

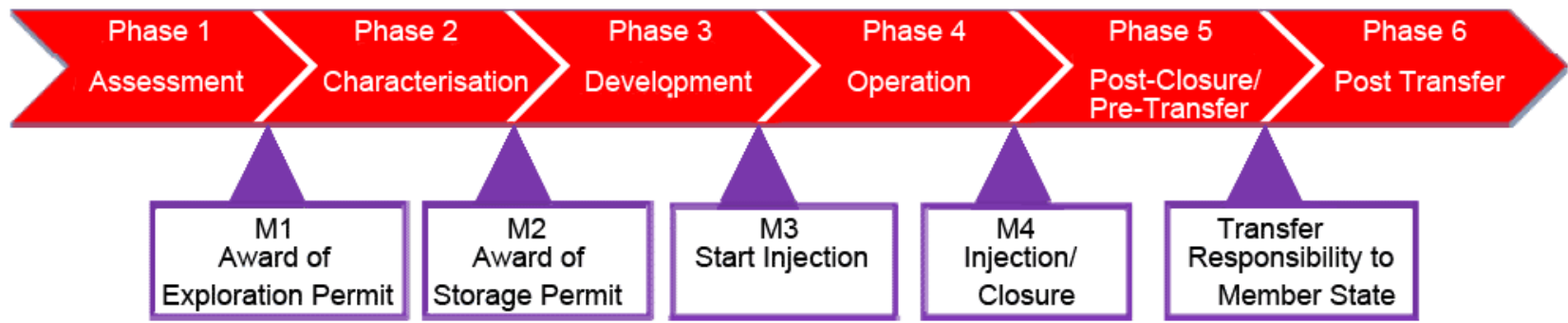
# Modélisation de l'état de contrainte mécanique d'un puits ... en vue de son abandon

