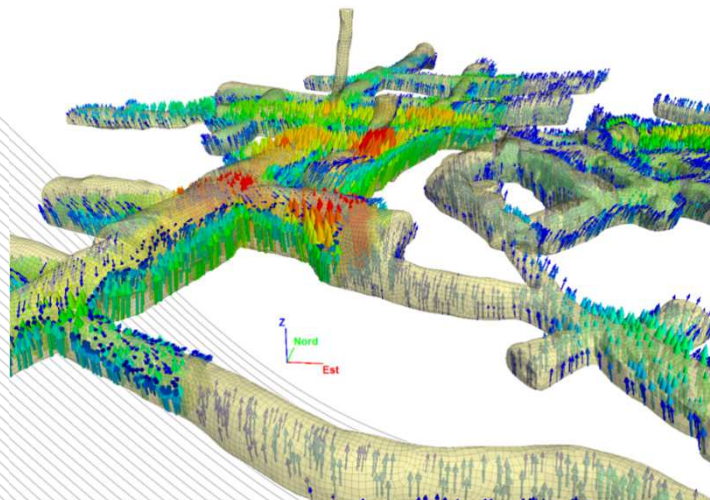
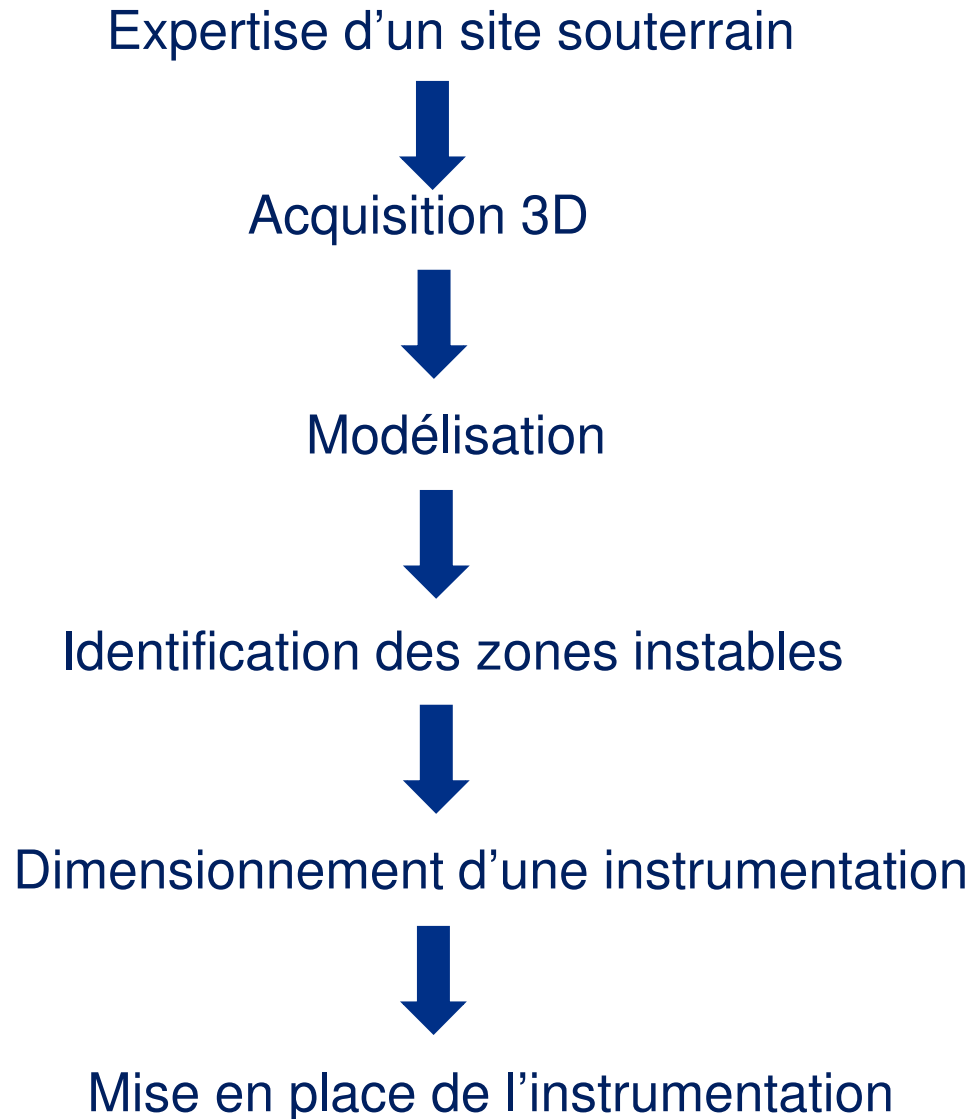


Approche innovante d'un site expérimental : Carrière de Château Landon

3ème rencontre nationale cavités souterraines

26/09/2019





- / Répondre à une problématique scientifique
- / Utiliser la compréhension des mécanismes pour mieux gérer le risque

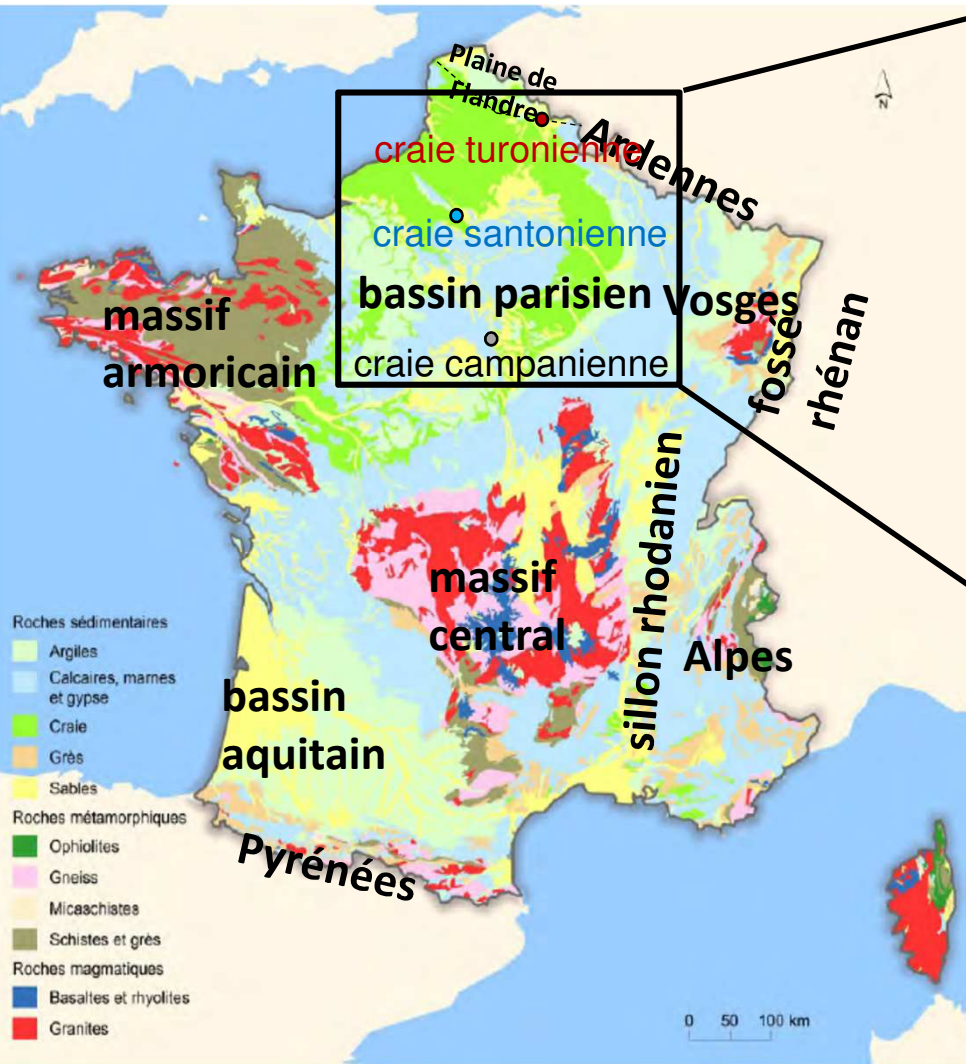
Contexte

- / Instabilités d'ouvrages souterrains → plusieurs milliers de communes en France
- / Enjeux importants : améliorations des connaissances → prévision des impacts en surface

Investigations scientifiques

- / Importance du couplage HM dans le diagnostic de stabilité : l'interaction eau-craie est complexe et dépend de la nature de la craie → choix de divers sites dans le bassin parisien
- / Etude rhéologique sur 3 craies du Bassin Parisien → thèse de N. Lafrance (2016)
- / Tests de laboratoire effectués pour \neq HR% → accent sur HR = [90 ; 100] % (conditions in-situ avant et après ennoyage).

Choix des 3 carrières de craie étudiées par l'Ineris

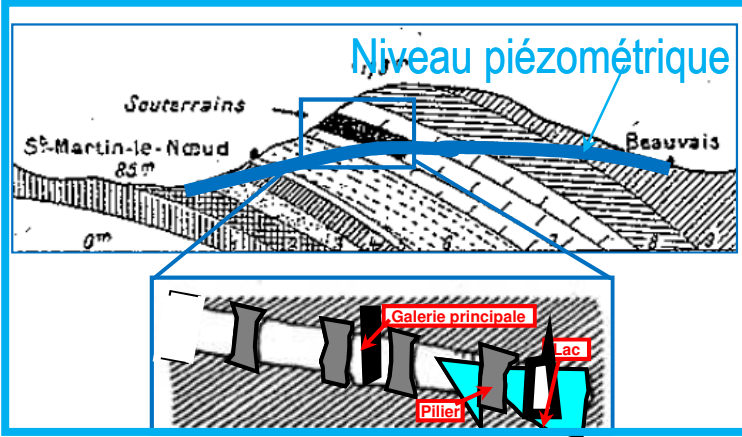


Source : Carte lithologique de la France à 1 / 2 000 000, BRGM, 2012. Traitements SOeS, 2012.

