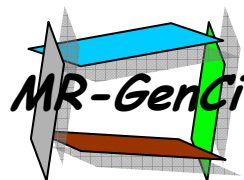


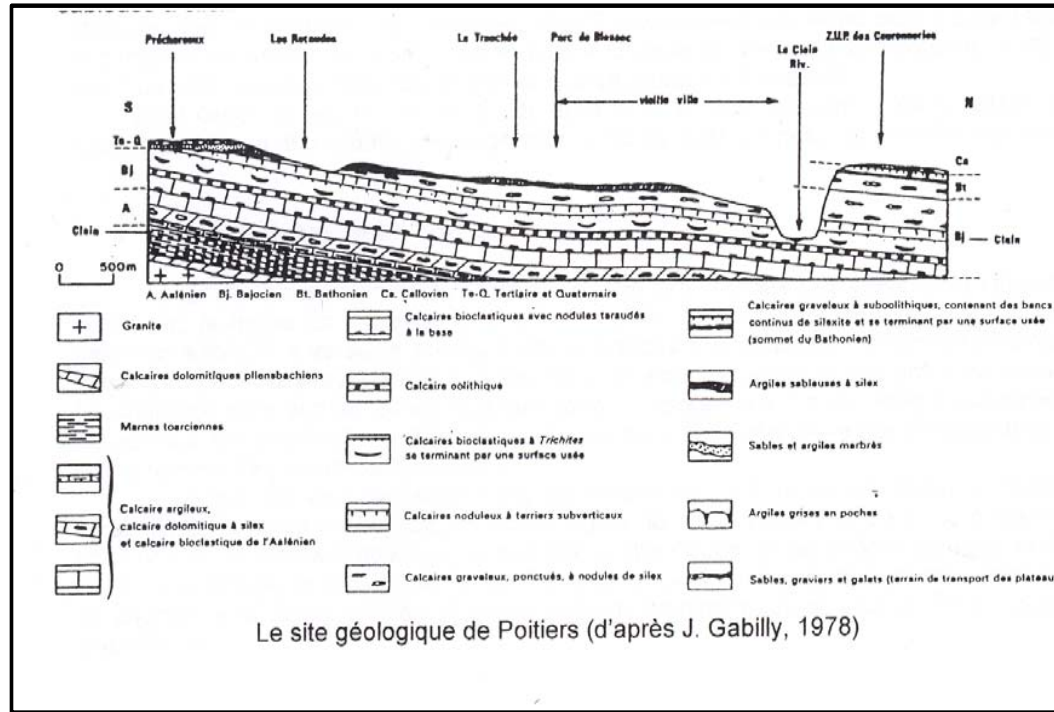
# Méthodologie d'étude des falaises calcaires de la CAP

**Université de Poitiers (HydrASA- ESIP) –  
(A. Pantet – D. Proust)**

**en collaboration avec C.Fontaine (HydrASA), J. Hervier (CAP) –  
D. Halm (ENSMA) et O. Amiri (Université de la Rochelle)**



# Contexte géologique de Poitiers



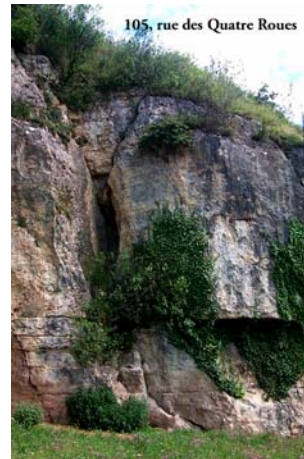
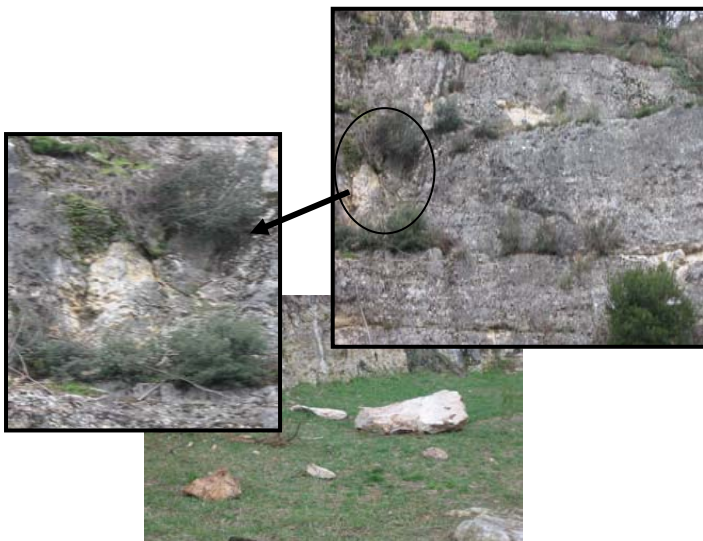
- Plateau d'altitude moyenne 120-140 m, constitué d'assises jurassiques calcaires subhorizontales, karstifiées, recouvertes par des formations superficielles complexes.