A. Baroni, P. Meynier et JP. Deflandre



# Contexte

## CO<sub>2</sub> Storage Life Cycle Framework Main Project Phases and Milestones (in line with CCSD)



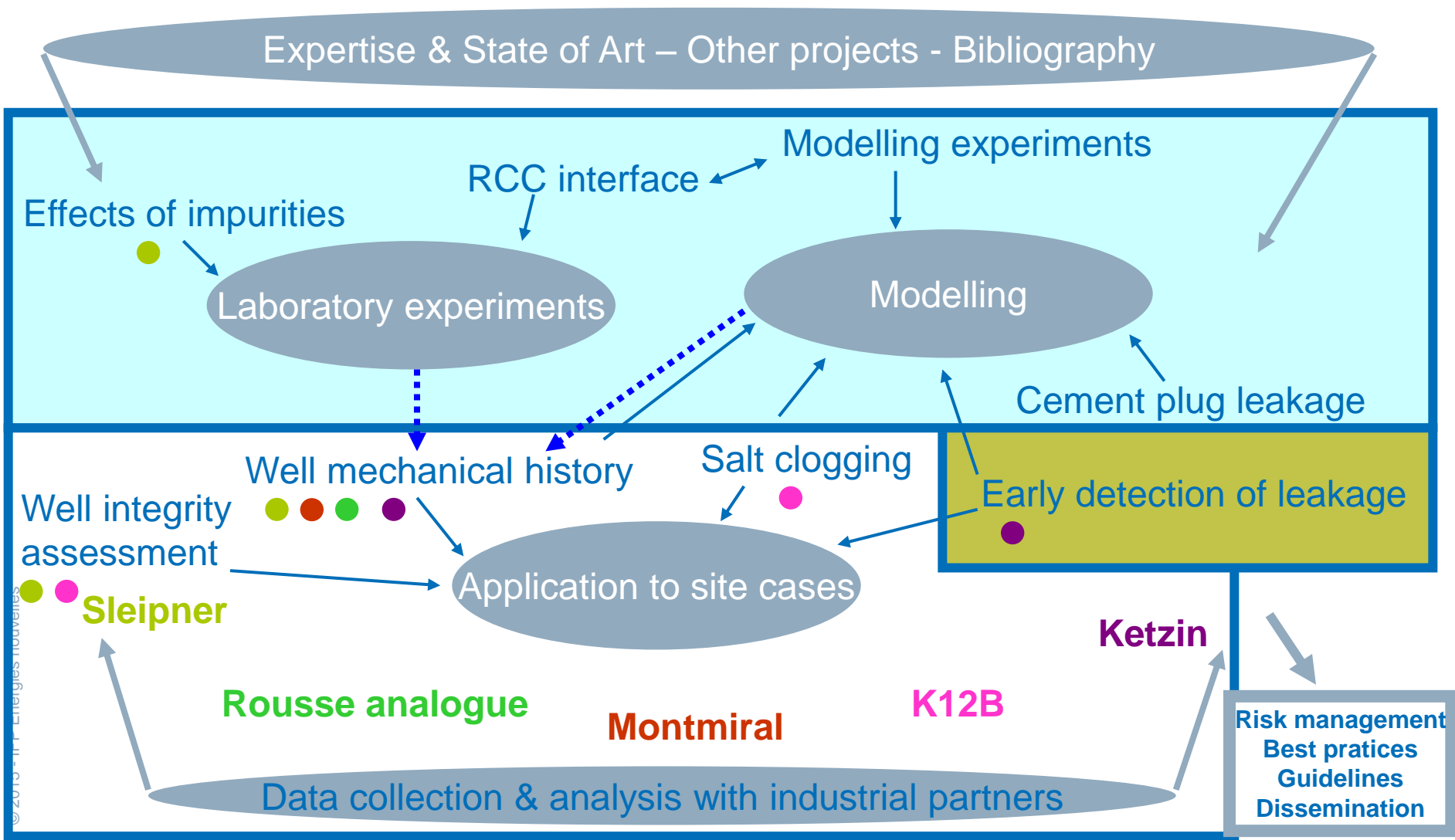


# Les objectifs de CO<sub>2</sub>CARE concernant l'abandon des puits

---

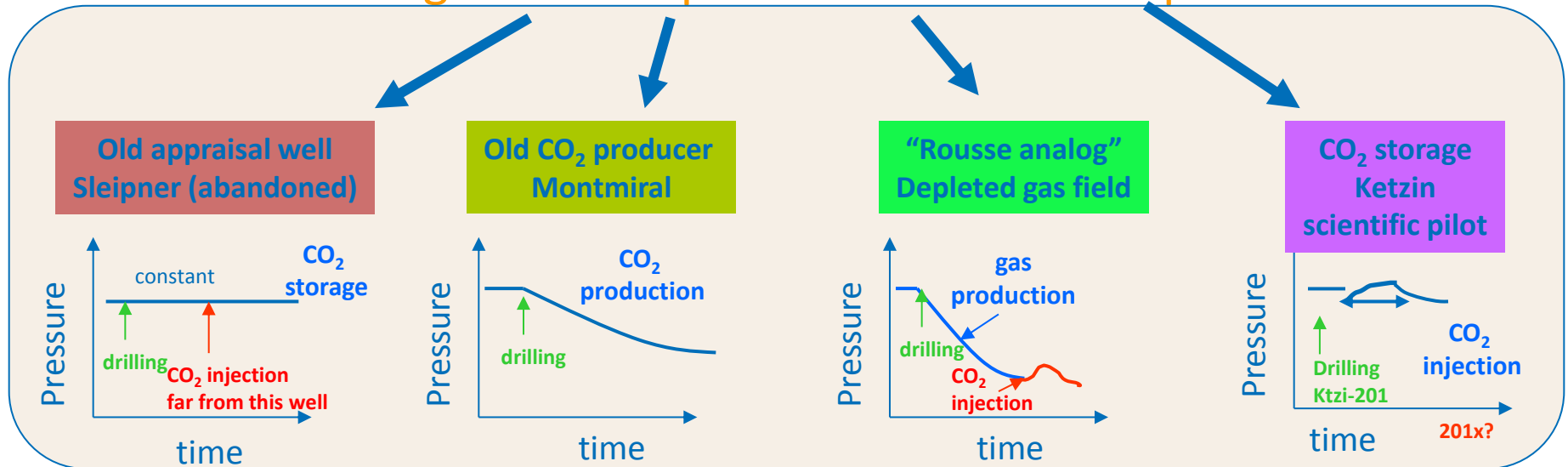
- How to prepare well abandonment, anticipating any long term risk of CO<sub>2</sub> leakage at wells
- Developments of tools and methodologies to assess the objective: base on laboratory tests, numerical simulations and monitoring feedbacks
- Elaborating recommendations and best practices for risk management and long term site integrity

# Well Abandonment Work Programme



# Application sur divers scenarios "Puits"

## Modélisations géomecaniques : 4 scenarios complémentaires



Data collection investigations on:

- Used to develop the methodology
- in situ conditions,
- well geostatic equilibrium and boundary conditions
- meshing / upscaling / refinement
- behaviour laws in media and at interfaces
- integration of 3D field pressure

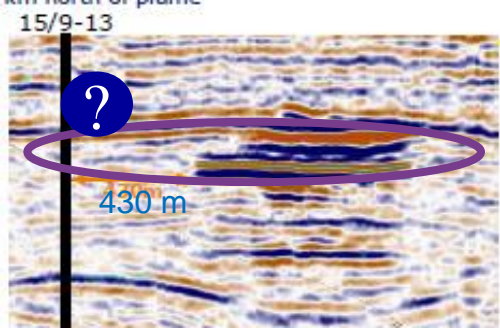
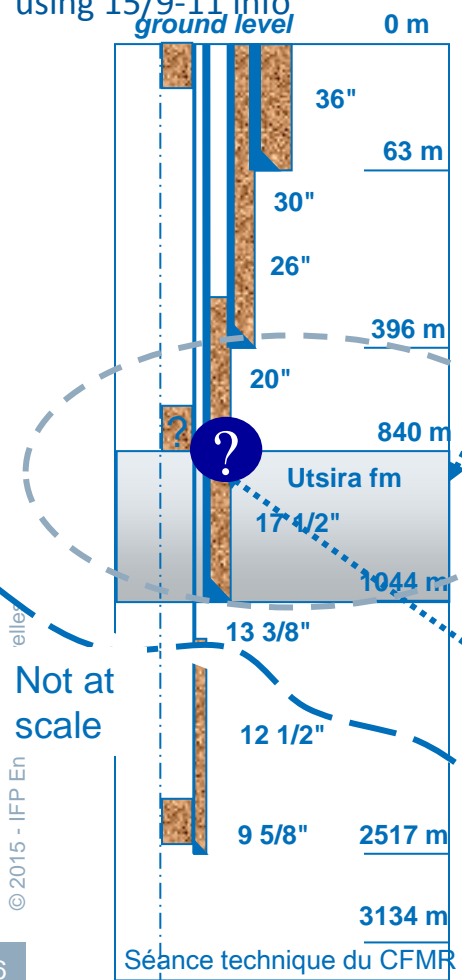


