



**CFMR**  
COMITÉ FRANÇAIS  
DE MÉCANIQUE  
DES ROCHES



COMITÉ FRANÇAIS DE  
GÉOLOGIE DE L'INGÉNIEUR  
ET DE L'ENVIRONNEMENT



CFMS

*Séance technique CFMR-CFGI-CFMS SIRT (18 mars 2021)*

# Propriétés des terrains briovériens du bassin rennais

Damien RANGEARD

Véronique MERRIEN-SOUKATCHOFF

Marie-Pierre DABARD

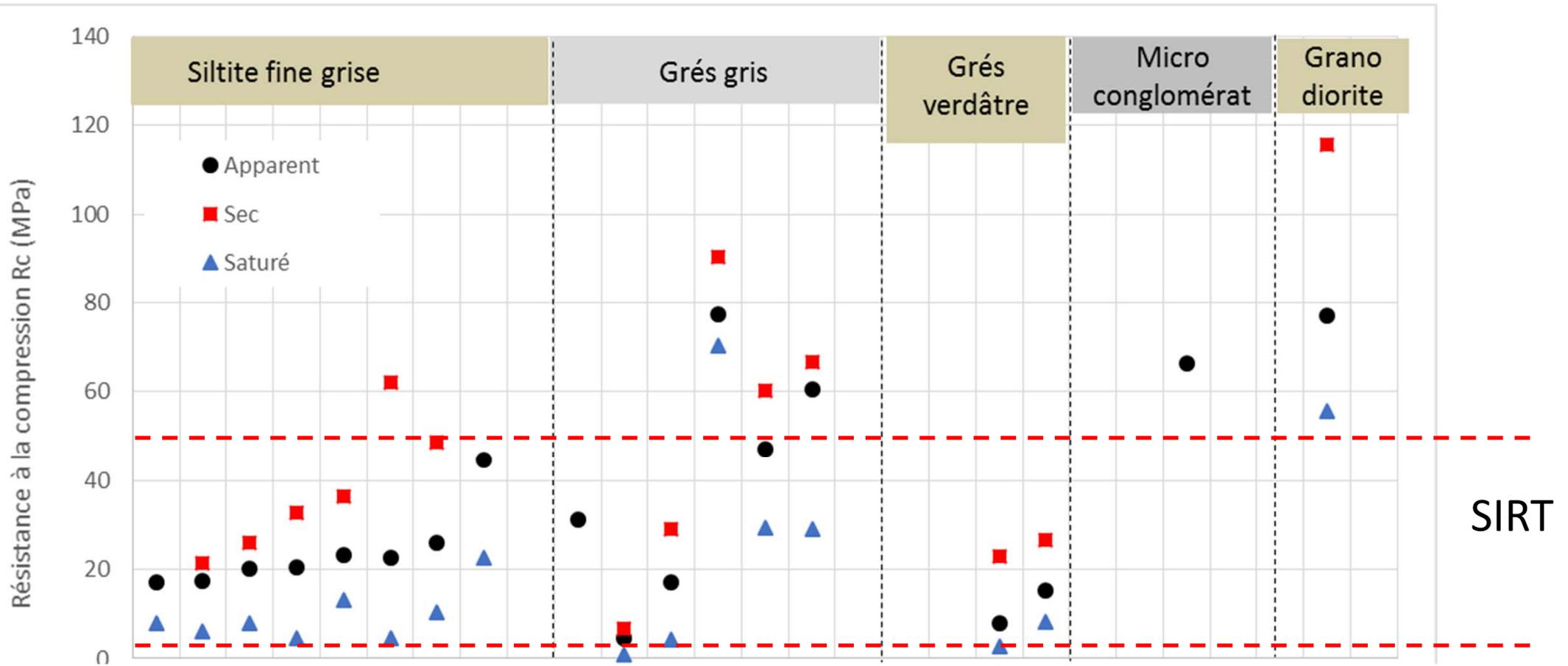
**INSA** | INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
RENNES

le **cnam**

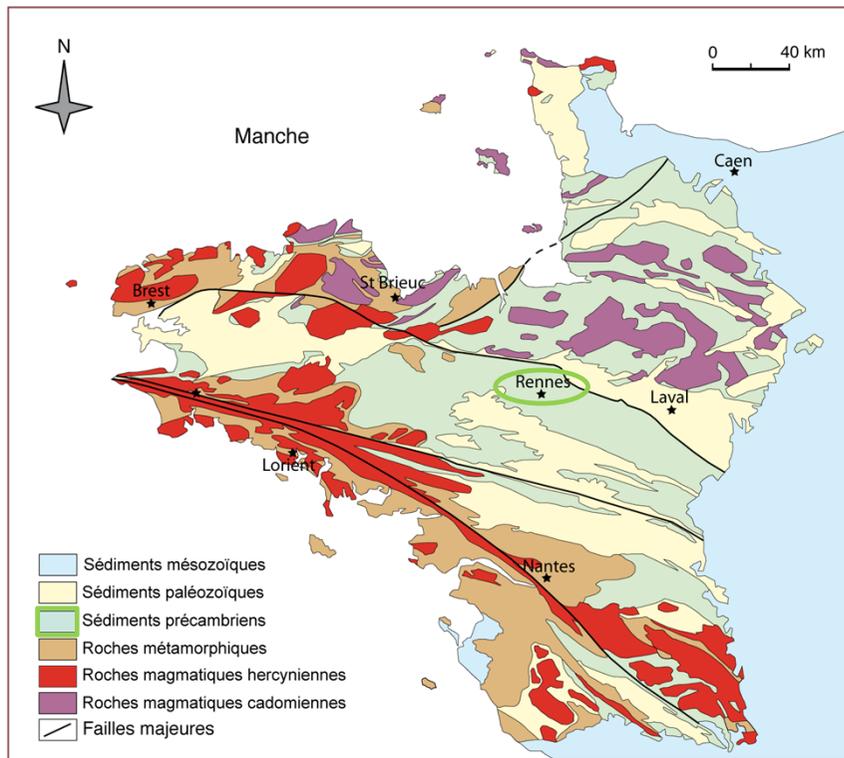
EPN 1 - Bâtiment et énergie  
Équipe Géologie Géotechnique

**GEO**SCIENCES  
Rennes

# Essais de compression sur des échantillons du Briovérien du bassin rennais



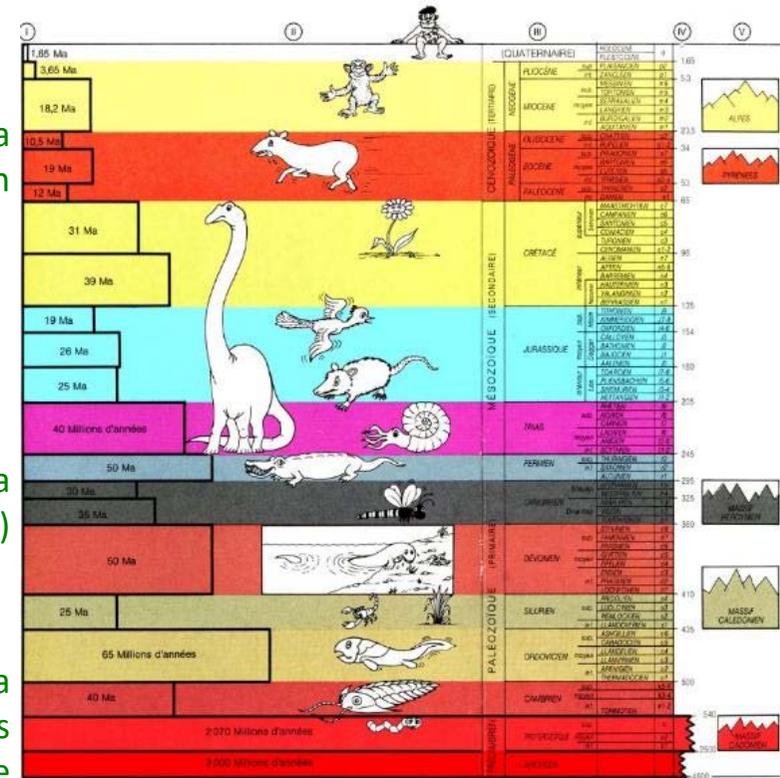
# Géologie du Briovérien Rennais



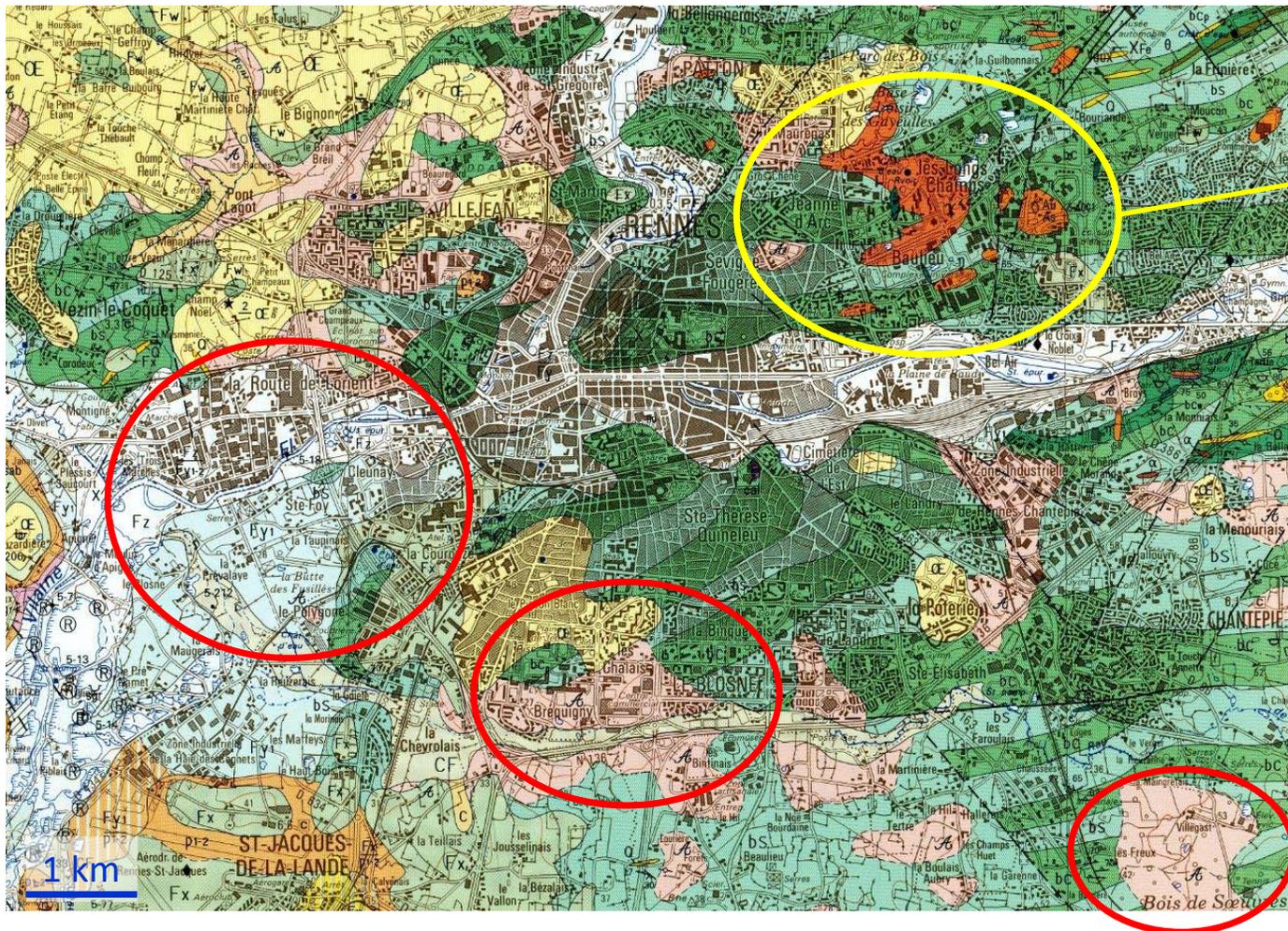
40 Ma  
altération

350-300 Ma  
Déformation (orogénèse hercynienne)

