



CFGI – SBGIMR

Journées Techniques Transfrontalières

Cavités souterraines et Karsts

12/12/2013

Carrières d'Estreux et Saint Martin : Influence de l'eau et du vieillissement sur le comportement de la craie

Melle N. Lafrance (INERIS)

M. C. Auvray (GeoRessources)

M. J.-M. Watelet (INERIS)

M. P. Gombert (INERIS)

M. M. Souley (INERIS)





1. Généralités sur les craies des carrières dites
d'Estreux à St Saulve (59)
Larris-Millet à Saint-Martin-le-Nœud (60)

Historique minier

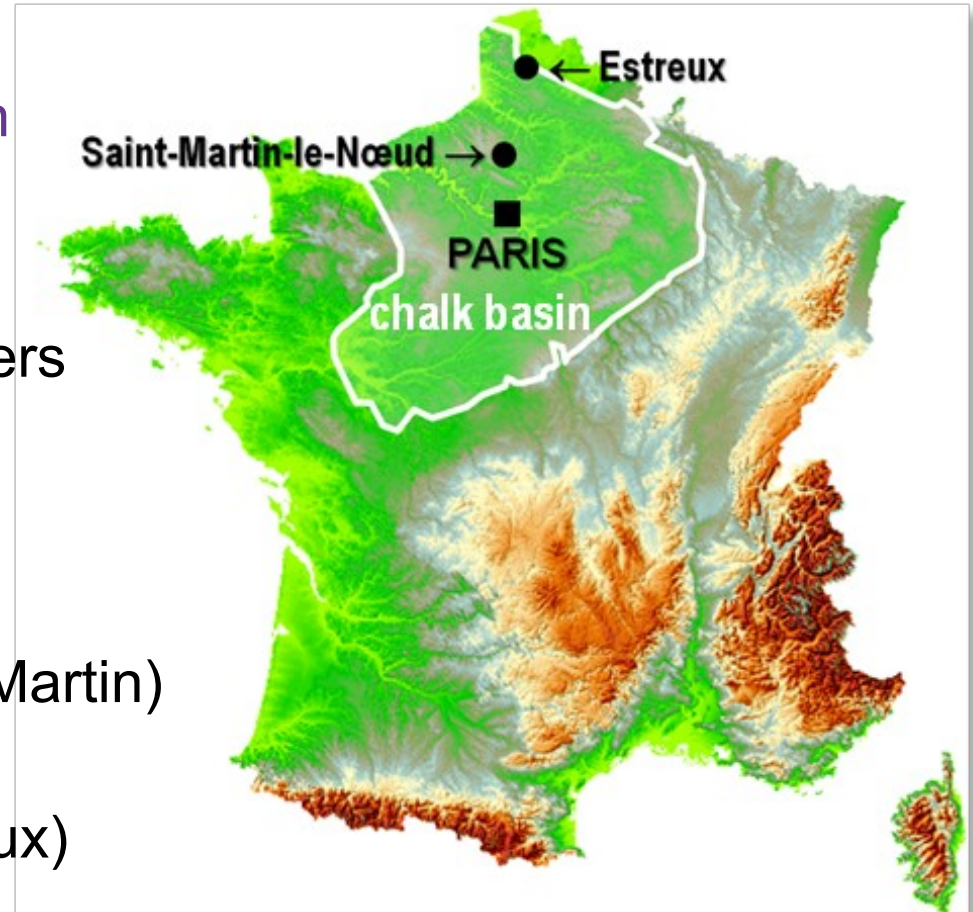
Carrières de craie du nord du Bassin Parisien

- Pierre à bâtir et chaux
- Méthode des chambres et piliers abandonnés

Vieilles exploitations:

- Xe, XIe et XIIIe siècle (Saint Martin)
(dernière: 1830)
- XIXe siècle (St Saulve - Estreux)

Carrières non remblayées où l'eau est présente



Propriétés physiques

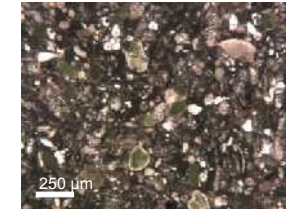


Vue de l'échantillon en LPNA

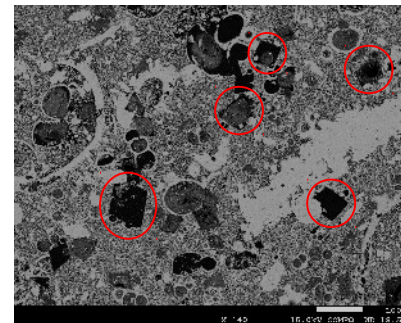
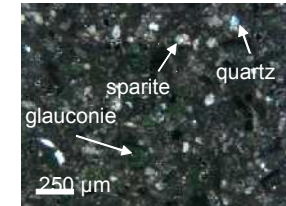
CRAIE DE SAINT MARTIN



CRAIE D'ESTREUX



Vue de l'échantillon LPA



Vue de l'échantillon au MEB

- 1 % Minéraux opaques
- 14 % Dolomite
- 17 % Sparite
- 68 % Micrite

Roche calcaire essentiellement micritique à plages de sparite avec trace de dolomite (cavités).

- 1 % Minéraux opaques
- 2 % Quartz détritique
- 23 % Glauconie
- 24 % Sparite
- 50 % Micrite

Roche calcaire à quartz détritique et glauconie

SM
EX

	n(%)	w(%)	ρ_s (g.cm ⁻³)	ρ_n (g.cm ⁻³)	ρ_d (g.cm ⁻³)	[CO ₃ ²⁻]
Saint-Martin, Fr (20 éch)	42	27	2.78	2.04±0.07	1.61±0.07	85
Estreux, Fr (20 éch)	35	19	2.75	2.13±0.02	1.79±0.03	75
Haubourdin, Fr (Nadah, 2013)	42.0±0.08	-	2.77	-	1.57	98
Kerguelen, Oc. In. (Alam & al, 2012)	41-42	-	2.72	-	2.0-2.02	91-94.3
Hardivillers, Fr (Hjuler & al, 2009)	44.1-47.8	-	2.81	-	1.48-1.57	76.5-77.4



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



INERIS

Propriétés physiques

Porosités

n_{tot} porosité totale

n_{free} porosité libre

$n_{trapped}$ porosité piégée

	n_{tot} (%)	n_{free} (%)	$n_{trapped}$ (%)	\varnothing_{pic} (μm) (1 st inj)	\varnothing_{pic} (μm) (2 nd inj)
Saint Martin	39.4	19.1	20.3	0.45	0.36
Estreux	31.2	18.4	12.7	0.79	0.41

Perméabilités intrinsèques

k_{N_2} perméabilité à l'azote

k_{H_2O} perméabilité à l'eau

SS surface spécifique

	k_{N_2} (m^2)	k_{H_2O} (m^2)
Saint Martin	10^{-15}	10^{-15}
Estreux	10^{-15}	10^{-16}



UNIVERSITÉ
DE LORRAINE

geo
Ressources

INERIS

Carrière de Saint-Martin le Nœud (Oise)

- Craie dolomitique
- Carrière à ennoyage pérenne (24 lacs depuis >120 ans)
- 40 ha 20m de profondeur

Baisse du niveau d'eau sur la face latérale du pilier instrumenté (n°1) de la carrière souterraine de 2010 à 2012
Remontée du niveau d'eau en 2013



Juin 2010



Mai 2011



Mai 2012

Carrière d'Estreux à St-Saulve (Nord)

- Craie glauconieuse
- Carrière à ennoyage temporaire (battement de nappe)
- 20 ha 20m de profondeur