# Comportement mécanique du puits

## Le scenario de Sleipner – puits 15/9-13

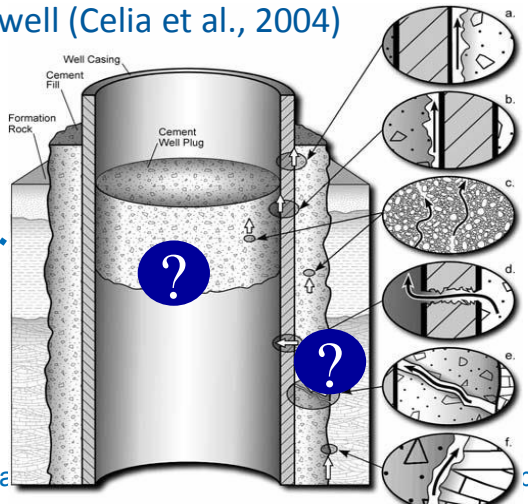
Well 15/9-13

using 15/9-11 info  
ground level

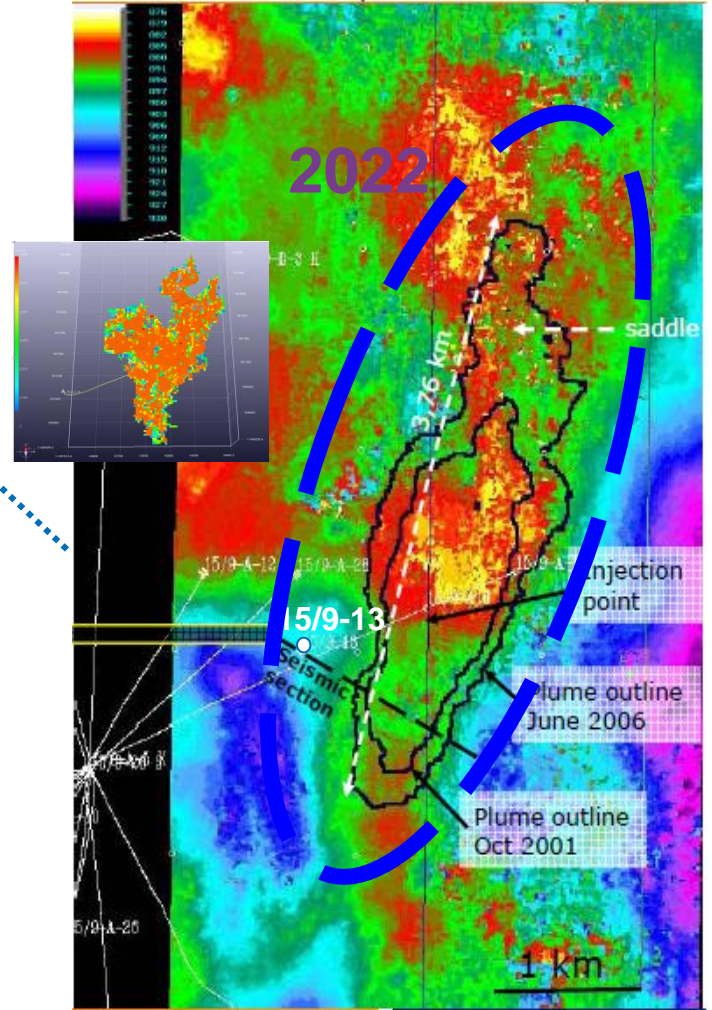


abandoned well reached by the CO<sub>2</sub> plume  
In association with  
WP3 work programme

Possible risk of leakage  
pathways in abandoned  
well (Celia et al., 2004)



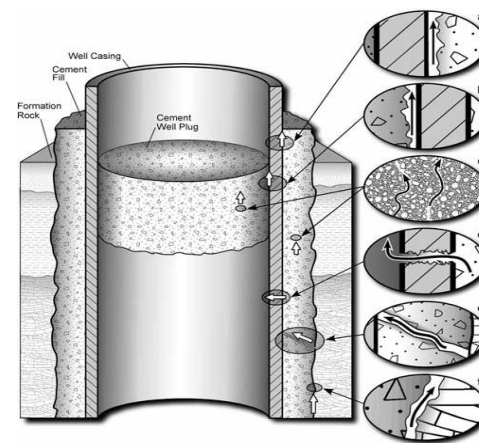
Plume extension & top Utsira time map



# Cadre de l'étude présentée

- **Objectif CO2CARE** : mettre au point les méthodes pour anticiper les risques de fuite lors du stockage géologique du CO<sub>2</sub>, et faire les recommandations pour les abandons de puits.
- **Objectif de notre étude** : Statuer sur l'intégrité mécanique du puits via une modélisation mécanique.
- **Motivation** : Les puits doivent isoler parfaitement les différentes couches perméables qu'ils traversent. Il faut donc pouvoir localiser les points de faiblesses.

Possible risk of leakage pathways in abandoned well (Celia et al., 2004)





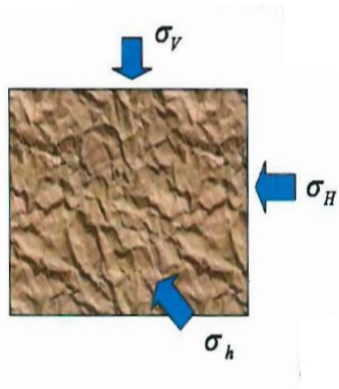
# Plan de l'exposé

---

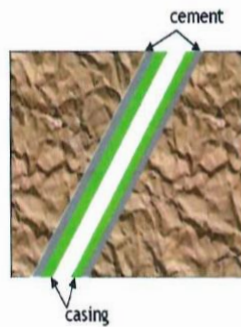
- La méthodologie « idéale »
- La méthodologie réalisée
- Application et résultats obtenus
- Conclusions / Perspectives



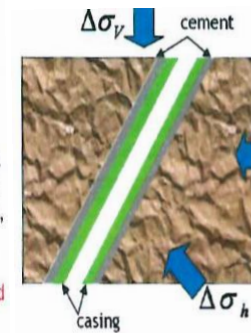
# La méthodologie « idéale »...



- Bradley (1979)
  - Elastic model
  - Pseudo 3D
  - Pore pressure ignored
- Cui(1997)
  - Poroeelastic model
  - Pseudo 3D
  - Pore pressure considered
  - inverse Laplace



- Prohaska (SPE 26070)
  - Analytical cement shrinkage model
  - Just applicable to some cases
- Zhou (SPE 59137)
  - Comprehensive analytical model considering cement shrinkage, thermal effects, filtration loss and etc.
  - Cement shrinkage and filtration loss compensated by the others

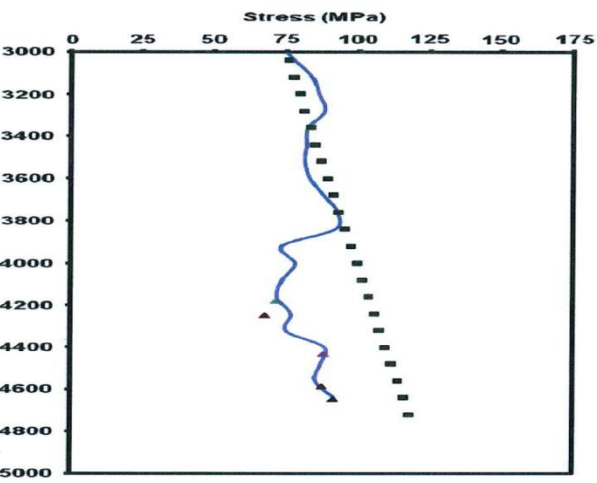


- Atkinson (1996)
  - Elastic model
  - Elastic properties
  - Plane strain
  - No axial stress
  - No thermal effect