600-540 Ma  
Dépôts des sédiments briovériens  
// orogénèse cadomienne



# Lithologie du bassin de Rennes



## Intrusions magmatiques

- petits massifs
- filons

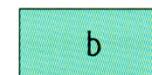
## Formations superficielles

- Altérites
- Sédiments quaternaires (altération 40 Ma)

## Sédiments briovériens

- alternances silto-gréseuses (600 -540 Ma)

### PROTÉROZOÏQUE TERMINAL À PALÉOZOÏQUE BASAL (BRIOVÉRIEN)



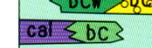
Briovérien indifférencié



bc - Alternances silto-gréseuses jaune verdâtre, tendres



bc - Alternances silto-wackeuses dures



bcw - Wackes dominantes



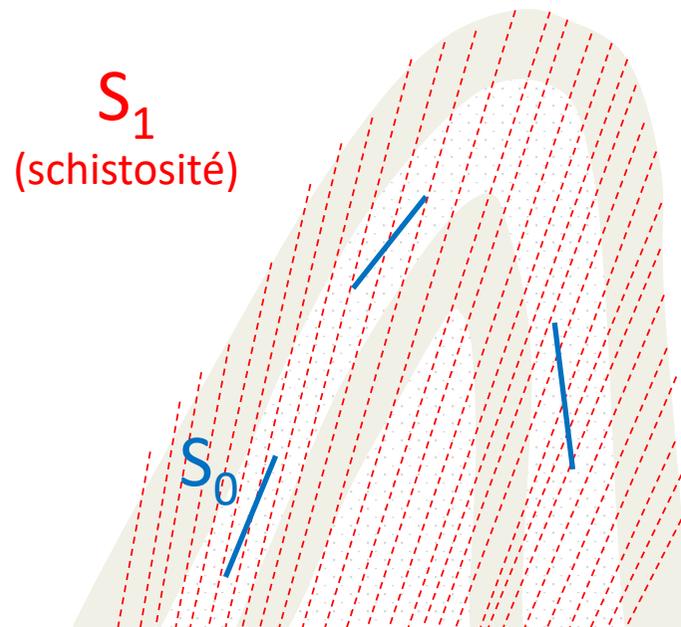
bcP - Microconglomérats à éléments de phanite



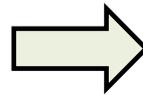
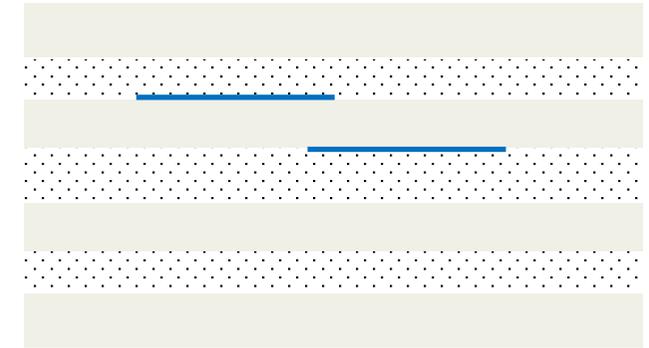
cal - Grès et siltites noirs carbonatés, laves acides localement

# Mode de mise en place des terrains du Briovérien

1. Dépôt des sédiments (détritiques terrigènes, volcano-détritiques, carbonates) de -610 Ma à -530 Ma



$S_0$

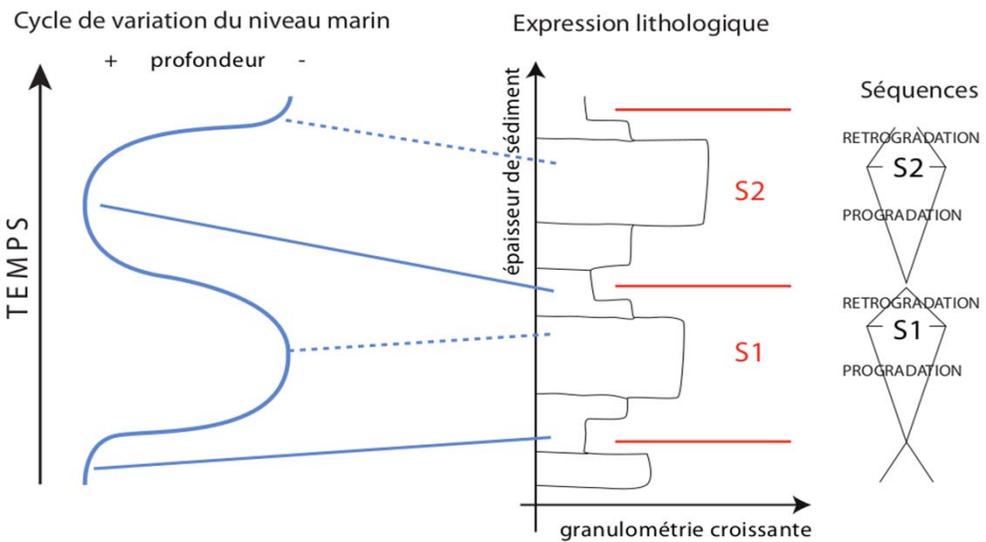
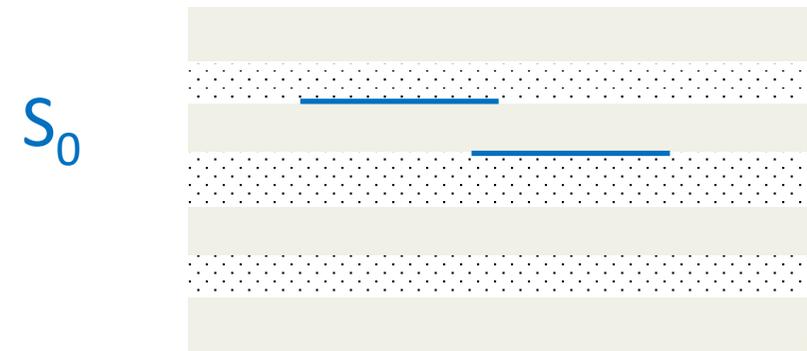


2. Plissement et métamorphisme de faible niveau durant la phase hercynienne à partir de -350 Ma ( $300^\circ\text{C} < T < 500^\circ\text{C}$  et  $0.1\text{GPa} < P < 1\text{GPa}$ )

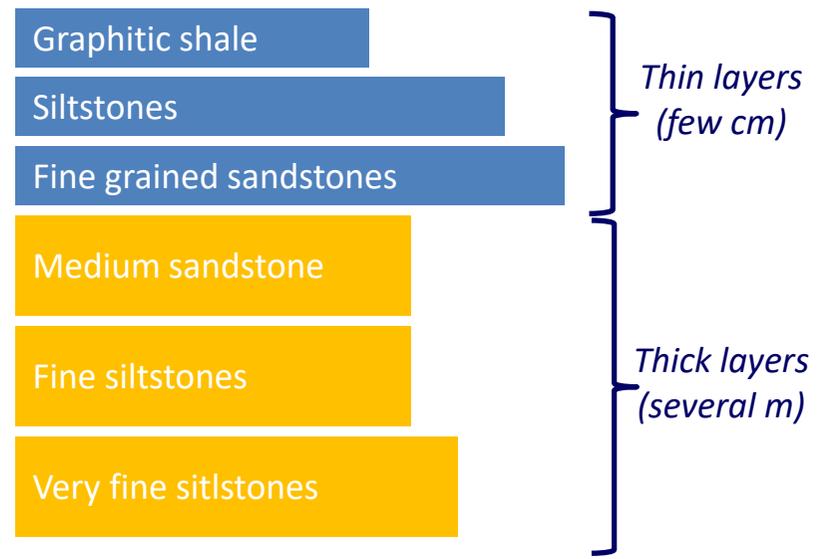
3. Altération et érosion

# Mode de dépôts des terrains du Briovérien

## 1. Dépôt des sédiments (détritiques terrigènes, volcano-détritiques, carbonates) de -610 Ma à -530 Ma

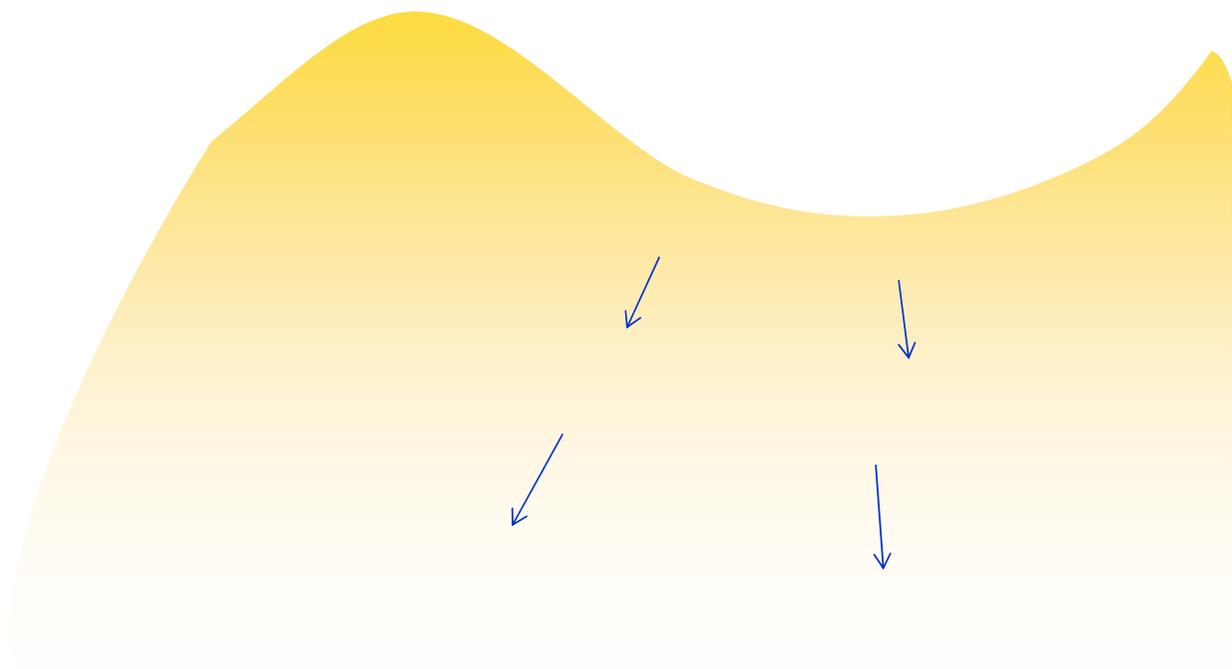


Evolution de la lithologie au cours d'un cycle de variation du niveau marin: définition des séquences (S)