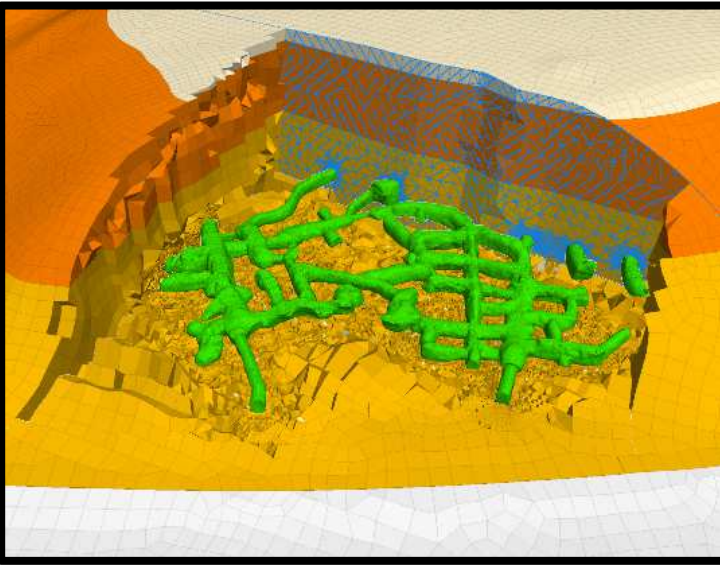


ennoyage périodique (10 ans ?)

pieds des piliers en permanence dans l'eau → battement de nappe



Pas d'ennoyage, mais saturation possible des piliers



Résultats acquis et démarche

Résultats acquis :

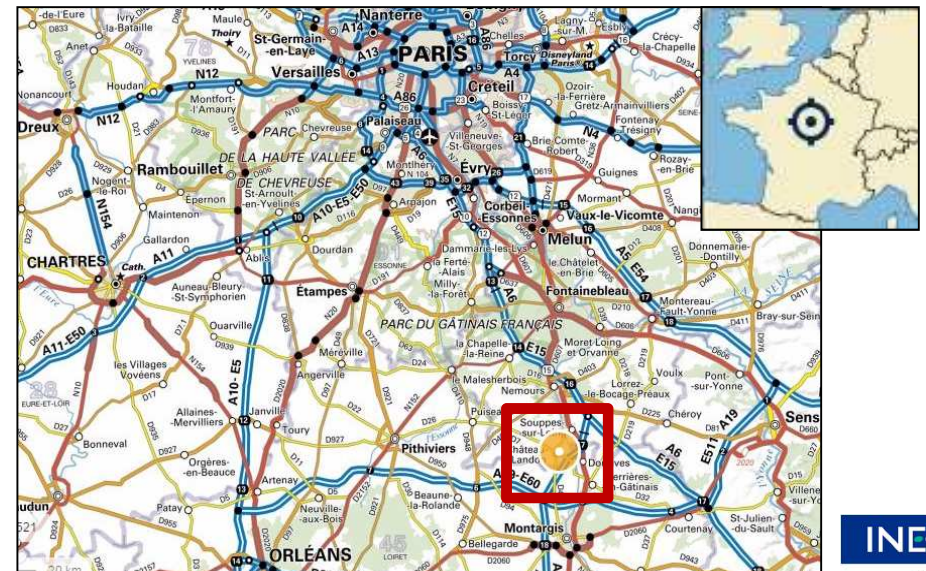
- / Le vieillissement de la craie soumise à des battements de nappe a été caractérisé ;
- / Thèse → caractéristiques géomécaniques + mécanismes clés → utilisés pour rétroanalyses et/ou expertises de carrières de craie souterraines.

Choix du site :

- / Site de Château-Landon : carrière Royer à 500 m de la carrière Beaulieu effondrée en 1910, mouvements observés en période de crue, accessible, collaboration engagée.

Carrière Royer à Mocpoix :

- / propriété du CD 77 (entrée)
- / étudiée par l'Ineris depuis 2011
- / en partenariat avec le Cerema IdF.