Ennoyage de 2003



Station de convergence



Extensomètre horizontal

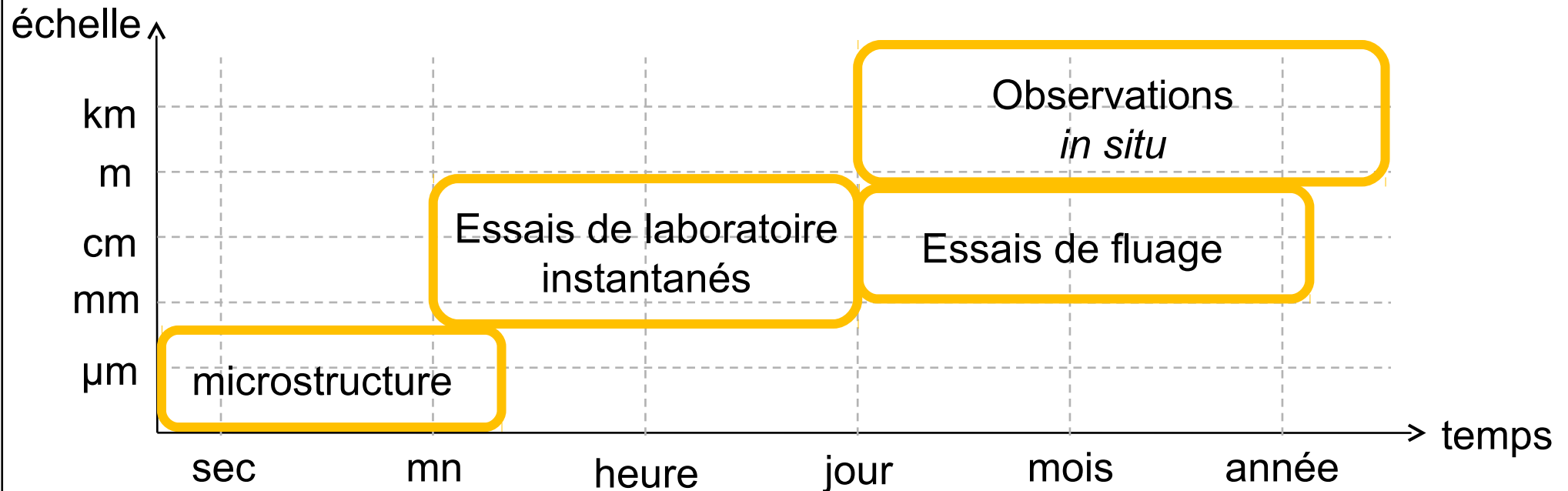


Mesure du niveau d'eau par flotteur

Instrumentation en 2004 par l'INERIS

Méthodologie adoptée

La méthodologie adoptée s'inscrit dans le cadre d'une approche multi-physique et multi-échelles développée au sein de la DRS



- Paramètres mis à disposition des experts pour leurs critères d'évaluation du comportement à long terme
- Analyse REX (ex : Clamart) et méthodologie sur la prise en compte des effets de l'eau sur les mécanismes de déformation et de rupture affectant les carrières



2. Influence de l'eau sur le comportement mécanique

- Caractérisation en laboratoire

- * Essais mécaniques de compression
- * Essais à long terme (fluage)

Conditions des essais mécaniques instantanés

Taille échantillon :

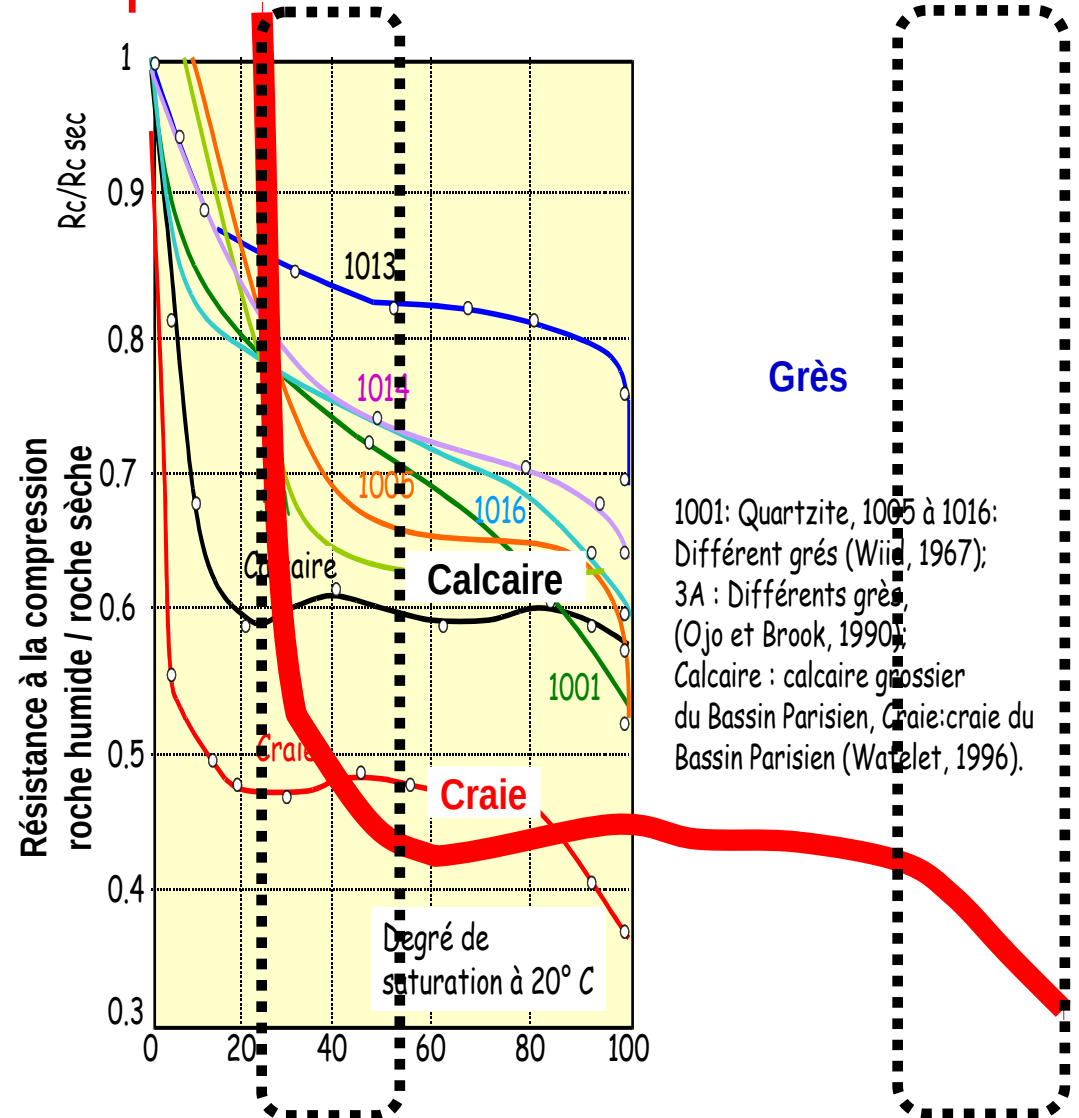
- Compressions uniaxiale et triaxiale : cylindre de 50 mm de diamètre, élancement 2
- Compression hydrostatique : cube de 50mm d'arêtes

Conduite des essais :

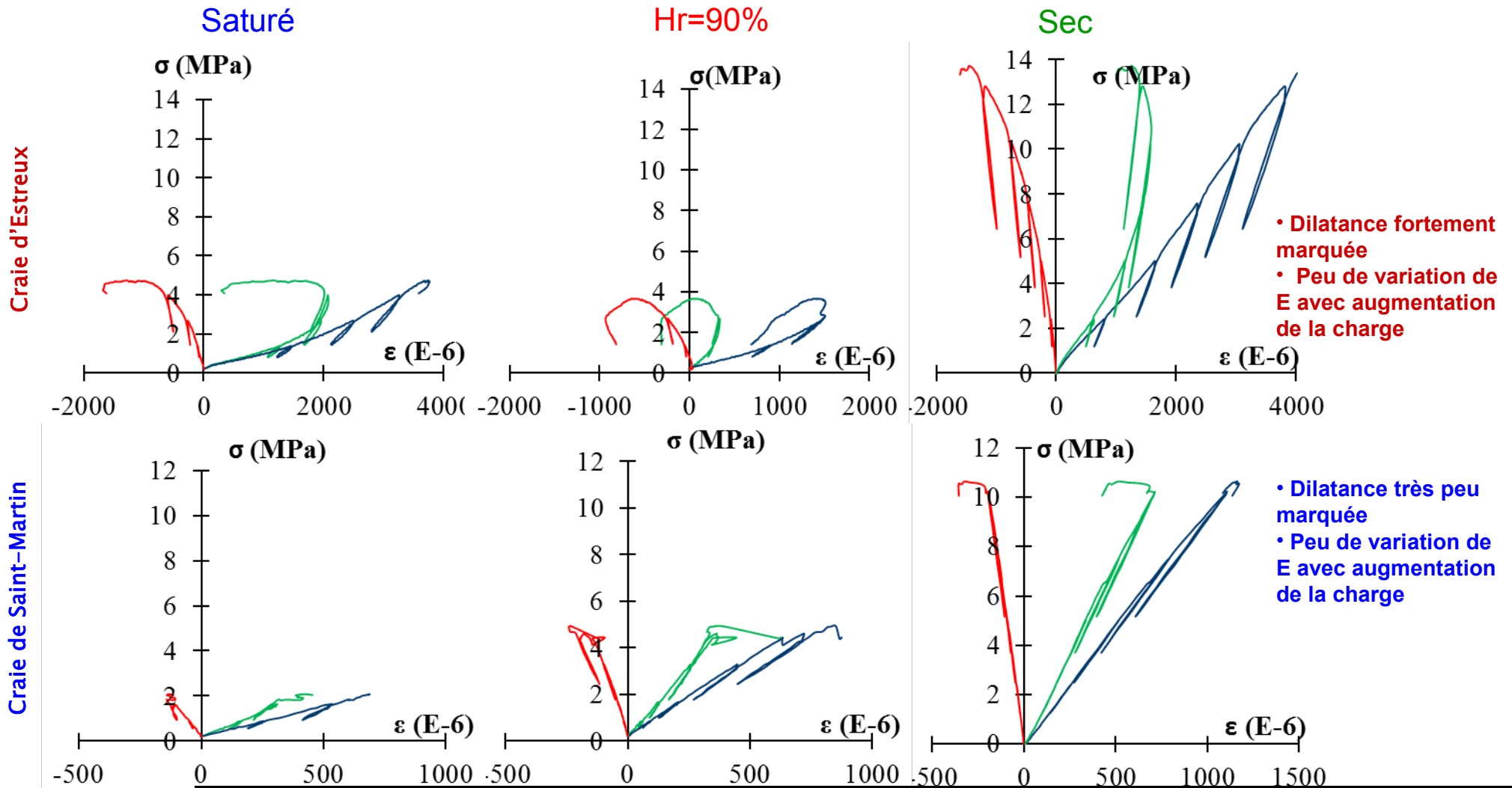
- Mesure des déformations : jauges d'extensométrie
- Compressions uniaxiale et triaxiale : vitesse de déplacement constant (48 $\mu\text{m}/\text{mn}$)
- Compression hydrostatique : vitesse constante (0.02 MPa/s)

