

Exploitation des hydrocarbures non-conventionnels

Jean Desroches

Science Advisor Geomechanics – Unconventional Resources Group

Mécanique des roches : défis et enjeux

14 septembre 2017



Schlumberger

Préambule

Remarques préliminaires:

- Une réflexion personnelle
- Mécanique des roches / géomécanique
- Un processus pour défricher de nouveaux horizons

La mécanique des roches pour l'exploitation des hydrocarbures conventionnels et non-conventionnels

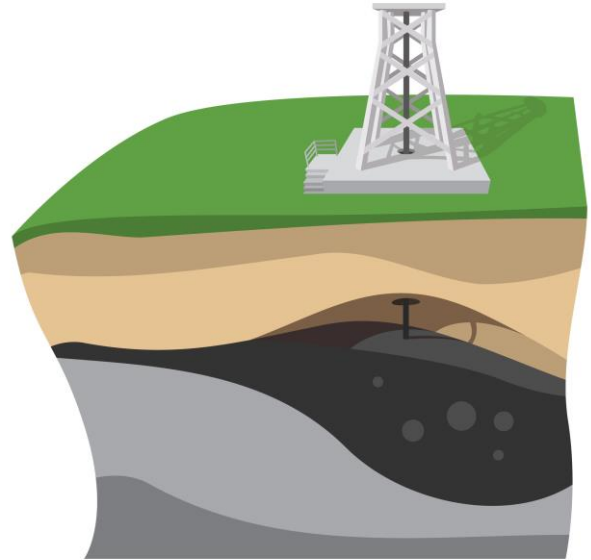
- forage
- stimulation
- mécanique de réservoir

De nouveaux défis en termes de:

- couplages
- caractérisation
- mise à l'échelle

Hydrocarbures conventionnels et non-conventionnels

Hydrocarbures conventionnels:

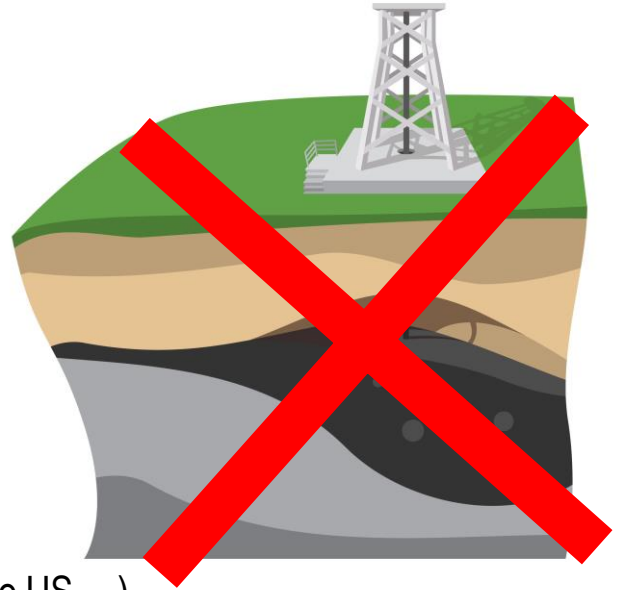


Hydrocarbures conventionnels et non-conventionnels

Hydrocarbures conventionnels:

Hydrocarbures non-conventionnels:

- En règle générale, dans des reservoirs qui ne vont pas “produire tout seul”
- Une part importante du système mondial de production (LNG, pétrole de roche-mère US,...)



Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

Mécanique du forage:

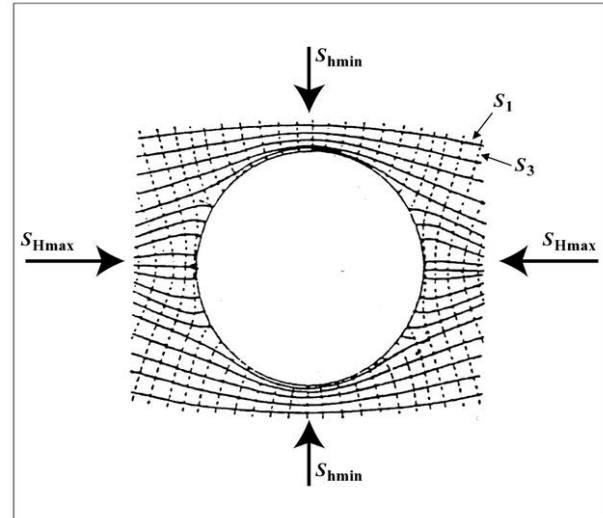
- forage vertical
- ajuster la densité du fluide de forage pour garder le contrôle du puits:
 - pas de venue d'hydrocarbures
 - pas de perte de fluide incontrôlée

Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

Mécanique du forage: *Kirsch (1898)*

- forage vertical
- ajuster la densité du fluide de forage pour garder le contrôle du puits:
 - pas de venue d'hydrocarbures
 - pas de perte de fluide incontrôlée

→ $P_{\text{reservoir}} < P_{\text{puits}} < P_{\text{frac}}$



Kirsch, 1898, *Die Theorie der Elastizität und die Bedürfnisse der Festigkeitslehre*.
Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure, **42**, 797–807.

Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

Stimulation (fracture hydraulique) – depuis 1947

Moto-pompe

Widths of Hydraulic Fractures,
Perkins, T.K. & Kern, L.R.,
89-Pa SPE Journal Paper, 1961.