- Falaises dans les vallées du Clain, de la Boivre, de l'Auxance et du Miosson

- Diaclases verticales orientées NW-SE et N-S

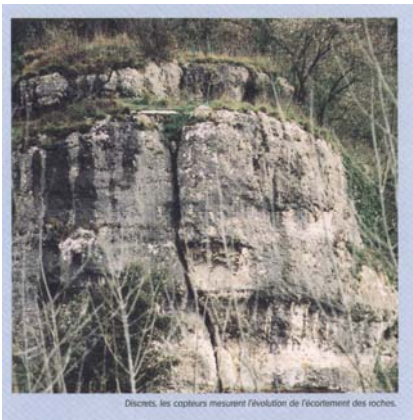
# Les risques naturels identifiés – Mouvements de terrain

Type	Localisation	Dimension	Accidents
Éboulements et chute de blocs	Falaises	20 km	50
Glissements de terrains	Coteaux + Talus sur falaises	21 km	7
Effondrements de cavités (200)	Falaises et plateaux	18 % du territoire	7
Retrait – gonflement des sols	Plateaux	Aléa fort Aléa moyen	600 en 2003



# La stratégie globale de la CAP – stabilité des falaises et cavités

- **la connaissance des risques** (identification, localisation)
- la prévention
- l'information et formation (communication avec la population)
- Les travaux de sécurisation



Ex :Ecaille rocheuse de 8m\*8.4m stabilisée par clouage en janvier 2005

- l'action d'assistance (plan de secours – DICRIM Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs )
- l'après crise et le retour d'expérience

# **Collaboration CAP – Université**

Participation au GIS MR GenCi

## **Plan d'actions à plusieurs niveaux**

- Mise en place des données
- Missions d'expertise à « court terme »  
*directement appliquées à la gestion de la sécurité*
- Actions de recherche à « long terme »  
*meilleure connaissance des phénomènes*

## *A l'échelle de l'affleurement*

### ✓ Une étude géologique – méthode observationnelle

- Description géologique des affleurements et du contexte (urbain, végétation, eaux)
- Organisation des données en fiche individuelle

### ✓ Hiérarchisation des zones d'aléas

Codage des données - Définition des zones d'urgences pour travaux

## *A l'échelle de l'échantillon (couplage macro-micro)*

### **Caractérisation minéralogique et mécanique des matériaux**

- Description détaillée des calcaires et sensibilité (ruissellement, gélivité, dissolution....)
- Caractéristiques mécaniques ( $E, \nu, C, \varphi$ ), résistances à la rupture  $R_c, R_{tb}$  / Comparaison avec note RMR

# Dossier personnalisé, état de référence, échelle cadastrale

## 105. RUE DES 4 ROUES

Pan vertical de 10 m de haut, il diminue brusquement de 4 m sur les 6 m les plus à droite.

Maison à gauche, accolée au pan N120. Ensuite, 10 m de pan N125, 5 m de pan N96 et 8 m de pan N170. Enfin il tourne en N150 sur les 13 derniers mètres.

A gauche, pan N120 recouvert de lierre.

Enclos à chèvre sous les pans N96, N170 et N150.

### Discontinuités

Stratifications visibles à 2,20 m et 8 m.

#### Pan N96

- ⇒ Lisse.
- ⇒ Une fracture fine remonte le pan 2 m à droite en 60° E. Sa direction semble être N126 en bas, puis NS en haut, elle n'est pas droite.
- ⇒ Une fracture très fine verticale, 1 m avant le pan N170.
- ⇒ Faille N170 dans le prolongement du pan N170 à la fin du pan N96. On observe des stries horizontales sur le pan N170.

#### Pan N170

- ⇒ 3 m après, une fracture mécanique N100 remonte le pan en 70° S, et en vague. Elle s'arrête à 2,20 m.
- ⇒ 2 m après, une grosse crevasse N94. En bas, jusqu'à 3 m, 4 fractures N96 parfaitement droites, puis la paroi s'ouvre d'1 m pendant 2,50 m de haut. Enfin, en haut, un gros bloc triangulaire de 3,50 m de haut et 2 m de large referme la crevasse comme un bouchon de carafe évasé, les deux fractures à droite et à gauche se rejoignent en bas du bloc et sont peu ouvertes.