Présentation générale du site de Château-Landon

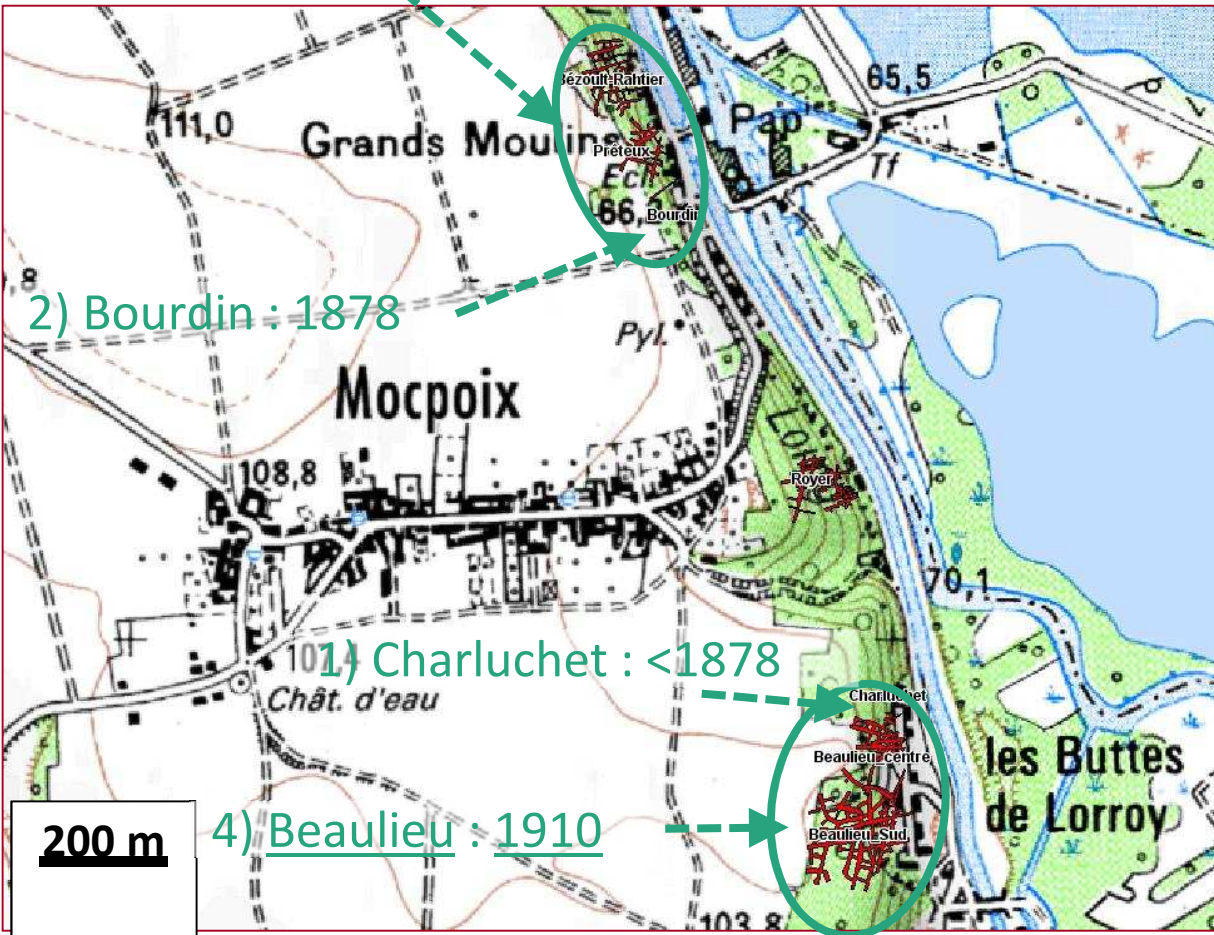
3) Rathier : 1897

2) Bourdin : 1878

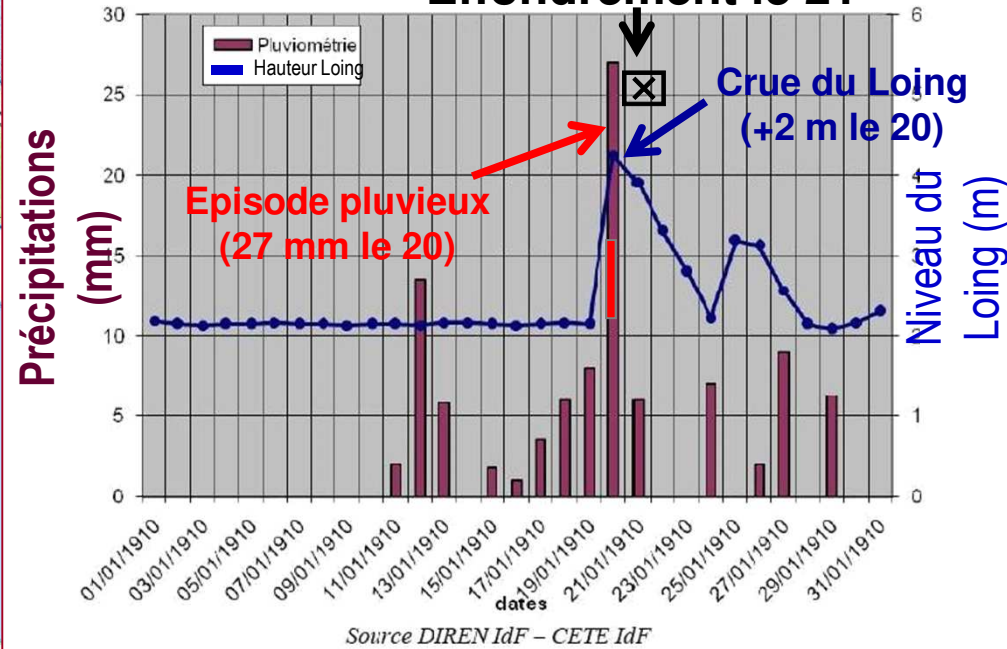
1) Charluchet : <1878

4) Beaulieu : 1910

200 m



Effondrement le 21



Présentation générale du site de Château-Landon



Présentation générale du site de Château-Landon



Présentation générale du site de Château-Landon

3) Rathier : 1897

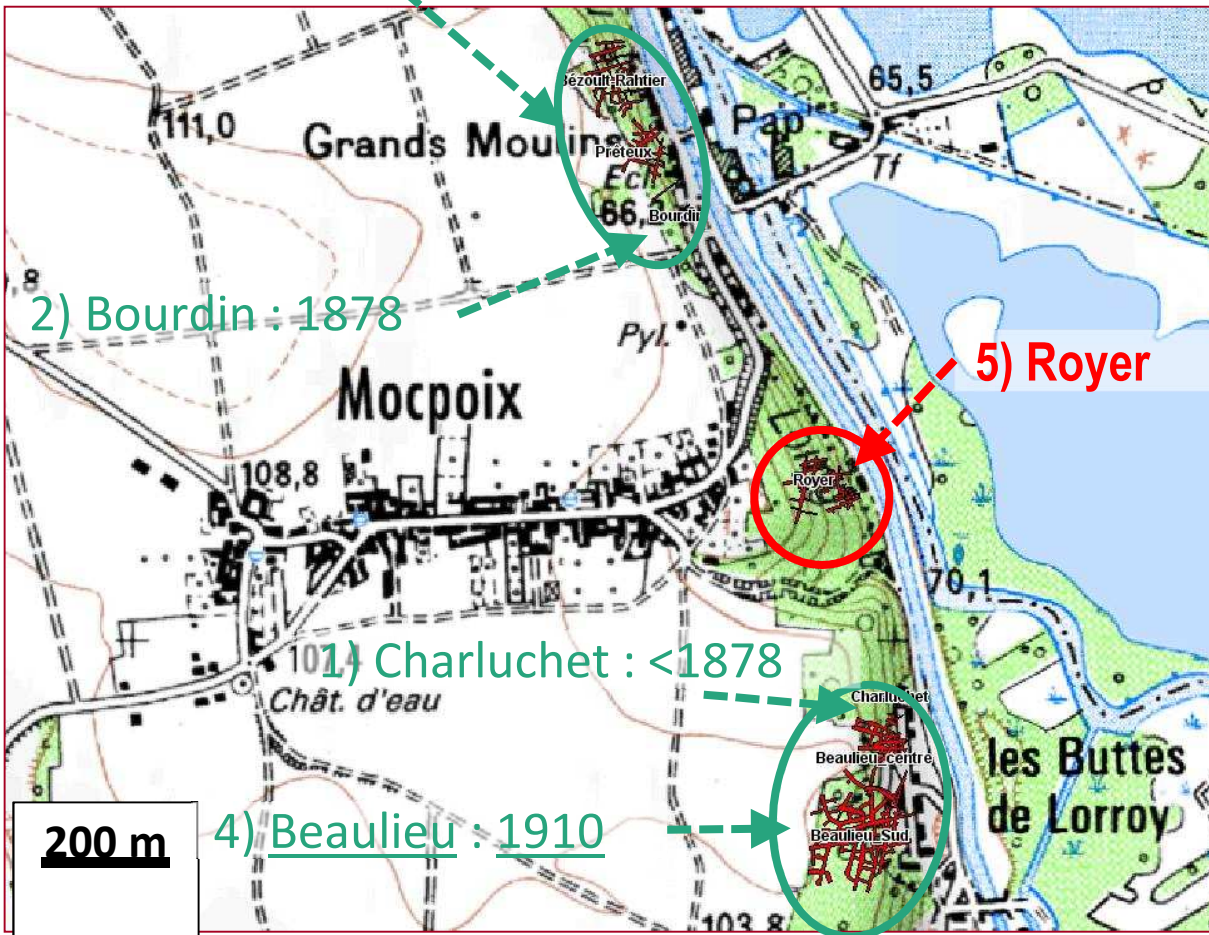
2) Bourdin : 1878

5) Royer

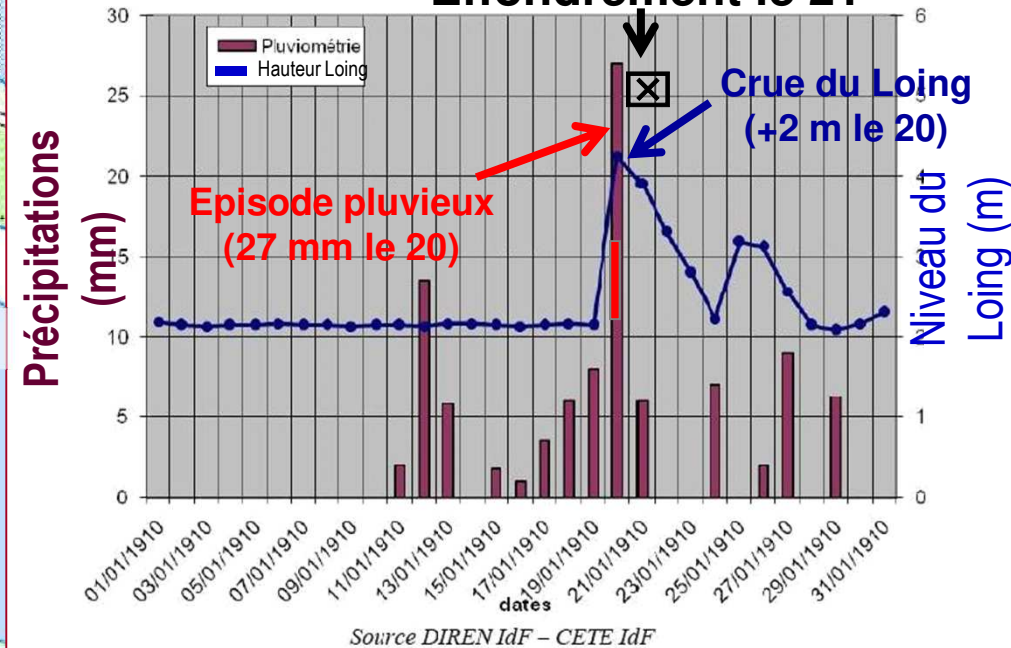
1) Charluchet : <1878

4) Beaulieu : 1910

200 m



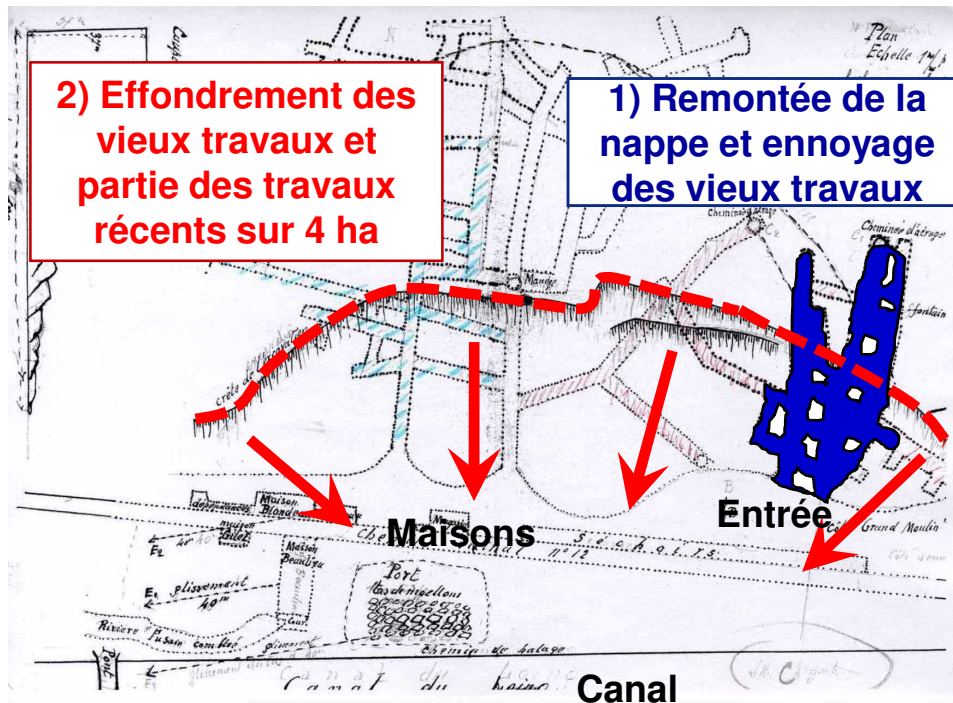
Effondrement le 21



- ✓ Analyser les résultats de plusieurs scénarios pour comprendre quelle est la prééminence des mécanismes qui ont participé à l'effondrement la carrière Beaulieu.
- ✓ Identifier les zones les plus instables pour bâtir le projet d'instrumentation

Démarche et scénarios de modélisation

Mécanismes



REX effondrement de 1910 → 2 facteurs = remontée de nappe + fracturation du massif en fond de carrière (faille parallèle au coteau).

