

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol

## Le jumeau numérique géotechnique

### Un vieux rêve, accessible mais peu réalisé

#### Sommaire de l'intervention

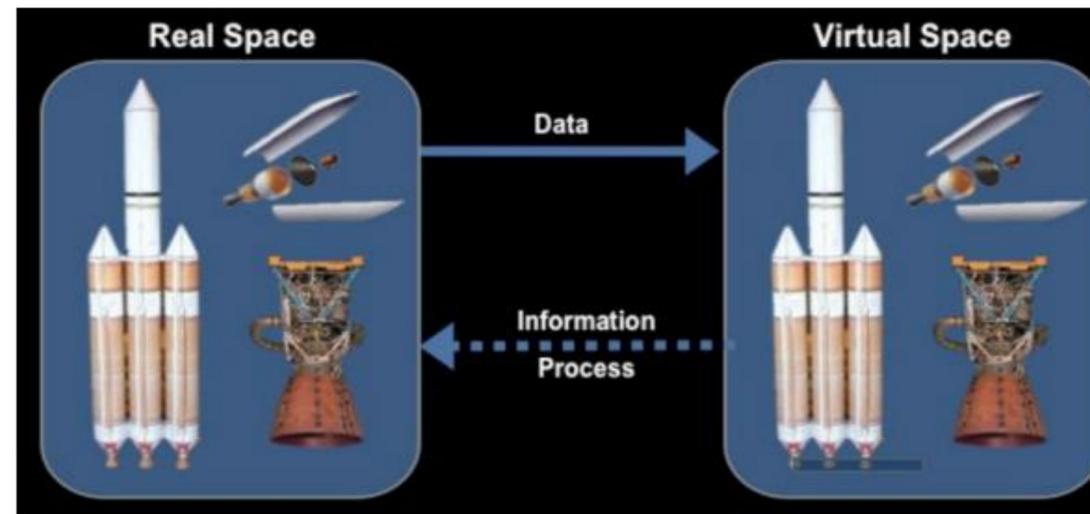
- **A - Jumeau numérique et jumeau numérique géotechnique**
- **B - La technique, les outils existent**
- **C - Une innovation utile en géotechnique ?**
- **D - Les freins**

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## A – JUMEAU NUMERIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

### Histoire :

- Années 60 : NASA
- En géotechnique, le concept du Modèle Accompagnateur.
- Mot « digital twin » apparu en 2000



[Source  
NASA]

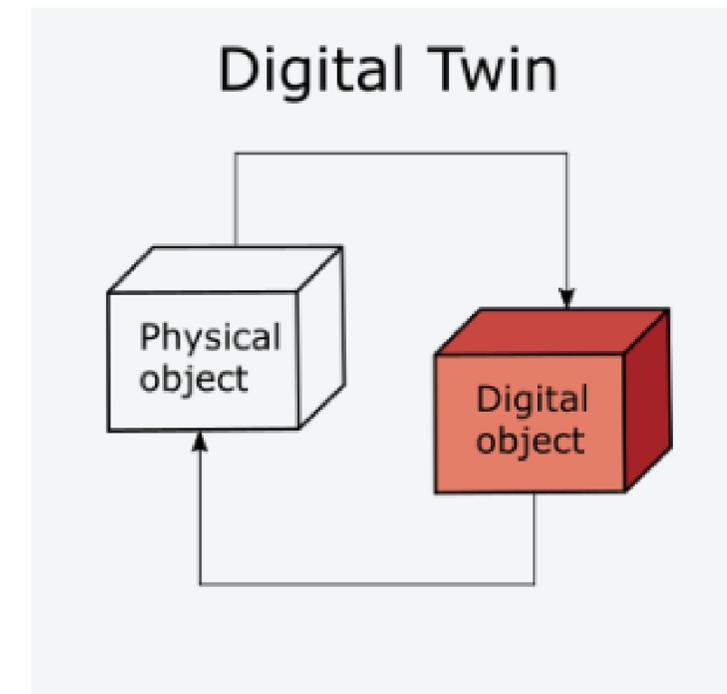
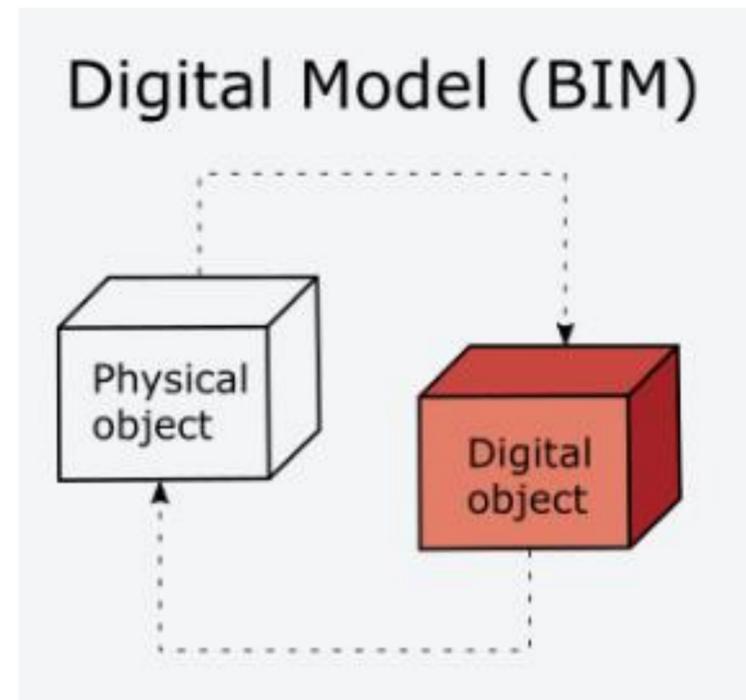


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## A – JUMEAU NUMERIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

### DEFINITION DANS LE CADRE DE CETTE PRESENTATION :

- Réplique virtuelle d'un système
- Prévoit le fonctionnement du système en fonction de données d'entrée
- Mise à jour à partir de données réelles (temps réel possible)
- Différent d'un BIM



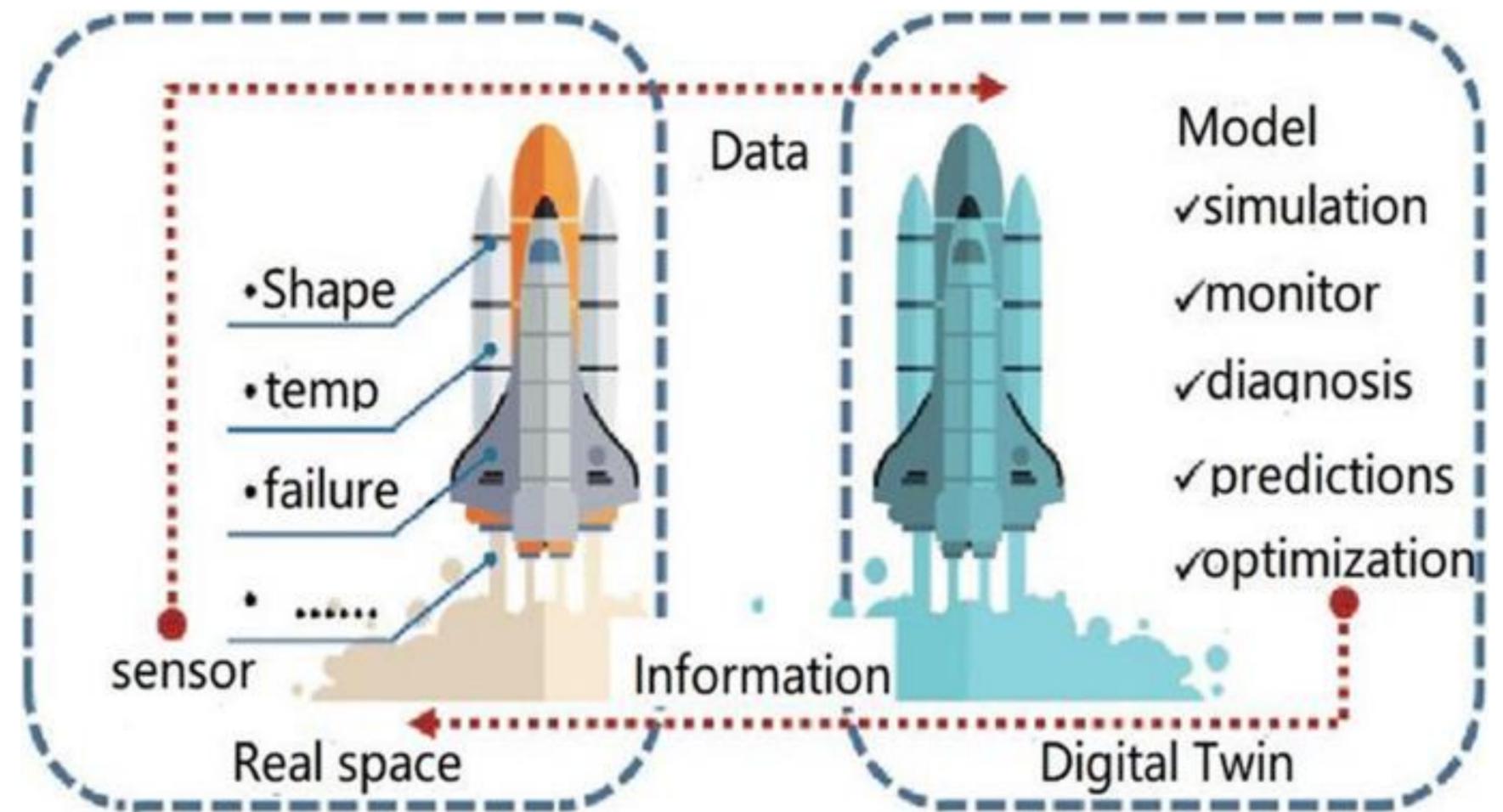
[Source International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering – TC222]