#### Pan N150

- ⇒ 7 m à droite de la crevasse, une fracture mécanique parallèle au pan forme des écailles sous la stratification à 2,20 m, d'1,50 m de haut, l'une de 4 m de large, l'autre de 2 m.
- ⇒ En haut, semblant remonter de la gauche de l'écaille, une fracture mécanique commence à isoler un gros bloc à l'endroit où le pan diminue en hauteur.

### Etat de la roche

Pan N96 fissuré en horizontal tout en haut. Cela isole des blocs métriques juste un peu plus bas, la roche se pète en fines écailles.

Roche plus orangée autour de la faille N170. La roche est friable et l'altération forme de petites boules.

Sur le pan N170, l'érosion découpe le pan en petites pierres de 4 à 6 m. De gros blocs sont visibles en hauteur. Paroi relativement lisse.

### Végétation

Petits arbustes à pic tout le long, lierre sur les pans N150 et N120.

### Sinistres

Petits blocs par terre de 20 X 20 cm, ils doivent tomber de temps en temps car peu abondants.



- L'historique
- La description de la fracturation et des parois
- La végétation
- L'eau
- Les sinistres
- L'enjeu

# Parcelle codifiée : Aléa nul, faible, moyen, élevé et très élevé

## Falaise

### ➤ Evaluation de l'aléa

À partir d'une méthodologie ébauchée en 1978, sur l'étude des falaises des Alpes-Maritimes (LCPC)

### • Évaluation de l'aléa

✓ Les facteurs déterminants fondamentaux: la topographie et les discontinuités

		FALAISE																	
ZONE DE DEPART	topo / discontinuité	Pas de possibilité de chute	Faible probabilité de chute						Forte probabilité de chute										
			0		1		2		0		1		2						
	Protection	Indices	Végétation	Aléa	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2			
			0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2		
			0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	0	0	1	2	
			0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
			0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
			0	0	1	1	2	2	2	0	1	1	2	2	2	0	1	1	
			0	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	0	1	2	

## Falaise déportée

✓ Les facteurs minorants ou aggravants: les protections, les indices morphologiques, la végétation

		VERSANT (V.) ENTRE: FALAISE DEPORTEE ET FALAISE APLOMB																		
Trajectoire	Topo	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	Végétation	0	0	1	0	1	0	1	2	2	2	0	1	0	0	1	1	2	2	2
	Protection	0	0	0	1	1	2	2	0	1	2	0	0	1	2	1	2	0	1	2
	Synthèse V.	0	0	0	J2	J2	Cr2	Cr2	0	Cr2	V2	0	0	V2	V2	V2	Fg2	0	Fg2	Fg2

	0	Fg1	V1	Cr1	J1	Synthèse finale de la falaise déportée + Versant
0						
Fg2						
V2						
Cr2						
J2						

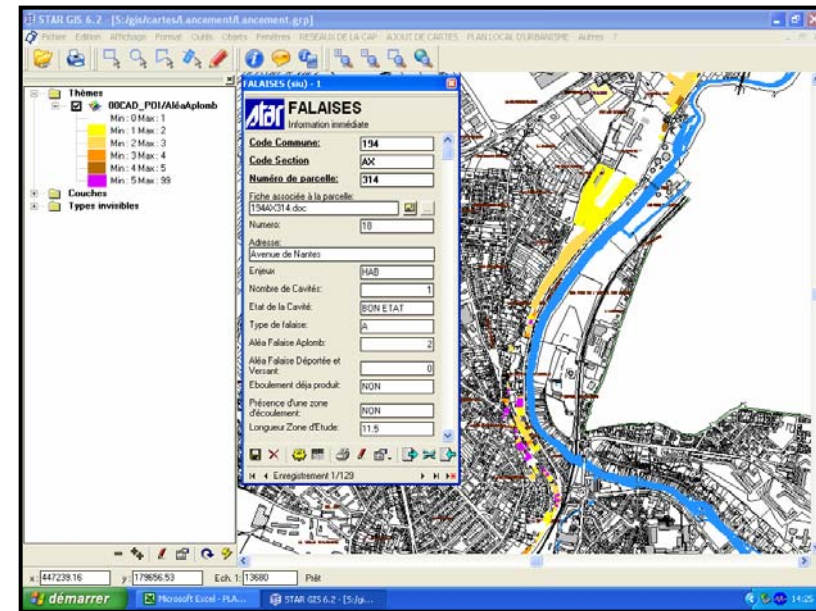
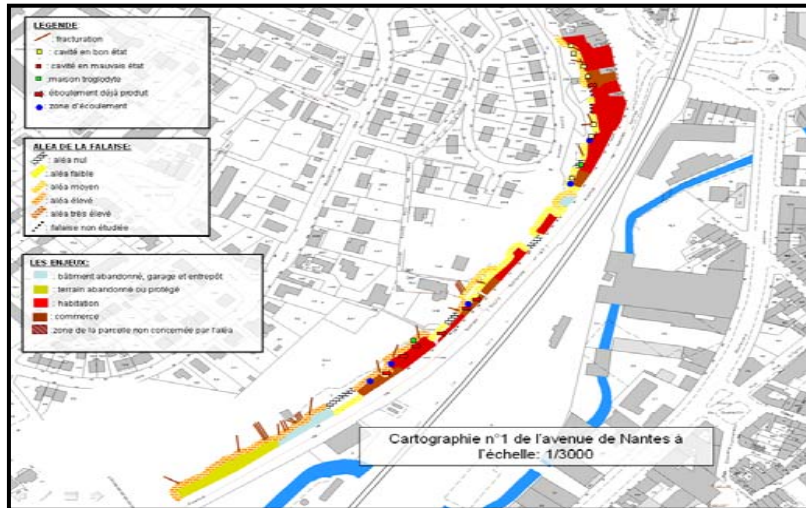
### ➤ Avantages de cette méthode