Les carrières Beaulieu et Royer ont des points de similitudes

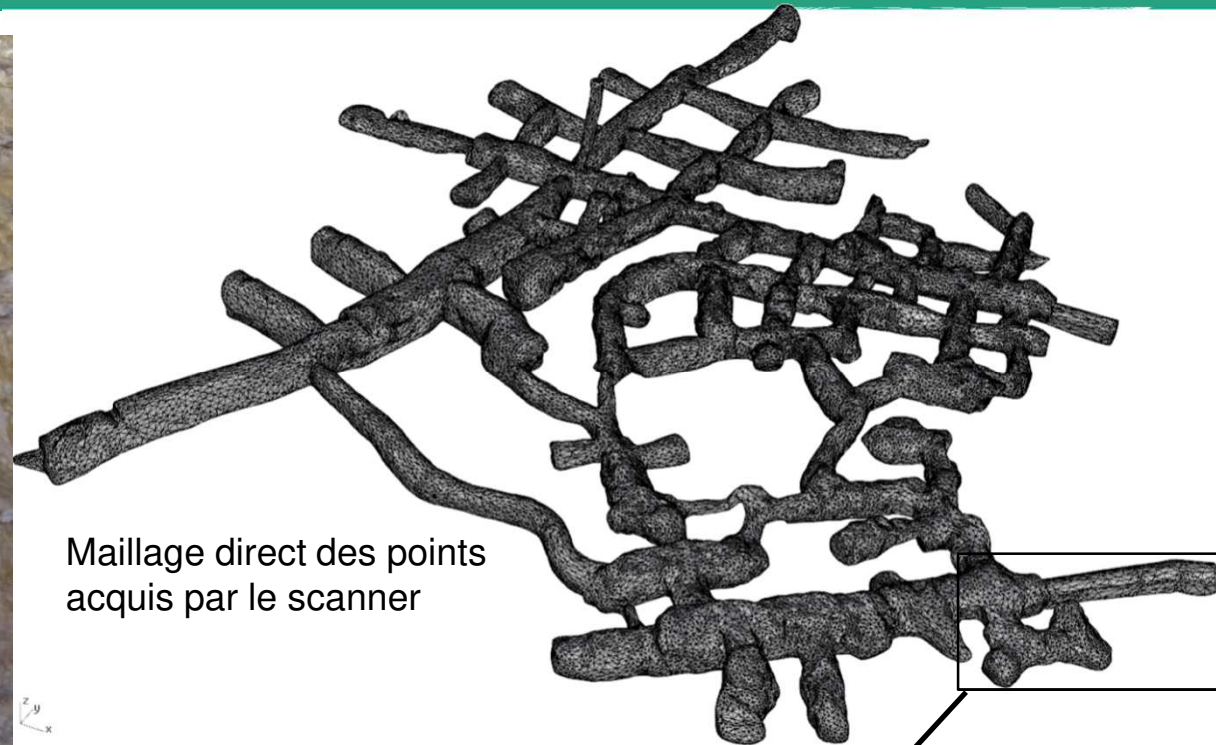
→ Pertinence de connaître les évolutions du massif et des battements de la nappe de la craie en relation avec les précipitations.

Mécanismes qui peuvent participer au développement de désordres après une période extrêmement pluvieuse :

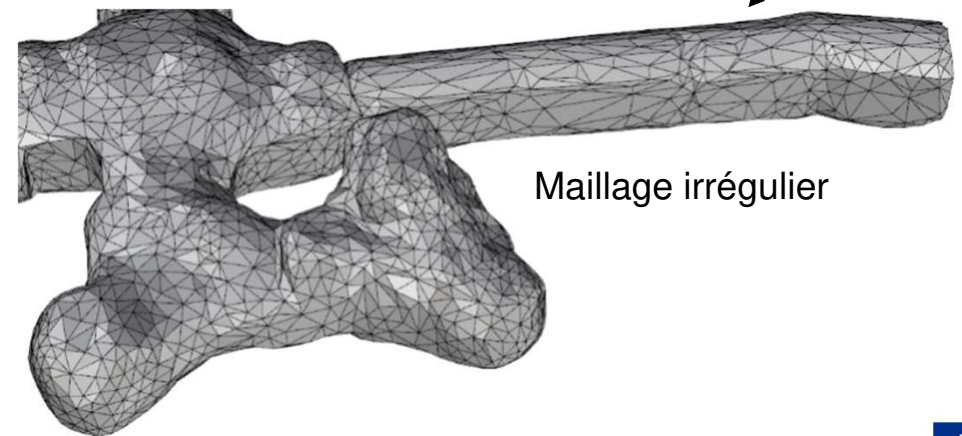
- / surcharge du recouvrement (la masse volumique des couches sus-jacentes augmente) ;
- / lubrification accrue de grande(s) faille(s) ayant une direction de pendage similaire au versant ;
- / la remontée de la nappe qui modifie les propriétés géomécaniques de la craie.

Numérisation de la carrière par scanner laser 3D

Acquisition de la géométrie des vides



Maillage direct des points acquis par le scanner



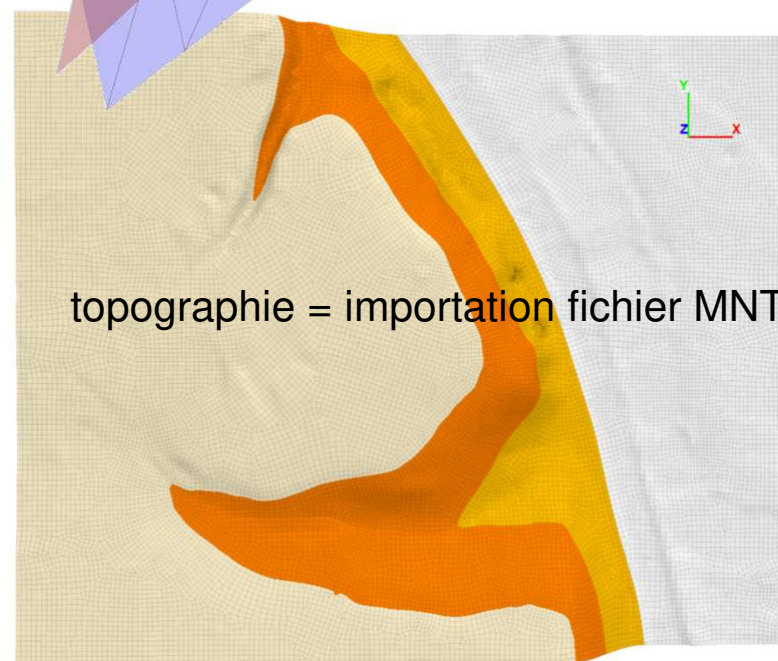
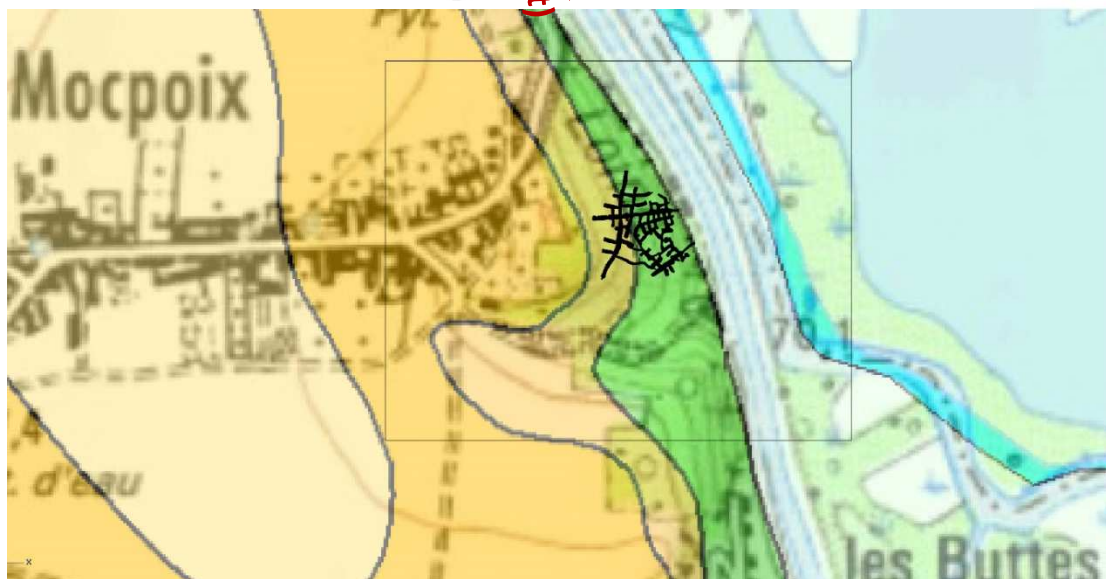
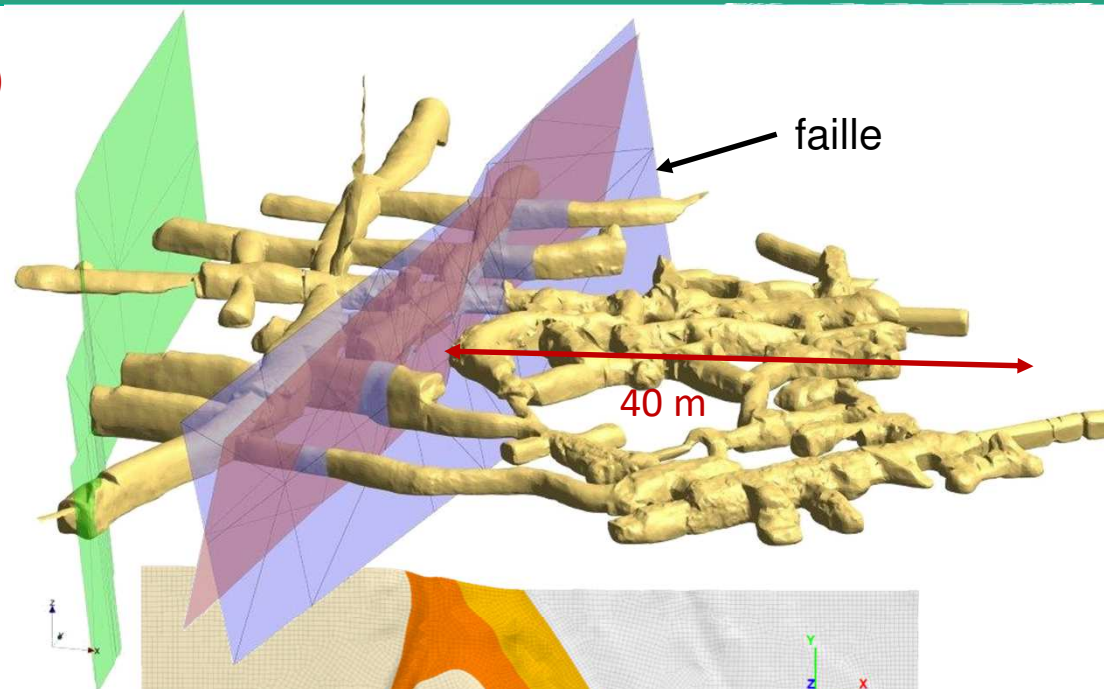
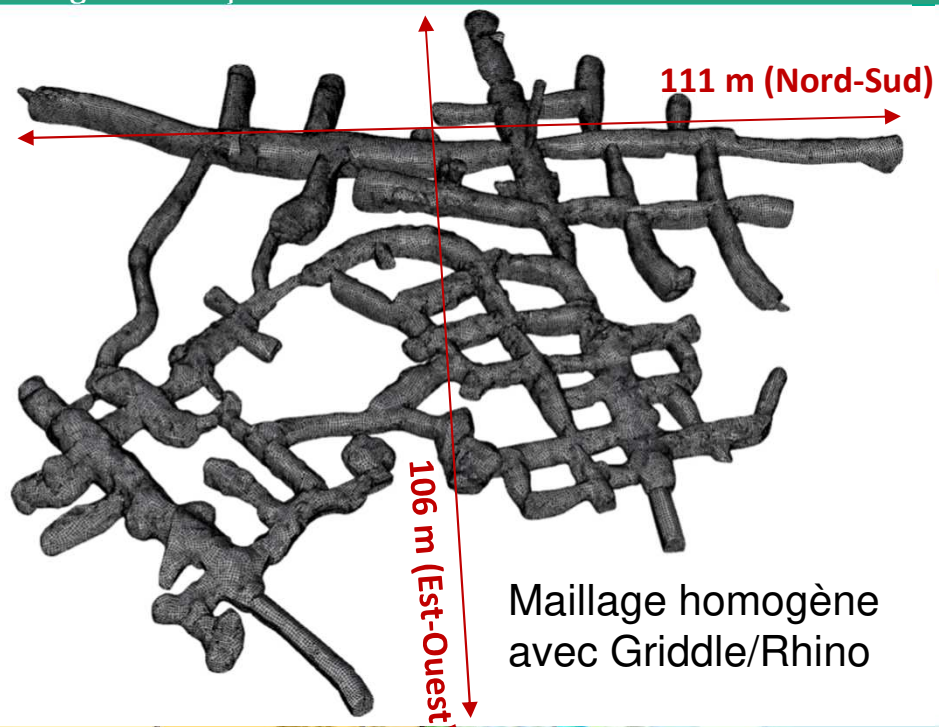
Maillage irrégulier

