



Journée Scientifique et Technique du CFMS du 29 janvier 2020  
« *Machine Learning et Big Data en Géotechnique* »

# Le Big Data et le Machine Learning au service de la caractérisation des sols

Pierre BREUL, Université Clermont Auvergne, Institut Pascal

Sébastien BARBIER, Sol Solution



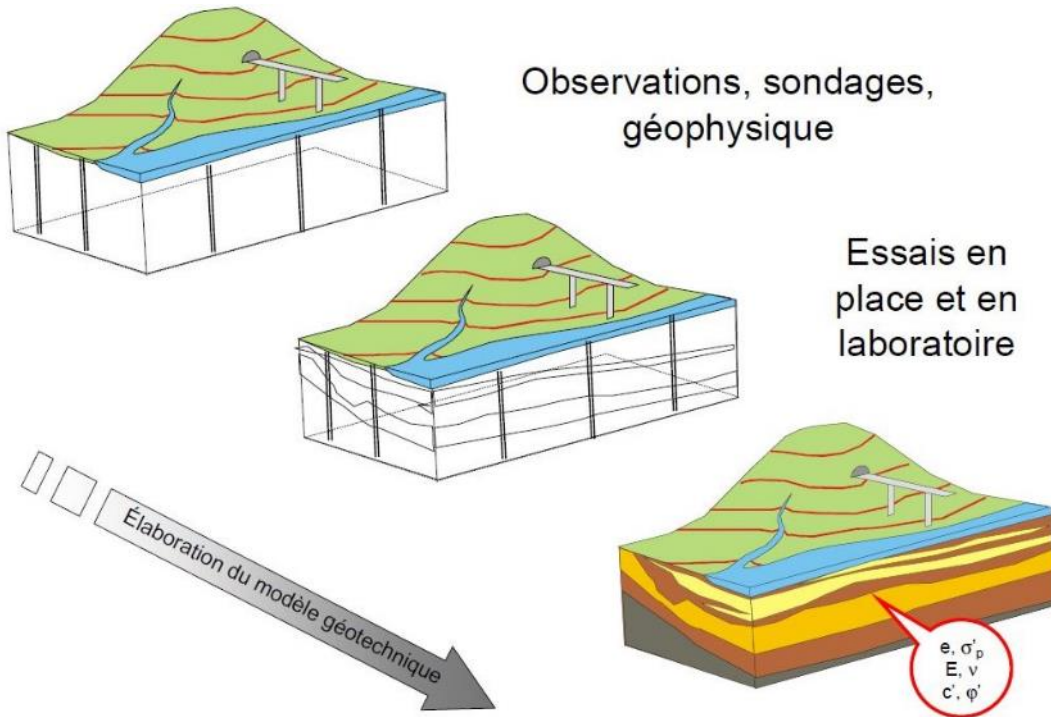
# Contenu

- Introduction
- Conditions de mise en place de l'IA ...et démarches entreprises pour pouvoir l'appliquer
- Des essais au modèle géotechnique
  - Méthode et étude de cas
- Conclusions

# Introduction

## Modèle géotechnique

Représentation **synthétique et simplifiée** du sous-sol pour la justification et le dimensionnement d'un ouvrage.



**Choix d'une valeur représentative des propriétés du massif du sol?**

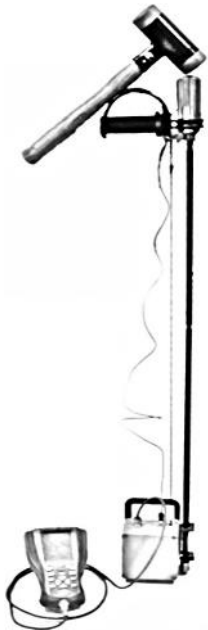
**Les techniques d'IA peuvent permettre d'aider et d'améliorer la définition du modèle géotechnique**

