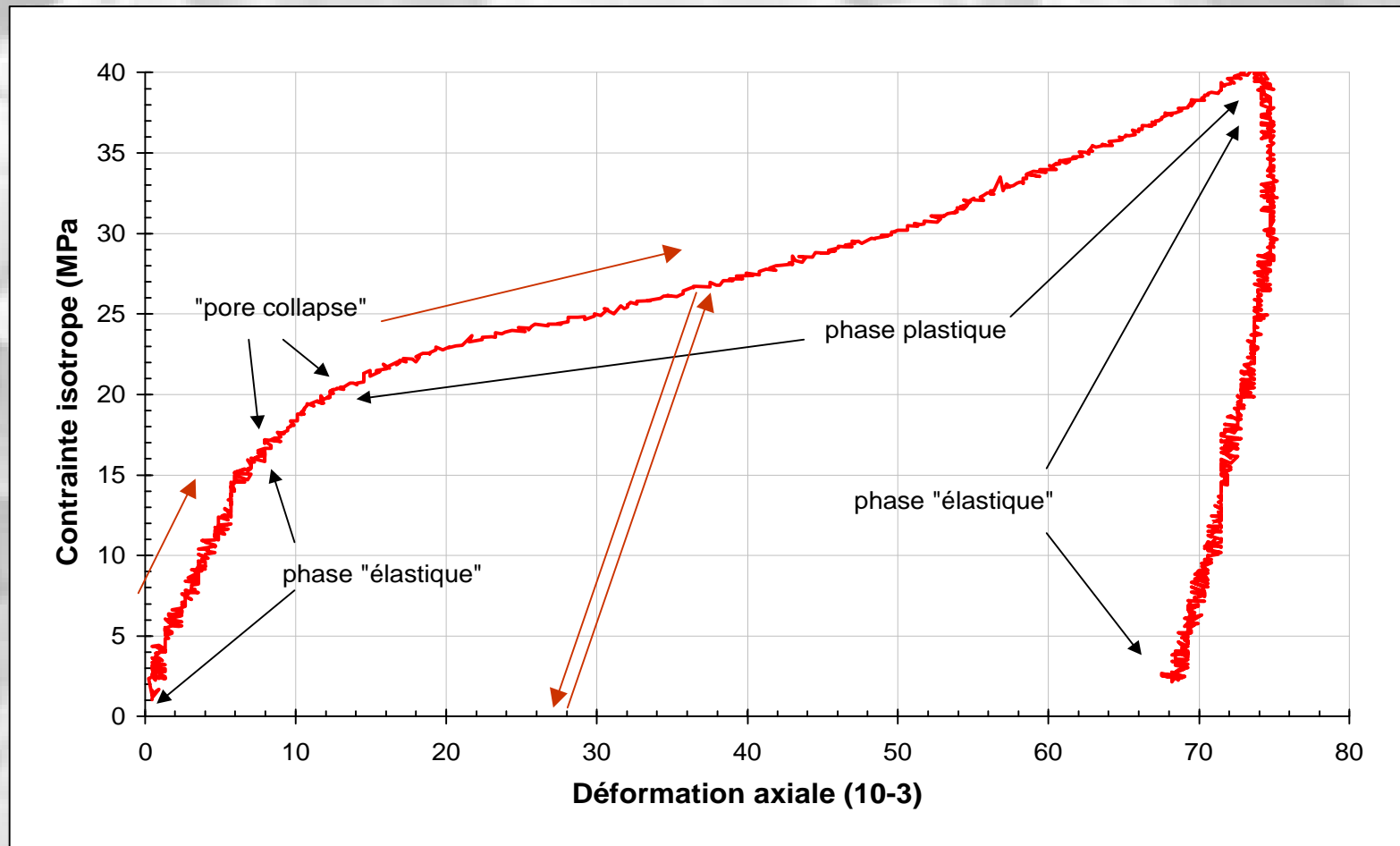
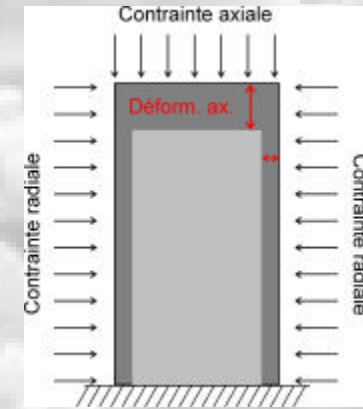
Ekofisk 2 : 20 m de sécurité