La géométrie de vides de la carrière Royer est trop complexe → scanner laser 3D.

Précision centimétrique → >10 000 000 points, il a donc été impératif de diminuer ce nombre de points (taille de mémoire raisonnable et lisser les parois des galeries

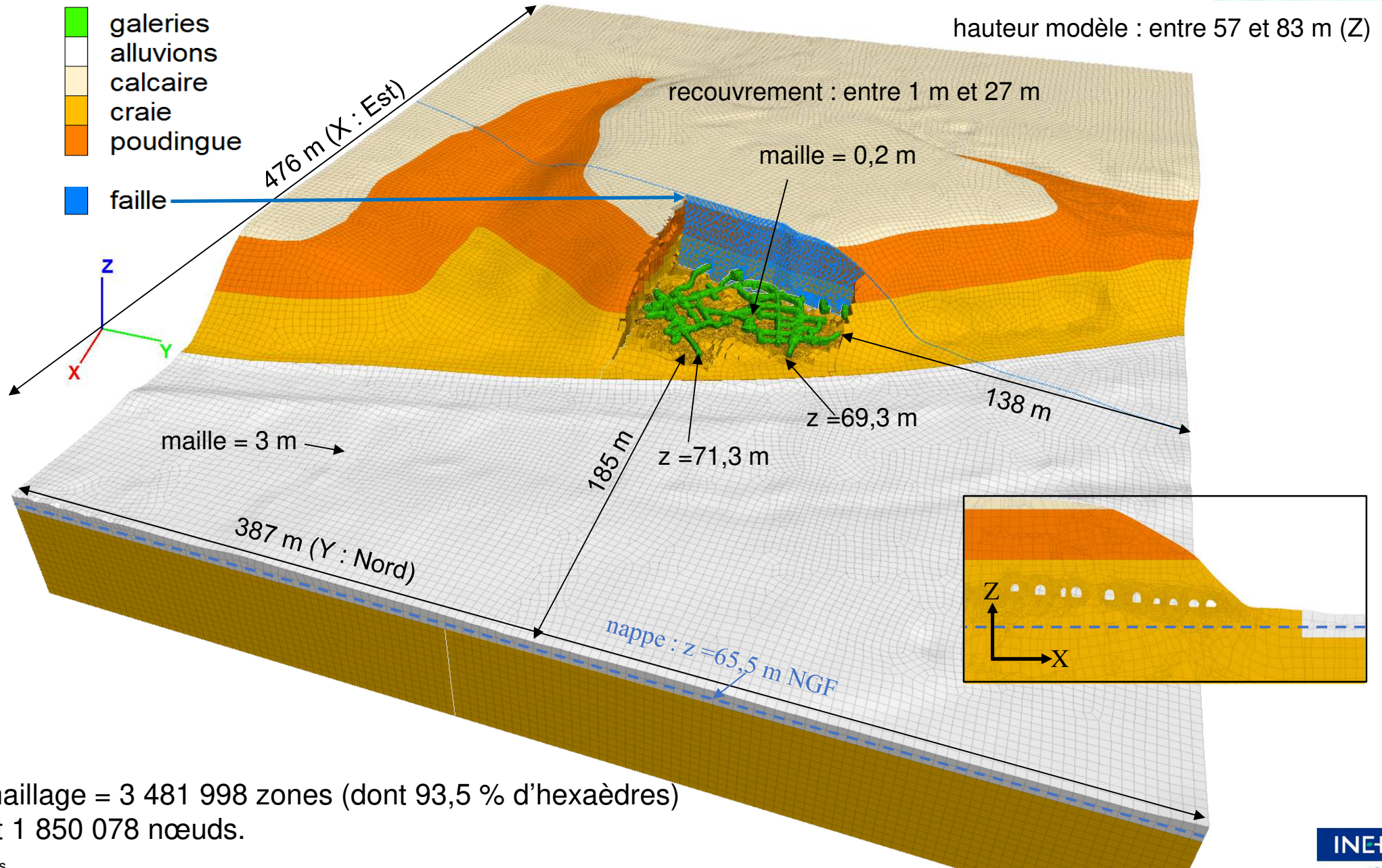
Intégration de la numérisation à FLAC 3D

Modèle géométrique



Intégration de la numérisation à FLAC 3D

Modèle numérique



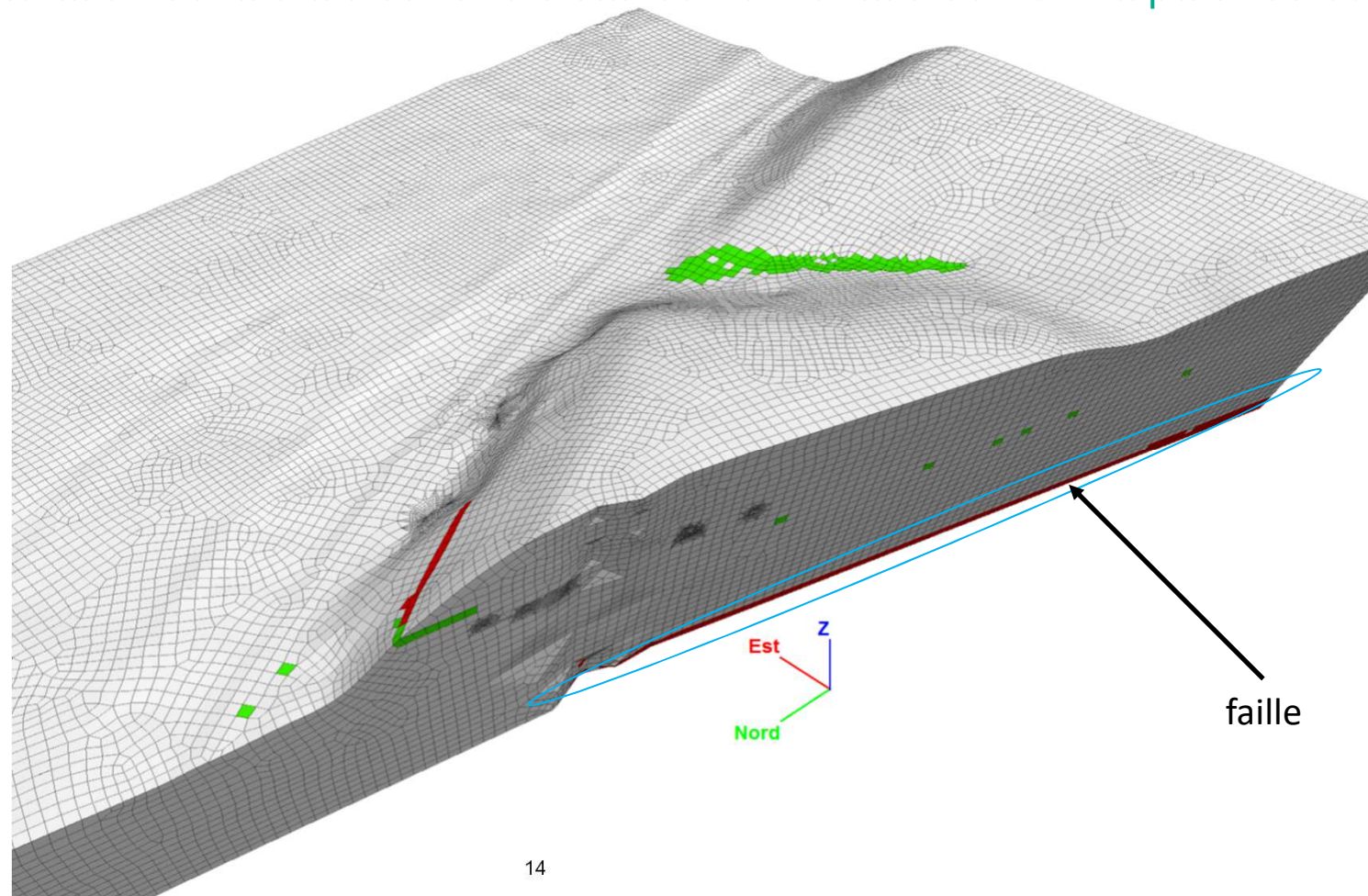
maillage = 3 481 998 zones (dont 93,5 % d'hexaèdres)
et 1 850 078 nœuds.