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## A – JUMEAU NUMERIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

### FONCTIONNEMENT D'UN JUMEAU NUMERIQUE :

- **Modèle utilisé pour anticiper la situation réelle future**
- **Capteurs réels utilisés pour améliorer le modèle**



[Source Jinkang  
Guo & Zhihan Lv]

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## A – JUMEAU NUMERIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

### UTILISATION DANS L'INDUSTRIE

- BV, optimise tournées d'inspection
- Nucléaire, objectif réduire les heures d'arrêt pour réparation et réduire la durée des révisions



[Source Bureau Veritas]



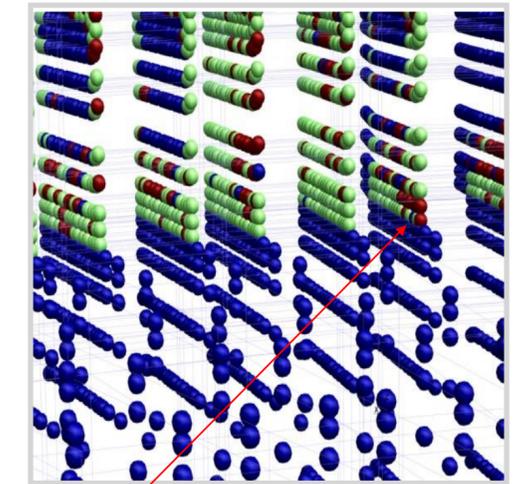
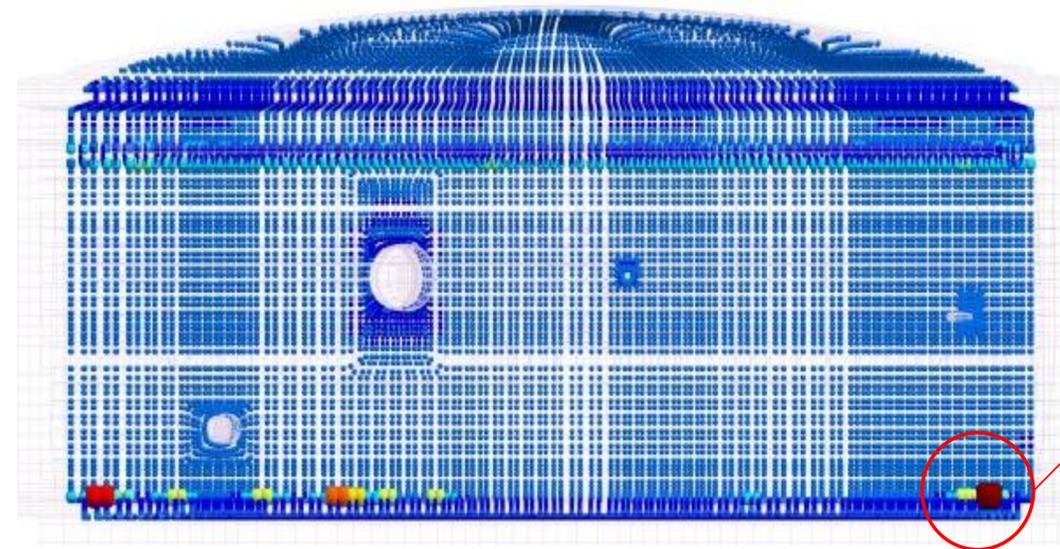
[Source Wikipedia]

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## A – JUMEAU NUMERIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

### UTILISATION DANS L'INDUSTRIE

➤ Programme Vercors EDF : Etude étanchéité d'enceinte



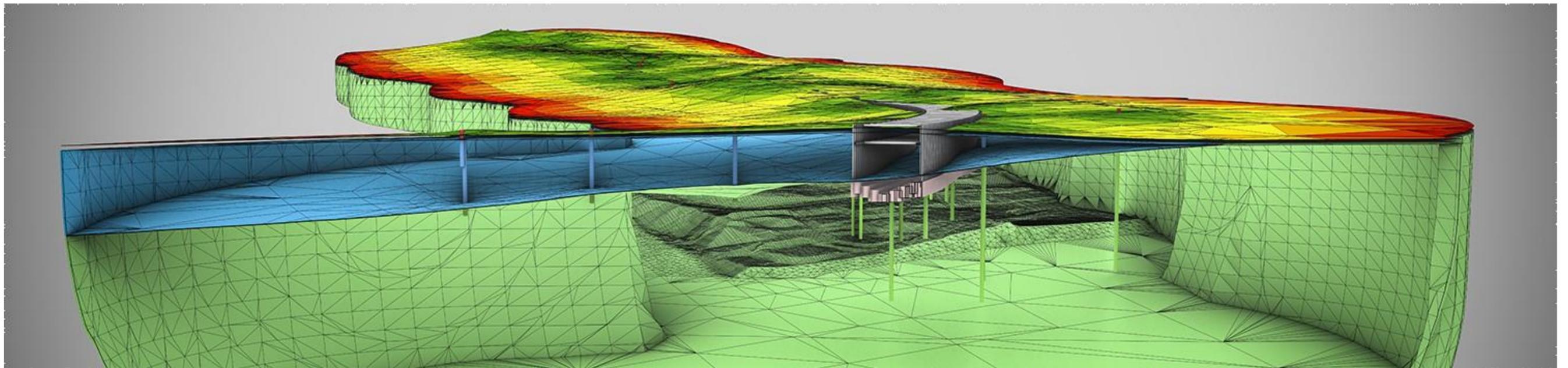
[Source Sixense Engineering NECS]

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## A – JUMEAU NUMERIQUE ET JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

### ET LE JUMEAU NUMERIQUE GEOTECHNIQUE

- Modélisation du sol, des charges, des conditions environnementales, prise en compte des évolutions du modèle (travaux)
- Capteurs déformations et contraintes structures, mouvements du sol, variations des niveaux de nappes, conditions météorologiques,  
...

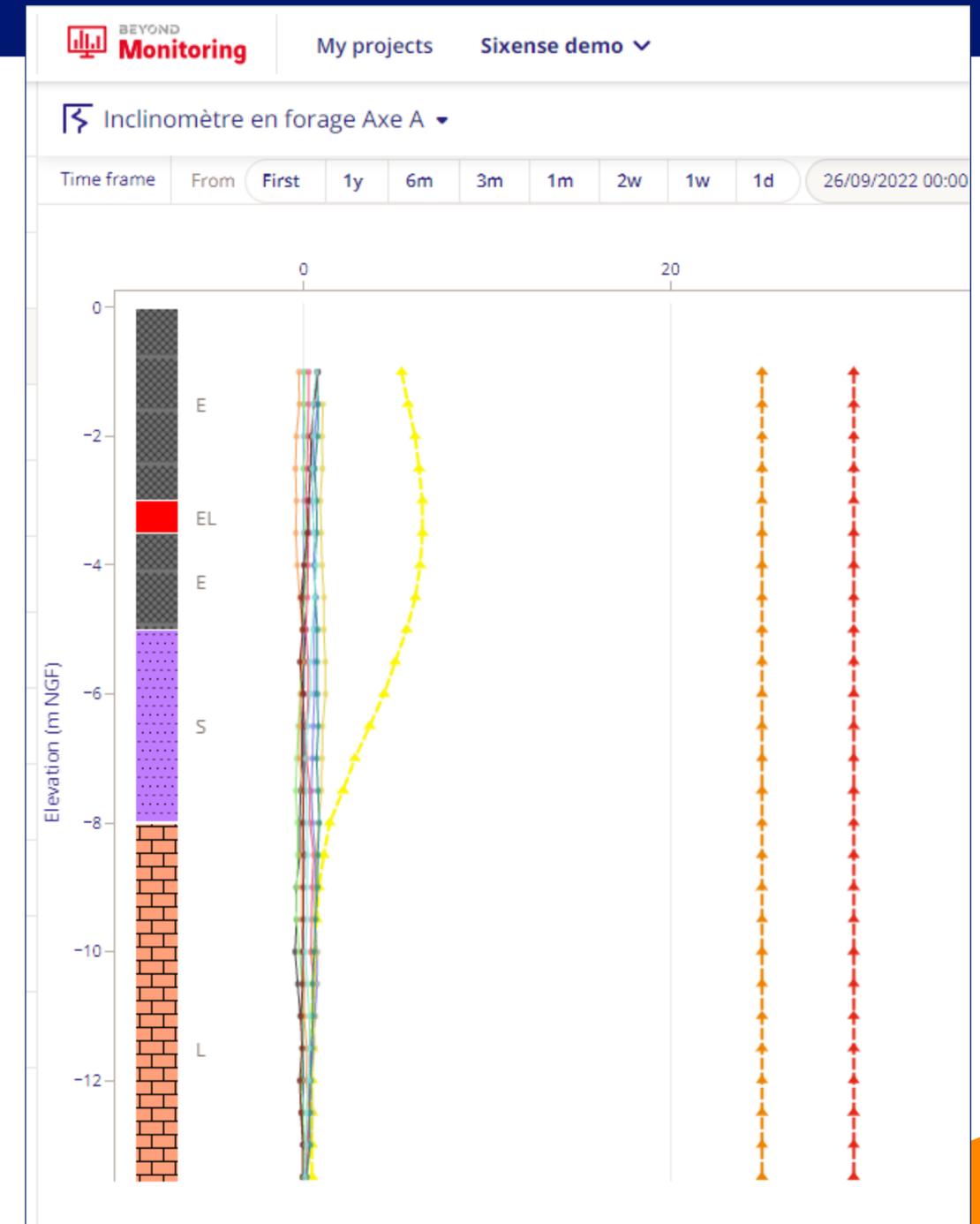


[Source International Society for Soil Mechanics and  
Geotechnical Engineering – TC222]