Conditions hydriques :

- Compressions uniaxiale et triaxiale : sec et saturé (drainé sans mesure de pression interstitielle)
- Compression hydrostatique : sec



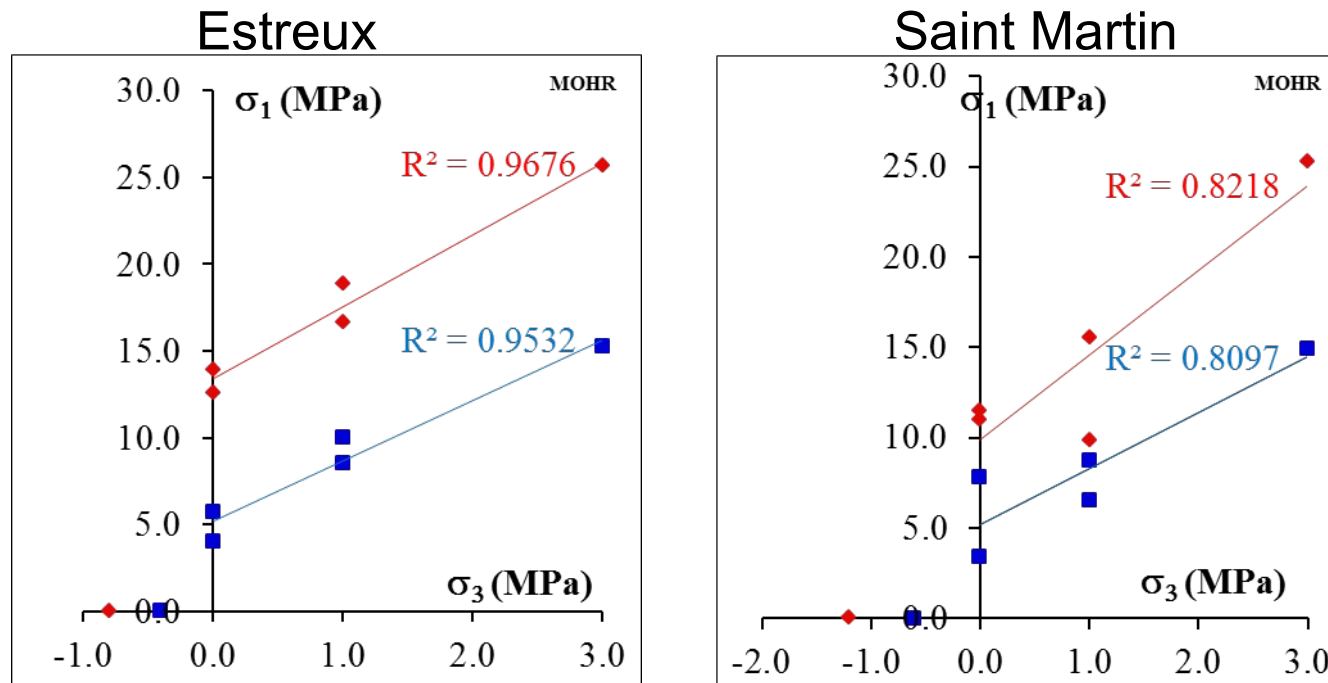
Essais mécaniques de compression



Propriétés statiques	Saint-Martin (sec / Hr / sat)	Estreux (sec / Hr / sat)
Module de Young E (GPa)	10.0±0.3 / 9.9±0.3 / 11.3±0.1	7.5±0.4 / 3.50 ±0.4 / 3.4±0.4
Coefficient de Poisson ν	0.18±0.01 / 0.20±0.01 / 0.19±0.01	0.25±0.04 / 0.17±0.03 / 0.18±0.03

Synthèse de critères de rupture (pic de contraintes)

Critère de Mohr Coulomb (σ_1 , σ_3)



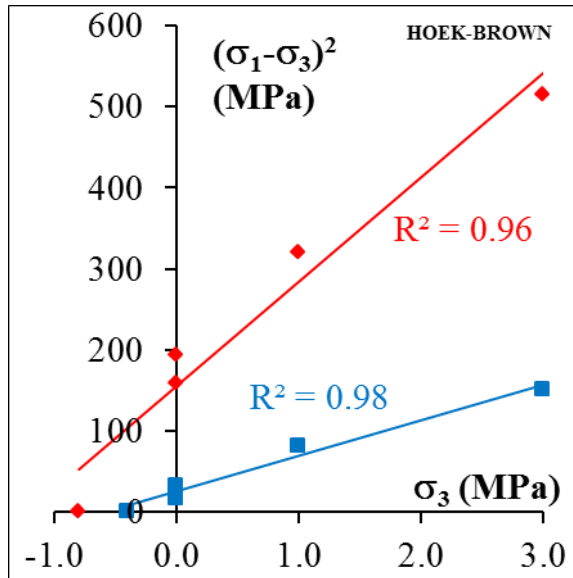
	EX		SM	
	sec	saturé	sec	saturé
$\varphi_{\text{ISRM}} (^{\circ})$	31.7	27.0	19.2	25.1
$C_{\text{ISRM}} \text{ (MPa)}$	3.8	1.7	3.9	2.3



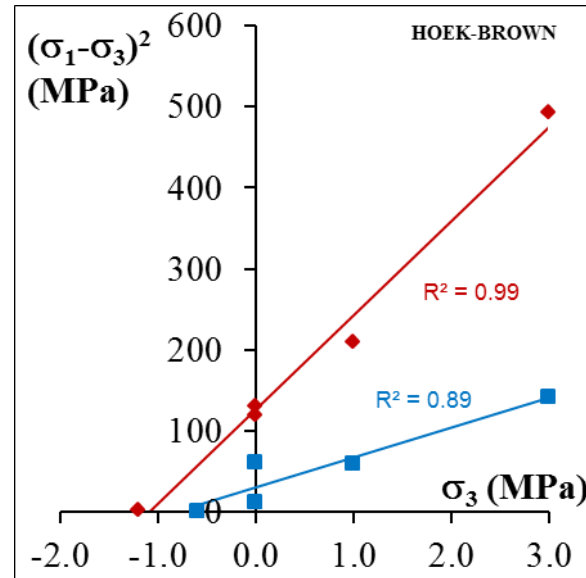
Synthèse de critères de rupture (pic de contrainte)

Critère de Hoek & Brown

Estreux



Saint Martin

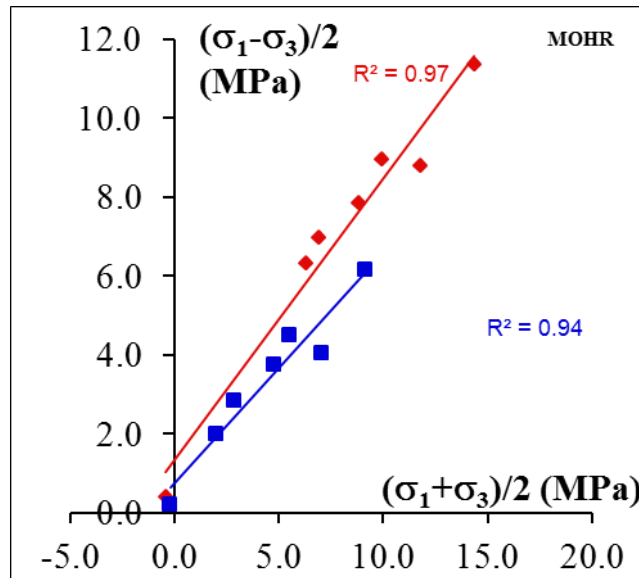


	EX		SM	
	Sec	saturé	sec	saturé
Pente	113.1	43.7	122.8	29.0
Intersection	183.8	24.5	115.2	48.6
m	8.2	7.9	11.2	4.0
s	0.97	0.80	0.96	0.95