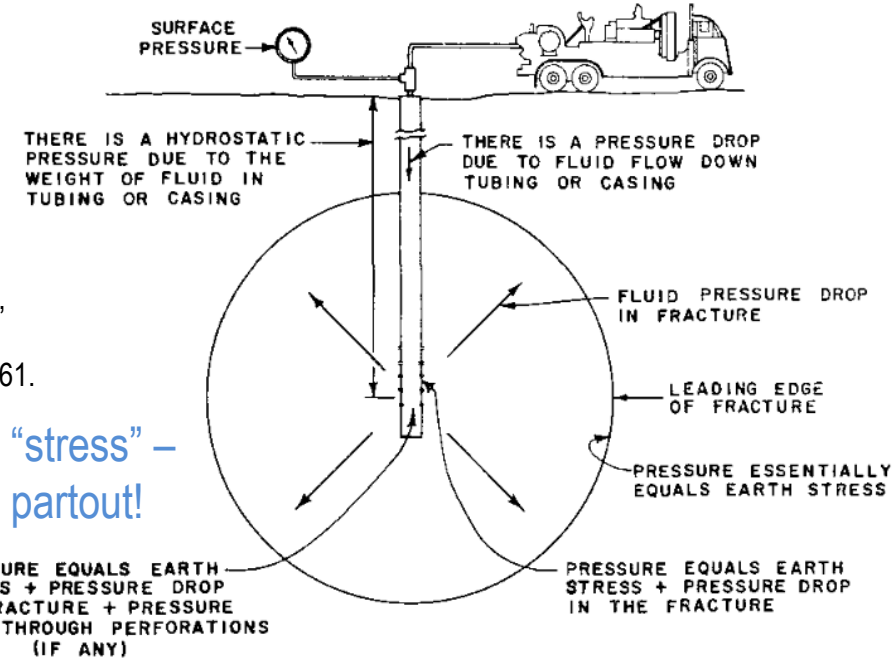
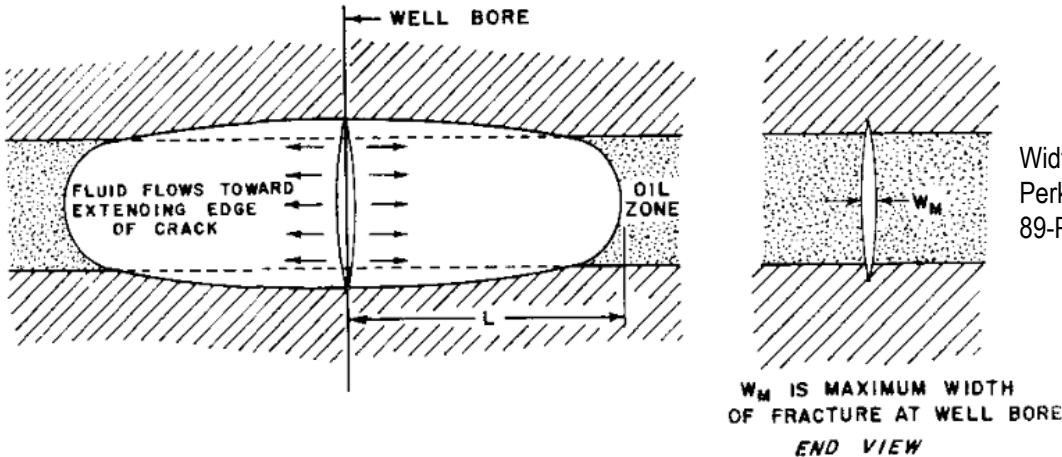


FIG. 4—SKETCH SHOWING PRESSURES DURING A FRACTURE JOB.

Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

Stimulation (fracture hydraulique) – depuis 1947

→ une communauté florissante, consommatrice de mécanique des roches



Widths of Hydraulic Fractures,
Perkins, T.K. & Kern, L.R.,
89-Pa SPE Journal Paper, 1961.

FIG. 5—SKETCH OF A RESTRICTED VERTICAL FRACTURE
(NOT DRAWN TO SCALE).

Perkins, T. K. (1967). Application of Rock Mechanics in Hydraulic Fracturing Theories. World Petroleum Congress.

Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

En particulier, première communauté à combiner diagraphies et mesures ponctuelles pour obtenir un modèle mécanique du sous-sol

Determining Fracture Pressure Gradients From Well Logs

R. A. Anderson, SPE-AIME, Schlumberger Well Services
D. S. Ingram,* SPE-AIME, Schlumberger Well Services
A. M. Zanier,** SPE-AIME, Continental Oil Co.

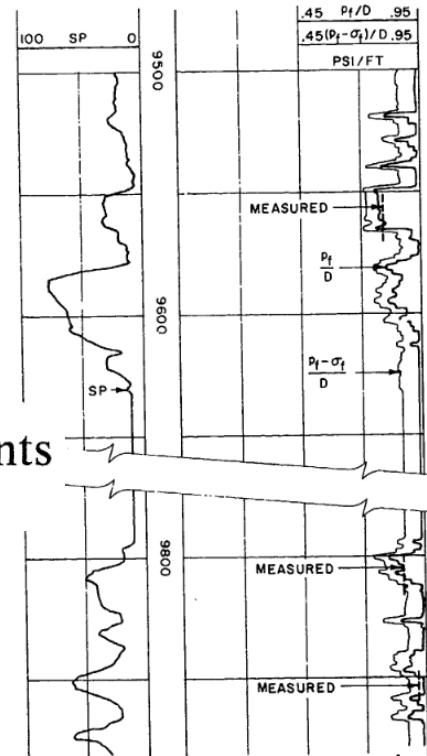


Fig. 8—Computed fracture-pressure-gradient log for Well 1.

Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

Mécanique de réservoir: “compaction drive”

Entrée en fanfare en 1987:



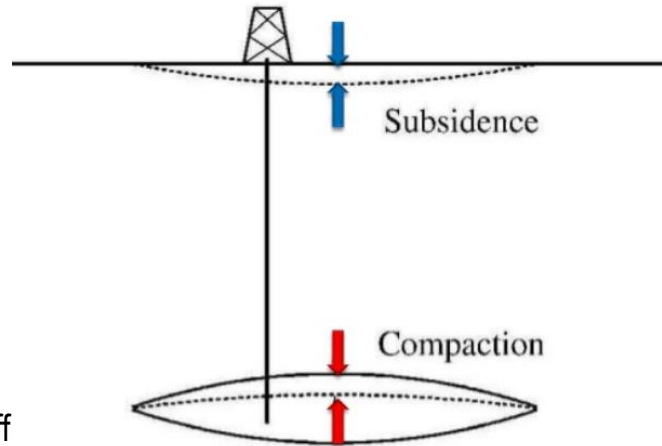
Mécanique des roches et hydrocarbures conventionnels

Mécanique de reservoir: “compaction drive”

Entrée en fanfare en 1987:

- depuis les solutions simples:
- jusqu'aux solutions 4D les plus complexes

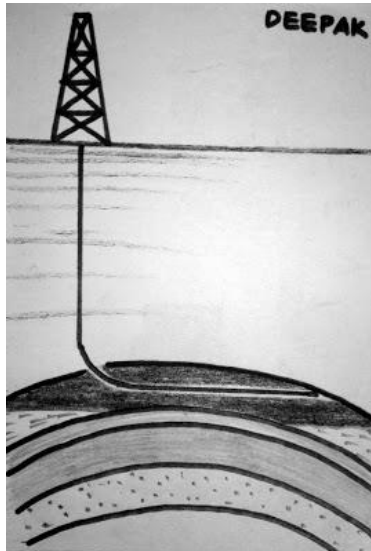
Et puis on a inventé l'injection d'eau
pour maintenir la pression du reservoir...
(sauf qu'Ekofisk a montré que ça pouvait ne pas suff



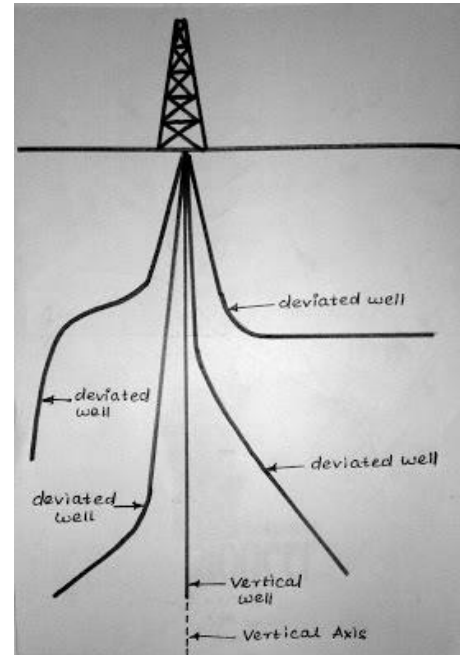
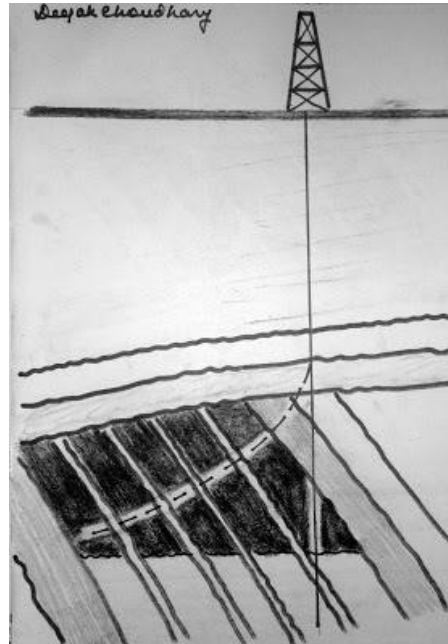
Forage en réservoirs non-conventionnels

Forage des reservoirs de grès de très faible perméabilité (“tight gas sands”):

→ la longueur de forage qui intercepte le réservoir doit augmenter



<http://directionaldrilling.blogspot.fr>



Forage en réservoirs non-conventionnels

Forage des reservoirs de grès de très faible perméabilité (“tigh gas sands”):

→ la longueur de forage qui intercepte le réservoir doit augmenter

- De nouveaux modes de rupture



Fig. 20. Angular caving.

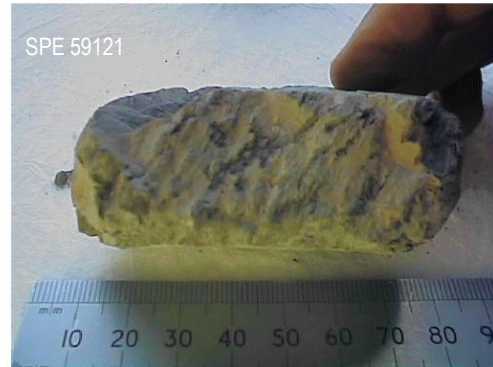


Fig. 19. Tabular caving.