→ Rapidité et facilité de mise en oeuvre

→ Modification simple



# ✓ Cartographie de l'aléa et des enjeux sous STAR GIS



- 5 types d'enjeux (**habitation, commerce, route et trottoir**, terrain et locaux abandonnés)
- 74% de la zone représente une vulnérabilité élevée
- 26% , une vulnérabilité moindre

**Combinaison aléa – enjeux : sur ce tronçon, 30% de la falaise représente un risque non négligeable**

**Outil d'Aide à la décision**, ne se substitue pas aux études d'aléa « éboulement » spécifiques , mais permet d'orienter une **programmation rationnelle et hiérarchisée** des études et des travaux de protection.

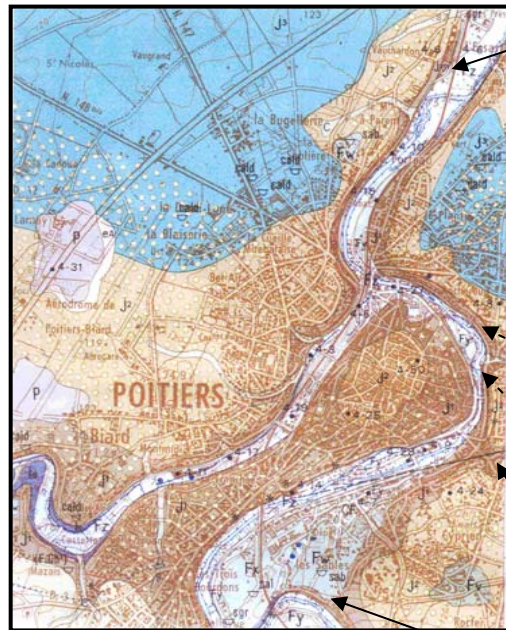
**Etudes de cas – préciser la relation macro-micro :**

1. Endommagement de la falaise (identification des différents calcaires)
2. L'ancienne savonnerie avec la dégradation des piliers

# 1. Les trois secteurs étudiés - série stratigraphique

Mécanisme de l'écaillage ? De la microfissuration par endommagement au développement des fractures

Extrait de la carte géologique au 1/50000



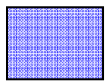
Route de Paris

Les 4 roues  
Savonnerie

Pierre Levée

Varenne

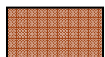
## Légendes



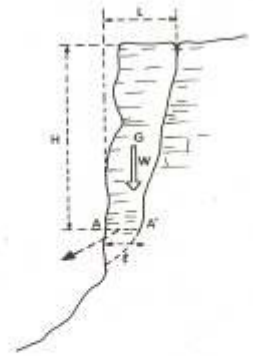
Callovien



Bathonien



Bajocien



Équilibre forces motrices et résistantes :  
1, rupture par basculement  
2, rupture par glissement

# Pétrophysique des calcaires sur blocs tombés

	% carbonates	Poids volumique sec kN/m <sup>3</sup>	Poids volumique saturé kN/m <sup>3</sup>	Poids volumique du solide kN/m <sup>3</sup>
Varenne 1	88,2	24,34	25,23	26,59
Varenne 2	86,7	24,21	24,90	26,93
Pierre Levée 1	92,2	22,67	23,48	26,19
Pierre Levée 2	93	21,96	23,44	27,86
Route de Paris 1	94,9	22,61	22,89	26,79
Route de Paris 2	92,2	19,45	23,22	26,78



Porosité %	Immersion	Absorption	Mercure*
Varenne 1	6,56	5,10	-
Varenne 2	6,40	5,12	0,5
Pierre Levée 1	10,62	17,13	14,28
Pierre Levée 2	9,92	10,99	15,16
Route de Paris 1	16,13	18,09	18,17
Route de Paris 2	13,71	17,96	11,77