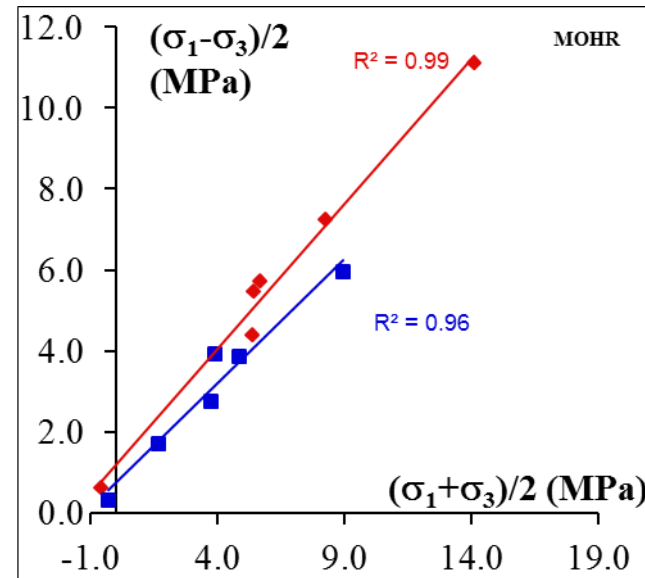
Synthèse de critères de rupture (pic de contrainte)

Critère de Mohr Coulomb (p' , q')

Estreux



Saint Martin



	EX		SM	
	sec	saturé	sec	saturé
φ_p (°)	34.9	30.8	49.7	34.7
C_p (MPa)	3.4	1.4	0.7	0.8

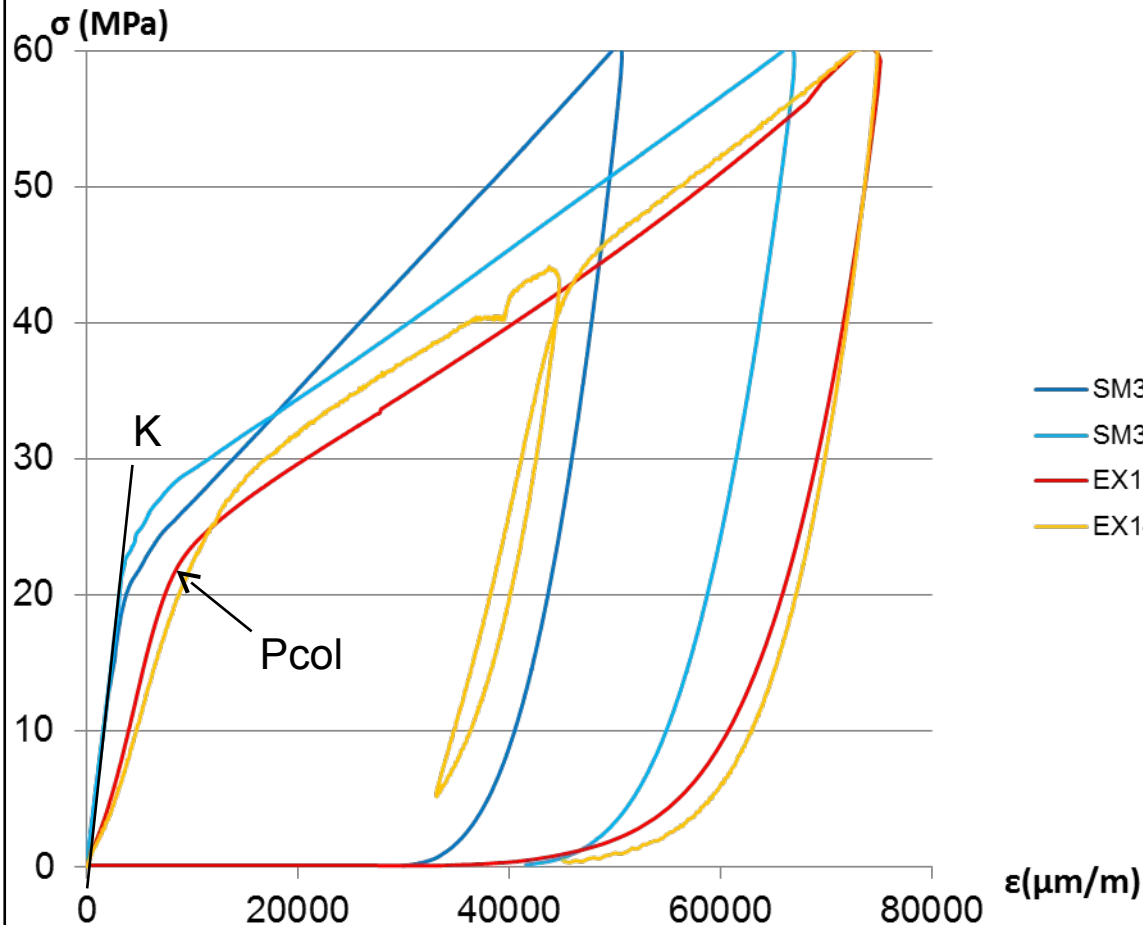


UNIVERSITÉ
DE LORRAINE



INERIS

Essais de compression hydrostatique



P_{col} est déterminé au niveau du changement de pente des courbes de déformation volumique

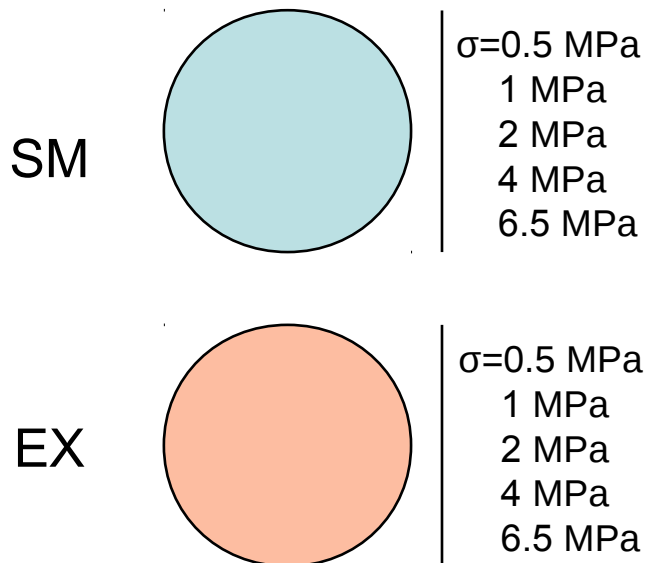
	SM	EX
Coefficient d'incompressibilité K (GPa)	6.4 à 9.7	2.9
P_{col} « pore-collapse » (MPa)	20	21

Conditions des essais à long terme (fluage uniaxial)

Conditions sèches

Echantillonnage :