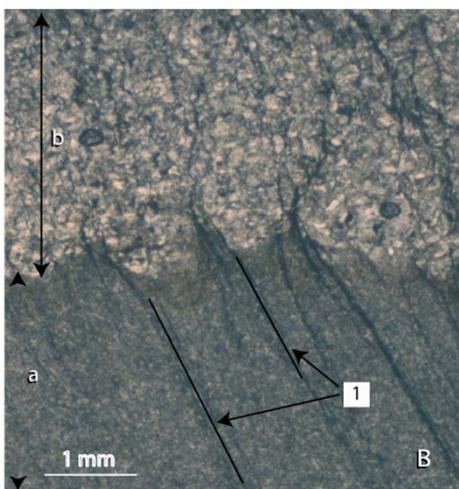


# Altération : rôle des circulations

Bancs gréseux de perméabilité >



# Hétérogénéités à différentes échelles



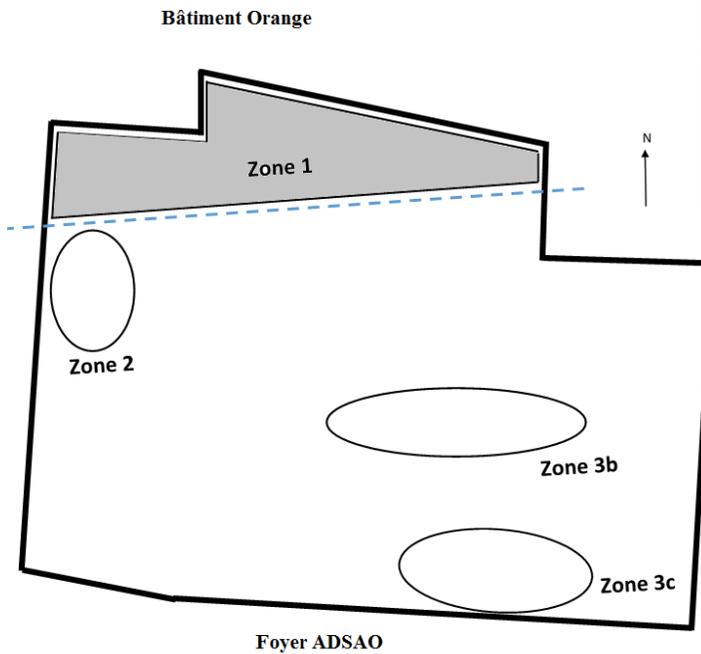
Stratification et schistosité



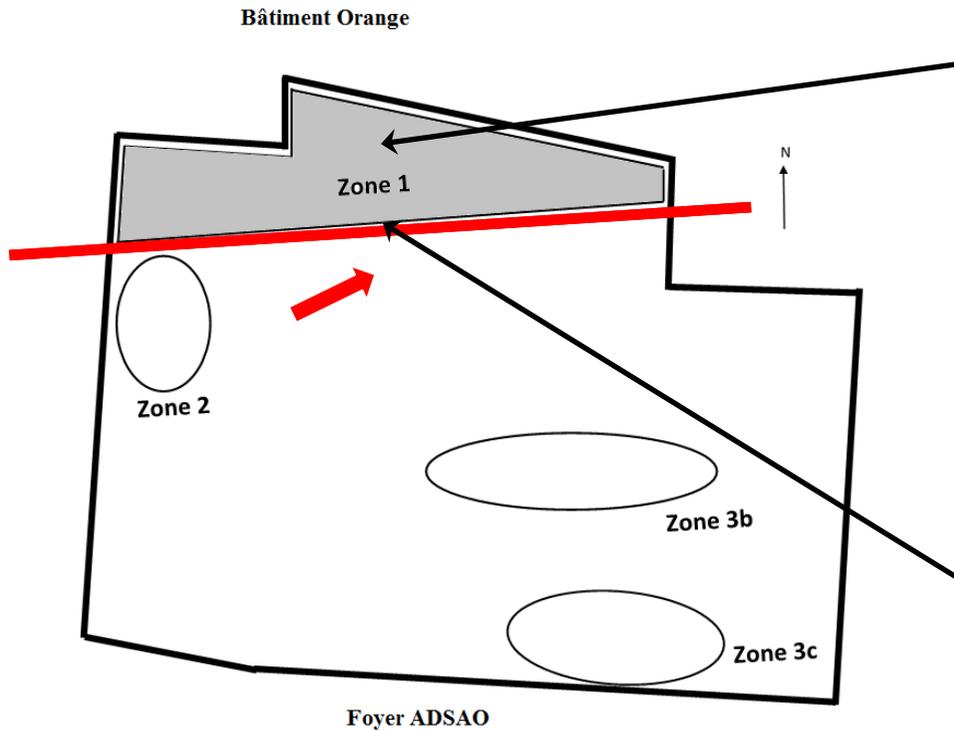
Fracturation, faille

# Exemple d'observations terrain

Station de métro  
Mabilais en cours  
d'excavation



# Exemple d'observations terrain



Station de métro Mabilais  
en cours d'excavation

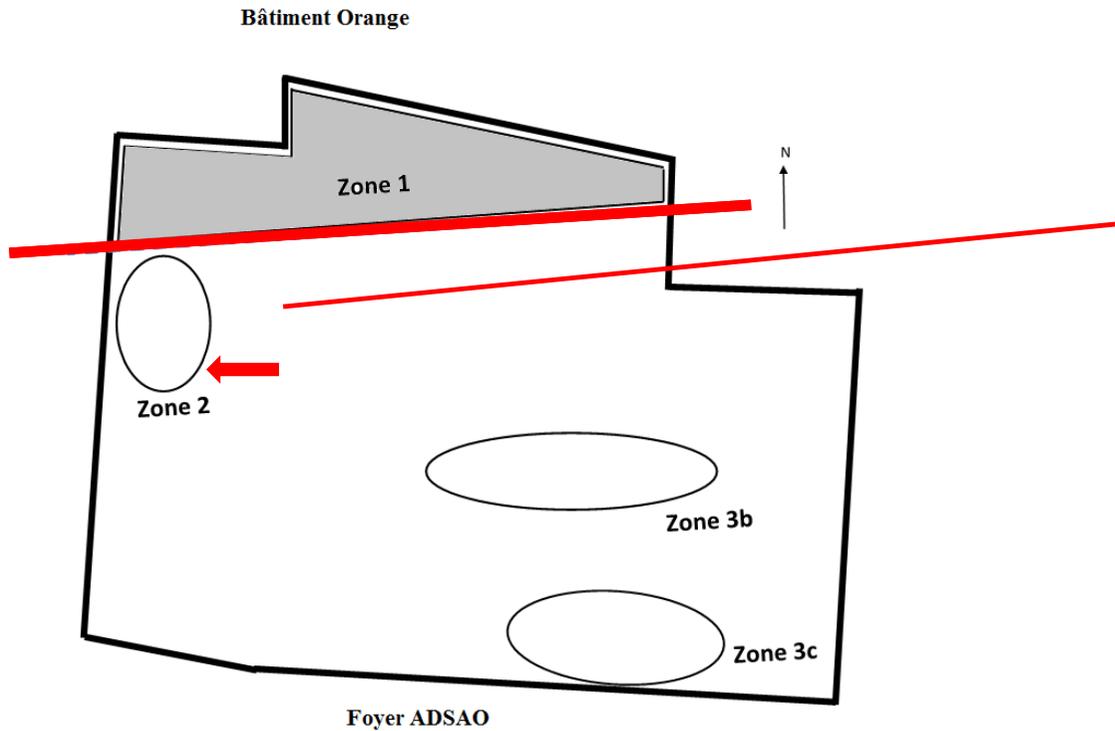


Grès très altéré



Contact  
grès altéré / siltites

# Exemple d'observations terrain



Station de métro Mabilais  
en cours d'excavation

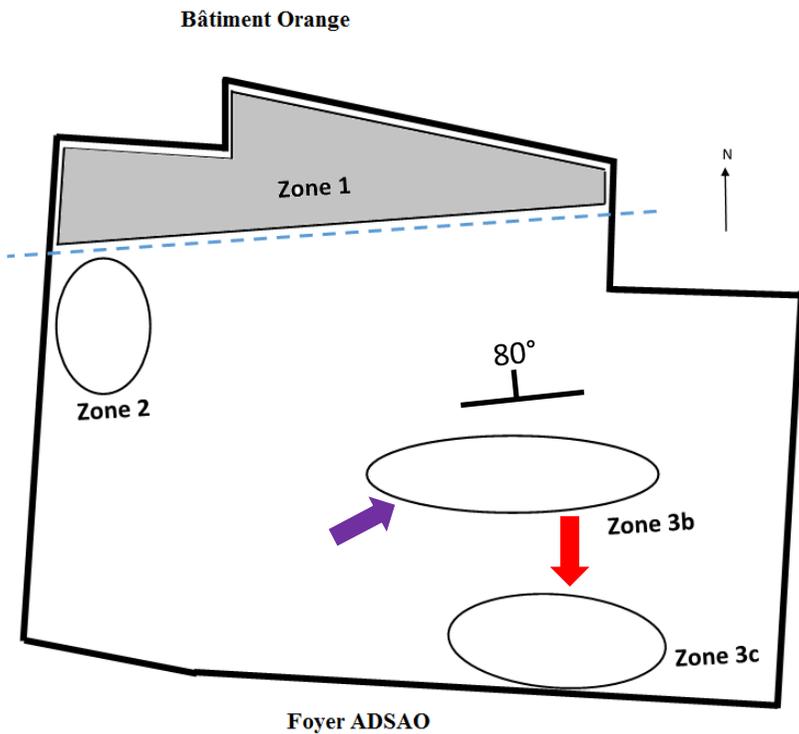


Alternances  
silto-gréseuses



Schiste  
graphiteux

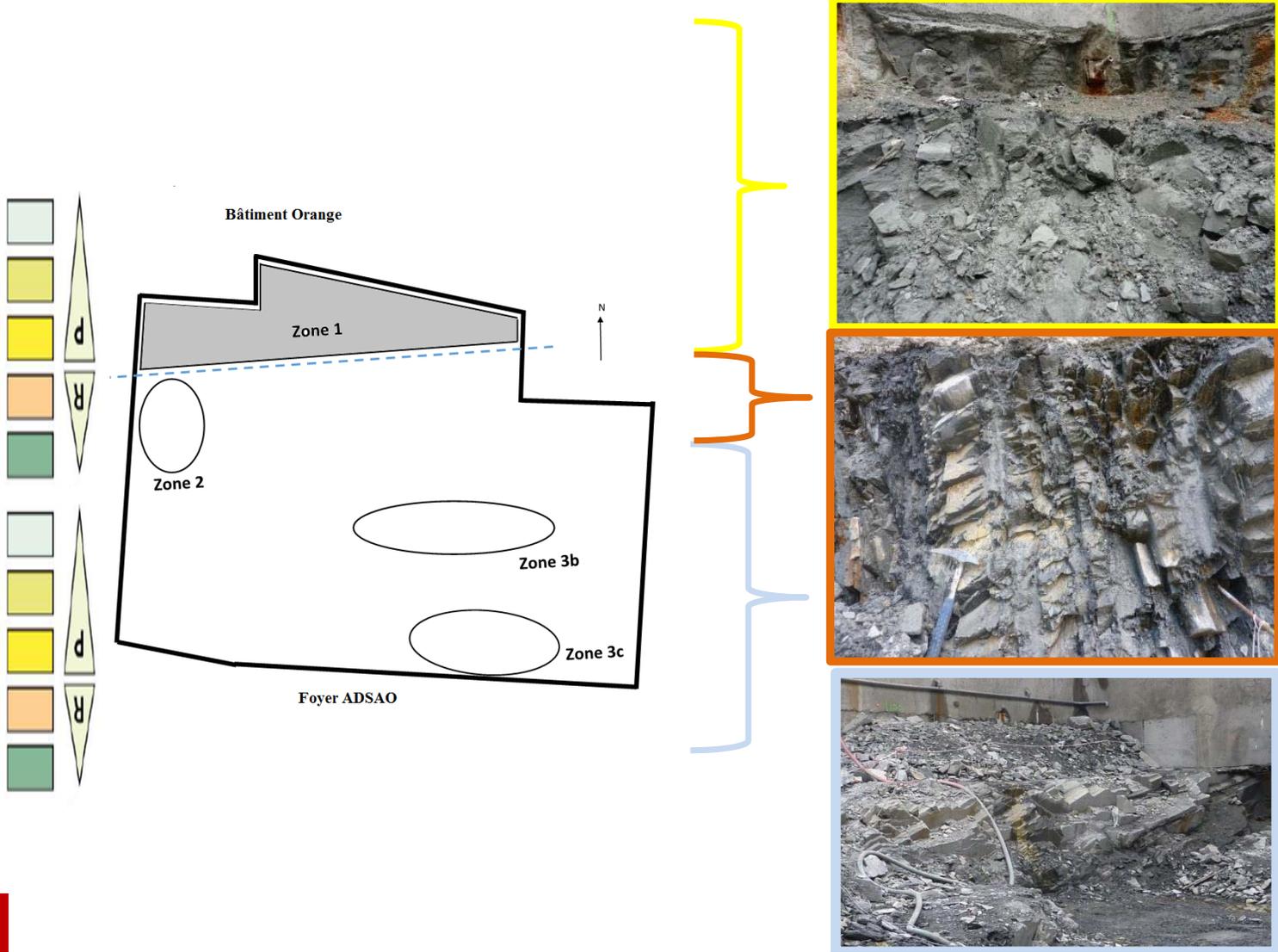
# Exemple d'observations terrain



Siltite fine grise



# Exemple d'observations terrain



# Impact du contexte géologique sur la caractérisation

**Variation lithologique (siltites fines jusqu'à grès moyen) en couches très fines ou très massives (qq. cm jusqu'à plusieurs mètres)**

=> alternances de siltites fines à grossières, et de grès fins à moyens

=> Plans de discontinuités principaux :

stratification ( $S_0$ ), schistosité ( $S_1$ ) et fracturation

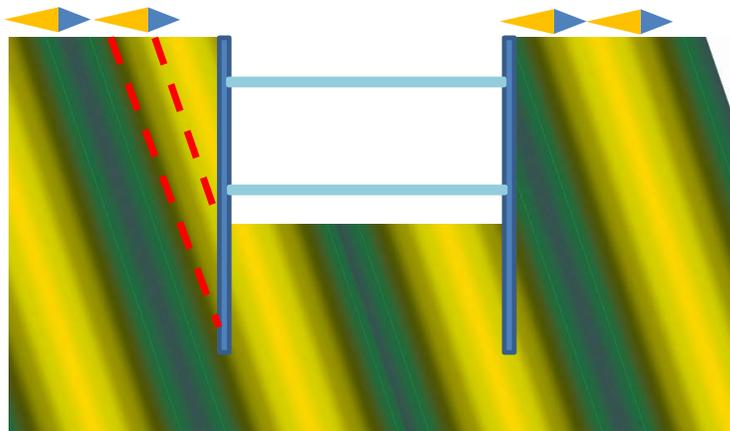
=> Schistosité  $S_1$  : pendage élevé

=> Orientation relative  $S_0 / S_1$  variable

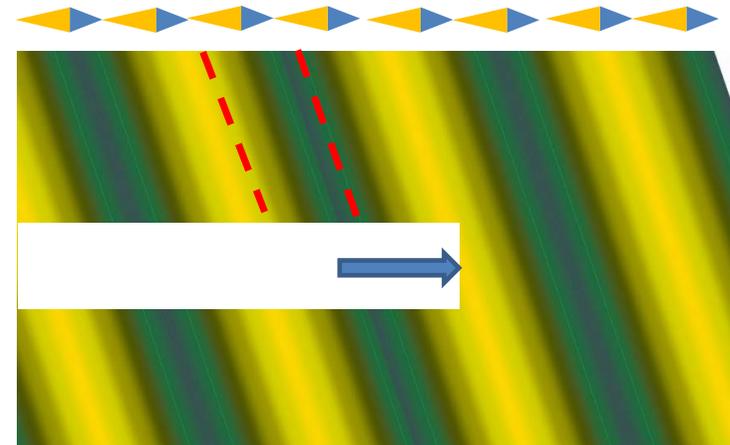


Altération très variable dans la zone concernée par  
génie civil

# Impact du contexte géologique sur les ouvrages et la caractérisation du massif de SIRT



Ouvrages de soutènements



Tunnels