Forage en réservoirs non-conventionnels

IADC/SPE 59121

When Rock Mechanics Met Drilling: Effective Implementation of Real-Time Wellbore Stability Control

I.D.R. Bradford, SPE, Schlumberger Cambridge Research, W.A. Aldred, Schlumberger, J.M. Cook, SPE, Schlumberger Cambridge Research, E.F.M. Elewaut, Netherlands Institute of Applied Geoscience TNO, J.A. Fuller, Schlumberger Holditch Reservoir Technologies, T.G. Kristiansen, SPE, BP Amoco Norge and T.R. Walsgrove, Consultant

- Complexifier les modèles (analytique, semi-analytique, EF 3D, ...)
- Stabilité de forage en temps reel (RTWBS) avec des specialists pour la mise à l'échelle
- Encapsuler la connaissance dans la technologie, le processus, et... la RCS

Forage en réservoirs non-conventionnels

IADC/SPE 59121

When Rock Mechanics Met Drilling: Ef Stability Control

I.D.R. Bradford, SPE, Schlumberger Cambridge Res
Cambridge Research, E.F.M. Elewaut, Netherlands
Holditch Reservoir Technologies, T.G. Kristiansen, SP

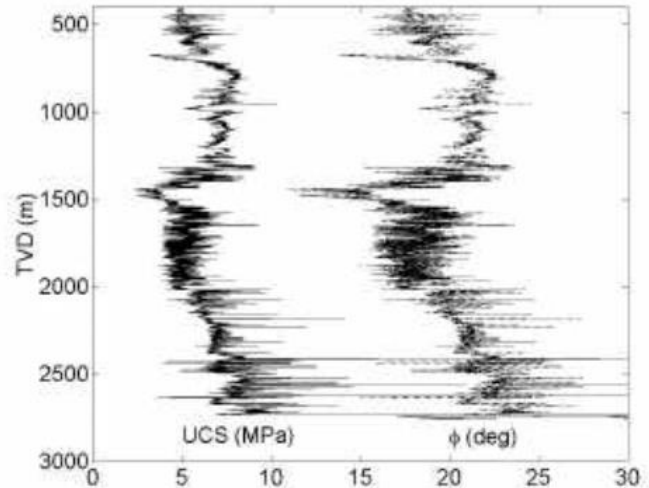
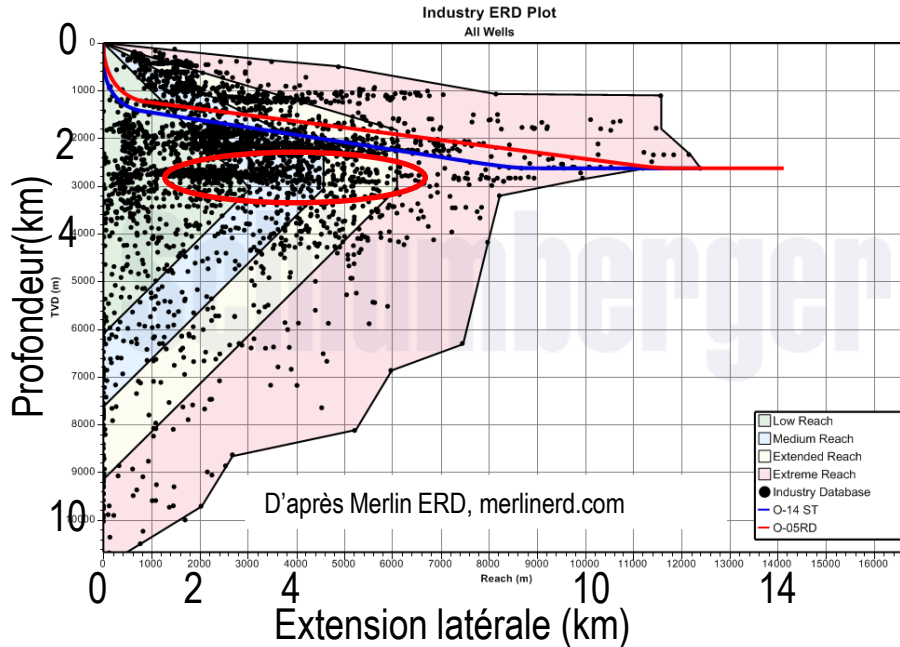


Fig. 17. Strength parameters calculated using LWD compressional slowness data.

- Complexifier les modèles (analytique, semi-analytique, EF 3D, ...)
- Stabilité de forage en temps reel (RTWBS) avec des specialists pour la mise à l'échelle
- Encapsuler la connaissance dans la technologie, le processus, et... la RCS

Forage en réservoirs non-conventionnels

- Encapsuler la connaissance dans la technologie, le processus, et des modèles simples à calibrer: **un franc succès.**



Mécanique des reservoirs non-conventionnels

Gaz de houille: de nouveaux couplages

Oilfield Review, summer 2013

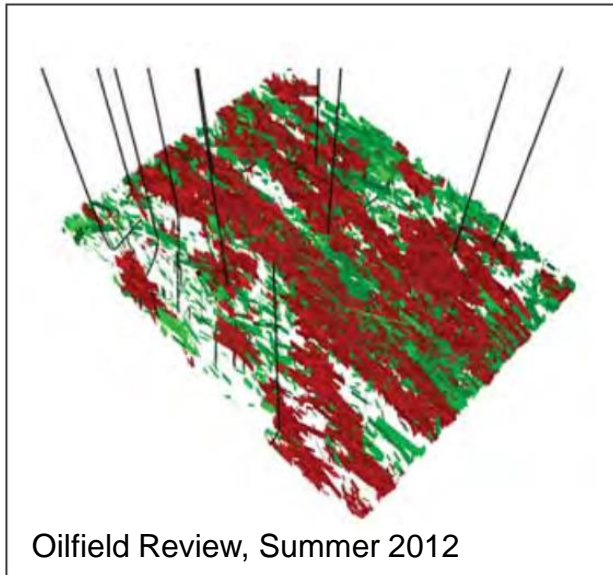
Hydrocarbures de roche-mère: des défis de caractérisation