- 3 échantillons par faciès
- Cylindres d=50mm, h=100mm

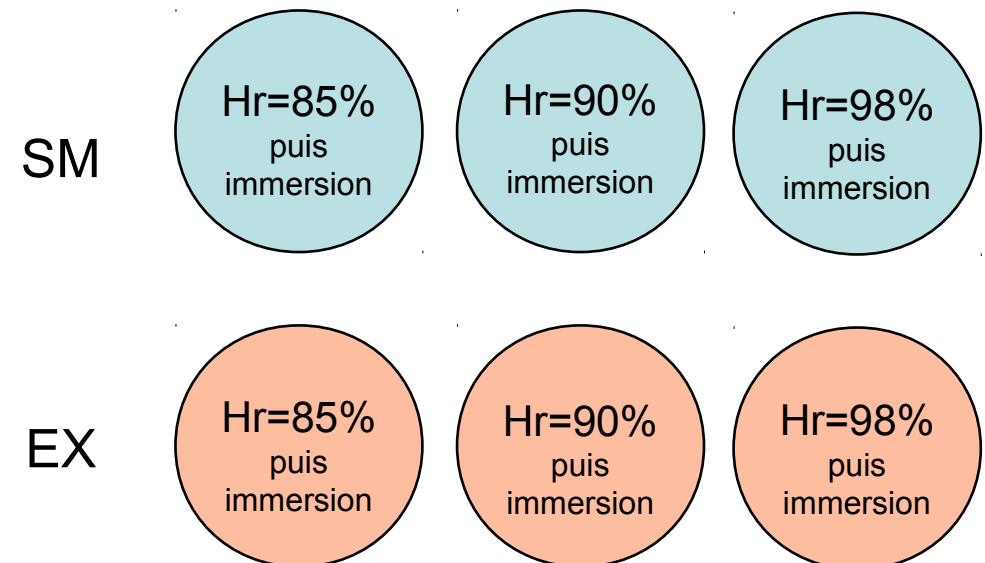


X3

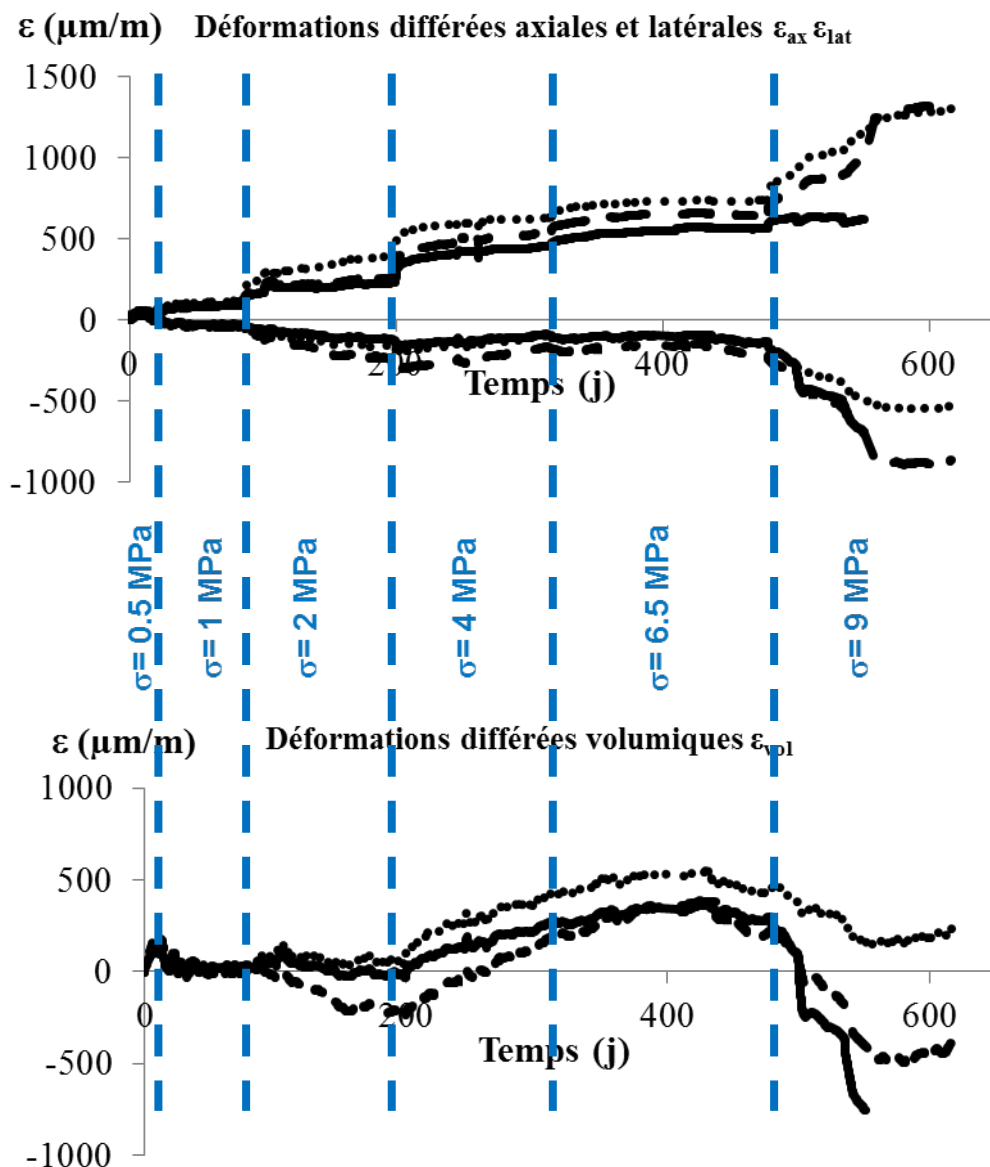
Non saturé puis immersion

Echantillonnage :

- 3 échantillons par faciès
- Cylindres d=50mm, h=100mm
- Mêmes paliers de contrainte



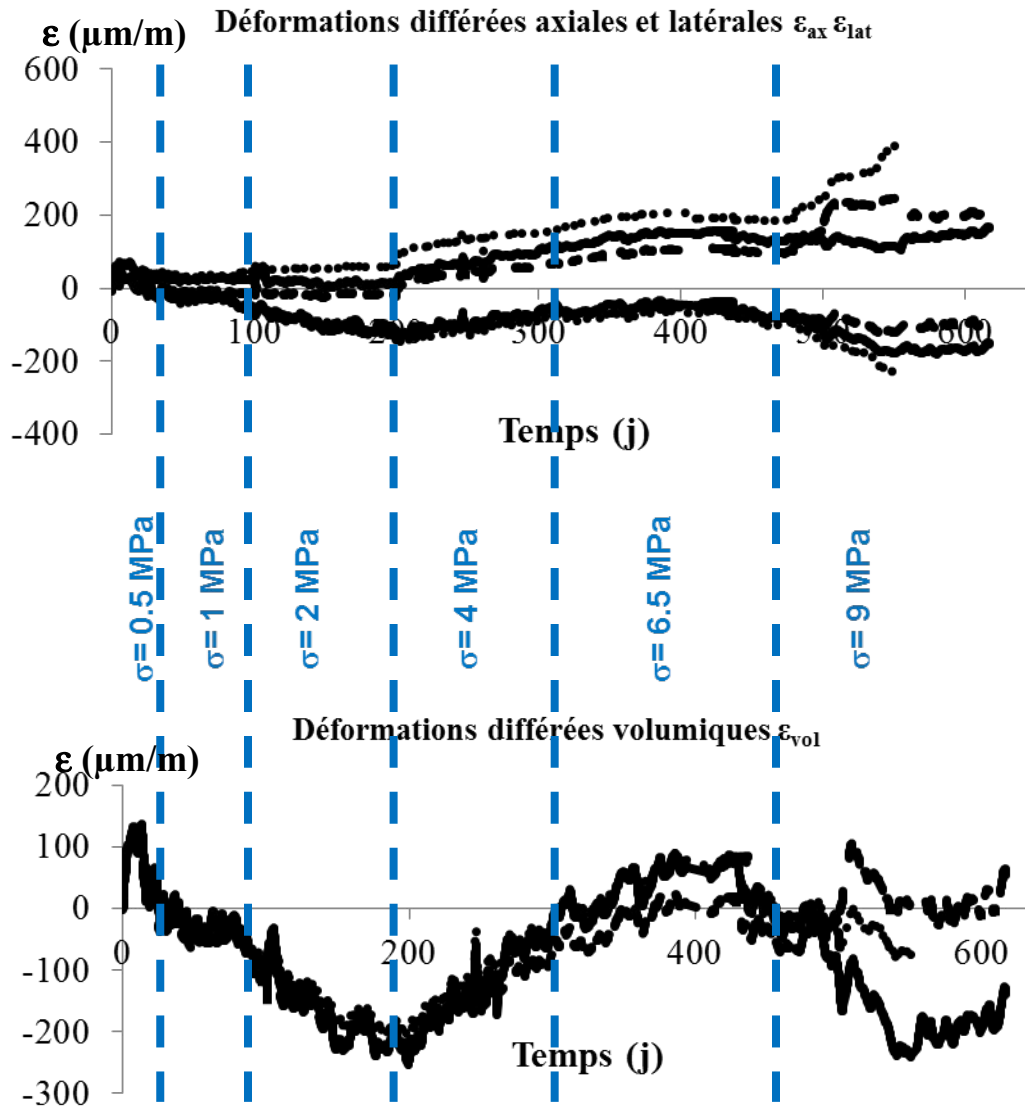
Essais à long terme: fluage sec Estreux



$\sigma < 2\text{MPa}$: pas de fluage
 $2 < \sigma < 4\text{MPa}$: déformations différées axiales principalement
 $\sigma > 4\text{MPa}$: déformations différées latérales principalement

Contrainte *in situ* estimée:
~4 MPa

Essais à long terme: fluage sec St Martin



$\sigma < 2 \text{ MPa}$: pas de fluage
 $2 < \sigma < 4 \text{ MPa}$: déformations différées axiales principalement
 $\sigma > 4 \text{ MPa}$: déformations différées latérales principalement