- Influence de la lithologie, les échantillons seront caractéristiques du faciès, mais pas du MASSIF entier
- Influence de la présence d'eau

## *Difficultés*

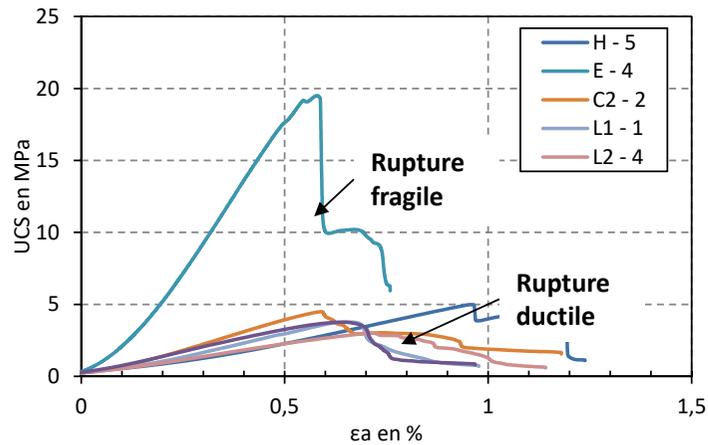
- de taillage => difficulté de réaliser des essais normalisés
- de prélèvement en place des plans de discontinuité

# Caractérisations macroscopiques

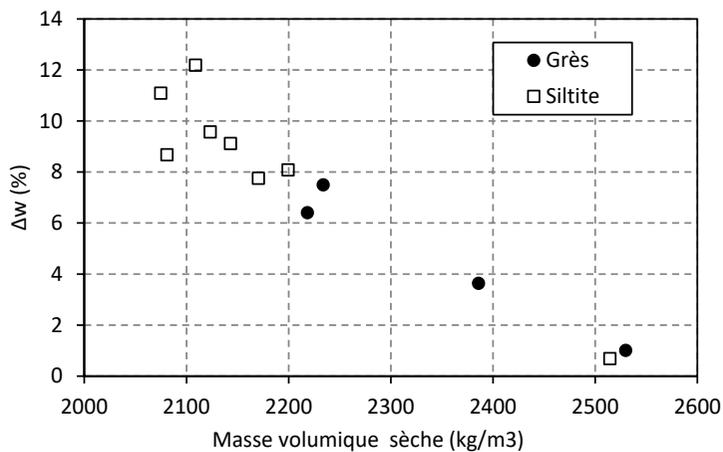
- **Caractérisation de la matrice rocheuse :**
  - Essais de compression uniaxiale
    - Détermination de la résistance à la compression et de la déformabilité
    - Influence de la teneur en eau sur les résistances mesurées
  - Mesure de la vitesse de propagation des ondes
    - Mesures dans différentes directions par rapport à la schistosité
  - Quantification de l'altération
- **Caractérisation des discontinuités :**
  - Réalisation d'essais de cisaillement rectilignes

# Caractérisations macroscopiques

## Essais de compression simple



Différents modes de rupture des éprouvettes



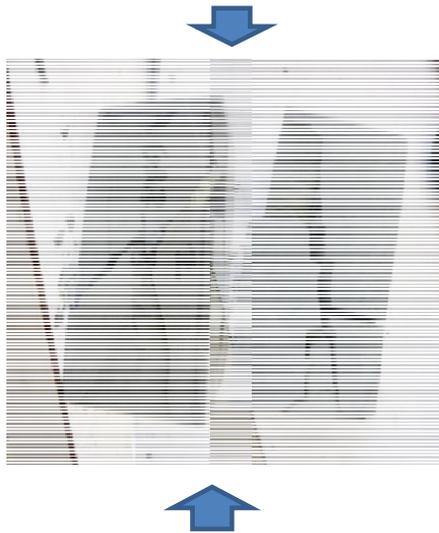
- Essais sur éprouvettes sèches ( $w < 1\%$ ) et saturées
- Deux modes de ruptures mis en évidence : fragile et ductile (ductilité plus fréquente sur les éprouvettes humides)
- Éprouvettes de siltites présentent les variations de teneur en eau les plus fortes

# Caractérisations macroscopiques

## Essais de compression simple



Éprouvette station Mabilais  
=> Rupture suivant les plans S1



Éprouvette station Gare  
=> Rupture suivant plans S1 + F1 + F2 + F3 (orientations variées)



Éprouvette station Cleunay –  
Interstratification magmatique  
=> Rupture suivant un seul plan de fracturation

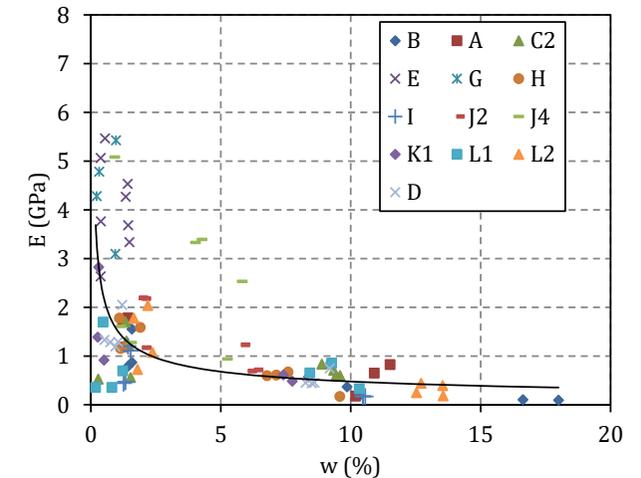
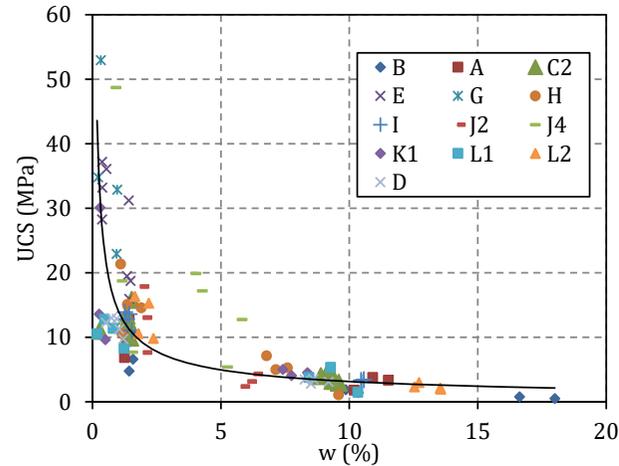