Disque d=35mm – h=1cm

\* Echantillon 1 cm

# De la microscopie optique à la microscopie électronique à balayage

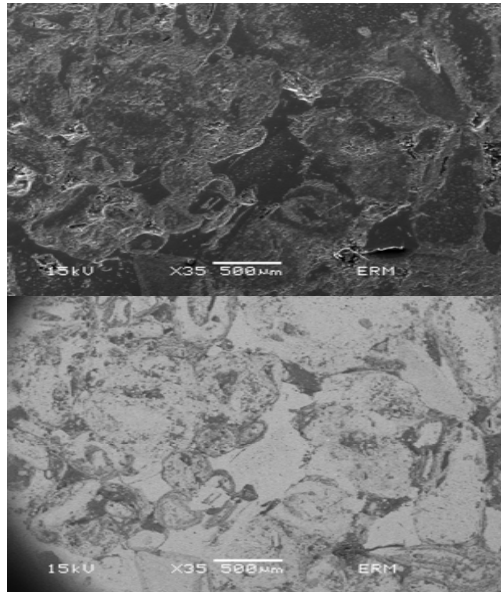
## Identification - porosités occluses ou connectées - altération - carte des éléments

**Au niveau du route de Paris**, les calcaires sont qualifiés comme une intramicrite à bioclastes

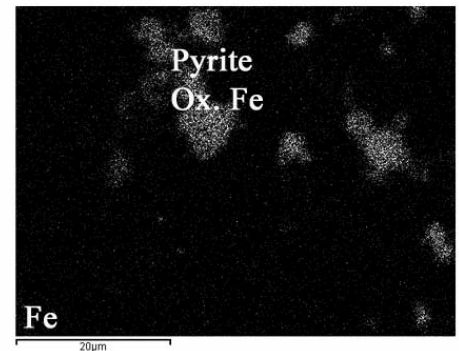
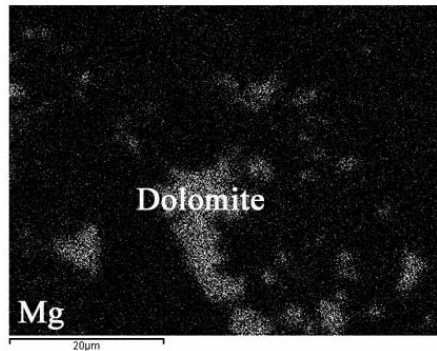
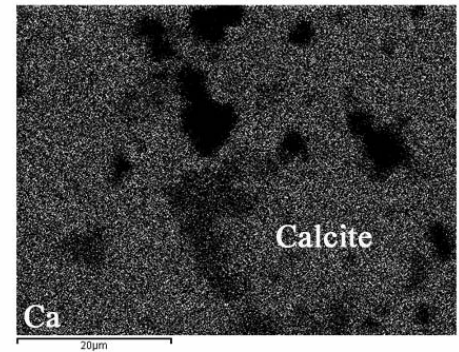
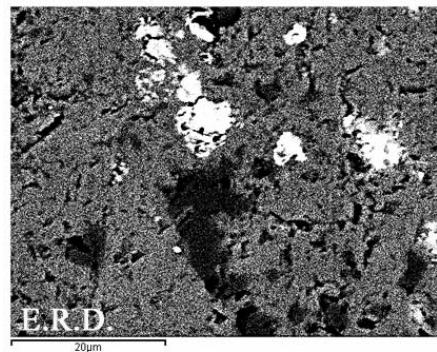
Les bancs de silex se trouvent dans les zones de calcaires les plus purs

**Au niveau pierre Levée**, intramicrite à oolithes

**Au niveau de la Varenne**, sparite à intraclastes et bioclastes, ils se différencient des autres par la présence de dolomite