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## B – LA TECHNIQUE ET LES OUTILS EXISTENT

- ➔ Données prévues versus données réelles versus données futures
- ➔ Import-export avec des logiciels de calcul géotechnique



# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Geotechniques

## B – LA TECHNIQUE ET LES OUTILS EXISTENT

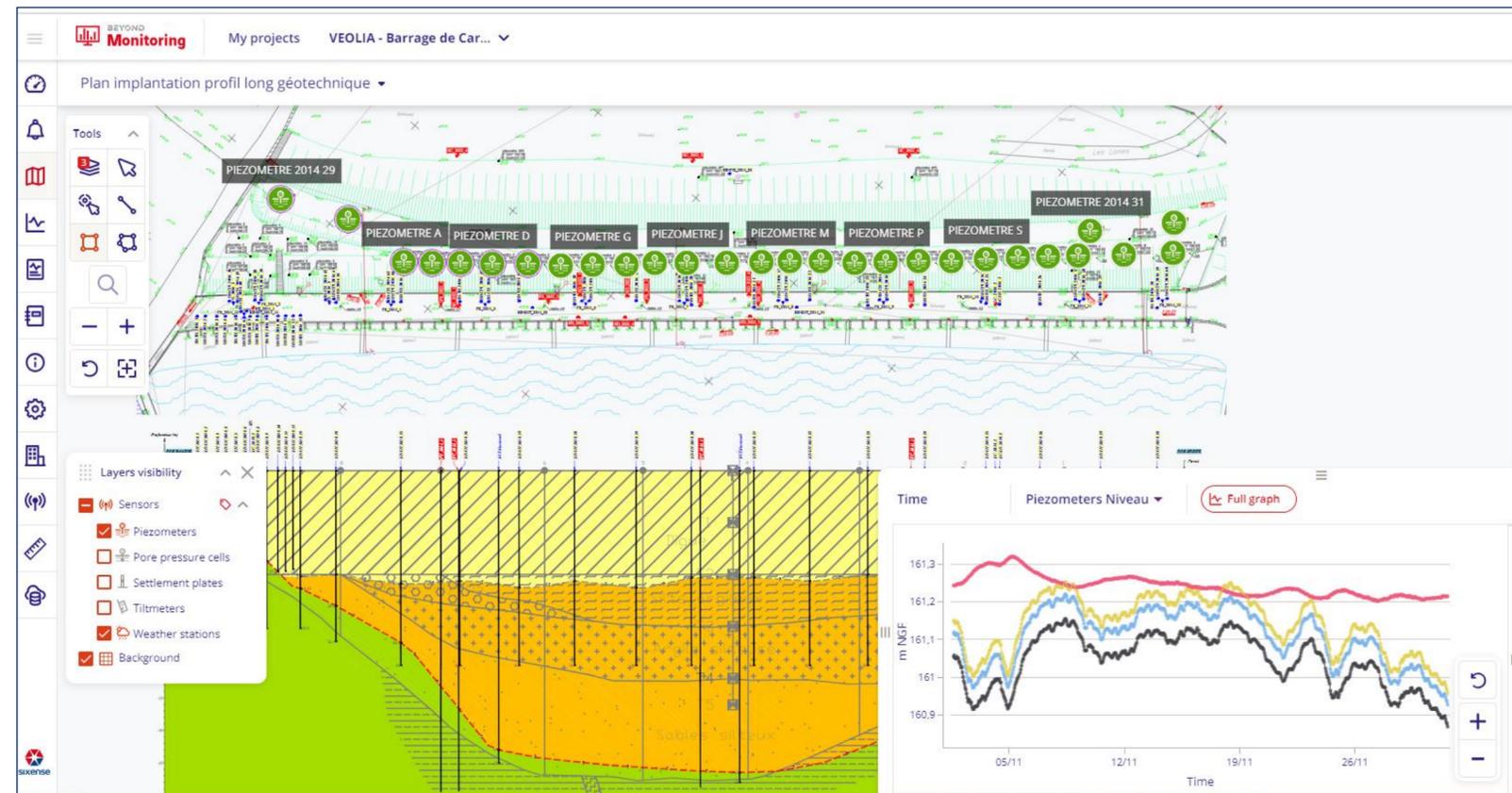


BEYOND  
Monitoring

- ➔ Exemple : Possibilité de lien entre Flac3D (Itasca) et Beyond Monitoring (Sixense)
- ➔ Scriptes Python intégrés à Flac3D interrogent l'API de Beyond Monitoring pour récupérer les données temps réel, et inversement Beyond obtient de Flac les valeurs objectifs calculées qui sont utilisées comme seuil d'alarme.

```
Plot Plot01
FLAC3D 7.00
©2022 Itasca Consulting Group, Inc.

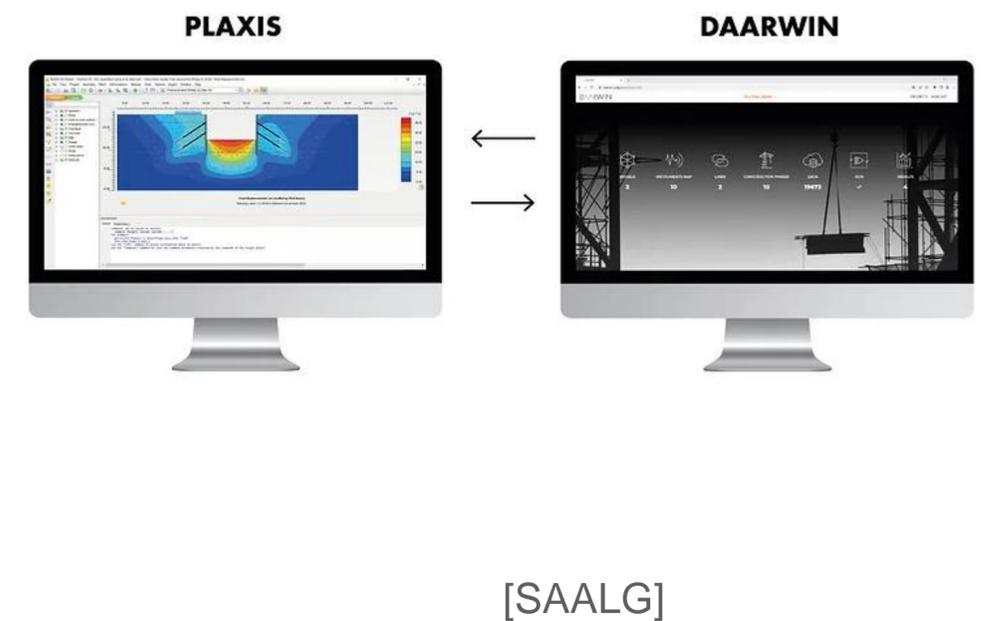
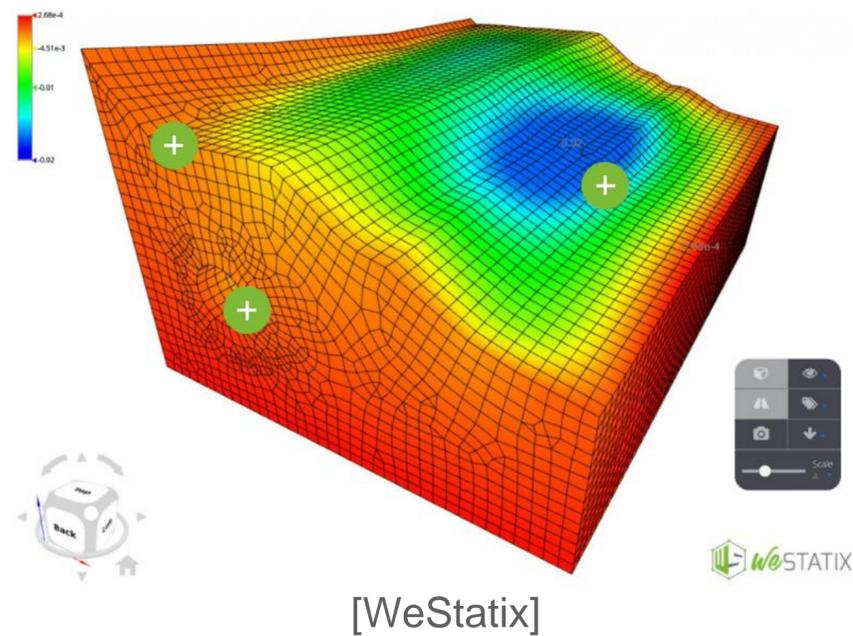
Edit ..\..\..\OneDrive\Work\Coding\Sixense\Beyond_API\BM_API_Flac.py
10 from datetime import datetime
11 import matplotlib.pyplot as plt
12 import getpass
13 import time
14
15 # == Helper function to easily switch environment ==
16 def api_url(env):
17     switch = {
18         'local': 'http://localhost:3000/api',
19         'staging': 'https://staging-api.beyond-monitoring.com/api',
20         'qa': 'https://qa-api.beyond-monitoring.com/api',
21         'rc': 'https://rc-api.beyond-monitoring.com/api',
22         'pp': 'https://pp2-api.beyond-monitoring.com/api',
23         'prod': 'https://v2-api.beyond-monitoring.com/api',
24     }
25     return switch.get(env, "Invalid env")
26
27 # == Get bearer token to be used for protected api calls ==
28 def get_token(base_url, user, pwd):
29     token = ''
30     headers = {'accept': 'application/json', 'Content-Type': 'application/json'}
31
32 console
33 BM_API_Flac
34
35 Python Console
36 ...: data['SensorName'][:5]
37 ...:
38 Out[72]: ['AFT_Datalogger', 'AFT_Datalogger', 'AFT_Sonde', 'AFT_Sonde', 'AFT_Sonde']
39 In [73]: VWP = get_timeseries('VWP_2016A_1', 'derived', 'Pressure_Head')
40 ...: VWP['ts'][:10]
41 ...: VWP['values'][:10]
42 ...:
43 sensor VWP_2016A_1 is found. Its id is: 626c4bac92f279f74ad491e
44 Out[73]:
45 [6.192567589000000,
46 6.193574879000047,
47 6.196502058199977,
48 6.192042086199896,
49 6.192567589000000,
50 6.197325542099978,
51 6.1932080825999725,
52 6.189355128400022,
53 6.184881664499994,
54 6.179483217600085]
55 In [74]: user = 'zhangwei.ning@vinci-construction.com'
```



# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## B – LA TECHNIQUE ET LES OUTILS EXISTENT

➔ Exemples de quelques outils sur le marché



# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol

## Jumeaux Numériques Geotechniques

### C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

#### POURQUOI FAIRE ? QUEL INTERET ?

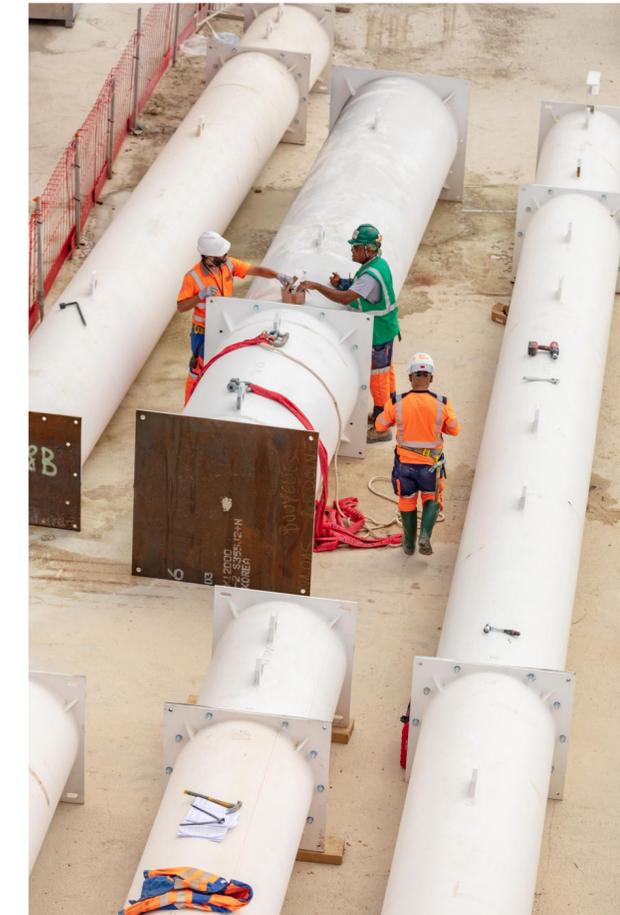
- **Prévoir, anticiper**
- **Maîtriser les incertitudes = Réduction des risques**
- **Economiser sur le design = Coûts + Environnement**
- **Economiser sur les délais**
- **Méthode observationnelle + + : Etablissement de scénarios en conception puis contrôle en cours de chantier.**
- **Faciliter la communication entre le chantier, les concepteurs et le maître d'ouvrage.**

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Geotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### FOUILLE URBAINE

- Suppression d'un niveau de butons => Réduction de délais
- Affiner les designs des parois futures
- Mieux comprendre l'influence des travaux sur les avoisinants



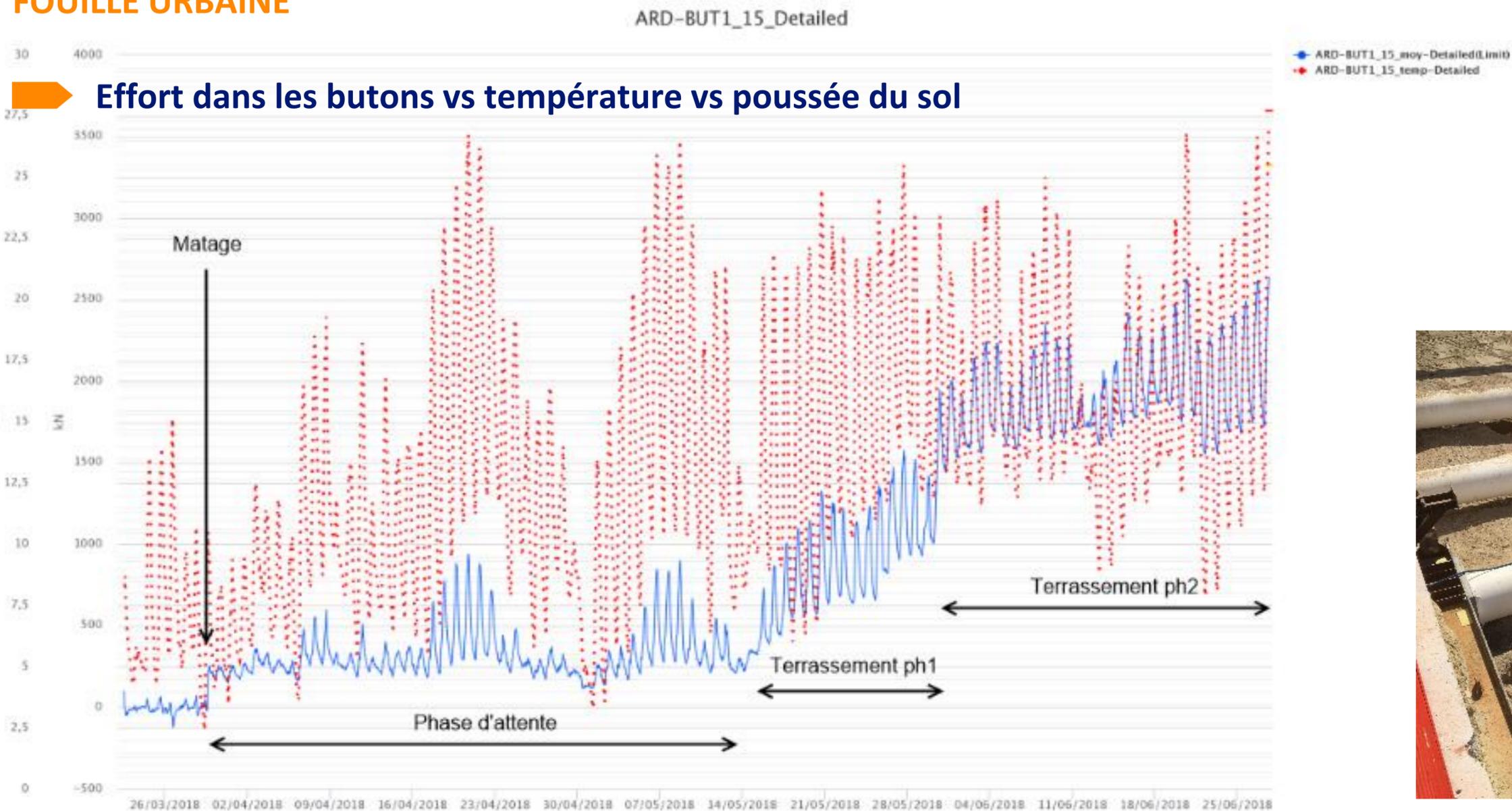


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Geotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### FOUILLE URBAINE