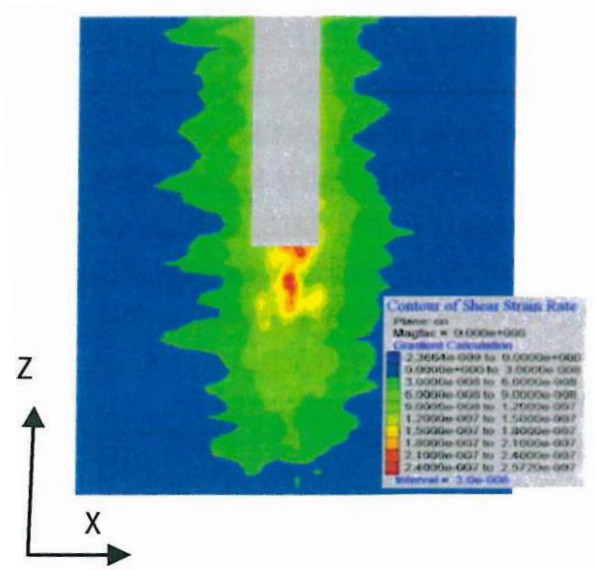
(Jo and Gray, 2010)

👉 La connaissance des lois de comportement spécifiques, et de leurs paramètres (via des expériences labo) est essentielle. Une description précise des géométries et lithologies, ainsi que de l'historique de la production sont aussi requises.

# La méthodologie « idéale »... est sophistiquée

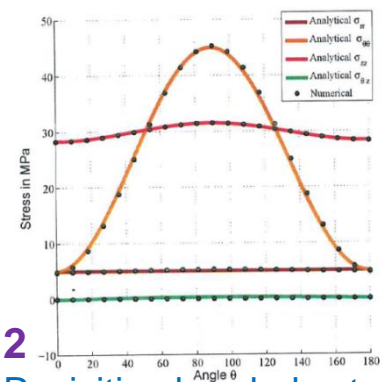
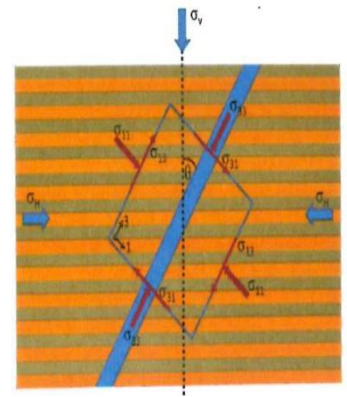


**1** Determination of the stress profile in a deep borehole in a naturally fractured reservoir (Sanaee *et al.*, 2010)



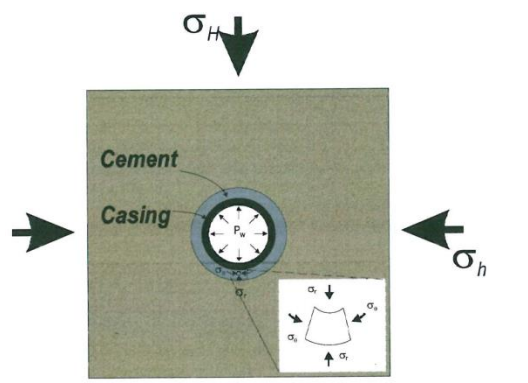
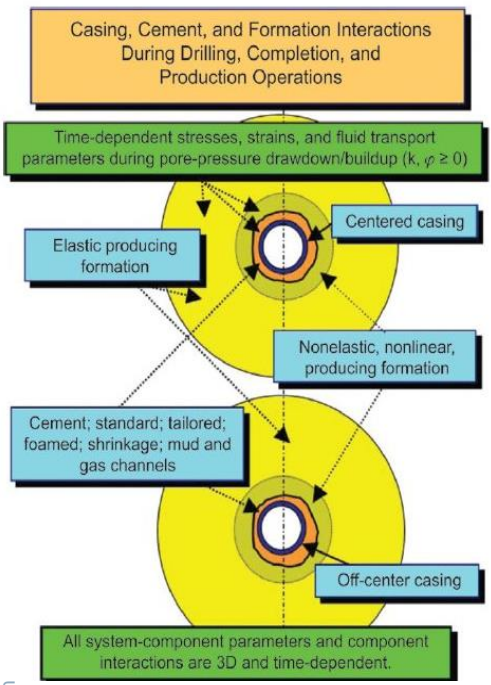
(a) Shear strain rate of Well # 15986.

**2** A strain softening Model for Drilling-induced Damage on Boreholes in Williston Basin (Jiang *et al.*, 2009)



**2** Revisiting borehole stresses in anisotropic elastic media: comparison between analytical Amadei and 3D finite element solutions (Karpfinger *et al.*, 2011)

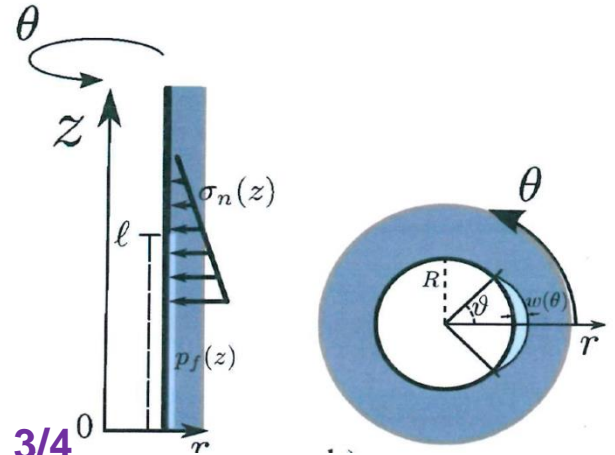
# La méthodologie « idéale »... est sophistiquée



**3** Finite element Simulation of Downhole Stresses in Deep Gas Wells Cements (Nabipour *et al.*, 2010)



Fig 4.51: 4-1/2" ID Pipe with 16 lb/gal Slurry after De-bonding at 2,500 lb Force