SEI et ERD  
Rue des 4 roues



Carte des éléments chimiques  
Varenne

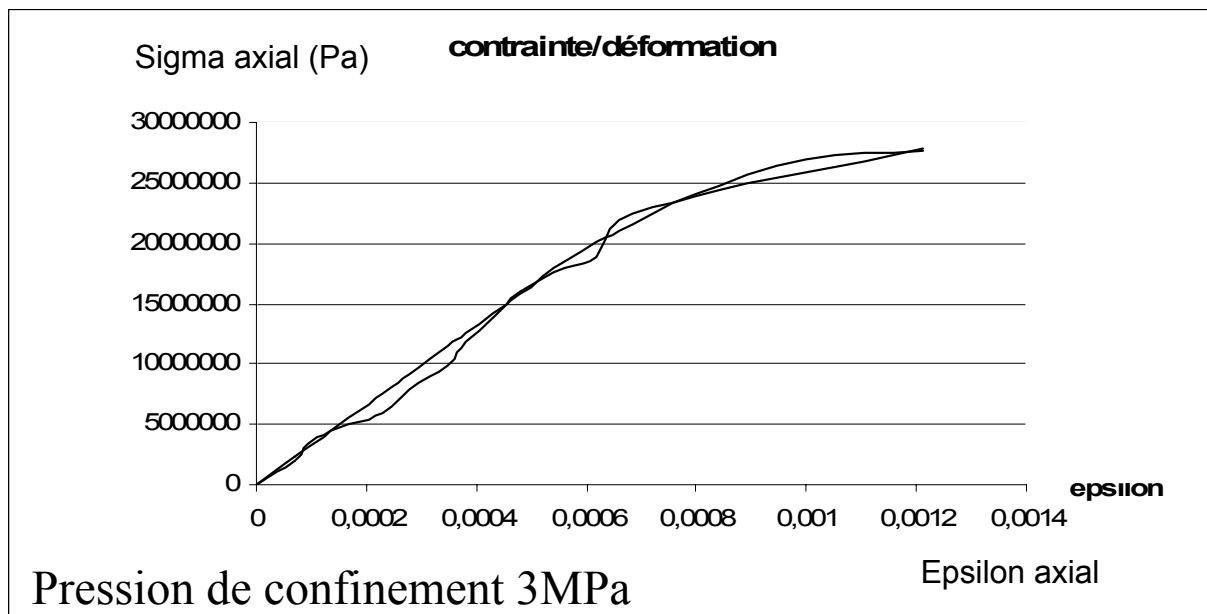
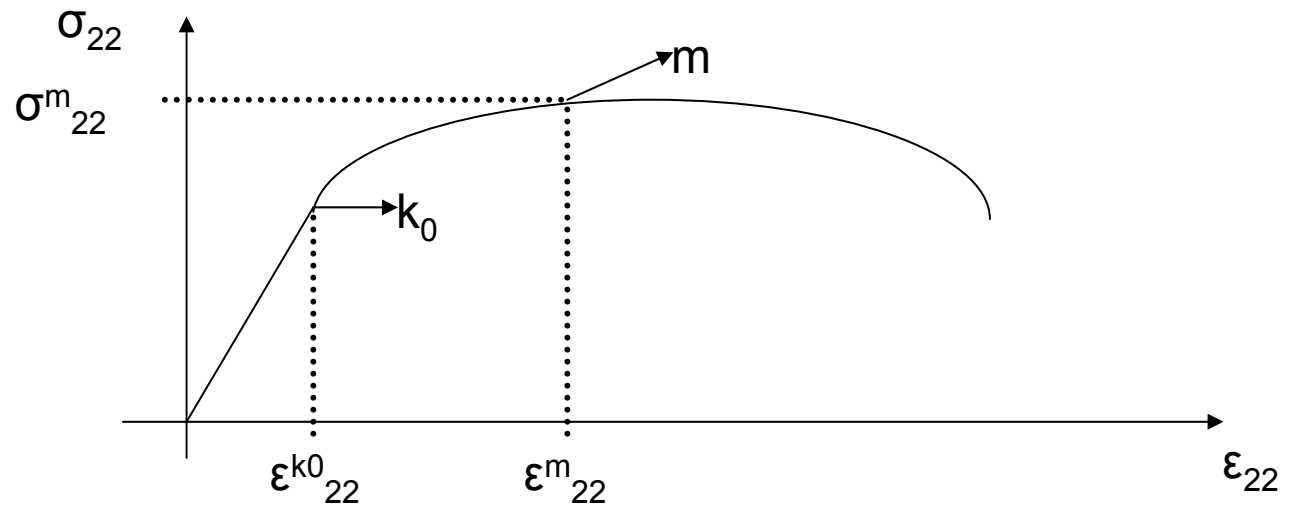
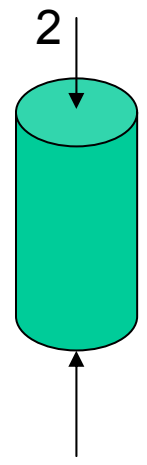


	<b>Rc (MPa) +/-10 kPa</b>	<b>Cohésion (MPa) +/-10 kPa</b>	<b>Angle de frottement</b>	<b>IC (éch sec)</b>
<b>Varenne 1</b>	<b>5,9</b>	<b>0,6</b>	<b>58°</b>	<b>73.4</b>
<b>Varenne 2</b>	<b>25,8</b>	<b>6,3</b>	<b>44°</b>	<b>84,6</b>
<b>Pierre Levée 1</b>	<b>38</b>	<b>8,5</b>	<b>41°</b>	<b>63,6</b>
<b>Pierre Levée 2</b>	<b>16</b>	<b>2,0</b>	<b>57°</b>	<b>54,4</b>
<b>Route de Paris 1</b>	<b>13.9</b>	<b>2,9</b>	<b>45°</b>	<b>49.2</b>
<b>Route de Paris 2</b>	<b>19,9</b>	<b>3,3</b>	<b>50°</b>	<b>68,4</b>