Effort dans les butons vs température vs poussée du sol

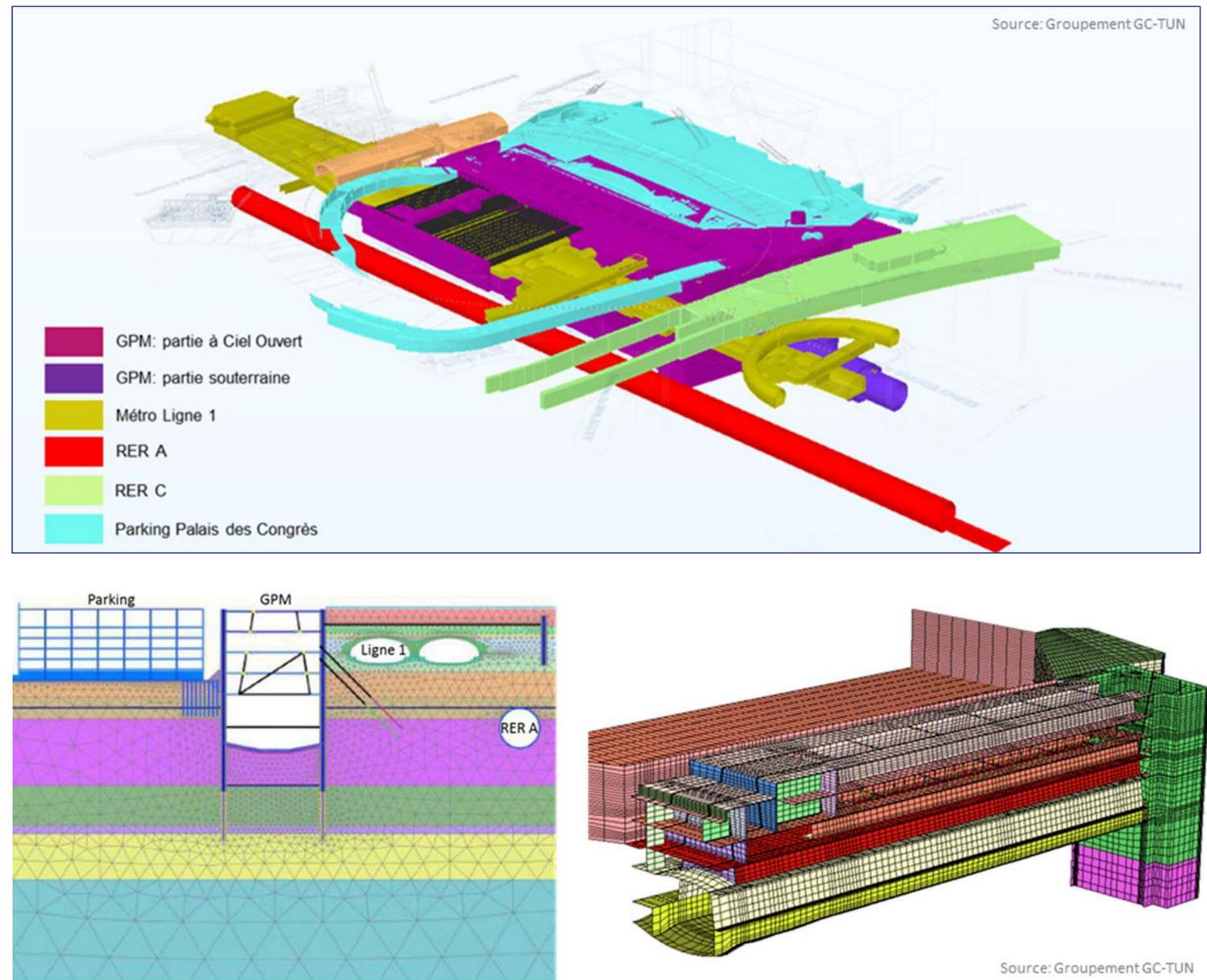
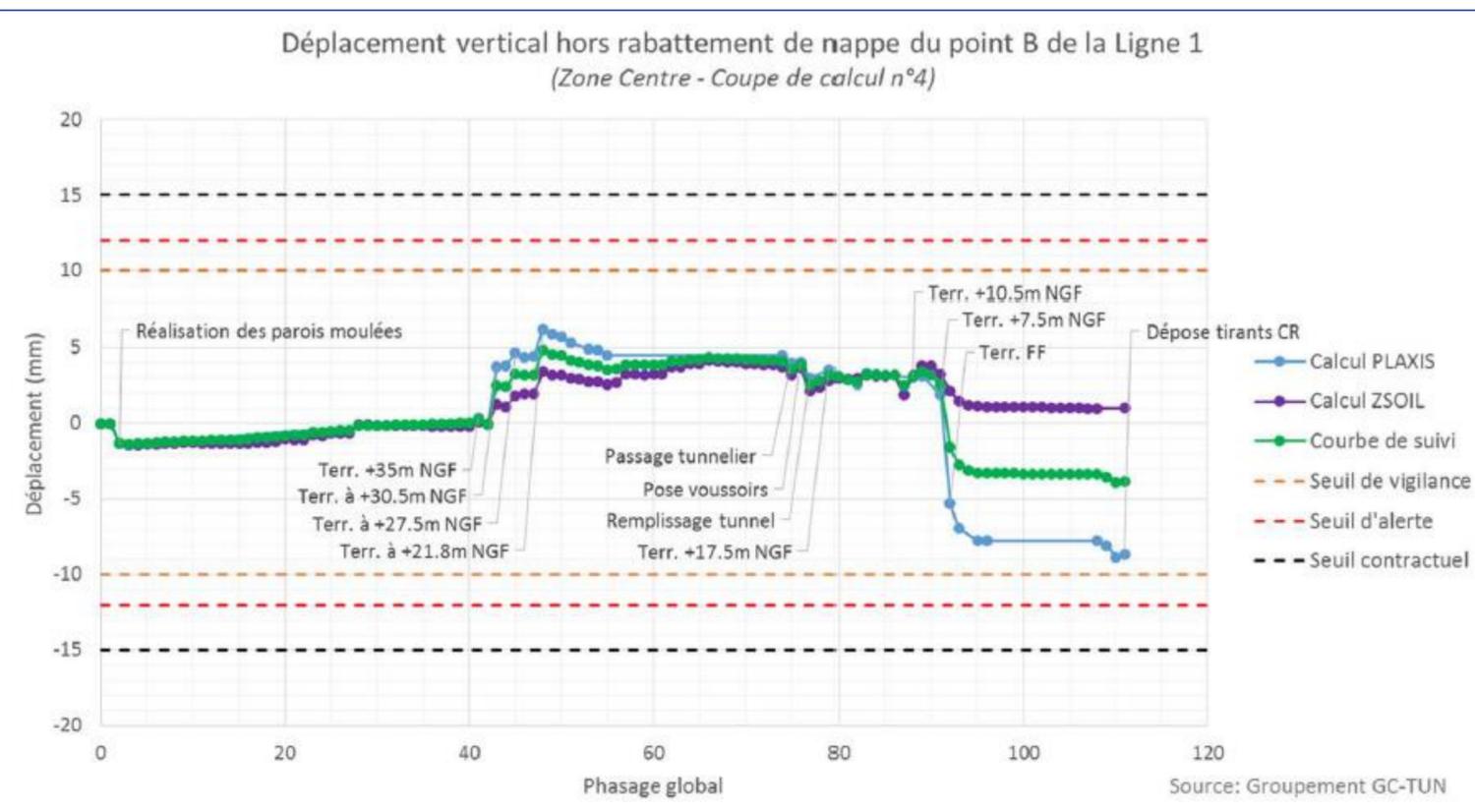