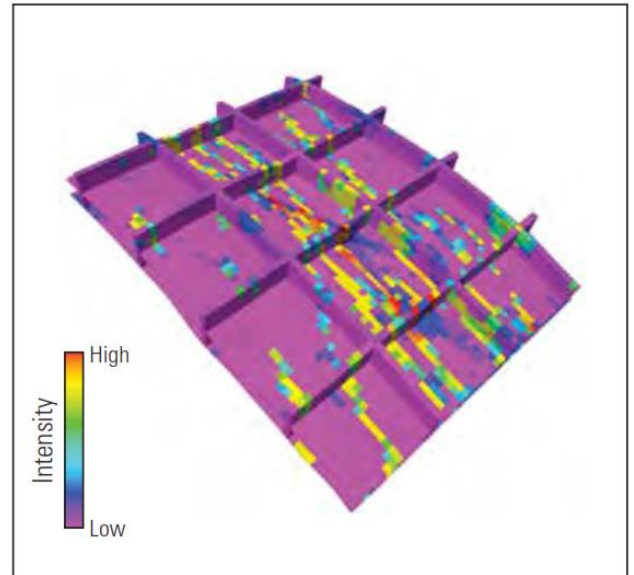
Mécanique des reservoirs non-conventionnels

Hydrocarbures de roche-mère : des défis de caractérisation,
et de mise à l'échelle

Large Fractures: Discrete Fracture Network

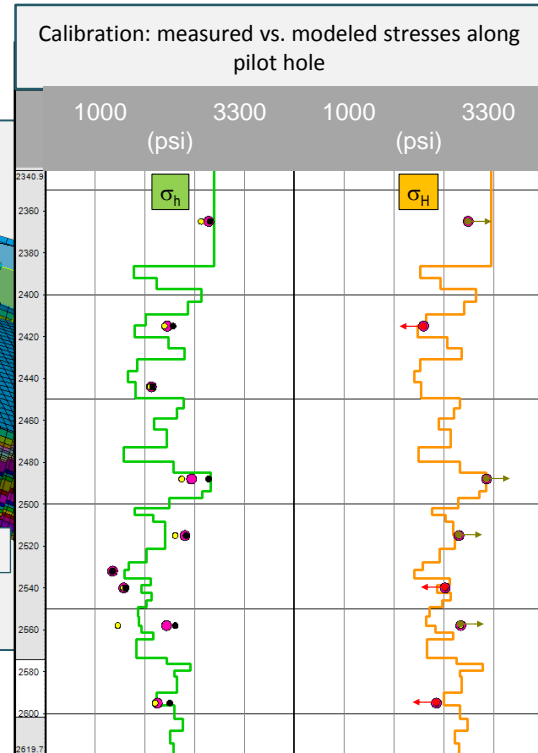
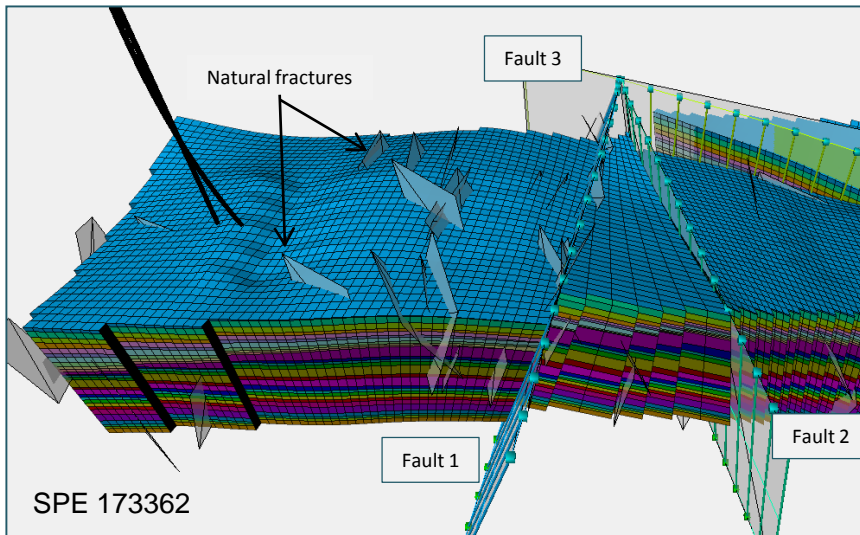


Small Fractures: Implicit Fracture Model



Mécanique des reservoirs non-conventionnels

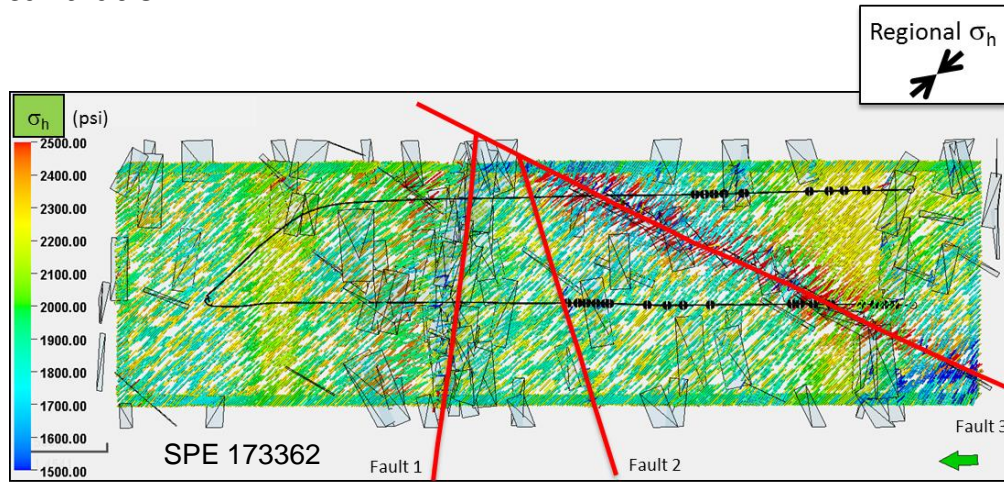
Hydrocarbures de roche-mère : des défis de caractérisation, de mise à l'échelle et de calibration