# Calcaire de la route de Paris :

Modèle Marigo : Module d'Young  $E_0$  et coefficient de Poisson  $\nu_0$  initiaux

Seuil initial d'endommagement  $k_0$  et constante de ductilité  $m$  :

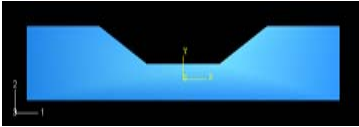
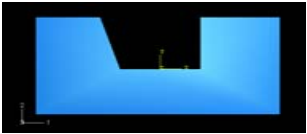




- $E_0 = 33 \text{ GPa}$
- $\nu_0 = 0.3$
  
- $k_0 = 10300 \text{ Pa}$
- $m = 6$

# IMPLANTATION DANS ABAQUS -

Première approche : - milieu homogène  
- effet de l'incise de la vallée

## Synthèse des différentes configurations

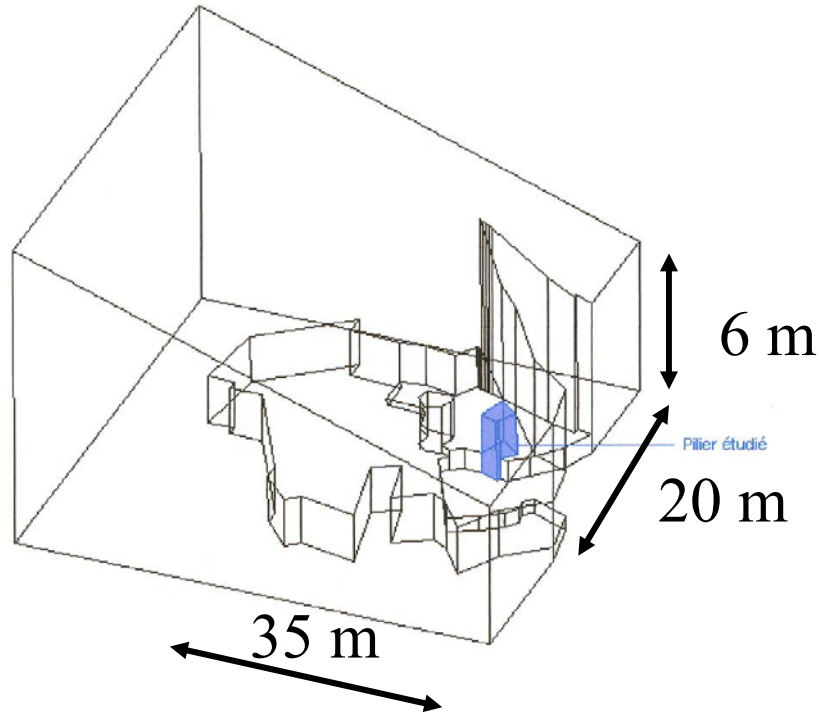
Profil en travers des vallées	Développement d'endommagement
Symétrie, Pente faible 	non
Dissymétrie 	oui
Surplomb 	oui
Surplomb + faille 	oui



## 2. Le pilier de la savonnerie

*propos de Mme S Martineau (avant 14-18 –lessiviel puis Salsola jusqu'aux années 60)*

Dans une ancienne carrière, stockage du carbonate de soude et préparation des pains de savons – **efflorescence sur les parois**