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### FOUILLE URBAINE

#### ➔ Exemple pilotage des travaux Porte Maillot

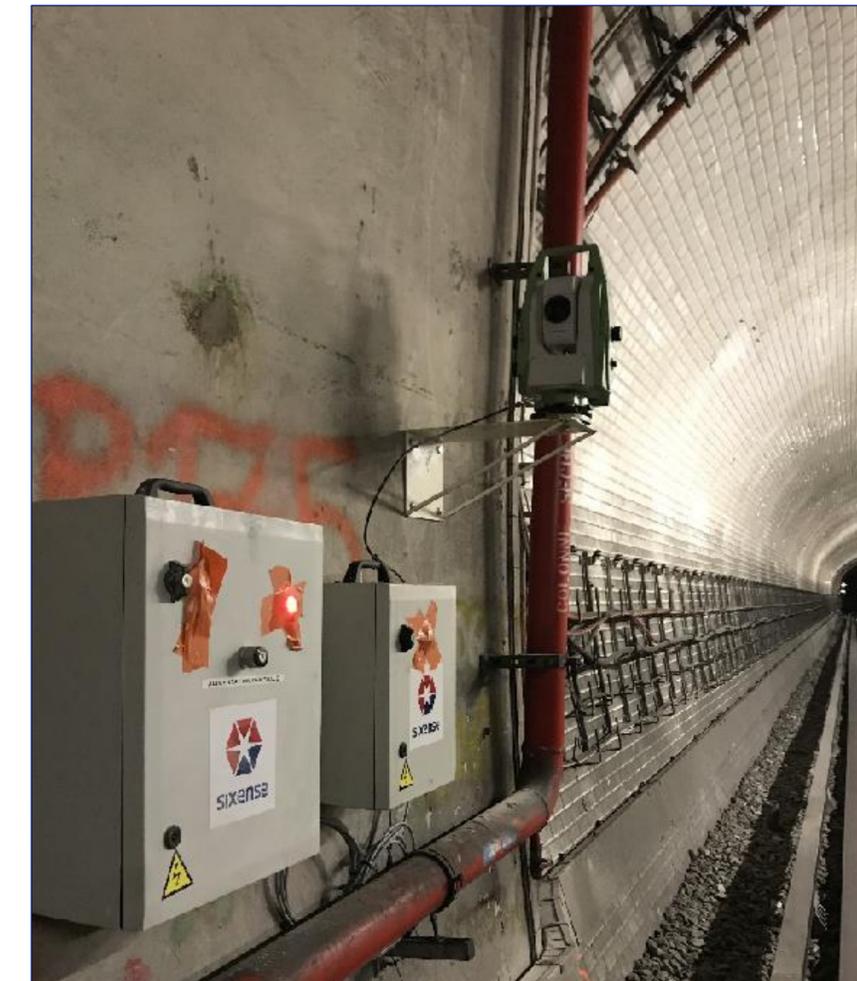
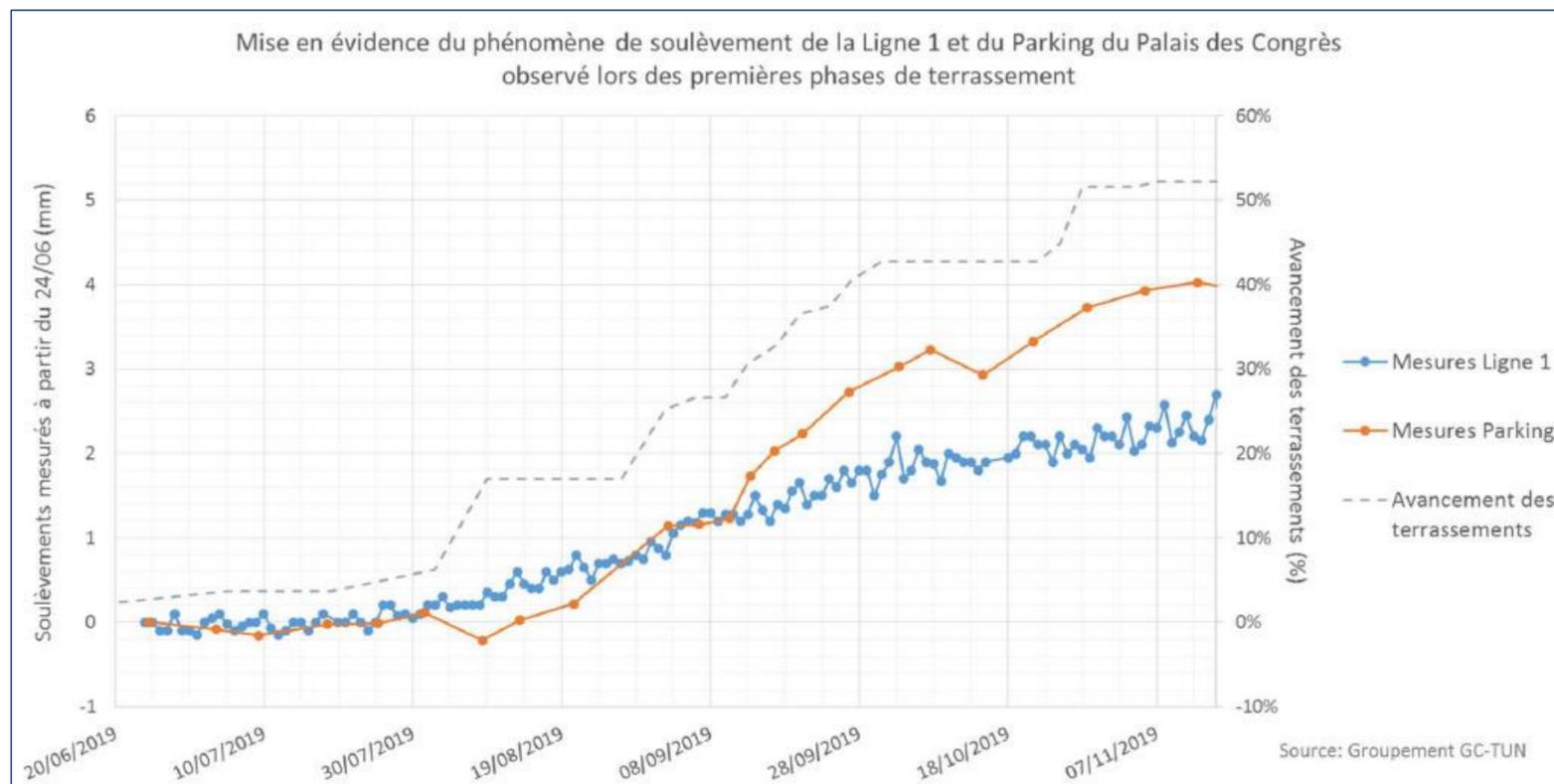