~ 600 m de profondeur, 1km de long

Mécanique des reservoirs non-conventionnels

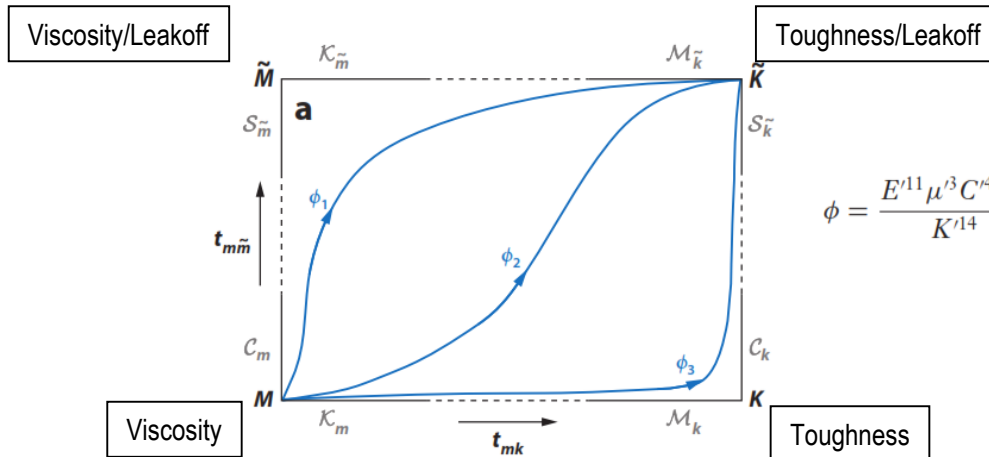
Hydrocarbures de roche-mère : des défis de caractérisation, de mise à l'échelle et de calibration:



Défi: comment encapsuler la connaissance dans processus, technologie et modèles simples?

La stimulation des reservoirs non-conventionnels

A fracturation hydraulique est un processus couplé entre la mécanique des roches (déformation et rupture) et la mécanique des fluides (y compris l'aspect transport).



Pour une fracture unique, la communauté comprend assez bien ce qui se passe.

→ par exemple pour les “tight gas”: forage horizontal ou vertical avec fracturation?

La stimulation des réservoirs non-conventionnels

Hydrocarbures de roche-mère: un changement de paradigme: longs forages horizontaux, non-alignés avec une direction de contrainte principale et fracturés hydrauliquement

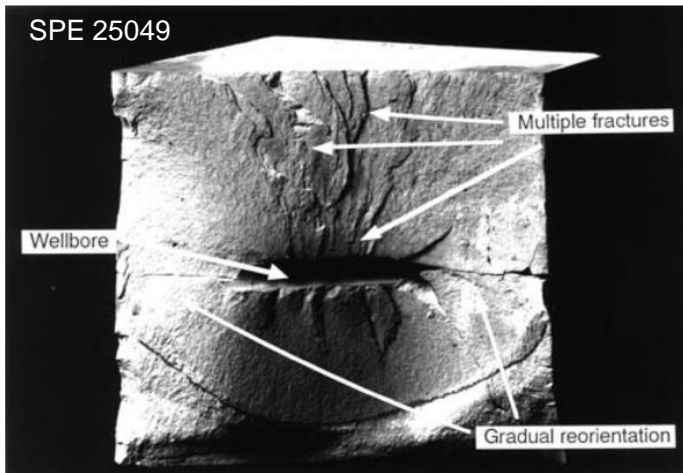


Fig. 9— Reorientation and multiple fractures in Experiment 14 with the borehole at 45° from the preferred plane.

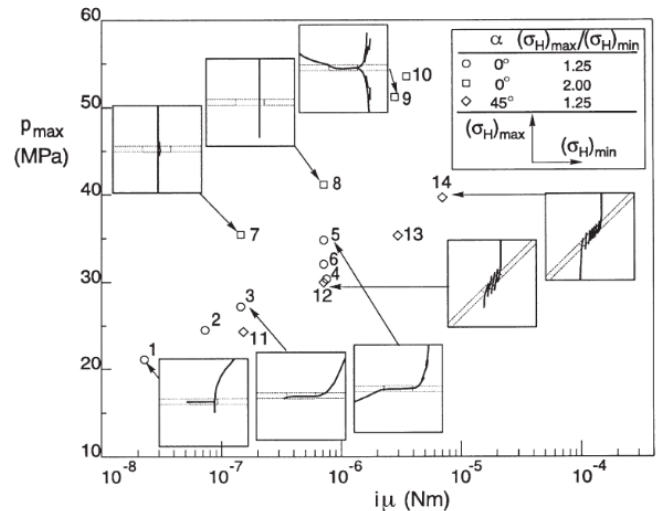


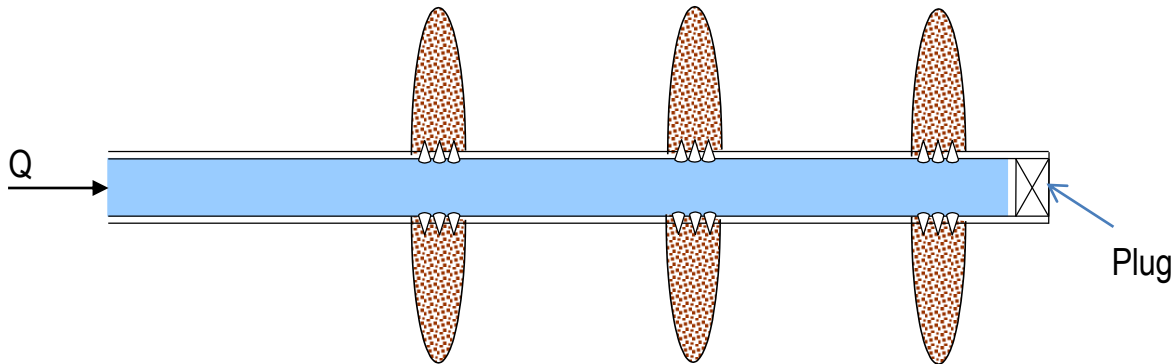
Fig. 10—Net maximum pressure vs. the product of injection rate and viscosity, with cross sections of the fracture geometry in the horizontal plane. At high flow rate and viscosity, a stronger tendency to reorientation was seen and a larger number of multiple fractures initiated at the open section.