# Conditions de mise en place de l'IA

## 1. Collecter beaucoup de données

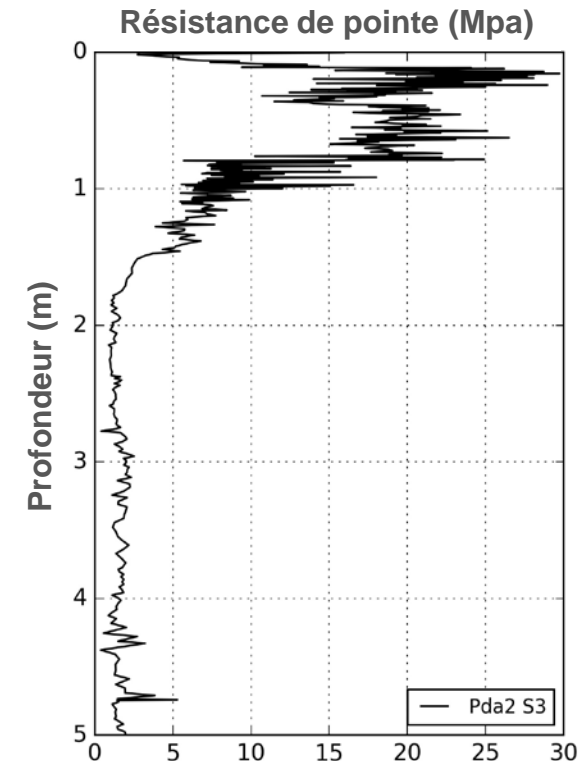
Développer des outils permettant de récolter beaucoup de données  
(essais rapides / grande résolution de données / couplage)

### Panda



**Intérêt par rapport à l'élaboration d'un modèle géotechnique:**

- grande résolution de mesures verticalement
- possibilité de multiplier les essais

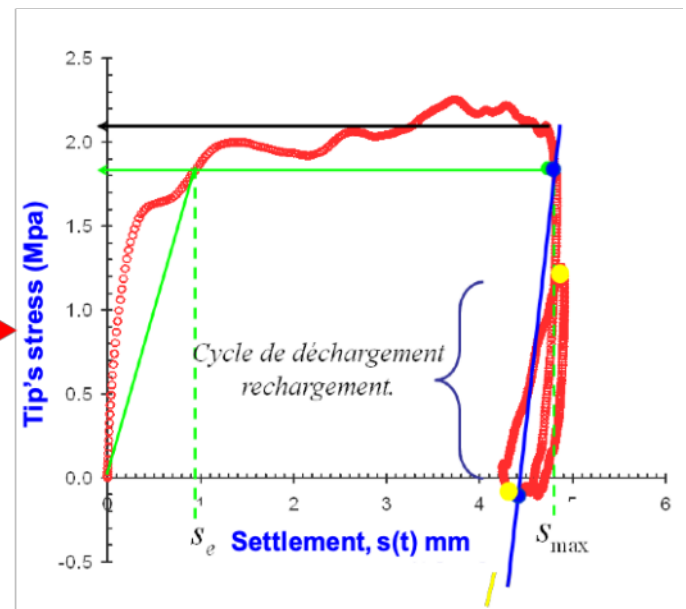
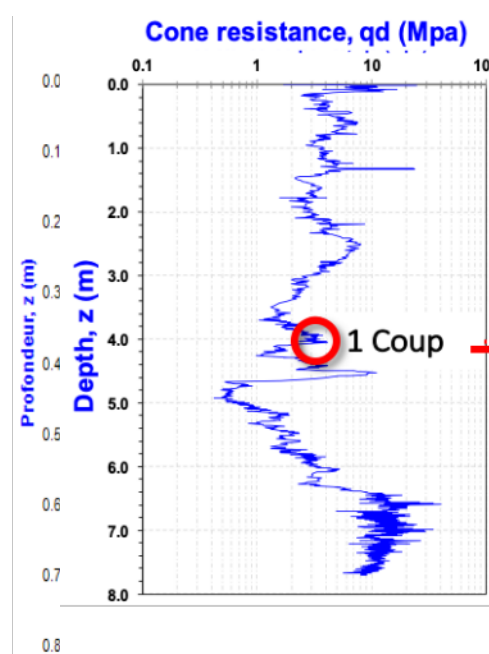
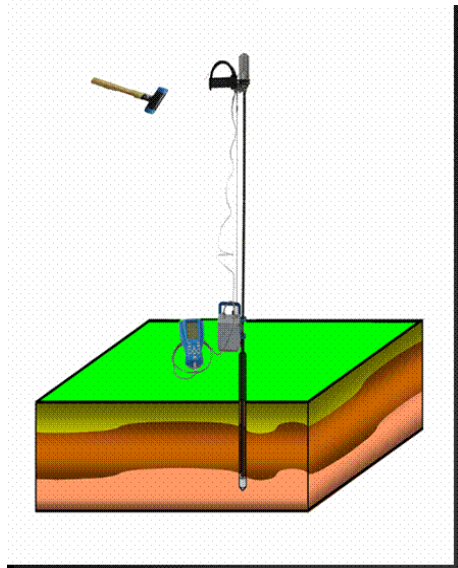