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### FOUILLE URBAINE

#### ➡ Exemple pilotage des travaux Porte Maillot

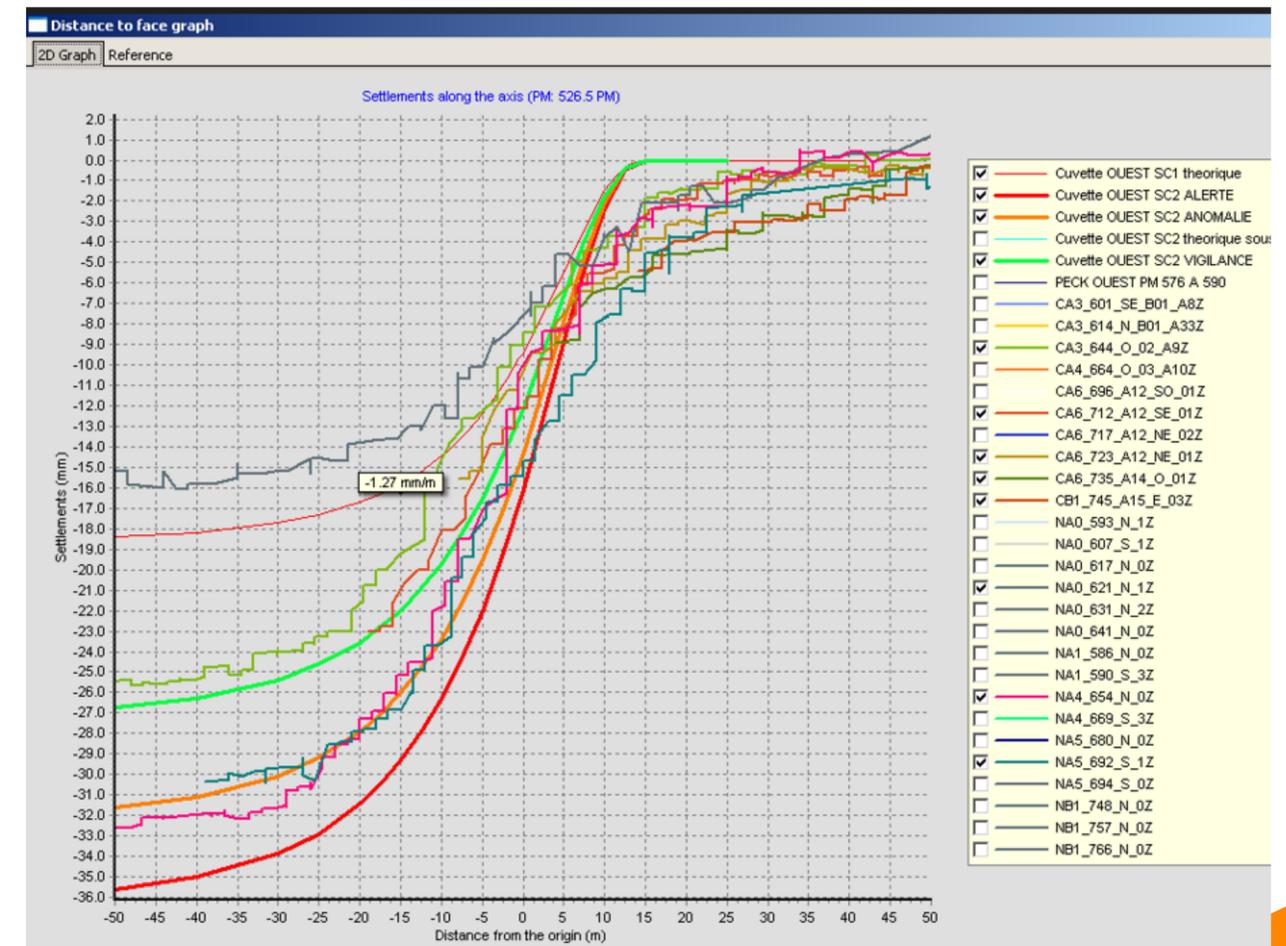


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### TUNNELS TRADIS

➔ Optimisation en cours de creusement... comme Toulon tube Sud en 2010

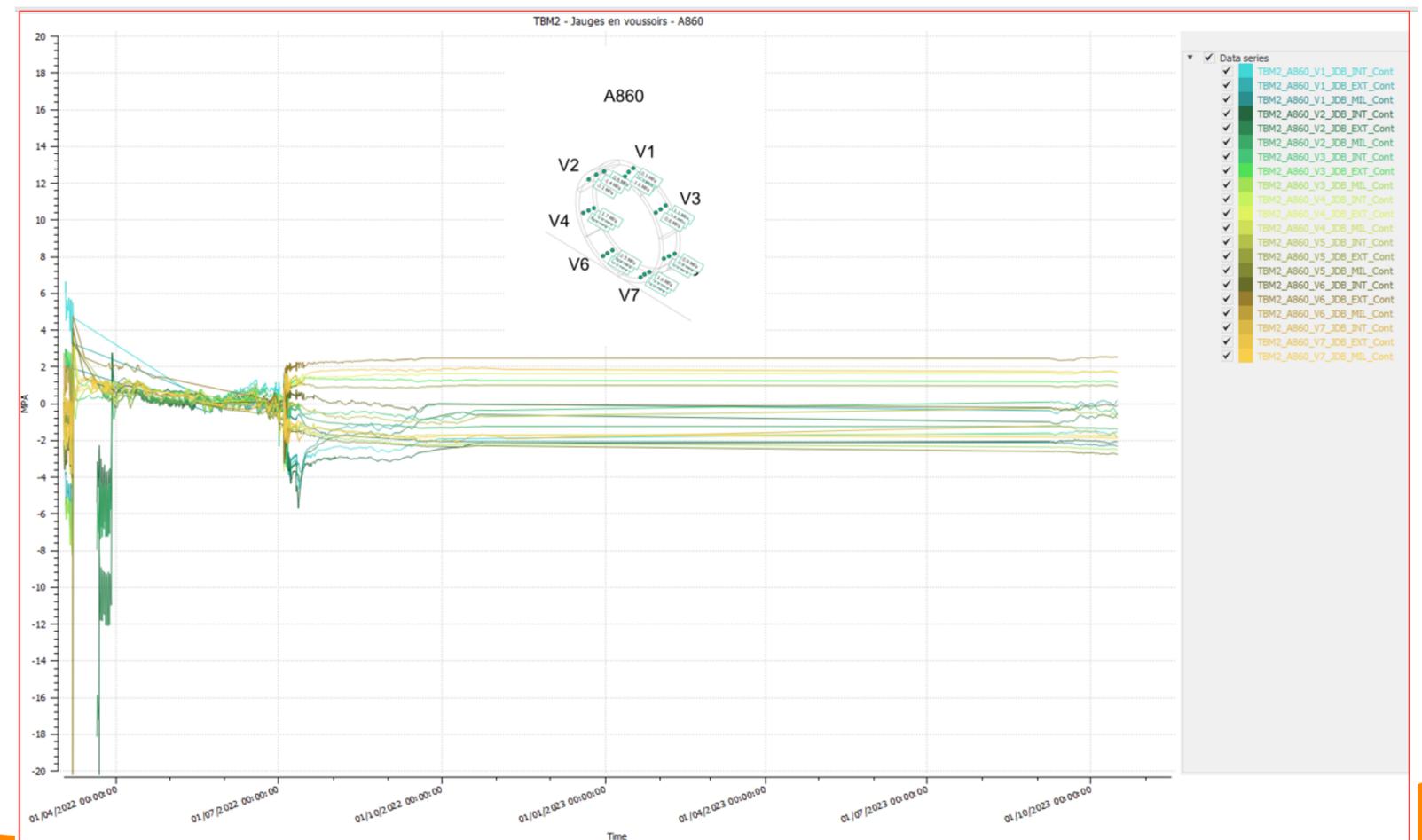
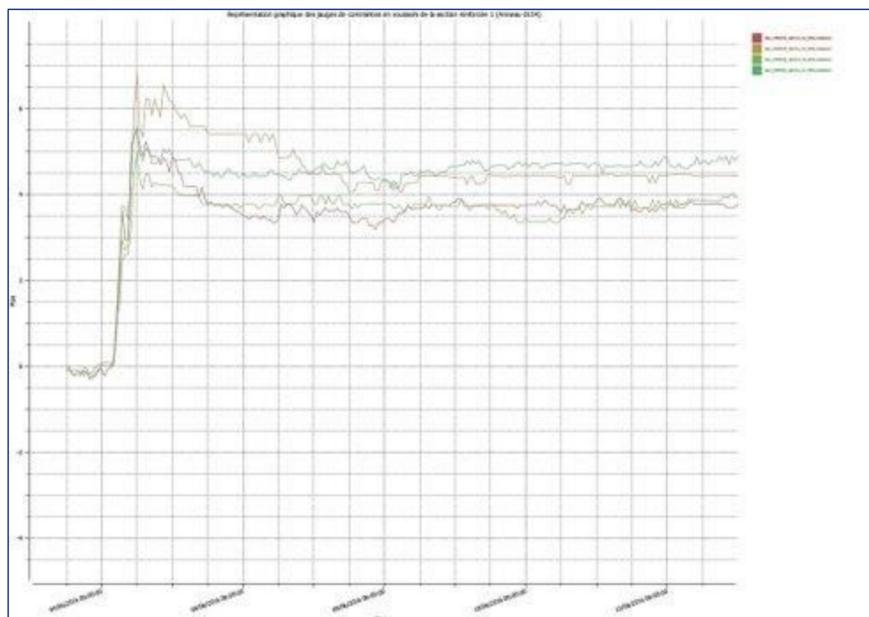


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### TUNNELS AU TUNNELIER

- Optimisation épaisseur des voussoirs pour tirs suivants
- Meilleur contrôle du process, adaptation vitesse tunnelier aux paramètres mesurés et attendus, meilleure compréhension de l'impact éventuel sur les avoisinants
- Optimisation des soutènements des rameaux
- Analyse poussée tunnelier

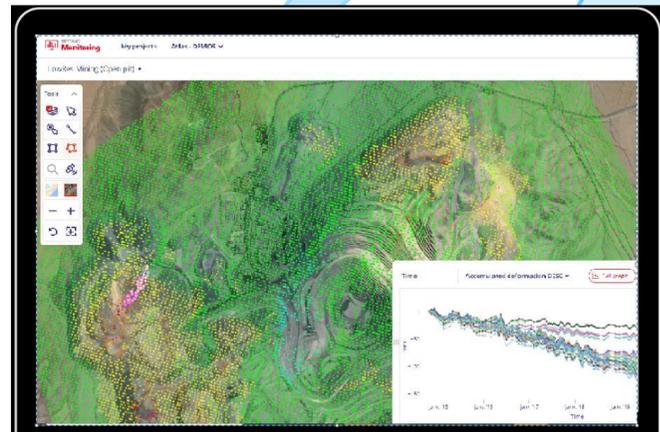


# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### OPEN PIT MINES

➔ **Concept CSIL  
(Continuous  
Safety  
Improvement  
Loop)**



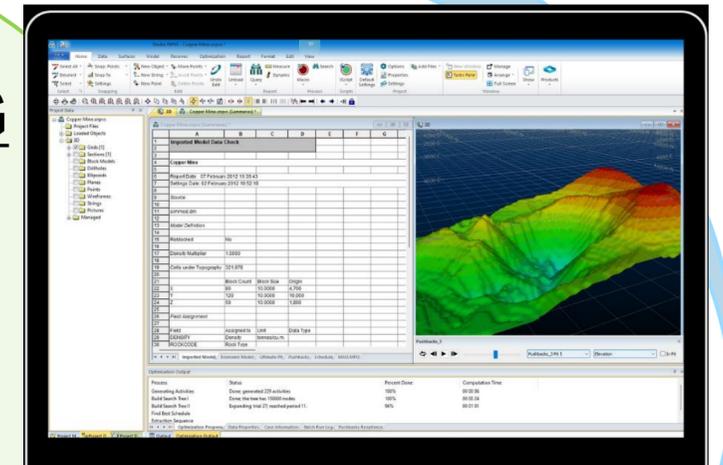
[Source :  
Rockscience]

### BEYOND MONITORING

- Show real and expected data
- Help analyse and compare
- Alarms based on real versus expected

### MINE PLANNING SOFTWARE

- Prepare mining process



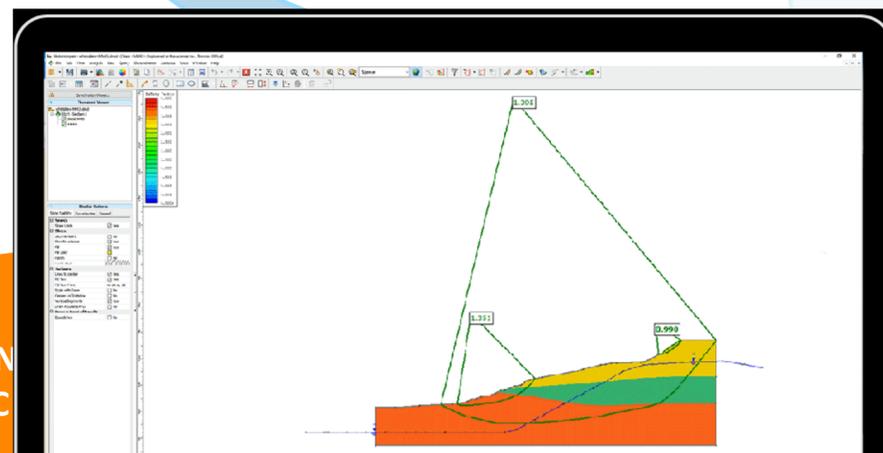
[Source : Datamine]