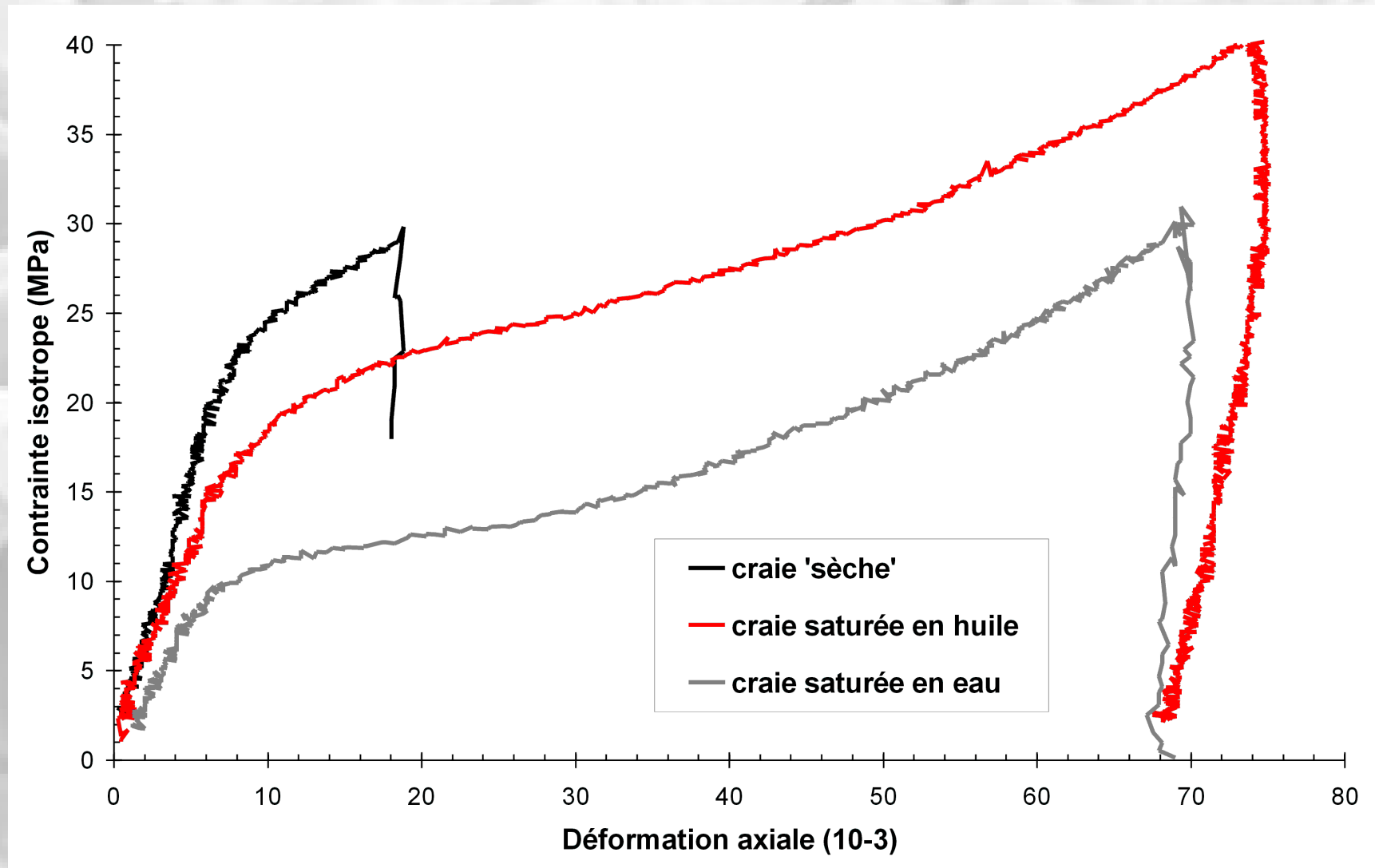
Document Phillips PCo

Essai de compression isotrope (hydrostatique) sur craie de Lixhe

saturation en Soltrol[®], essai drainé,
vitesse de mise en charge 10^{-3} MPa/s



Nature du fluide de saturation



craie de Lixhe, compression isotrope, 10^{-3} MPa/s, essais drainés

état de saturation :