Section  $4 \text{ m}^2$  à  $6 \text{ m}^2$



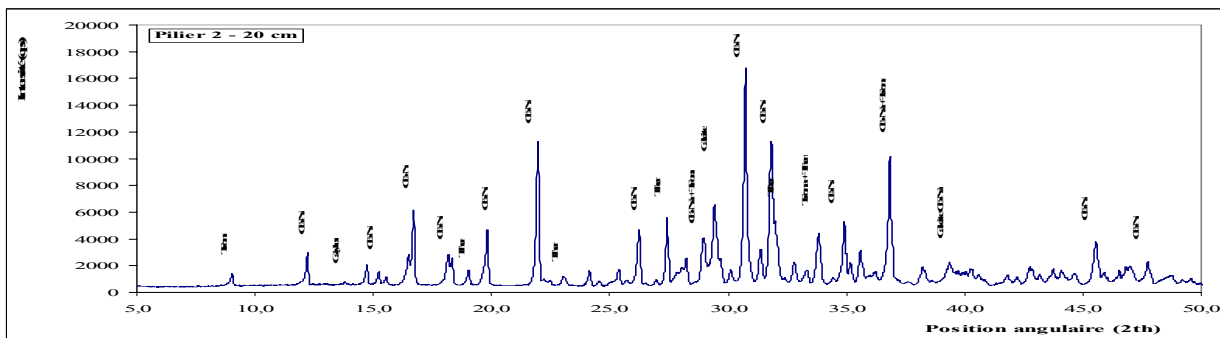
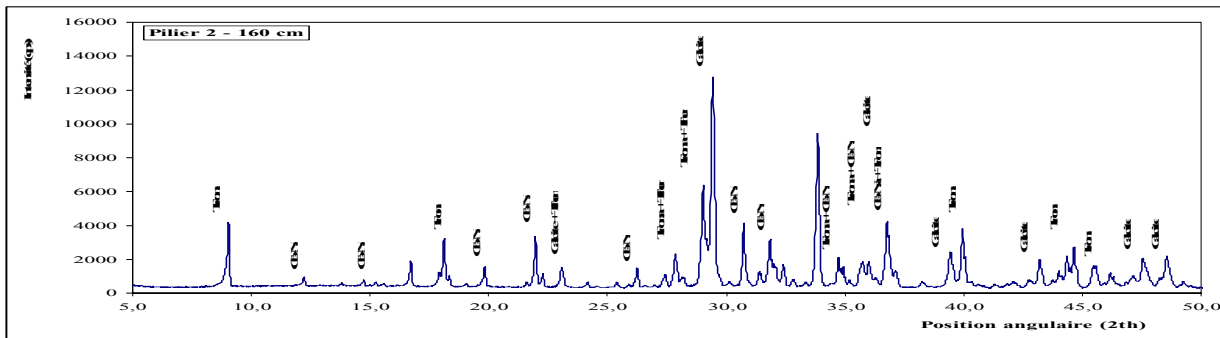
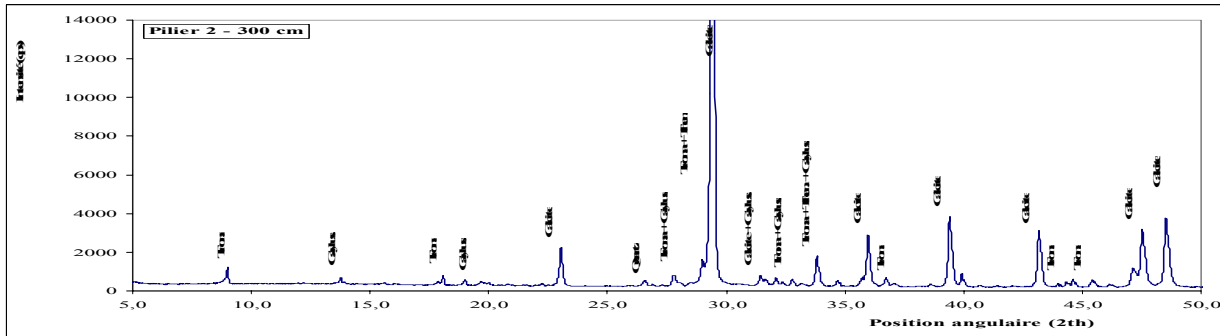
- Résistance mesurée au scléromètre  
20MPa (roche saine) et 24 MPa (roche avec efflorescence)
- sur bloc de roche saine  $R_c = 37 \text{ MPa}$
- Contrainte de compression estimée à 21 MPa

# Efflorescences minérales sur les parois d'un pilier

à 3,0m Calcite, Trona

à 1.6 m Calcite Trona, Carbonate sodique

à 0.2 m Carbonate sodique, Calcite, Thénardite



# Conclusions

Dans un contexte géologique simple, le développement de la fracturation conduisant à la formation d'écaillage de géométrie variable (pierres aux blocs) est complexe. Le phénomène est lent mais récurrent.

La relation pétro-méca est à affiner pour définir des paramètres pertinents qui vont les lier :

De l'initiation de la microfissuration au développement des fractures.

- ✓ Variabilité des données mécaniques à rattacher (1) au type de porosité des matériaux, (2) à l'état d'altération et de dégradation
- ✓ Altération des matériaux sous l'effet de l'action de l'eau (ruissellement, dissolution, gélivité ...), de facteurs anthropiques et/ou leurs effets combinés
- ✓ Effet d'échelle de la donnée minéralogique à l'échantillon, à la strate et finalement l'ouvrage.
- ✓ Pb échantillonnage
- ✓ Quantité et représentativité des données