Démarche de modélisation

Cas de référence

Le cas de référence correspond à la situation actuelle de la carrière :

- / toutes les galeries sont excavées
- / la nappe aquifère est située à $z = 65,5$ m → régime hydrogéologique « normal »
- / chaque strate a un jeu unique de propriétés, sauf la craie (propriétés + faibles en-dessous de la nappe) + altération de la craie sur une distance horizontale de 20 m à partir du coteau.



3 scénarios vont être étudiés (basés sur une réflexion d'experts) :

- scénario 1 : la faille est lubrifiée sur toute sa surface → qualification de l'influence de la faille
- scénario 1 bis : = scénario 1 + simulation de la remontée de la nappe (à partir du point le + bas de la carrière) en 11 étapes par pas vertical de 0,5 m en affectant à la craie les propriétés saturées.
- scénario 2 (« petite » crise intermédiaire) : la faille est lubrifiée sur 12 m de profondeur (à partir de la surface = infiltrations) et la nappe remonte de 2,5 m (cote piézométrique : $z = 68$ m) → situer un cas de crue probable par rapport à une crue centennale

Le diagnostic de stabilité sera fondé sur l'analyse des extensions plastiques et du facteur de sécurité (F)

Données d'entrée

Paramètres mécaniques

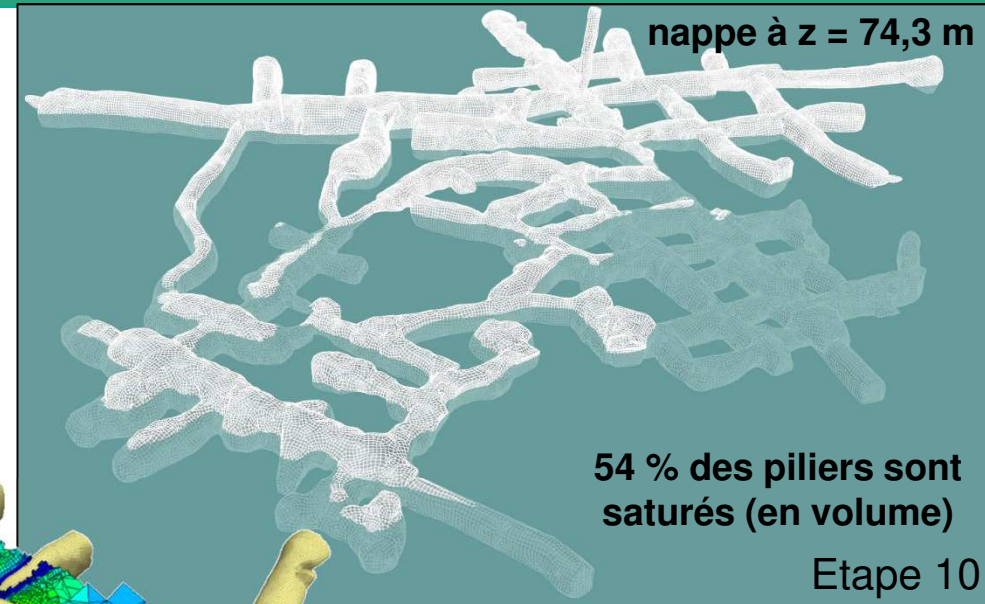
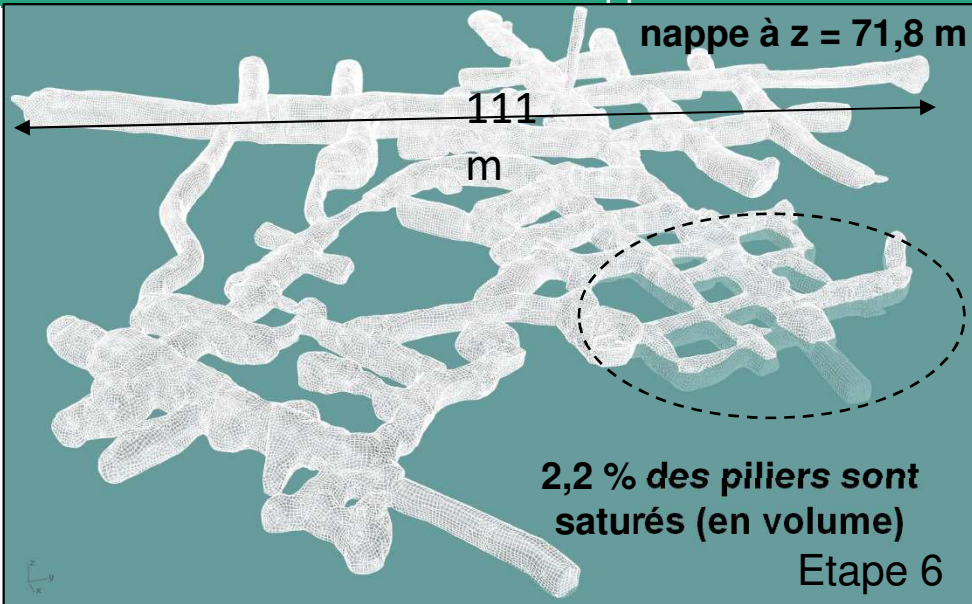
Désignation	Symbole	Unité	calcaire de Château-Landon	poudingue	alluvions récentes	craie	Désignation	Symbole	Unité	craie saturée
Masse volumique	ρ	[kg.m ⁻³]	2580	2000	1800	2000	Masse volumique	ρ	[kg.m ⁻³]	2000
Module de Young	E	[MPa]	4000	3000	200	500	Module de Young	E	[MPa]	100
Coefficient de Poisson	ν	[-]	0,3	0,3	0,3	0,22	Coefficient de Poisson	ν	[-]	0,23
Cohésion	C	[MPa]	élastique			0,38 à 0,75	Cohésion	C	[MPa]	0,16 à 0,32 0,6 (z=20 m) à 0,32 (z=65,5 m)
Angle de frottement interne	ϕ	[°]				16	Angle de frottement interne	ϕ	[°]	12,6
Résistance à la traction	R_t	[MPa]				0,1 à 0,2	Résistance à la traction	R_t	[MPa]	0,04 à 0,08
Résistance à la compression uniaxiale	R_c	[MPa]				1,0 à 2,0	Résistance à la compression uniaxiale du massif	R_c	[MPa]	0,4 à 0,8

altération des propriétés de la craie
(propriétés divisées par 2) sur une distance
horizontale de 20 m à partir du coteau

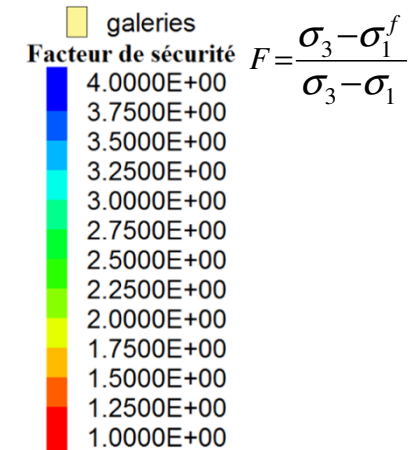
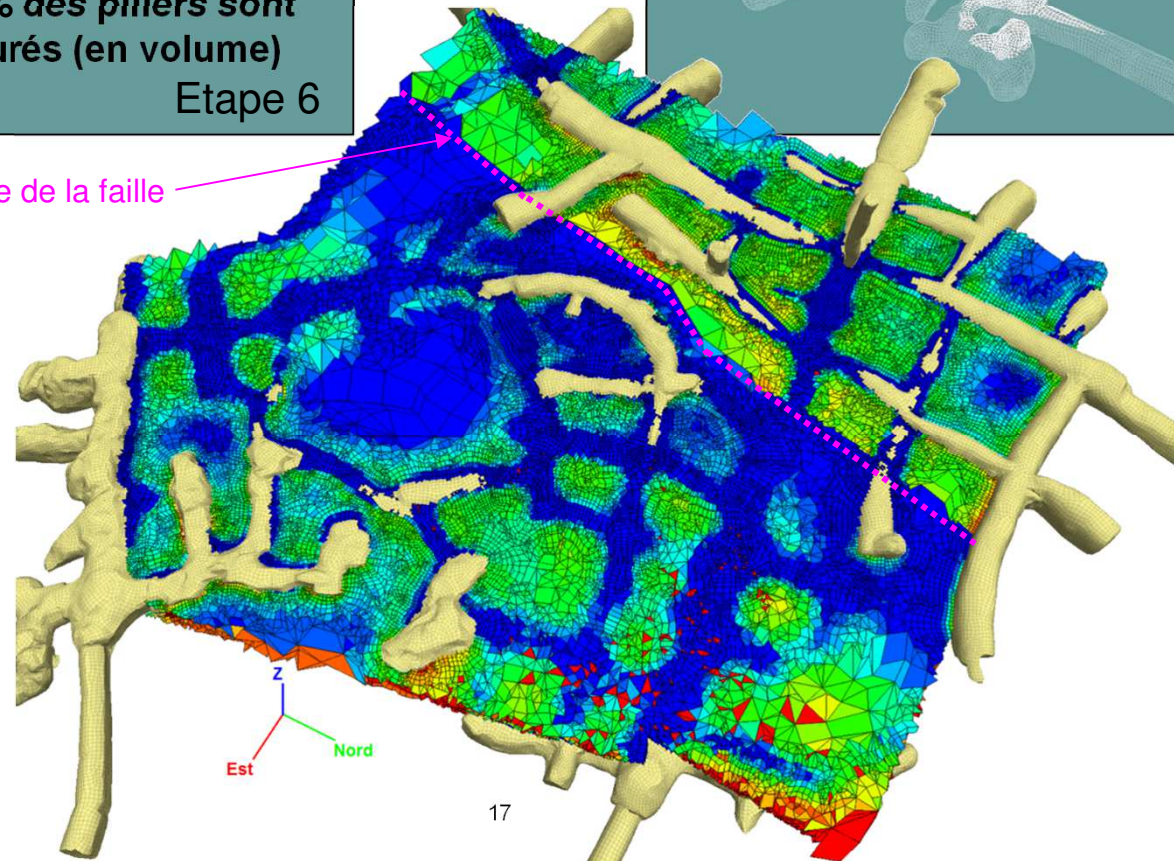
Pour éviter une plasticité initiale exagérée →, la cohésion de la craie saturée augmente avec un gradient vertical (négatif) jusqu'à 0,6 MPa à la base du modèle