- **saturation**

- in situ : ascension capillaire > 100 m

Loi de Jurin :
$$P = \frac{2 \cdot t \cdot \cos q}{r}$$

P: pression capillaire
30 - 150 m d'eau

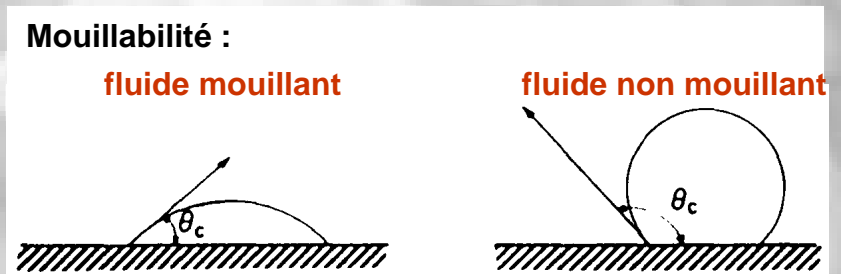
τ : tension superficielle
eau/air $72.75 \cdot 10^{-3}$ N/m

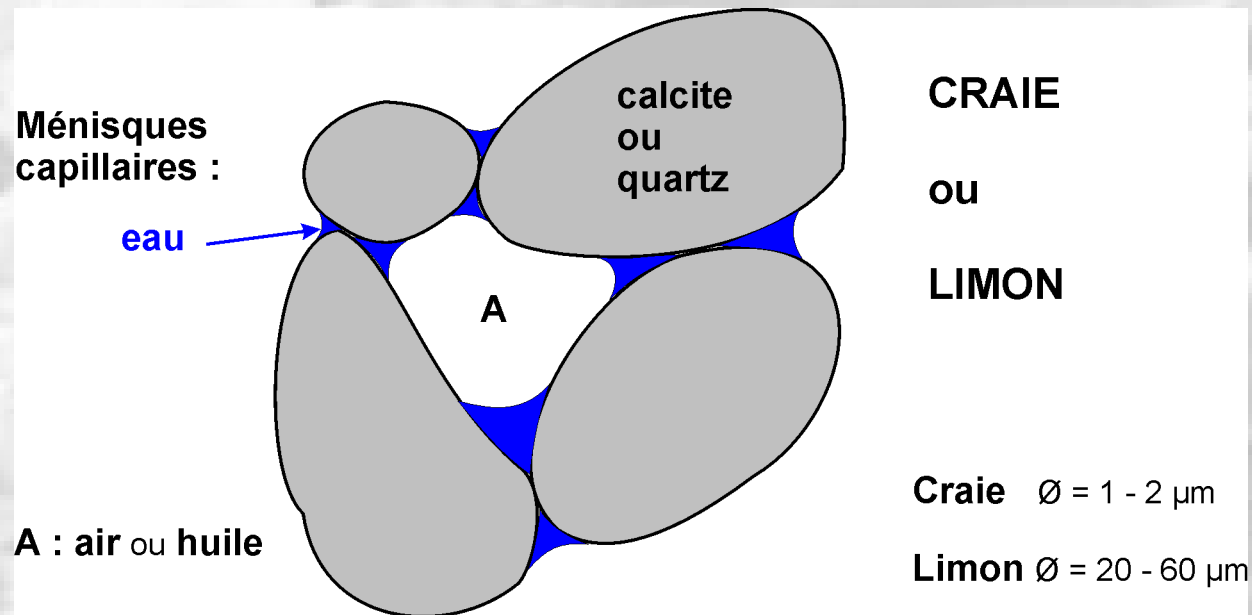
θ : angle du ménisque
mouillabilité parfaite : 0°

r : rayon du tube capillaire
0.1 - 0.5 μm

- **saturation partielle** (fluides biphasiques):

- eau, fluide *mouillant*
- autre fluide, *non mouillant*,
air ou huile
- notion de *suction*
(utilisée en mécanique des sols insaturés)





d'après Delage et al., 1996

succion ($s = u_a - u_w$) : *différence* entre

- la pression, u_a , de l'air ou de l'huile ("pression interstitielle")
- la pression, u_w , dans l'eau du "ménisque capillaire"
(pression négative = *traction* sur les grains)

d'autant plus élevée que les ménisques sont petits
(donc que la **teneur en eau est basse**)

Conclusions

- Les ingénieurs des constructions civiles et les ingénieurs géologues contribuent, par leurs recherches et par leurs compétences, à l'exploration et à la production d'énergies fossiles.

Leurs travaux portent sur :

- des aspects de terrain,
- sur l'application de méthodes mathématiques, physiques, chimiques au milieu naturel,
- Sur l'analyse au laboratoire et le développement de nouvelles approches,
- Sur la modélisation mathématique sur ordinateurs

Contacts

- Chritian Schroeder
- Robert Charlier
- Frédéric Collin
- Pierre Illing
- Département GéomaC, Chemin des Chevreuils 1, 4000 Liège.
- Email Robert.Charlier@ulg.ac.be
- Site <http://www.ulg.ac.be/geomac>