### GEOTECH ENGINEERS

- Analyse and decide

### SSA SOFTWARE

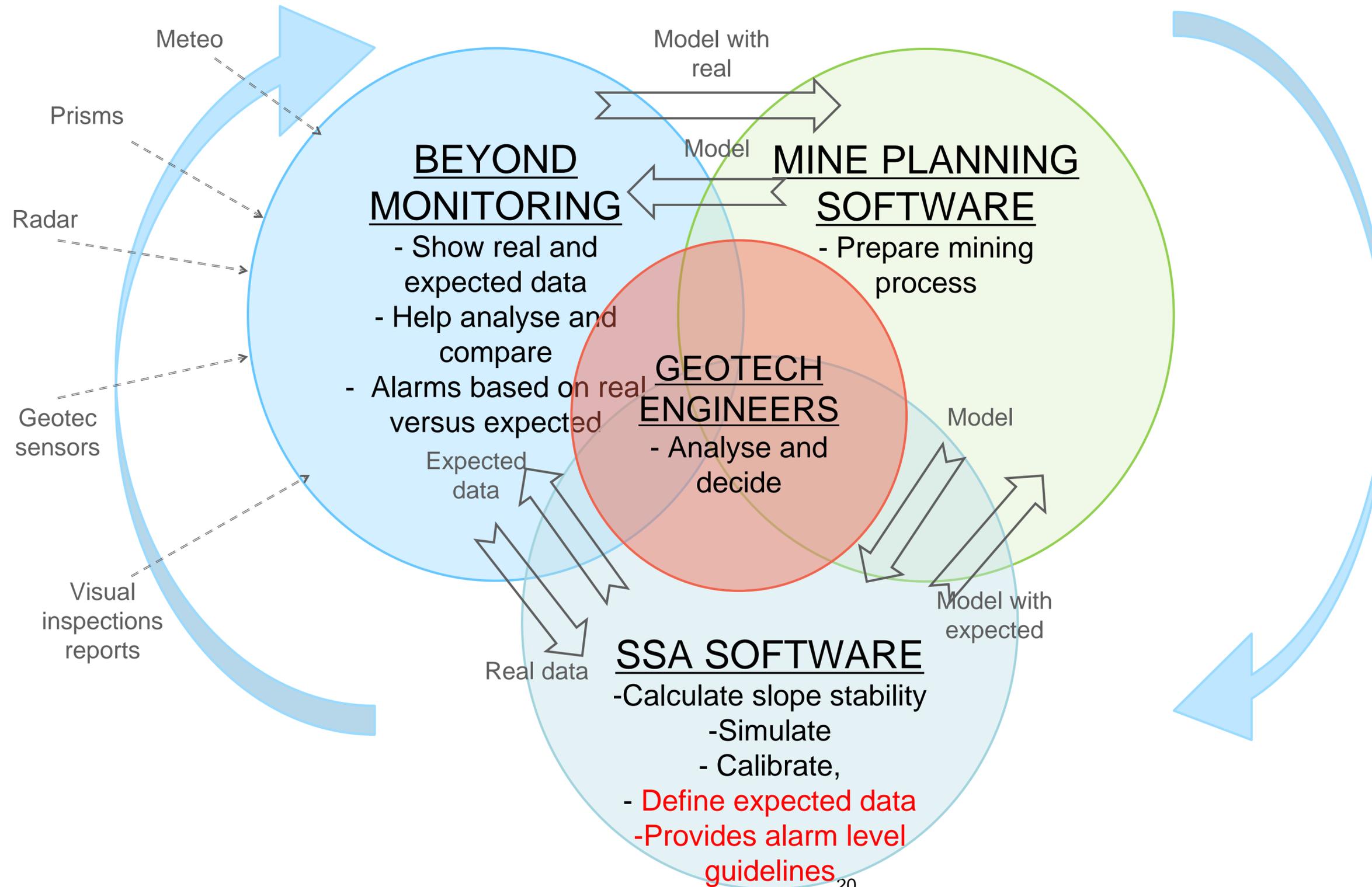
- Calculate slope stability
- Simulate
- Calibrate,
- Define expected data
- Provides alarm level guidelines



JOURN  
7 DÉC

MARTIN BETH, SIXENSE MONITORING

# CSIL (Continuous Safety Improvement Loop)



## OPEN PIT MINES

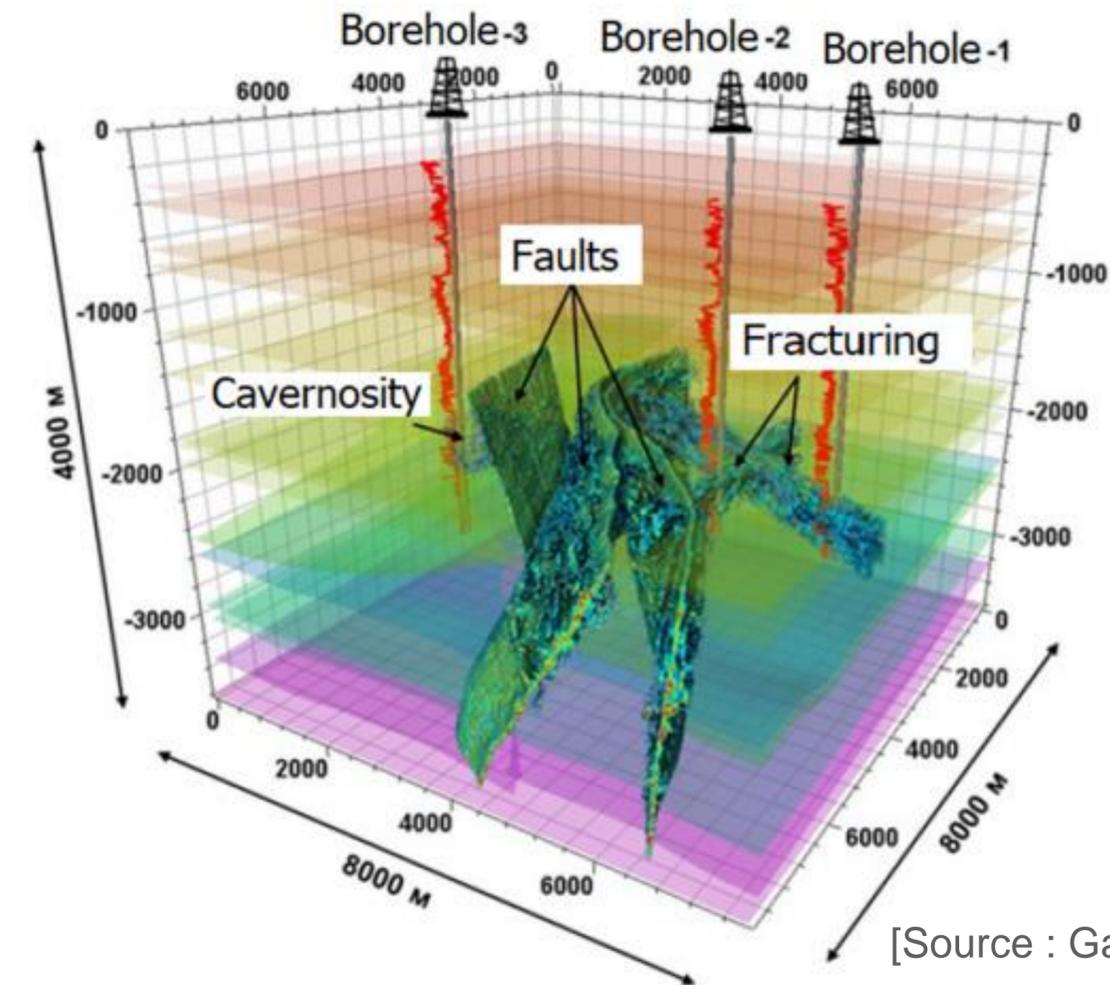
- **Concept CSIL (Continuous Safety Improvement Loop)**
- **Applicable aussi en suivi d'instabilité de pente**

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol Jumeaux Numériques Géotechniques

## C – UNE INNOVATION UTILE EN GEOTECHNIQUE ?

### EXPLOITATION PETROLIERE

- ➔ Prévisions pression réservoir sur la base de l'activité sismique enregistrée



[Source : Galina Reshetova & All]

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol

## Jumeaux Numériques Géotechniques

### D – LES FREINS

- Nécessite de changer d'approche, de changer les habitudes et les procédures. Niveau de risque. Habitude d'un seul calcul initial.
- Impact aussi sur les règles de conception ? Eurocode OK ?
- N'est possible que si prévu ou au moins autorisé dès l'avant-projet
- Effort et cout initial de la mise en place,
- Finalement économies souvent indirectes, l'économie étant surtout sur les délais. Exemple des lits de butons.
- Concaténation de l'ensemble des données, REX complet... sont difficiles à réaliser. Phasage des travaux. Données propres !

# Sainte-Barbe – Innovation dans le sous-sol

## Jumeaux Numériques Géotechniques

**Multiplication des mesures + Incertitudes du sous-sol**

**Devrait être un terrain fertile pour les JNG**

**Finalelement JNG = méthode observationnelle ++**

**Opportunité de réduction de l'impact environnemental, réduction des délais, réduction des couts**