Cleunay -  
Microconglomérat

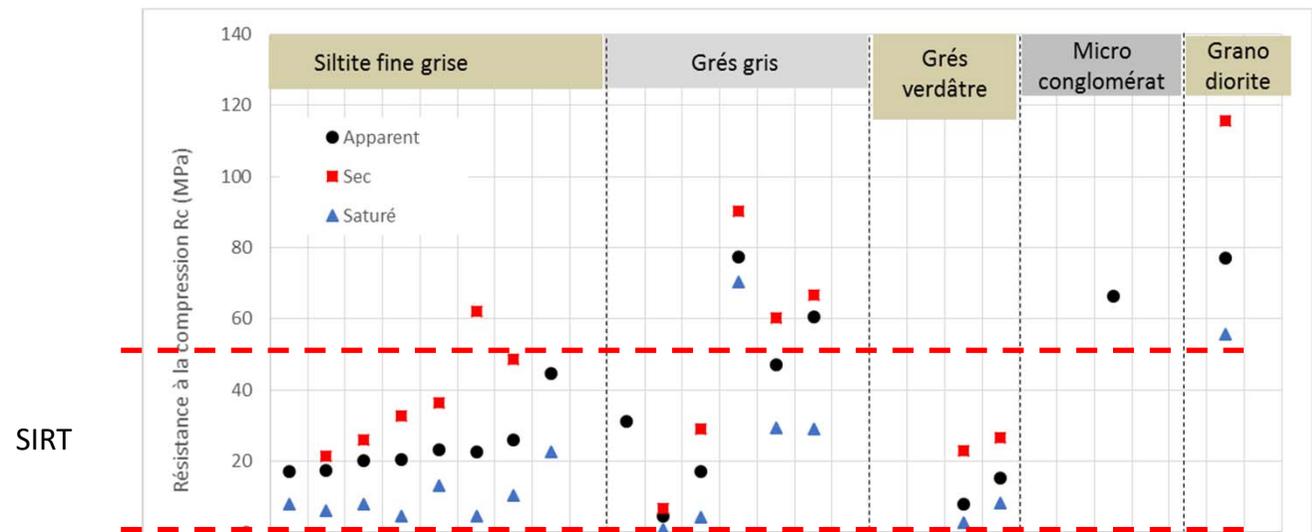
# Caractérisations macroscopiques

## Essais de compression simple

Influence importante de la teneur en eau sur la valeur de la résistance et sur la déformabilité (tout faciès confondus)



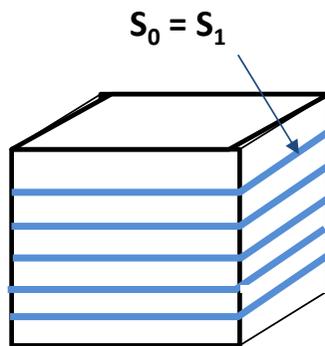
Par site et par faciès



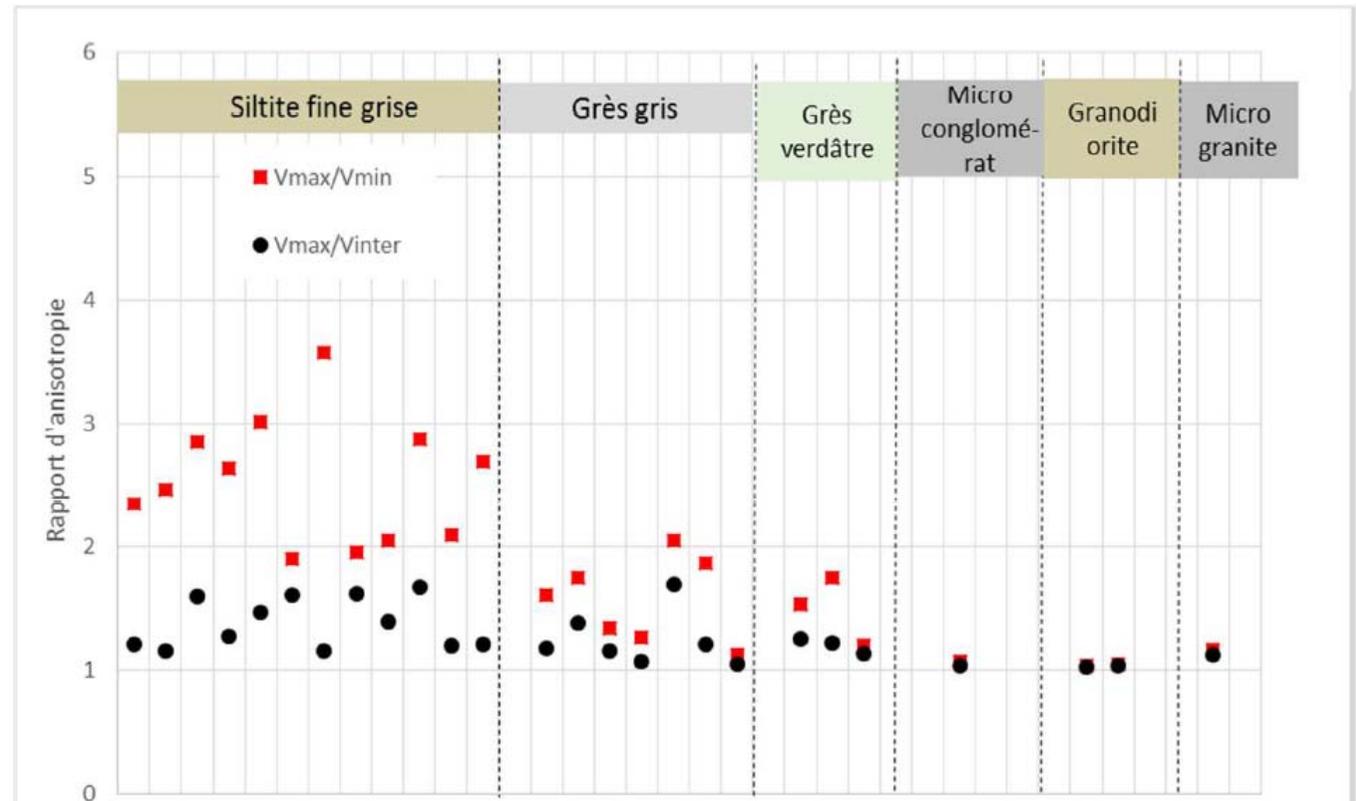
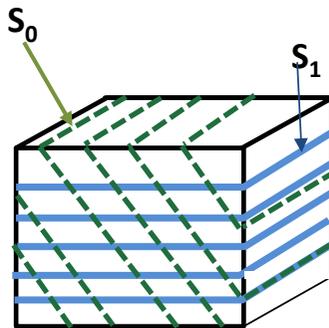
# Caractérisations macroscopiques

Caractérisation de l'anisotropie par mesure de la vitesse de propagation des ondes

**Isotropie  
transverse**



**Anisotropie**



# Caractérisations macroscopiques

## Classification des matériaux

Classes	Termes descriptifs du degré d'altération du massif rocheux
AM1a	<i>Rocher sain</i>
AM1b	<i>Rocher faiblement altéré</i> Altération limitée aux surfaces de discontinuités principales ; rocher sain dans la masse
AM2	<i>Rocher légèrement altéré</i> Altération faible dans la masse rocheuse mais bien développée sur les discontinuités
AM3	<i>Rocher modérément altéré</i> Altération bien visible dans toute la masse rocheuse mais matériau non friable
AM4	<i>Rocher très altéré</i> Forte altération dans toute la masse rocheuse
AM5	<i>Rocher complètement altéré</i> La texture et les fissures importantes sont toujours visibles
AM6	<del><i>Rocher complètement décomposé</i></del> Texture et fissuration non reconnaissables sol résiduel - pas de remaniement

Classification AFTES :

Quasi tous les terrains interceptés par les ouvrages classés AM4-AM5

➤ **Classifications usuelles non discriminantes**

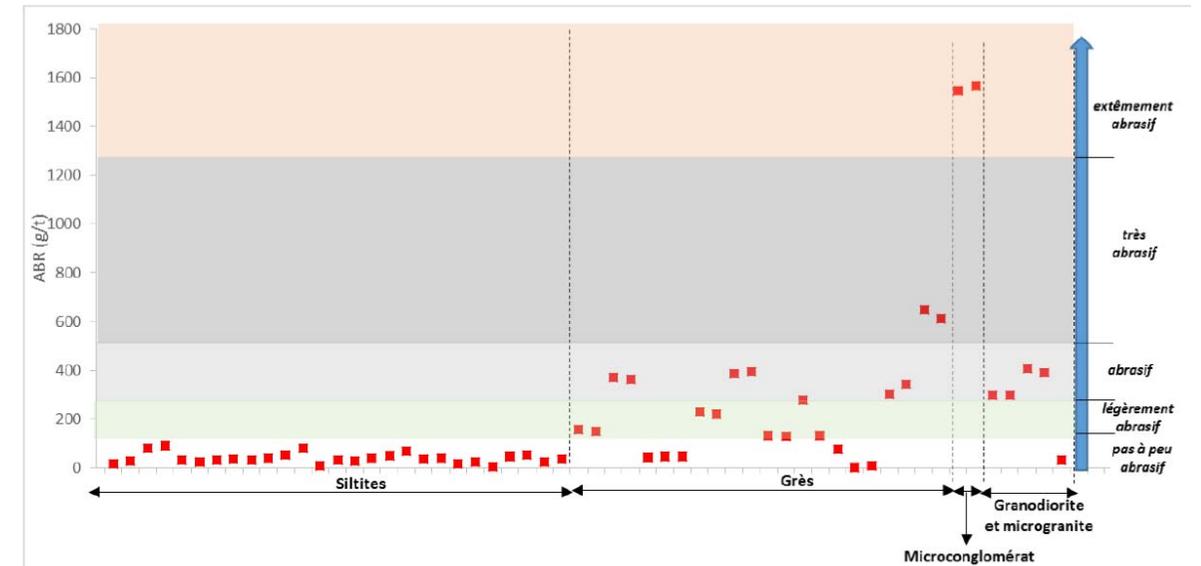
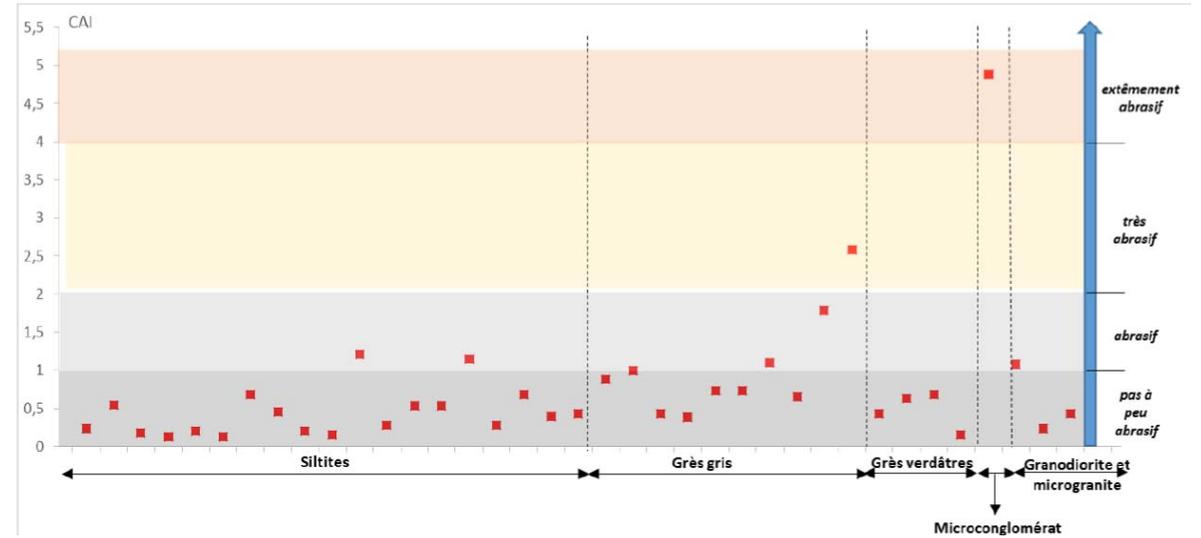
⇒ **Trouver des indicateurs complémentaires pour la caractérisation**