**3/4** Interface debonding driven by fluid injection in a cased and cemented wellbore: Modeling and experiments (Lecampion *et al.*, 2013)

**3/4** Cement fatigue and HPHT Well Integrity with Application to Life of Well Prediction (Teodoriu *et al.*, 2008)

**3** Finite element Studies of Near-Well Region During Cementing Operations (Gray *et al.*, 2009)

# La méthodologie réalisée



↕  
Indépendance des phases

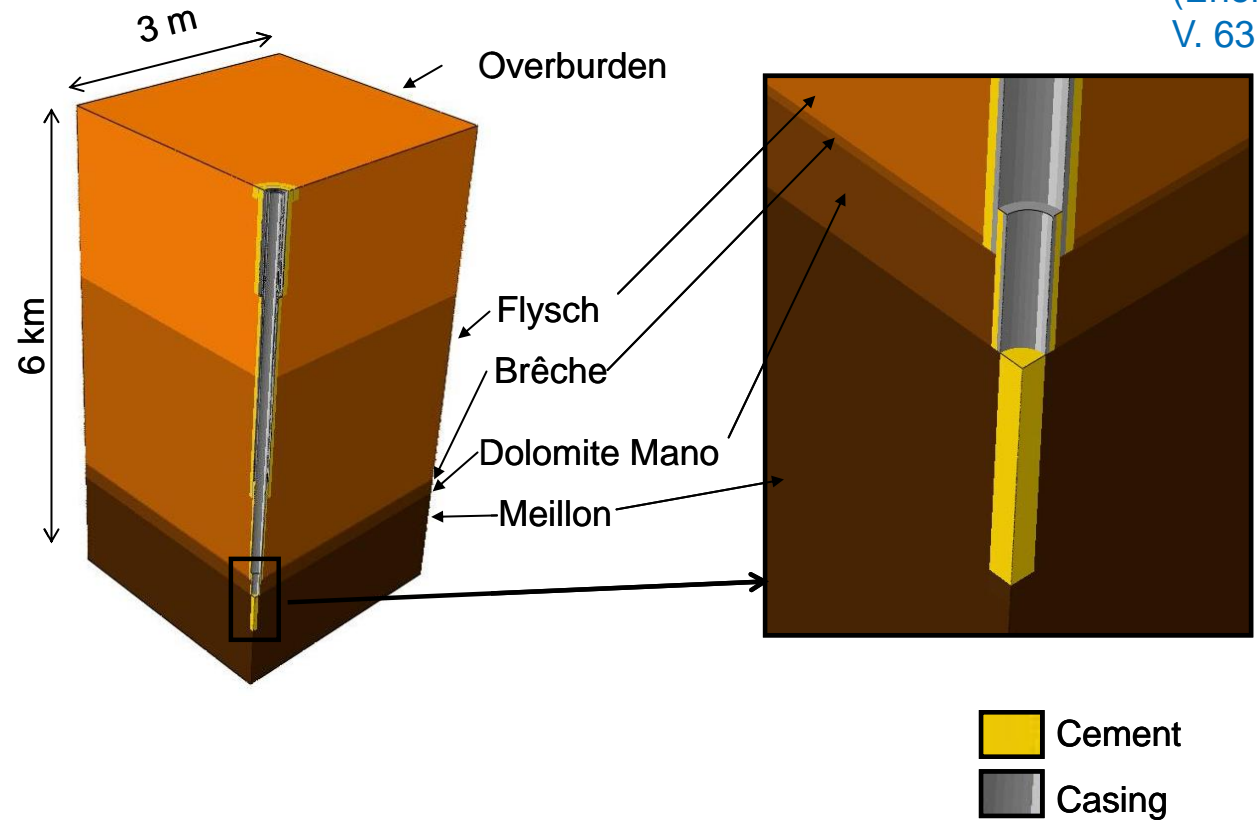
- ~~Sédimentation~~ : choix d'un état de contrainte uniforme
- Forage et complétion du puits en 2D
- Application des variations de pression sur modèle 3D localisé autour du puits
- Post-traitement pour statuer sur l'état mécanique du puits en fin de vie et identifier les zones de faiblesse



# Application et résultats obtenus

## Géométrie du modèle

Baroni *et al.*, 2014  
(Energy Procedia,  
V. 63 GHGT-12)