Résultats du modèle numérique

Scénario 1 bis : remontée de nappe



trace de la faille



scenario 1 bis Etape 10
→ nappe à z = 74,3 m

Scénario 1 = affaiblissement des propriétés de la faille sans remontée de nappe

Scénario 1bis = scénario 1 + remontée de nappe (jusqu'à 74,3 m)

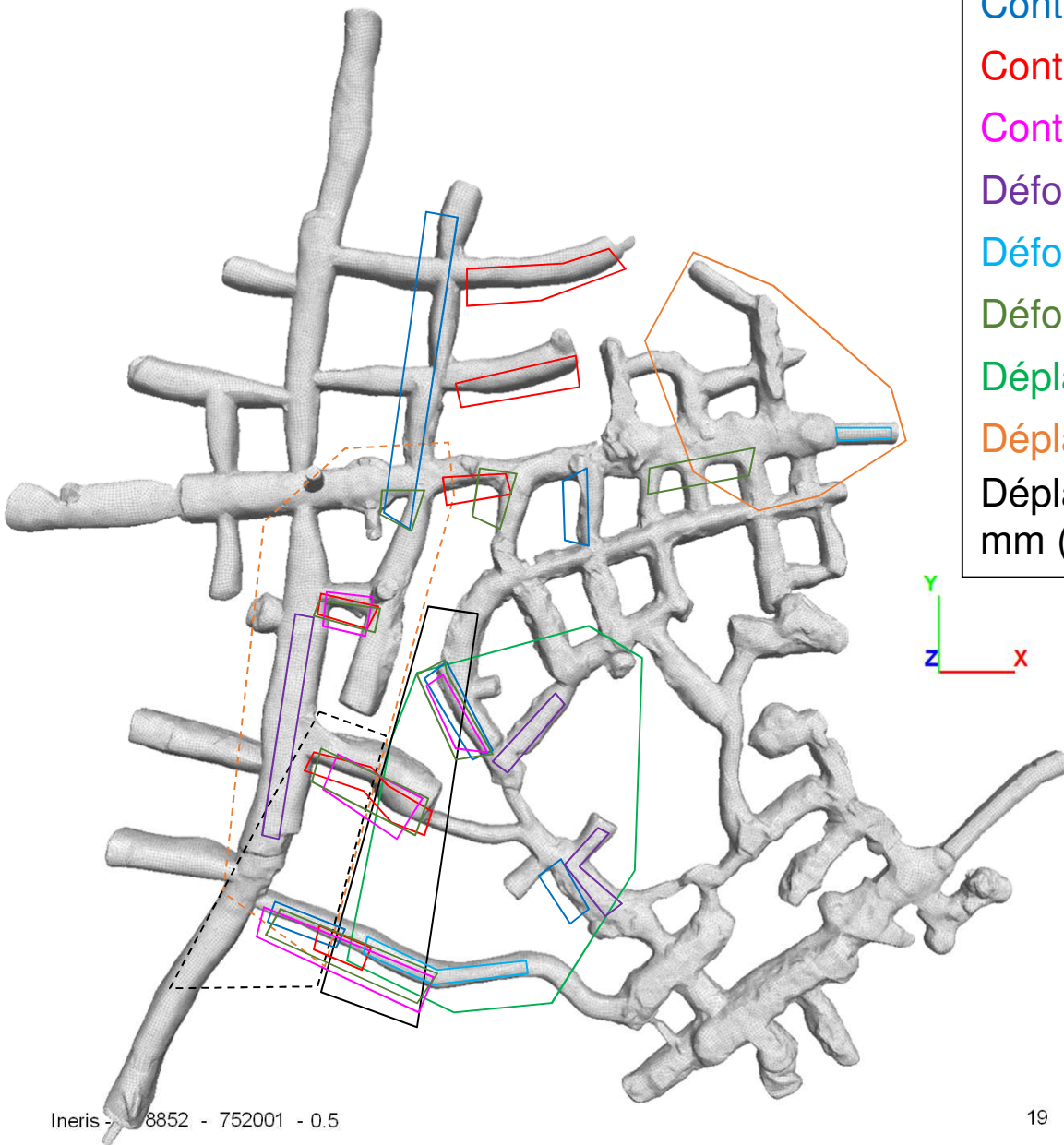
Scénario 2 = lubrification de la partie > de la nappe + remontée à $z = 68$ m

Comparaison des facteurs de sécurité

- / $F_{\text{scénario 1}} - F_{\text{référence}} = -1.2\%$ → diminution des propriétés de la faille au-dessus de la nappe
- / $F_{\text{scénario 2}} - F_{\text{scénario 1}} = -1.9\%$ → dû à la baisse des propriétés de la faille → influence de la faille est faible sauf localement
- / $F_{\text{scénario 1 bis}} - F_{\text{scénario 1}} = -28\%$ (à $z = 74,3$ m) → remontée de nappe : influence de la nappe est + importante que celle de la faille

Identification des zones soumises à une déformation

Création d'un « état » différentiel



Contrainte s_{xx} (à la base des piliers : $\pm 0,06$ MPa)

Contrainte s_{yy} (à la base des piliers : $\pm 0,1$ MPa)

Contrainte s_{zz} (à la base des piliers : $\pm 0,25$ MPa)

Déformation e_{xx} (à la base des piliers : jusqu'à $-0,25$ mm/m)

Déformation e_{yy} (à la base des piliers : jusqu'à $-0,5$ mm/m)

Déformation e_{zz} (à la base des piliers : jusqu'à $-0,4$ mm/m)

Déplacement u_x (jusqu'à 6 mm)

Déplacement u_y (jusqu'à -3 mm, jusqu'à $+2$ mm (pointillés))

Déplacement u_z (plutôt au toit : jusqu'à $+10$ mm, jusqu'à -7 mm (pointillés))

Identification des zones à instrumenter =
comparaison du scénario 2 (état
intermédiaire entre l'état « normal » et
une situation de crue sévère : scénario 1
bis) avec le cas de référence.

Identification des zones à instrumenter

Pz2

Zone du Plan de Faille

Zone des petits piliers

Pz1

Entrée 2

Entrée 1

Instrumentation : combinaison de mesures de déplacement et de mesures en grand ou à distance