# Caractérisations macroscopiques

## Caractérisation de l'altération

## Réalisation d'essais d'abrasivité normalisés

- Rayure avec une pointe ( Abrasivité « Cerchar ») NF P94-430-1
- Outil en rotation (Abrasivité LCPC) NF P94-430-2
  - Abrasivité
  - Broyabilité



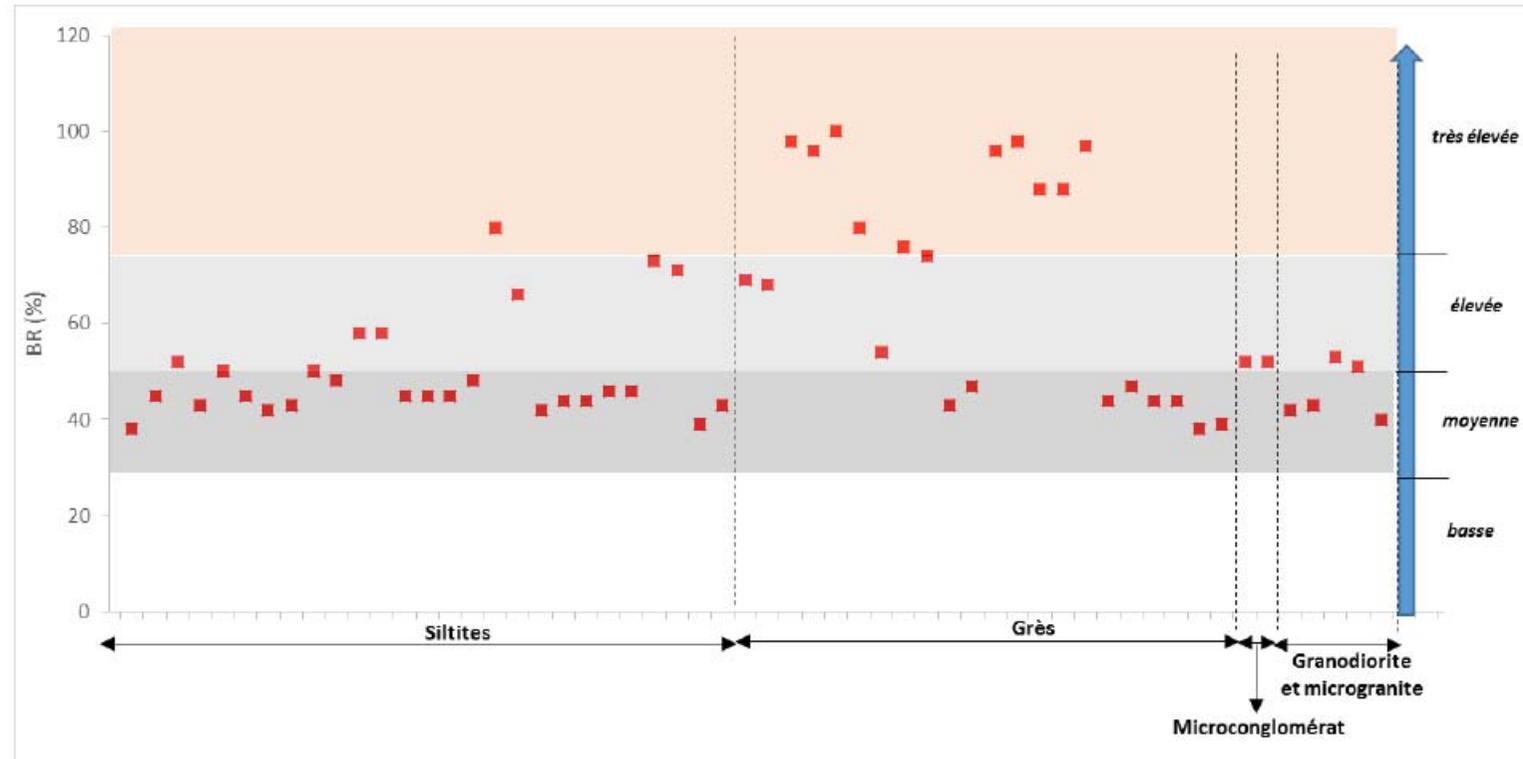
- Sollicitation « sévère » pour le matériau, essai non discriminant dans les SIRT

=> adaptation de protocoles existants

# Caractérisations macroscopiques

## Caractérisation de l'altération

⇒ Essais normalisés :  
Broyabilité LCPC (outil en rotation)

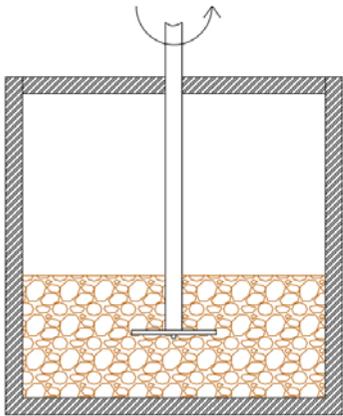


Sollicitation « sévère » pour le matériau, essai non discriminant dans les SIRT  
 => adaptation des protocoles essai LCPC et essai micro Deval (caractériser la broyabilité et la résistance à l'attrition)

# Caractérisations macroscopiques

## Caractérisation de l'altération

2 indicateurs

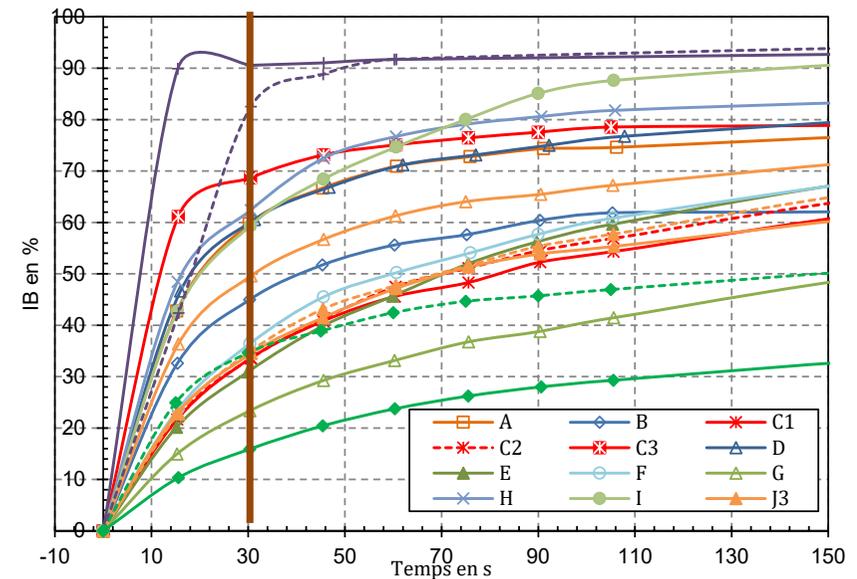


Adaptation du protocole de l'essai avec un outil en rotation

Essai de broyabilité dit « fractionné »

$$A_{BR} = \frac{M_0 - M}{G_0}$$

$$IB = \frac{m_{fines < 16mm}}{m_{initial}} \times 100$$

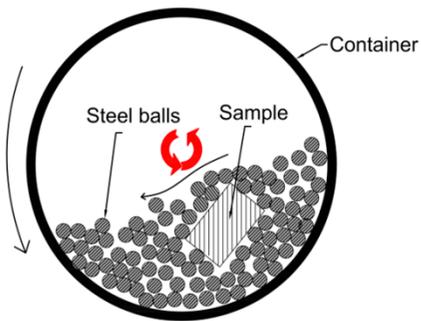


➤ Mesure de la broyabilité après 30 secondes de sollicitation

# Caractérisations macroscopiques

## Caractérisation de l'altération

2 indicateurs

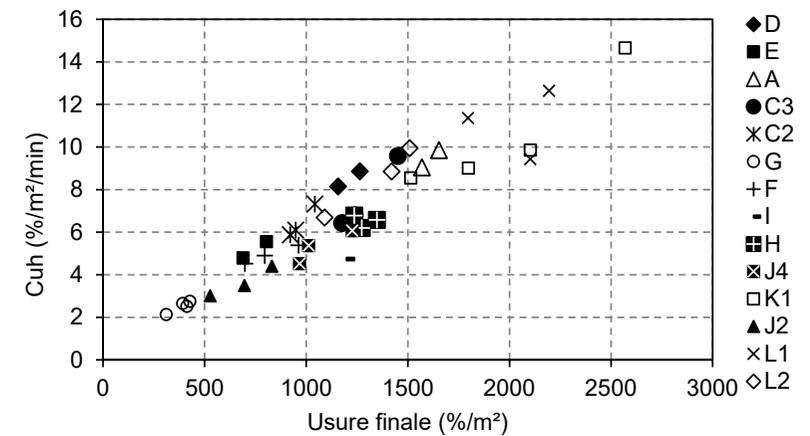
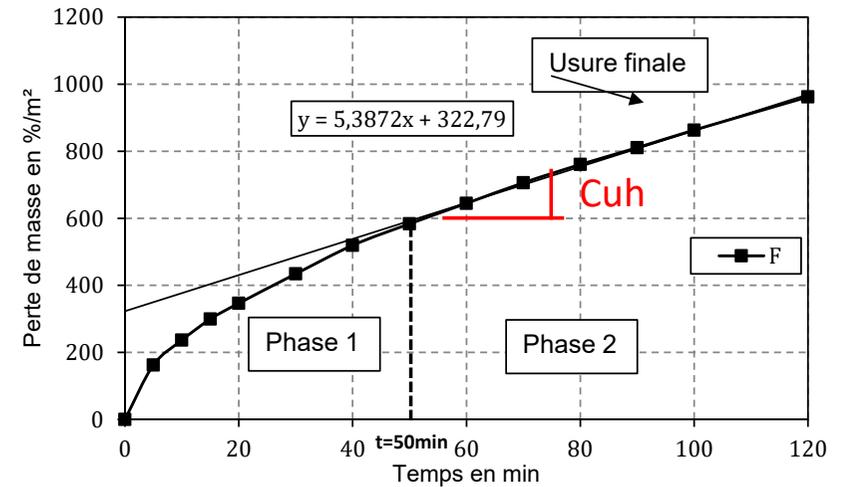