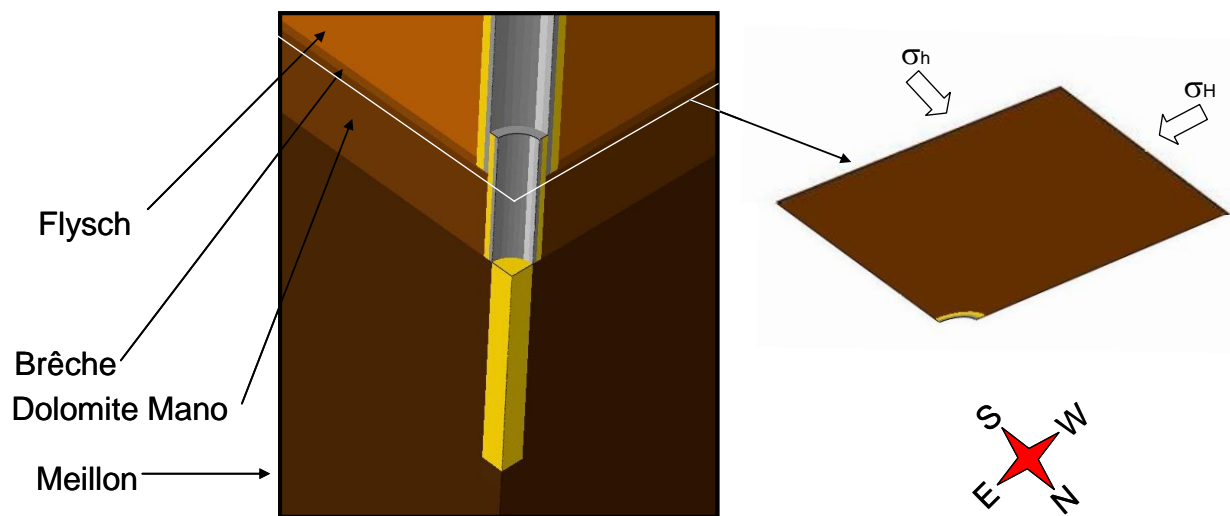
## Analogue du champ de Rousse

# Application et résultats obtenus

## Géométrie du modèle

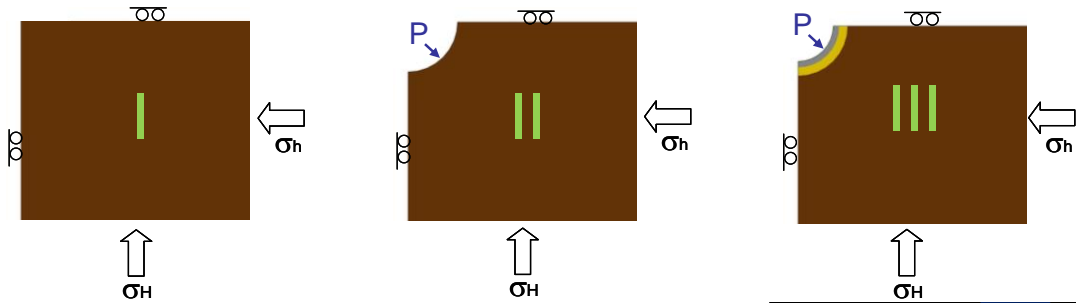
Baroni *et al.*, 2014

La section d'étude choisie est dans le réservoir et à 4550 m de profondeur ( $\sigma_h = 0.88 \sigma_v$  et  $\sigma_H = 1.31 \sigma_v$ )





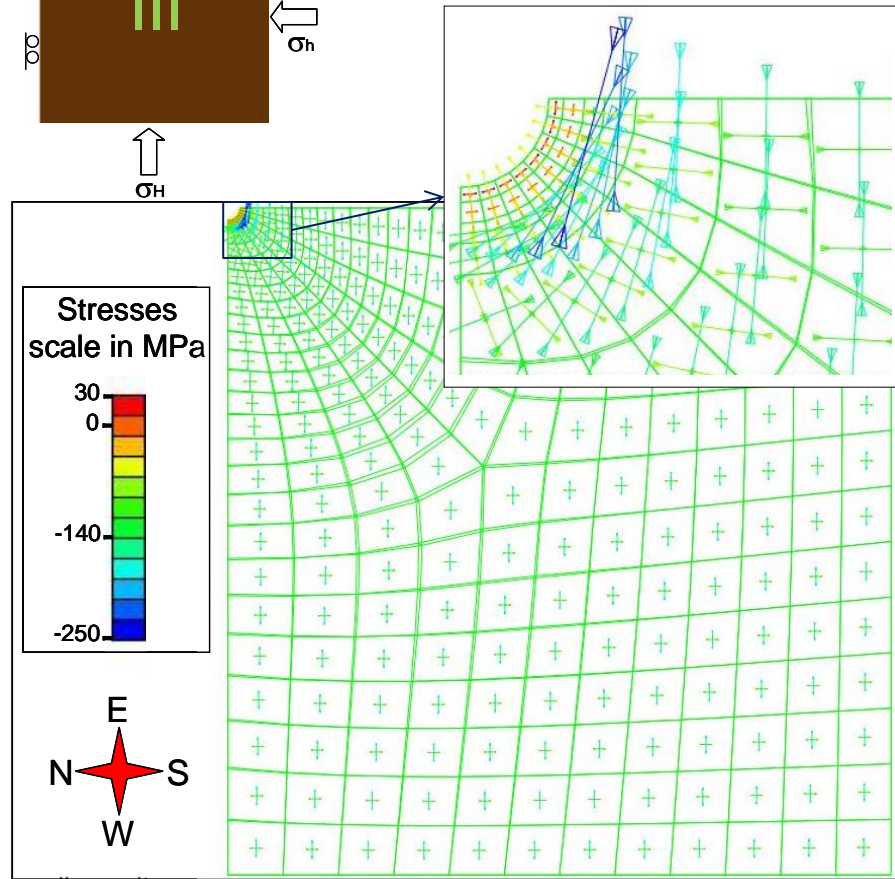
# Application et résultats obtenus



- I. Initialisation avec les contraintes *in situ*
- II. Forage du puits
- III. Casing et cimentation (ciment fluide visqueux puis mat. élastique)

Etat Final

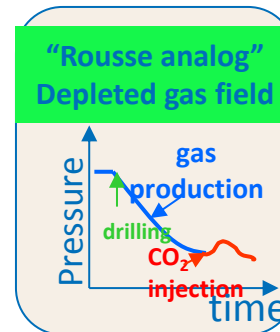
Baroni *et al.*, 2014



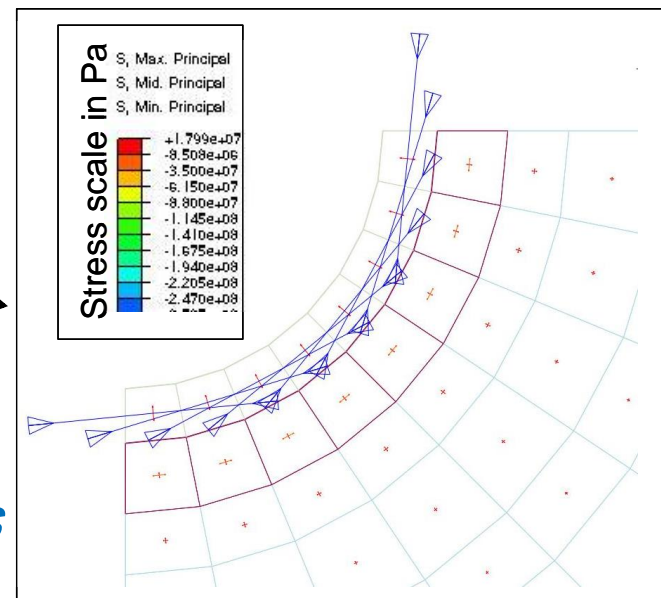
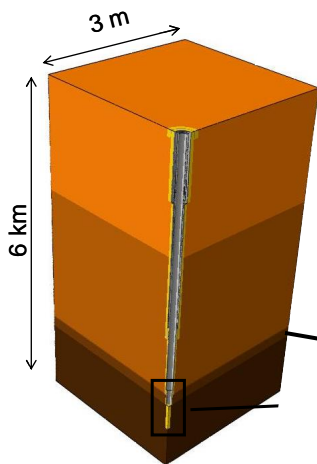
# Application et résultats obtenus