La stimulation des reservoirs non-conventionnels

Hydrocarbures de roche-mère: un changement de paradigme:

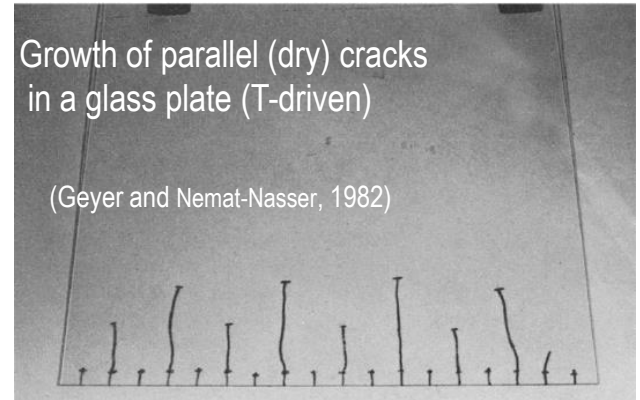
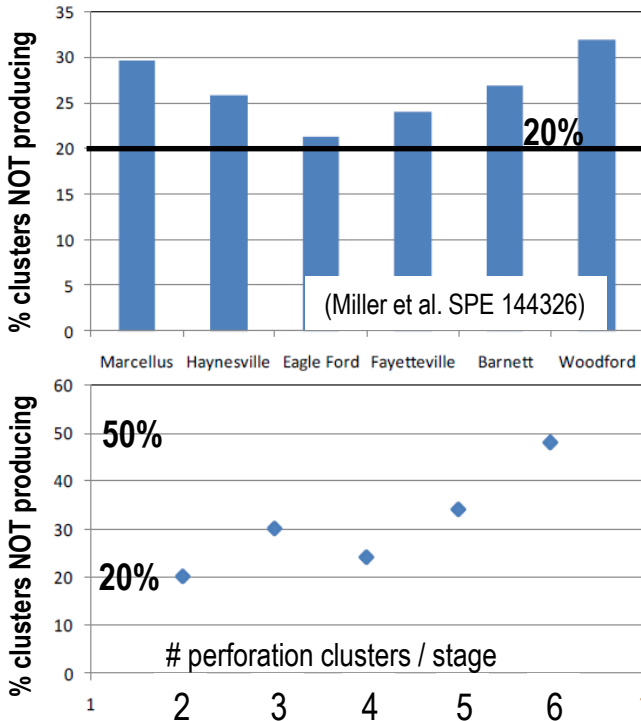
longs forages horizontaux, non-alignés avec une direction de contrainte principale, fracturés hydrauliquement

- en propageant de fractures multiples en même temps:



La stimulation des reservoirs non-conventionnels

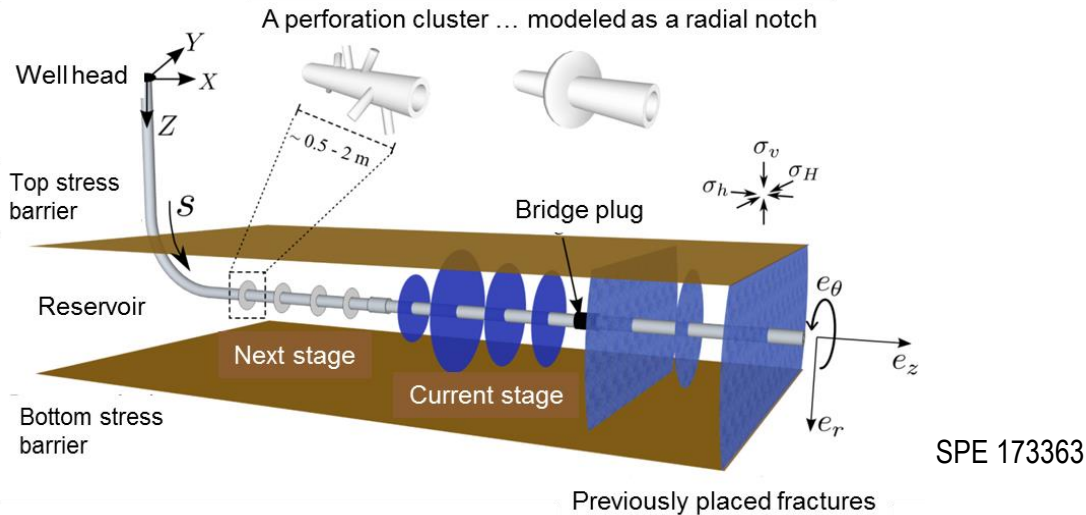
Hydrocarbures de roche-mère: un changement de paradigme:



La mécanique des roches peut-elle améliorer ce score?

La stimulation des reservoirs non-conventionnels

Hydrocarbures de roche-mère: un changement de paradigme:
longs forages horizontaux, non-alignés avec une direction de containte principale,
fracturés hydrauliquement avec plusieurs fractures concurrentes...