Contrainte *in situ* estimée:
~4 MPa

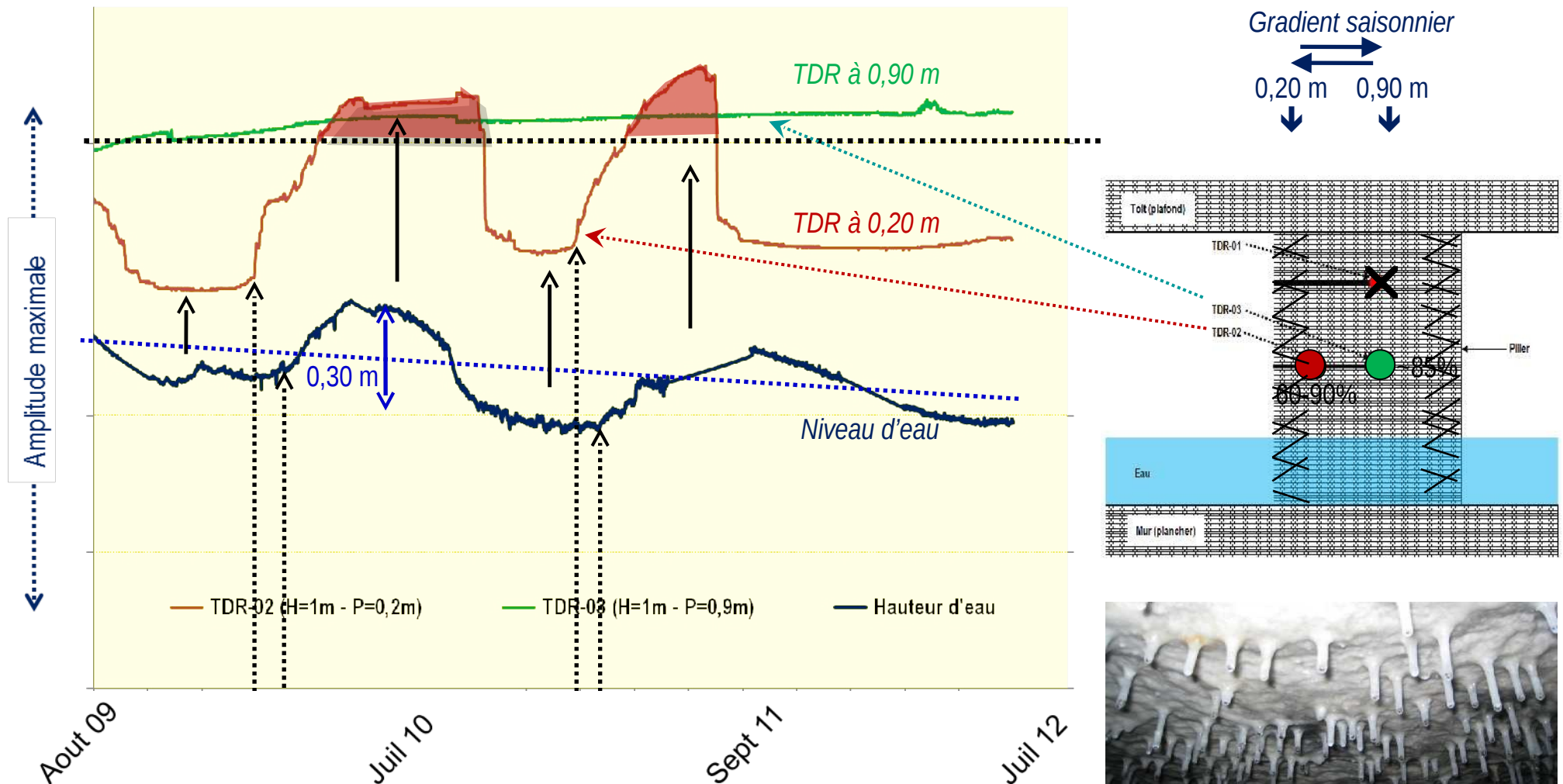


2. Influence de l'eau sur le comportement mécanique

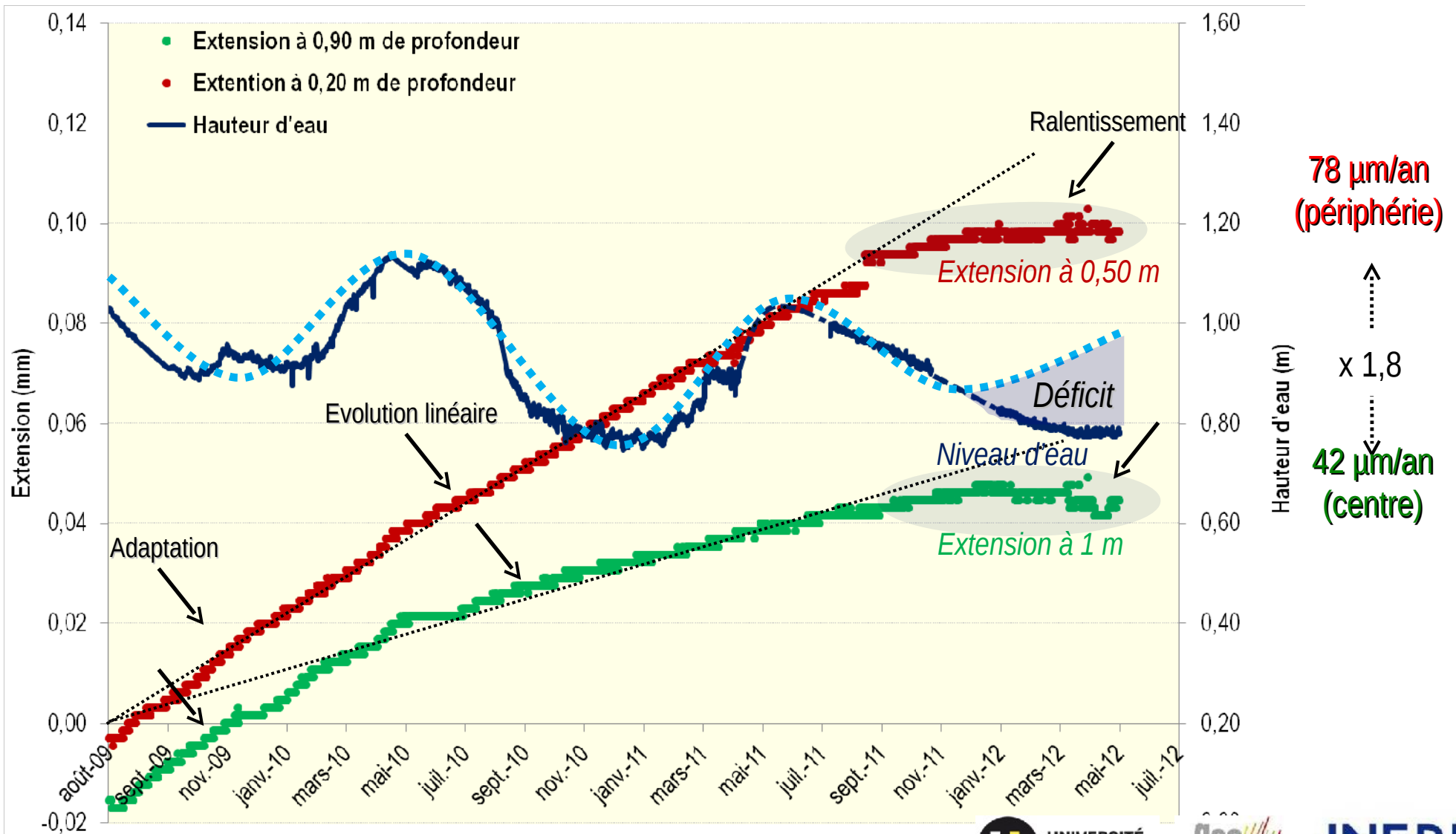
- Mesures *in situ*



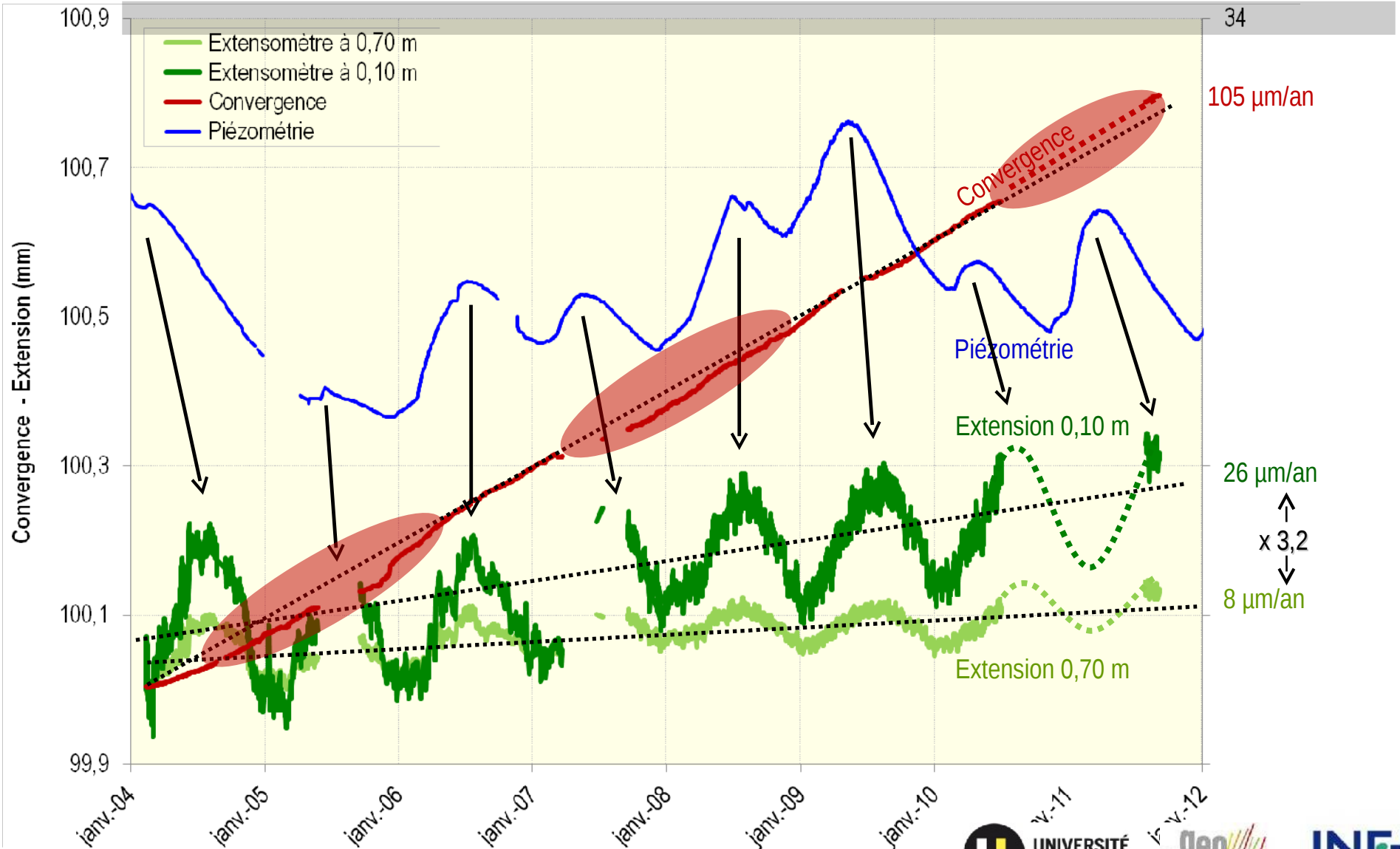
Saint Martin-le-Nœud: évolution de la saturation en eau du pilier



Saint Martin-le-Nœud: évolution de l'extension latérale du pilier



Estreux : réponse géomécanique du pilier





3. Influence du vieillissement sur le comportement mécanique

Echantillonnage de craie