- Production du gaz : Variation de la pression de 48.5 MPa à 3 MPa



Baroni et al., 2014

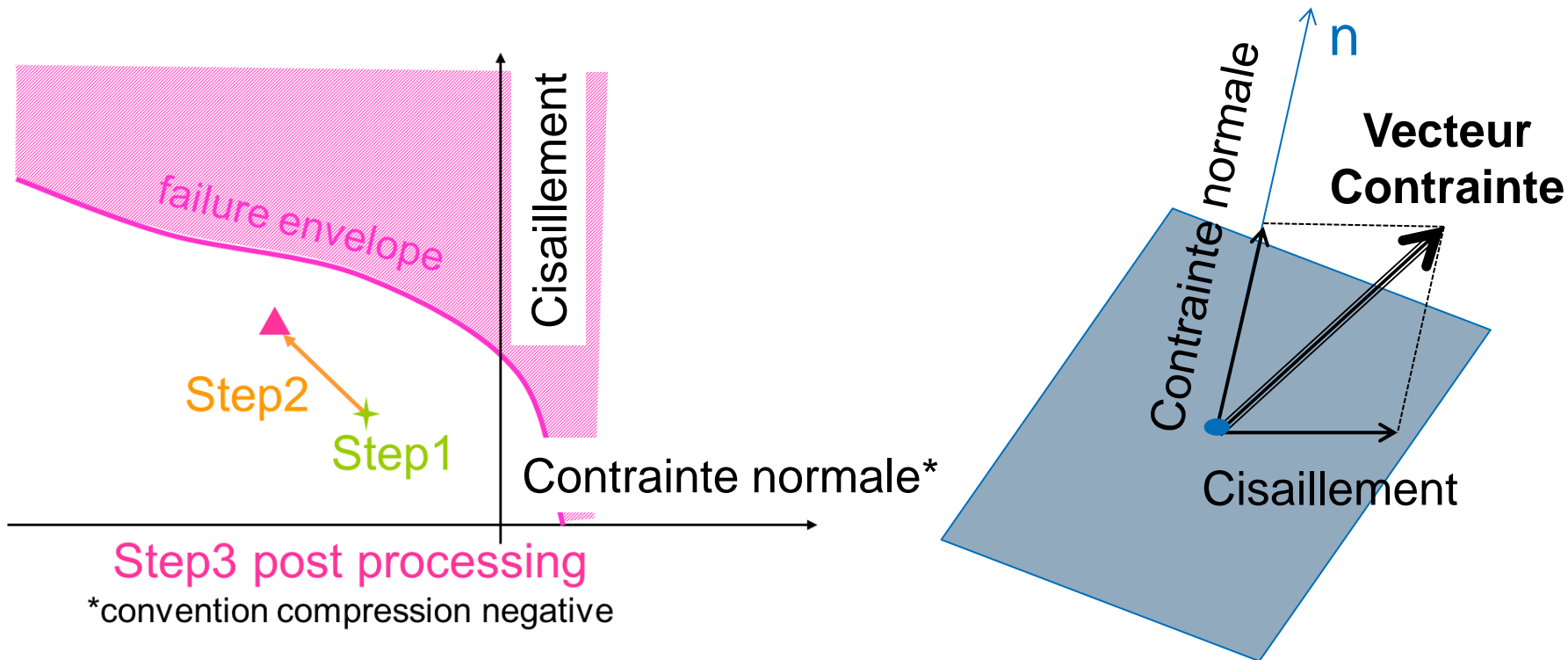


- *Remarque : déplacement de « corps rigide » dû aux conditions limites constantes*

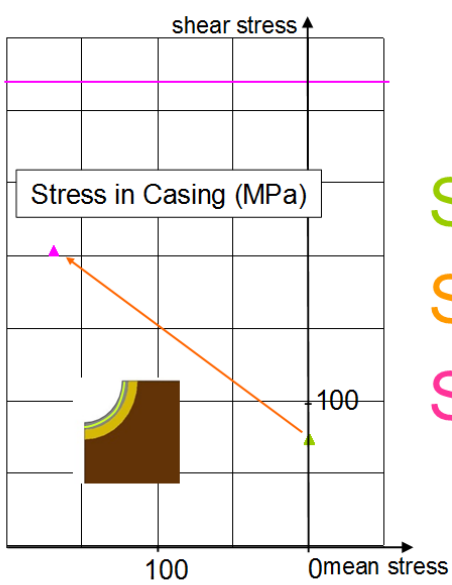
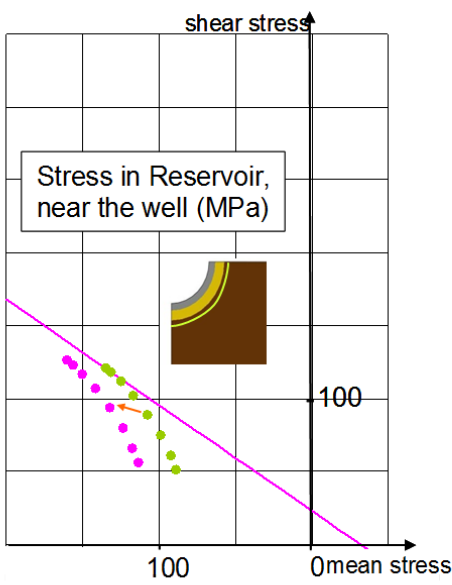
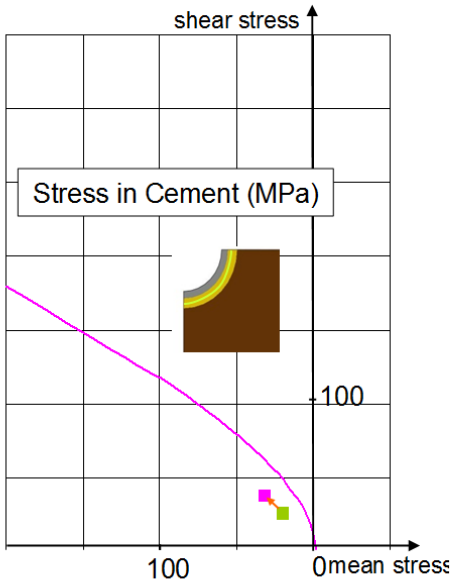
# Application et résultats obtenus