De la compréhension:
pour décider de l'optimum économique du nombre de fractures par intervalle.

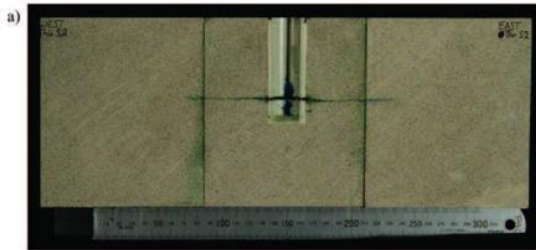
La stimulation des réservoirs non-conventionnels

Hydrocarbures de roche-mère: un changement de paradigme:

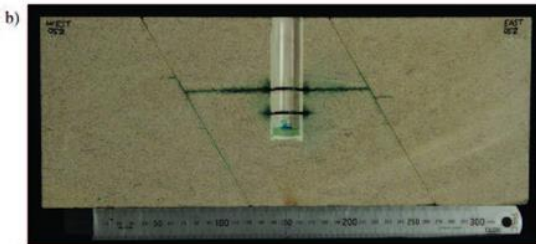
longs forages horizontaux, non-alignés avec une direction de contrainte principale, fracturés hydrauliquement avec plusieurs fractures concurrentes, qui vont réagir avec les discontinuités géologiques...

La stimulation des reservoirs non-conventionnels

Hydrocarbures de roche-mère: un changement
longs forages horizontaux, non-alignés avec une direction
fracturés hydrauliquement avec plusieurs fractures
qui vont réagir avec les discontinuités géologiques...

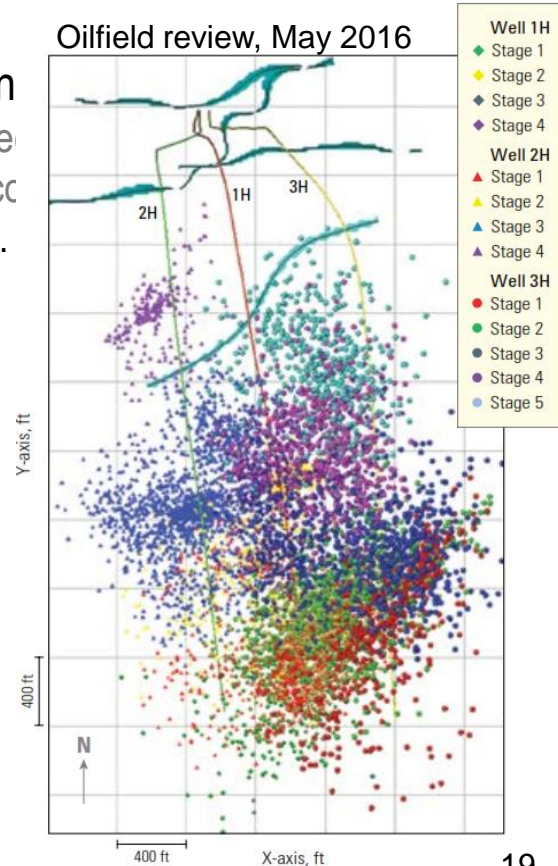


Bunger et al., 2016



On en est
au tout début...

Oilfield review, May 2016



La stimulation des reservoirs non-conventionnels

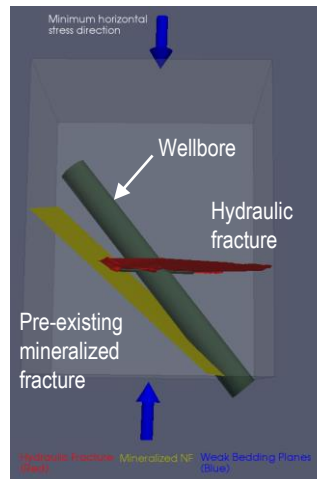
Les outils de modélisation et de design existent.

La solution est-elle une caractérisation plus poussée?

- Pour mettre à l'échelle ce qui a été compris au laboratoire?
- Parce que nos modèles sont "discrets" et "prédictifs"...

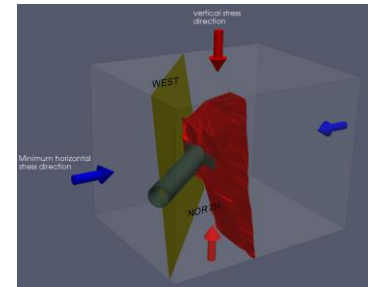
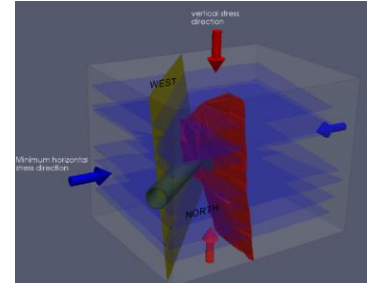
Ou doit-on chercher dans quelles nouvelles technologies et quels processus encapsuler l'apport de la Mécanique des Roches?

Burghardt et al., 2015



Top view

Perspective side views with (top) and without (bottom) bedding planes (in blue).



Conclusion

L'exploitation des hydrocarbures non-conventionnels:

a apporté de nouveaux défis à la mécanique des roches:

- couplages
- caractérisation
- mises à l'échelle

Un processus d'analyse de plus en plus fine, puis de simplification et d'intégration avec la technologie et les processus industriels a été la clé vers le succès

- forage
- stimulation des grès très peu perméables
- d'autres domaines non pétroliers?

Notre incapacité à mener ce processus à bien pour les hydrocarbures de roche-mère pourrait conduire à notre obsolescence par le data analytics.

Merci de votre attention!