Carrière de Saint-Martin-le-Nœud (Octobre 2012)

Objectifs :

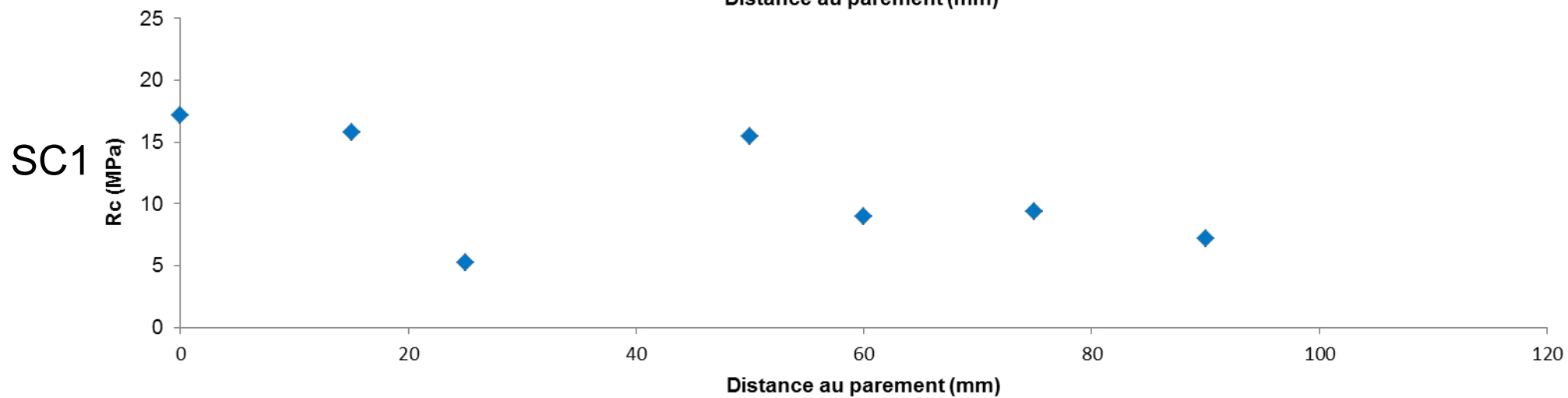
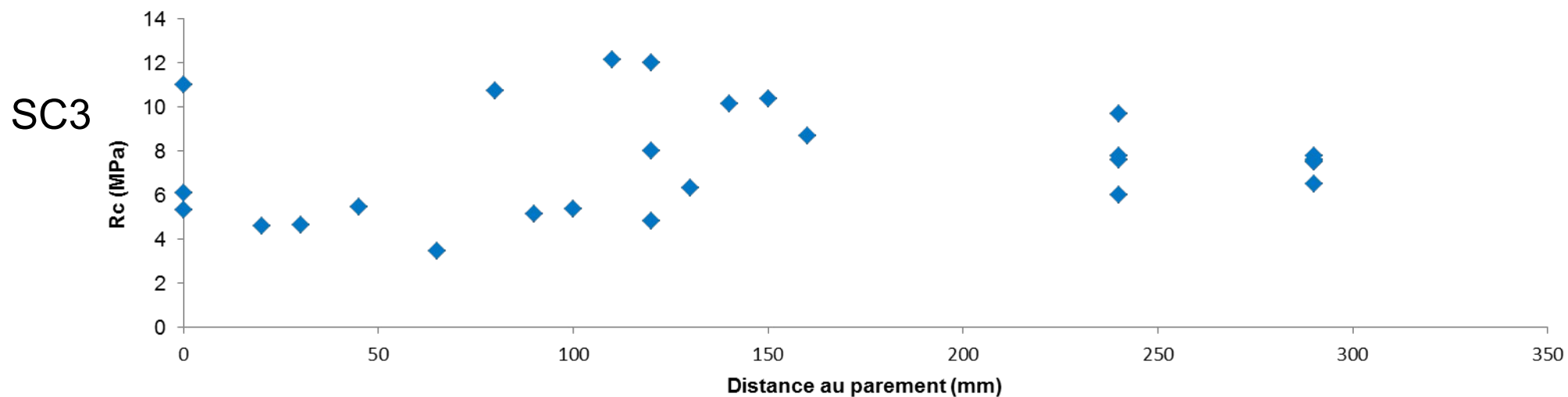
- Etudier le vieillissement de la roche (altération des roches en milieu anthropisé) entre le bord et le cœur du pilier
- Etudier une possible variabilité des propriétés physico-mécanique d'un point de vue lithologique

→ 6 sondages carottés de diamètre 112mm

→ Échantillonnage à intervalle régulier



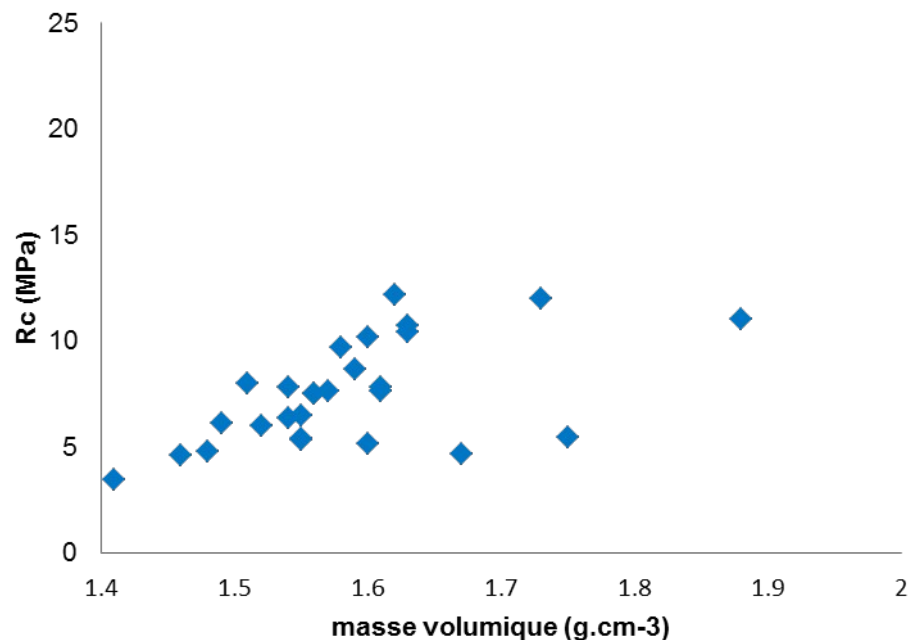
Résistance en compression/distance au parement