Essai MDE « fractionné » sur un échantillon parallélépipédique

➤ Quantification de la résistance à l'usure par attrition

➤ Coefficient d'usure

$$\left(\frac{\Delta M}{M \times S}\right)_t = C_{Uh} \times t + \left(\frac{\Delta M}{MS}\right)_{t_0 \rightarrow 50 \text{ min}}$$



# Caractérisations macroscopiques

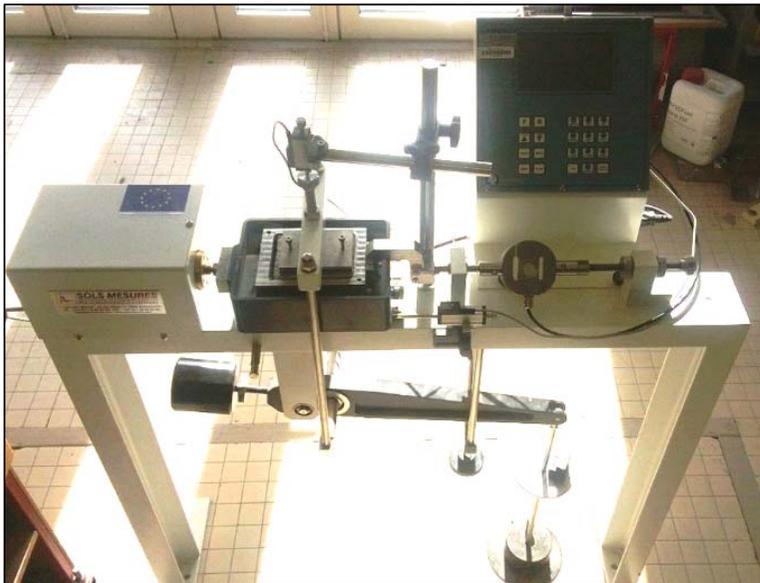
Classe d'altération	Classe de discontinuité (« fracturation »)	Micro-Deval modifié	Broyabilité à 30 secondes et abrasivité	Classification proposée	
AM6	Roche décomposée = sol résiduel non remanié	-	-	Altérites	
AM5-AM4	Très friable à friable	-	$C_{uh} > 5,5\%/m^2/min$	IB30 > 40 %	D4
				IB30 ≤ 40%	D3
			$C_{uh} \leq 5,5\%/m^2/min$	coefficient abrasivité < 150 g/T	D2
				coefficient abrasivité ≥150 g/T	D1
AM3-AM1	Non friable	ID5	Fragmenté	-	
		ID4-ID3	Très fracturé à fracturé	-	
		ID2-ID1	Peu fracturé	-	

# Caractérisations macroscopiques

## Caractérisation des discontinuités

Utilisation d'une machine de cisaillement de mécanique des sols

Adaptation de la boîte de cisaillement



# Caractérisations macroscopiques des discontinuités

Protocole de caractérisation : un site, une lithologie, une discontinuité

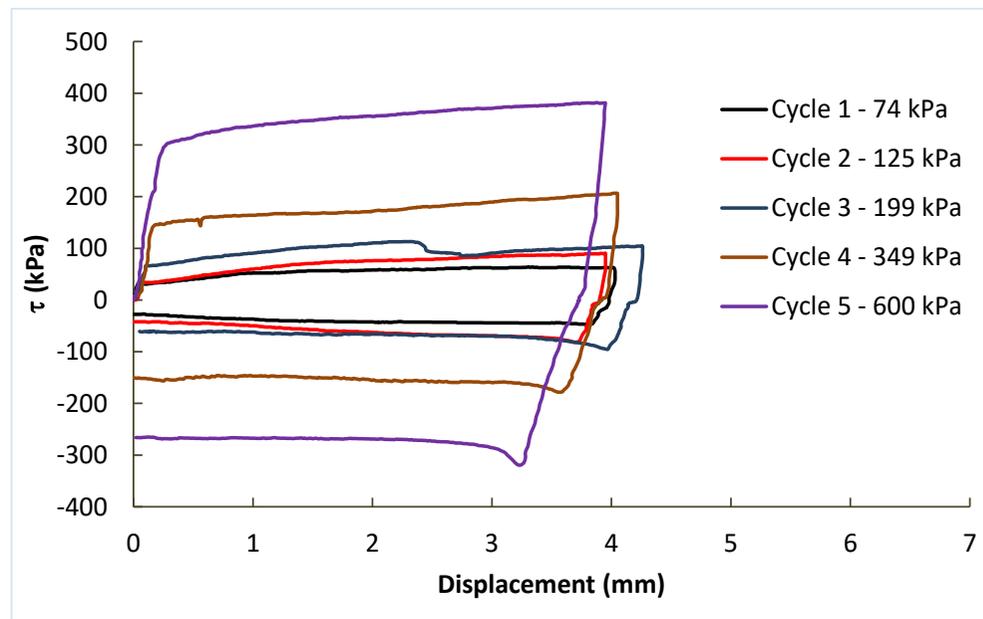
Prélèvement de la discontinuité ouverte



Confection de plusieurs éprouvettes par discontinuité

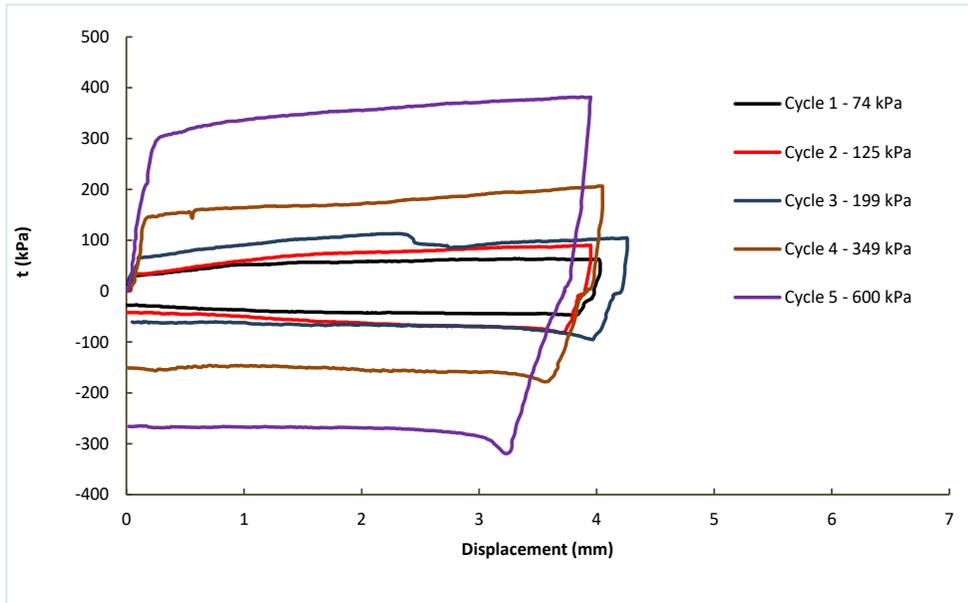


- Réalisation de 4 à 5 cycles de cisaillement aller-retour par éprouvette ( Jafari et al., 2003)
- Augmentation de la contrainte normale à chaque cycle

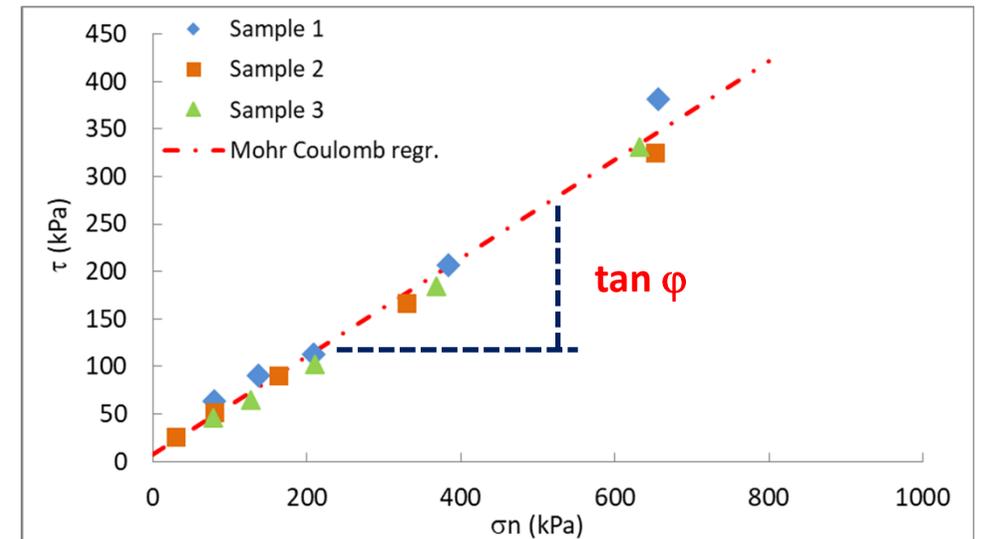


# Caractérisations macroscopiques des discontinuités

Protocole de caractérisation : une discontinuité, un site, une lithologie



Représentation dans le plan de Mohr des  $\tau_{\text{moy}} = f(\sigma_n)$  pour l'ensemble des éprouvettes)

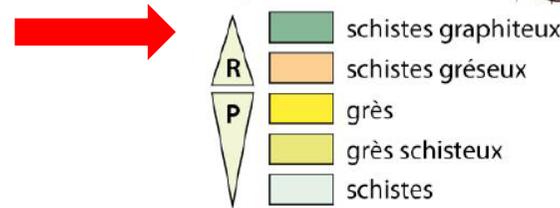


# Caractérisations macroscopiques des discontinuités

## Schistes graphiteux

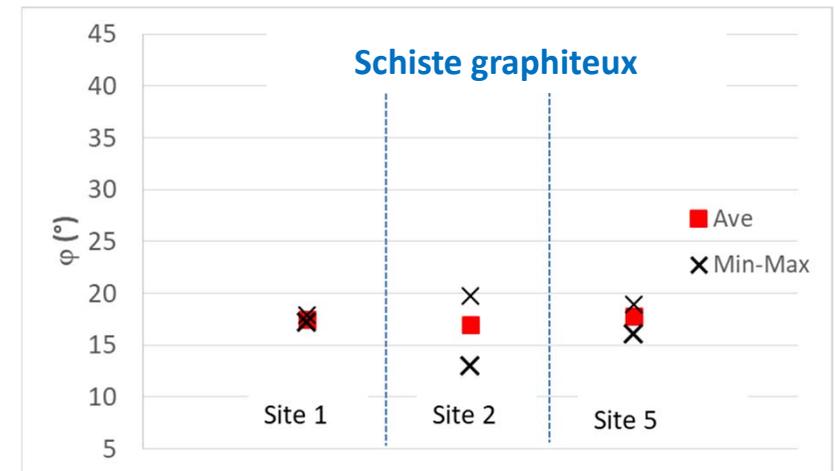


*Plan ouvert de schiste graphiteux lisse et brillant prélevé sur la station St-Germain*