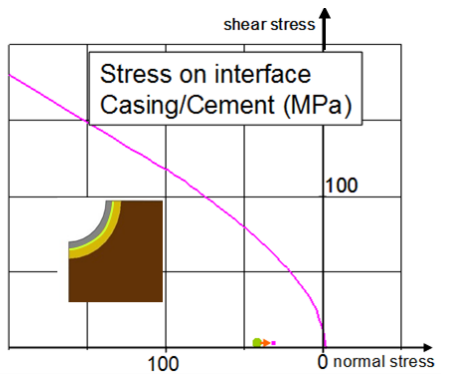
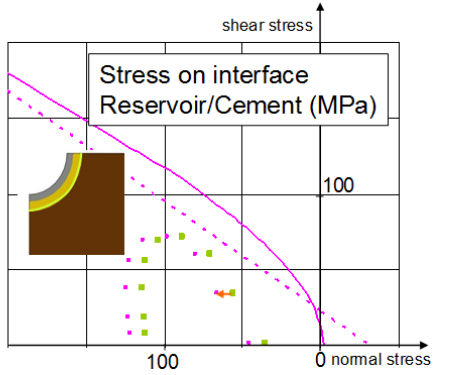
## Résultats observés dans l'espace des contraintes



# Application et résultats obtenus



Step1  
Step2 (-45MPa)  
Step3

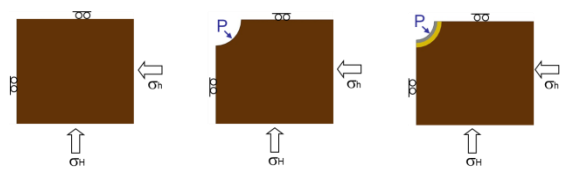


# Conclusions / Perspectives

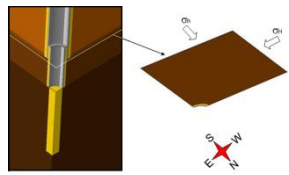
---

- Mise au point d'un workflow pour le calcul des contraintes « autour » des puits.
- Utilisation : pour localiser les zones de défaut potentiel, en comprendre l'origine, prise en compte pour forage à venir.
- Ne peut se substituer aux mesures *in situ* (outils de diagraphie acoustique, « Advanced cement integrity evaluation of an old well in the Rousse field » - Loizzo *et al.*, 2013) – mais constitue une aide pour savoir où les mesures doivent être plus précises (On ne peut connaître précisément tout l'historique, et les modèles resteront toujours des modèles).

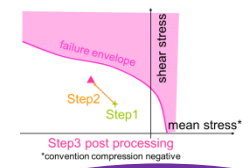
# Conclusions / Perspectives



Initialisation des contraintes  
En 2D Elastique

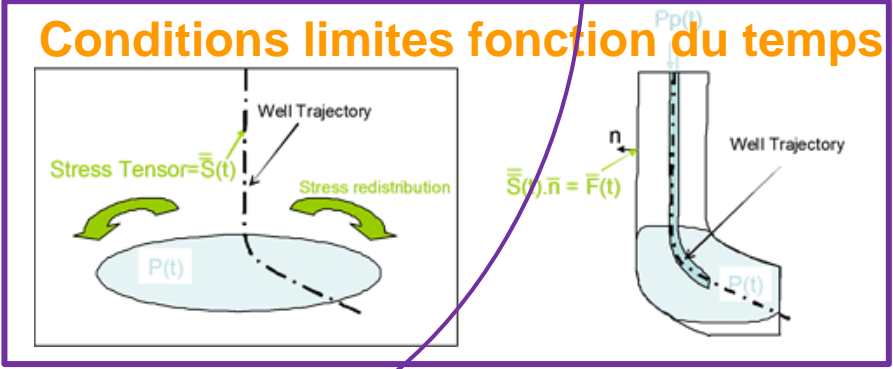


Calcul 3D Elastique  
CL constantes  
Sollicitation P uniforme



Post-traitement  
sur contraintes

3D – Forage ?  
Complétion ?



Calcul hydraulique autour du puits  
Calcul thermique autour du puits

Double Critère Energie-Contrainte



# Remerciements



Nous remercions la Commission Européenne et nos partenaires industriels pour leur soutien financier, ainsi que nos collègues et plus spécifiquement H. Boulharts, L. Cangémi et O. Vincké



## A la mémoire de Patrick Meynier





Innover les énergies

[www.ifpenergiesnouvelles.fr](http://www.ifpenergiesnouvelles.fr)



## Résumé fourni

Dans le cadre du projet européen CO2CARE (dont l'objectif était de mettre au point les méthodes, et de faire les recommandations pour les abandons de puits) une méthodologie pour estimer l'état de contraintes des puits avant abandon a été proposée.

L'estimation de l'état de contraintes tout au long de la vie du puits, implique la prise en compte de tous les chargements qu'il a subi (durant le forage, la complétion, les changements de pression à l'intérieur du puits, mais aussi dans le réservoir...). La modélisation a ainsi été réalisée en 3 étapes :

Sur un modèle 2D, perpendiculaire à l'axe du puits : on a modélisé le forage du puits, la mise en place du casing et du ciment, ainsi que le séchage de ce dernier, ce modèle permet d'obtenir l'état de contrainte initial.

Sur un modèle 3D élastique, les changements de pression dans le puits et le réservoir ont été appliqués, afin de calculer les variations de contraintes subies par le puits au cours de son histoire.

La connaissance de l'état de contrainte limite pour les matériaux constituant le puits, et pour les différentes interfaces, permet de statuer sur l'endommagement possible du puits, en comparant cet état, à celui obtenu en ajoutant l'état de contrainte initial (1) aux variations de contraintes (2).