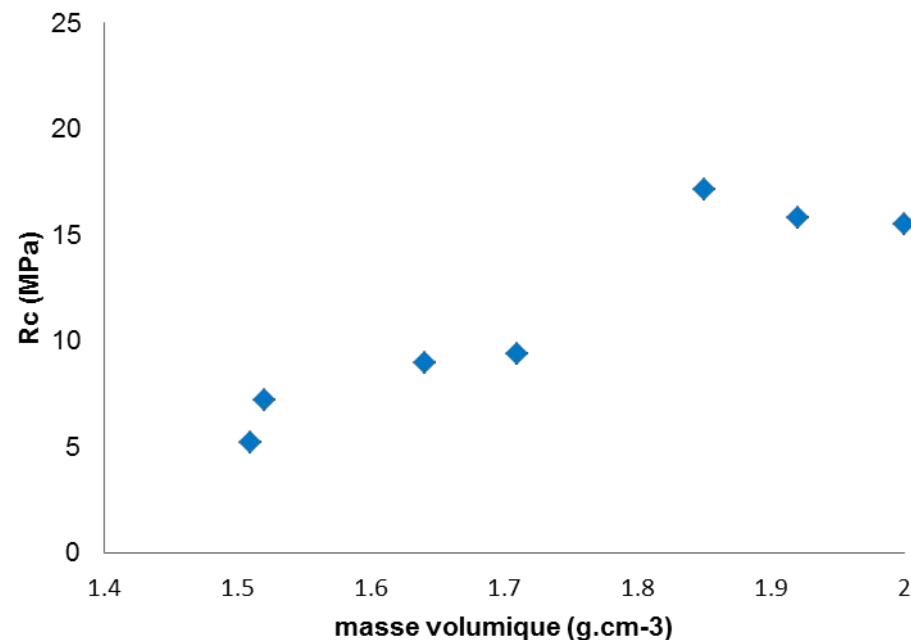
Résistance en compression/masse volumique

Corrélation existante entre masse volumique et résistance en compression

SC3



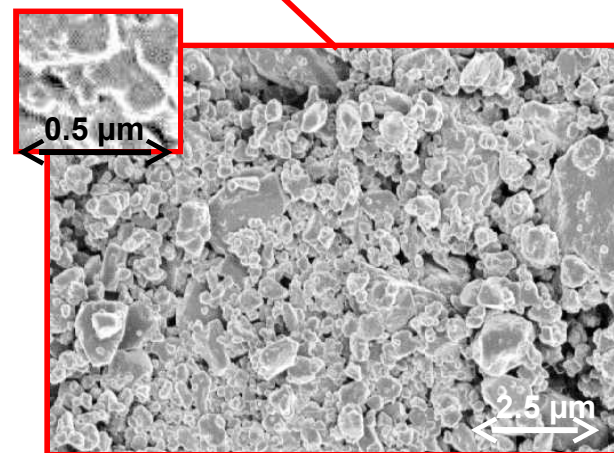
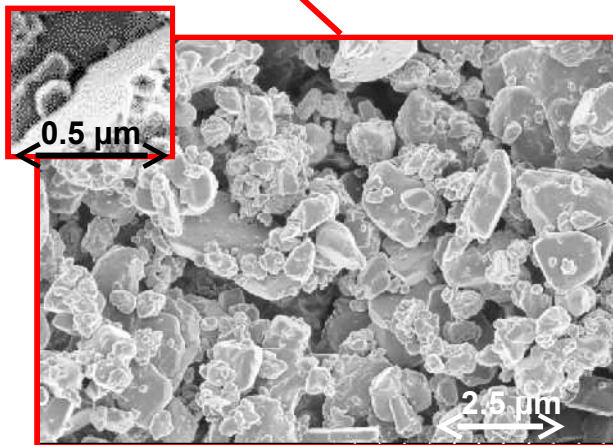
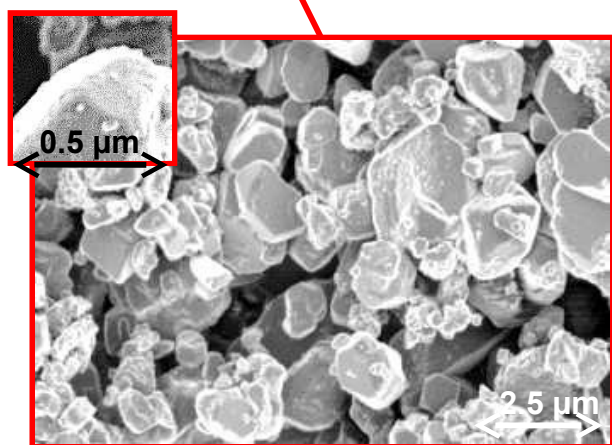
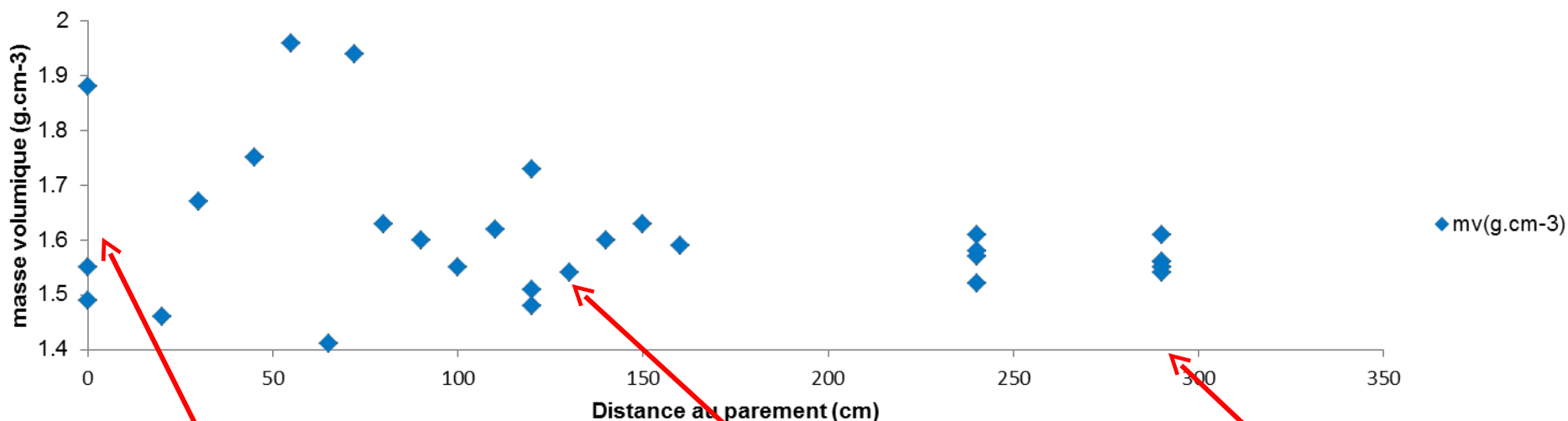
SC1



Masse volumique/distance au parement

Masse volumique sèche plus importante au bord qu'au cœur de pilier

Masse volumique sèche (SC3)



Pourquoi?

Traces de dissolution discriminante par rapport à l'emplacement dans le pilier

→ circulation de fluide préférentielle au cœur et au bord du pilier (déséquilibre chimique)

Carrière ouverte sur l'extérieur

→ différentiel de saturation en eau au bord et au cœur de pilier d'après les données *in situ* (perméabilité relative maximum au cœur)

Hypothèse :

→ circulation transversale de l'eau avec évaporation au contact de l'air (flux transversal à cinétique lente)

Conclusions / perspectives

- REX: rôle de l'eau important dans l'instabilité de certains vides souterrains
- Roche plus ou moins sensible à l'eau et aux fluctuations hydriques
- Vieillessement de la craie avéré
 - Hypothèse de travail : dissolution discriminante des grains ayant pour conséquence une répartition particulière des résistances au sein du pilier
 - Mécanisme de circulation de fluide et/ou Hr à confirmer/infirmier
 - Application de la méthodologie pour Estreux

Estreux : évolution de l'envoyage

Envoiyage de la cavité tous les 8 ans pendant 1 à 5 ans **sauf depuis 2004 !**