### Valeurs très faibles ( $\approx 17^\circ$ )

- Forte teneur en argile et matières organiques
- Iso-orientation des phyllosilicates et du graphite dans les plans de schistosité
- Discontinuités aspect « lustré »

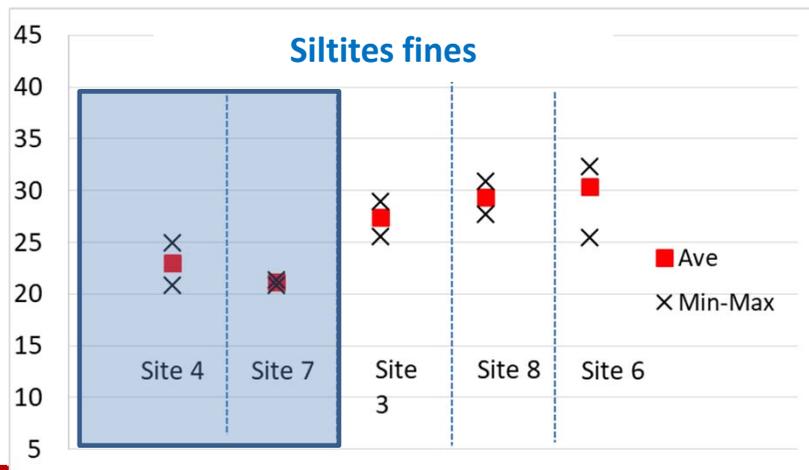
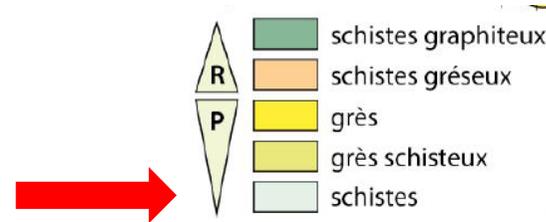


# Caractérisations macroscopiques des discontinuités

## Siltites



Plan ouvert de schiste silteux gris  
prélevé station Colombier



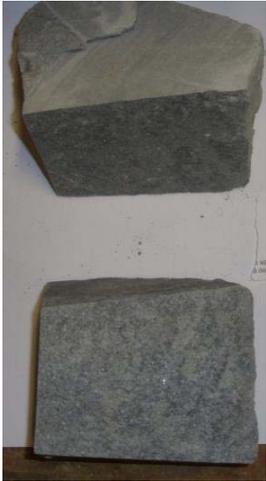
## Valeurs plus importantes (> 20°)

➤ Influence de la minéralogie

Chlorite, illite

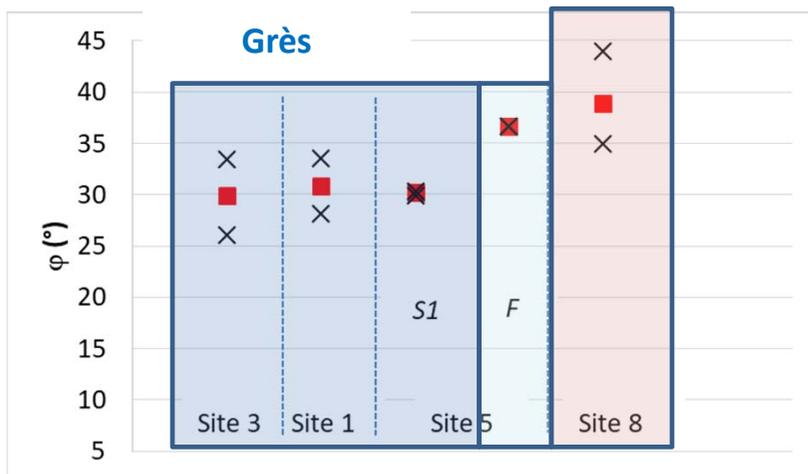
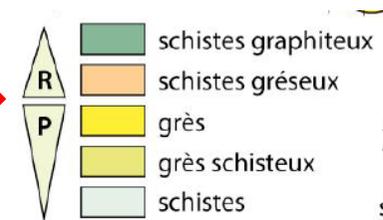
+ smectite

# Caractérisations macroscopiques des discontinuités



## Grès

*Plan de schistosité ouvert dans un matériau gréseux prélevé station Cleunay*



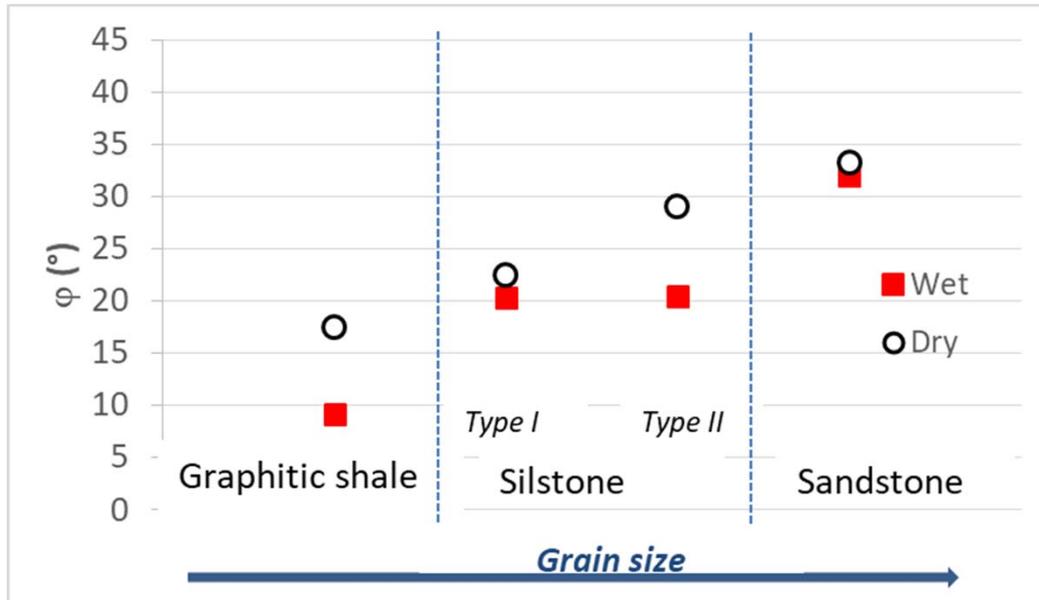
**Grès fins : S1 : valeur  $\approx 30^\circ$**

**Grès fins : F : valeur  $\approx 37^\circ$**

**Grès moyens : valeur plus élevée**

# Caractérisations macroscopiques des discontinuités

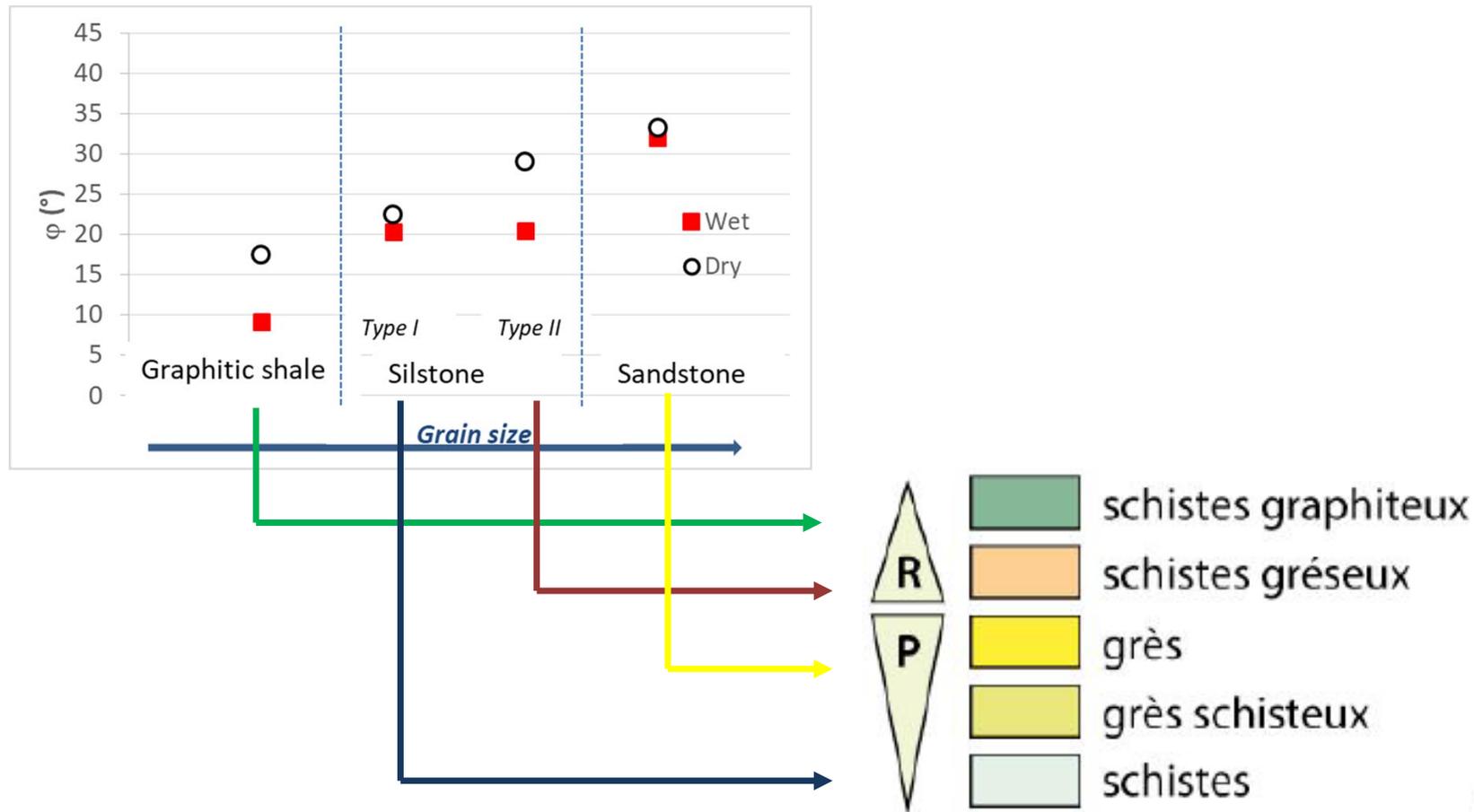
## SYNTHÈSE



- Augmentation de l'angle de frottement avec la granulométrie de la roche contenant la discontinuité
- Diminution du frottement avec la présence d'eau :
  - *influence très marquée dans les schistes graphiteux*
  - *influence limitée dans les matériaux gréseux*

# Caractérisations macroscopiques des discontinuités

## SYNTHÈSE



# Conclusion

- Briovérien rennais DES SIRT variés
- Difficulté d'échantillonnage et de caractérisation des SIRT
  - Essais roches ou sols pas adaptés
  - Développement d'essais "spéciaux"
- Anisotropie à l'échelle du massif et de la matrice rocheuse
  - influence importante sur le calcul d'ouvrages
  - Schistes graphiteux conditionne le comportement global du massif (maillon faible)