Zone témoin

Instrumentation


Capteurs hydrogéologiques et géotechniques



Entrée 2

Entrée 1

 Capteurs Humidité et Température

 Sondes TETRA



Instrumentation

Capteurs hydrogéologiques et géotechniques

Pz2

Radars

Fissuromètre

Microphones

Sondes piézo

Pz1

Entrée 2

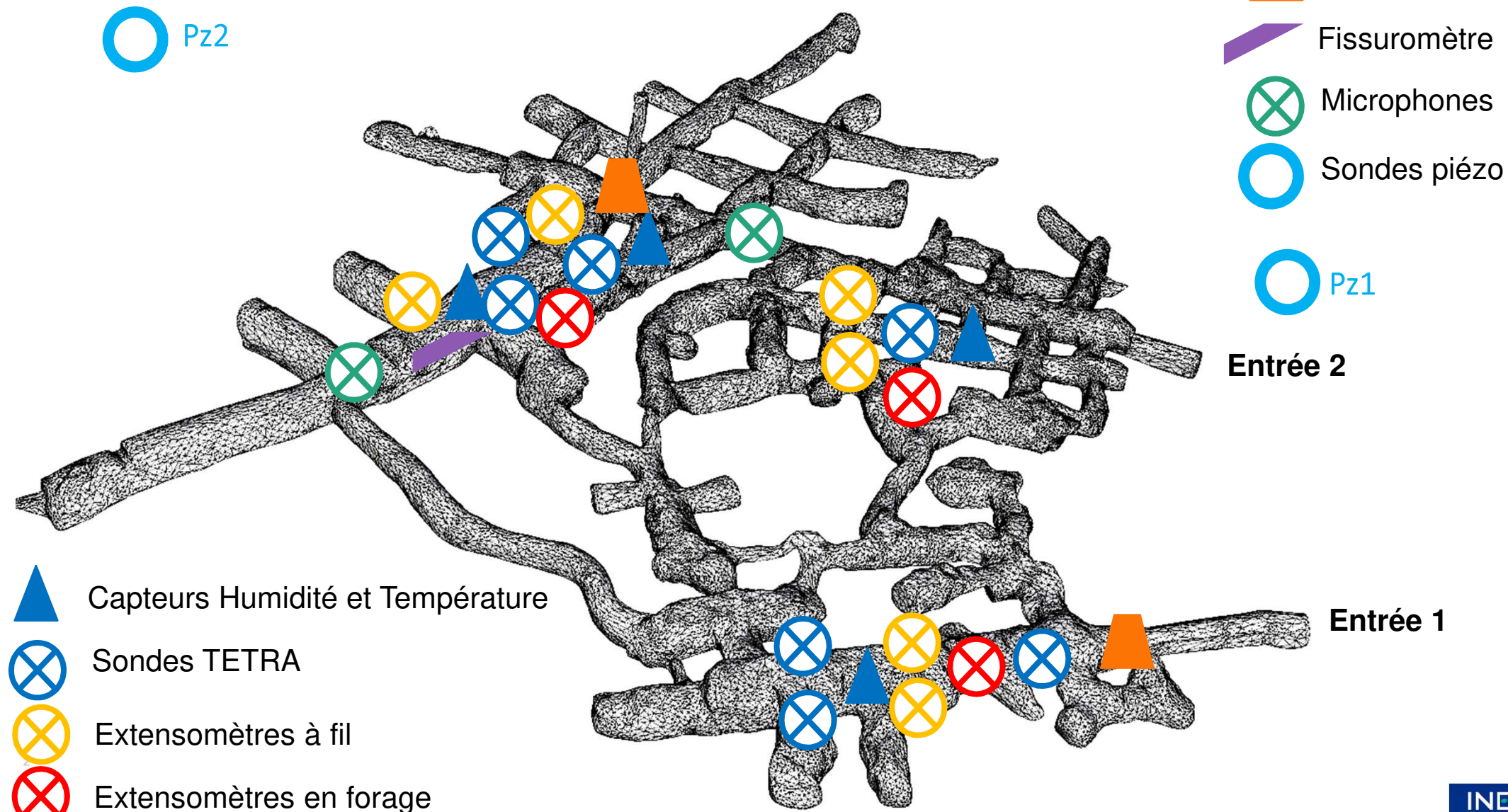
Entrée 1

Capteurs Humidité et Température

Sondes TETRA

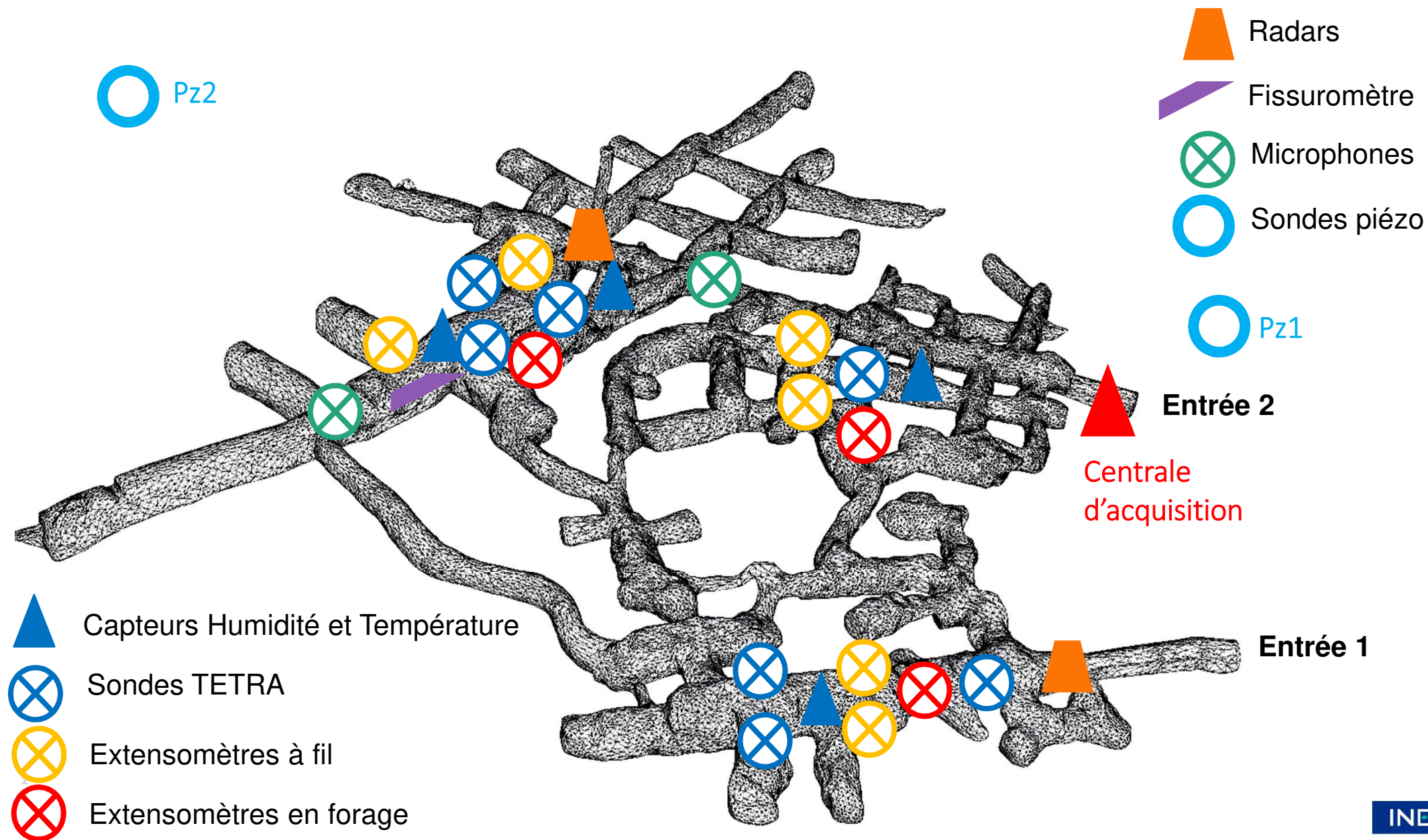
Extensomètres à fil

Extensomètres en forage



Instrumentation

Capteurs hydrogéologiques et géotechniques



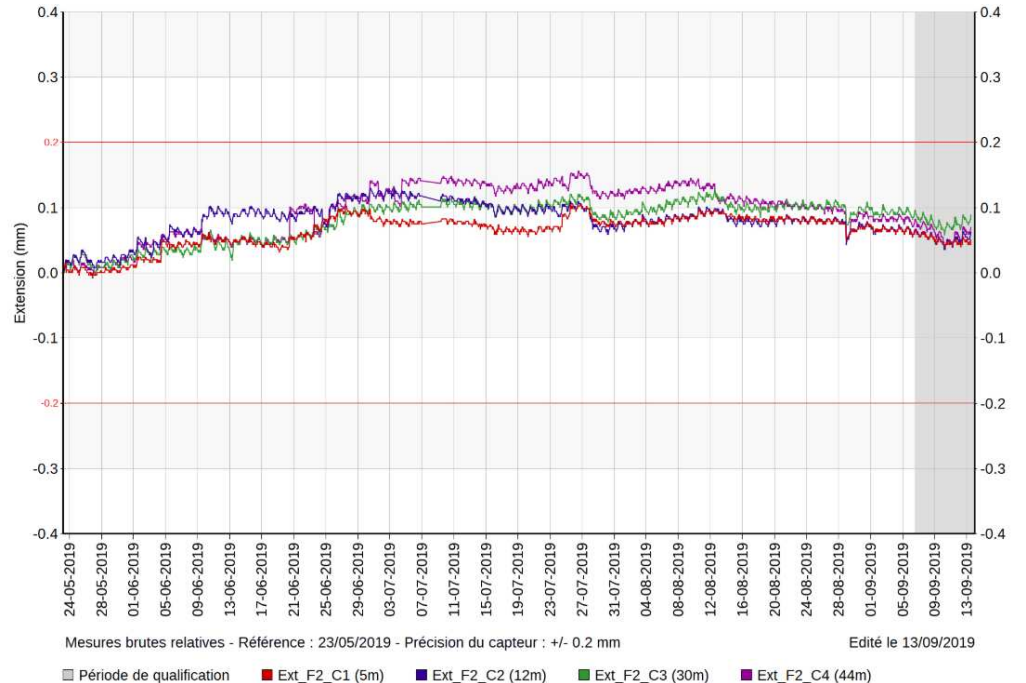
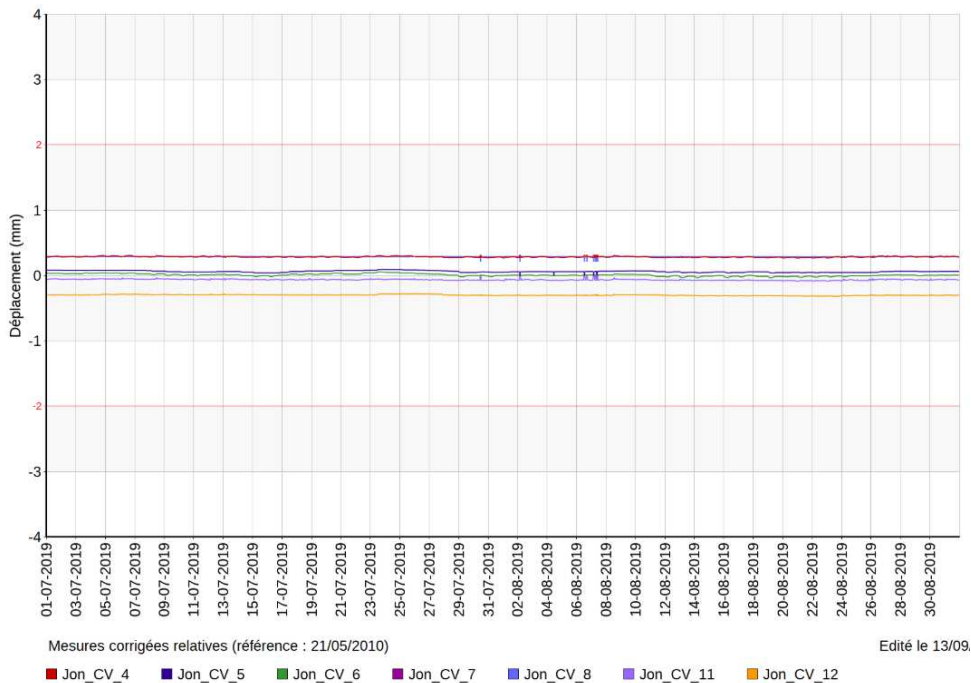
Acquisition et suivi des données

INERIS.FR TOUS NOS SITES ▼ PRESSE RESSOURCES HUMAINES 

INERIS maîtriser le risque pour un développement durable

 PRÉSENTATION TÉLÉSURVEILLANCE CONTACTS



Acquisition et visualisation en temps réel des données du site

Merci de votre attention !