# Conditions de mise en place de l'IA

## 1. Collecter beaucoup de données

Développer des outils permettant de récolter beaucoup de données (essais rapides / grande résolution de données / couplage)

Découplage des ondes lors du battage PANDA 3® / Reconstruction des signaux en pointe



Ré  $\rightarrow$   $qd$   $+$

Analyse plus fine du comportement en pointe (relation charge – enfoncement)

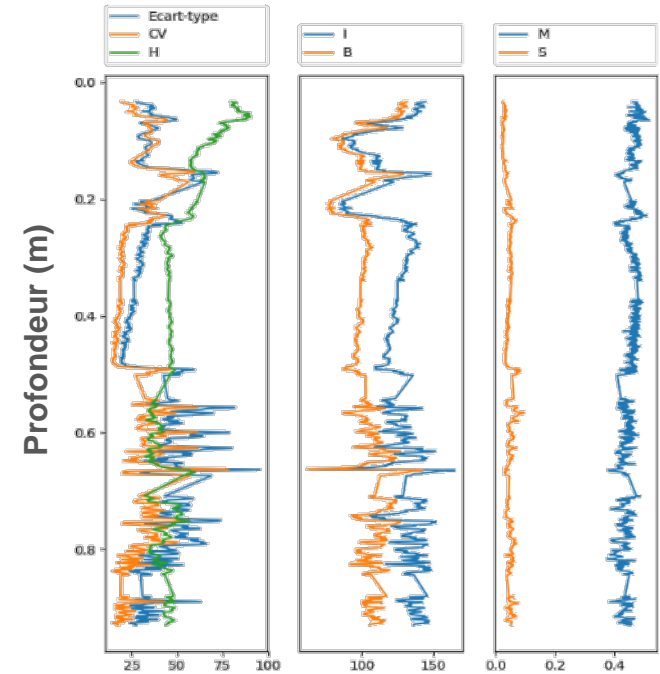
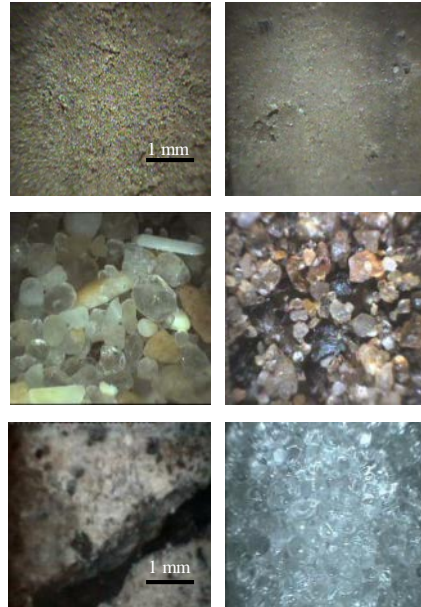
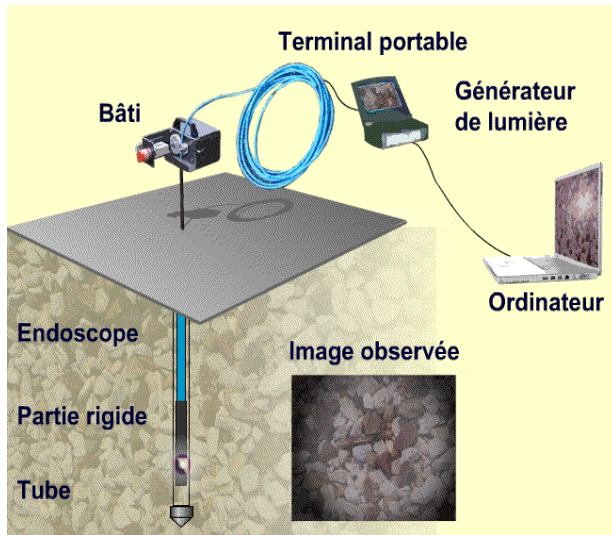


# Conditions de mise en place de l'IA

## 1. Collecter beaucoup de données



**Géo-endoscopie : caractérisation physique des matériaux par analyse d'images**



# Conditions de mise en place de l'IA

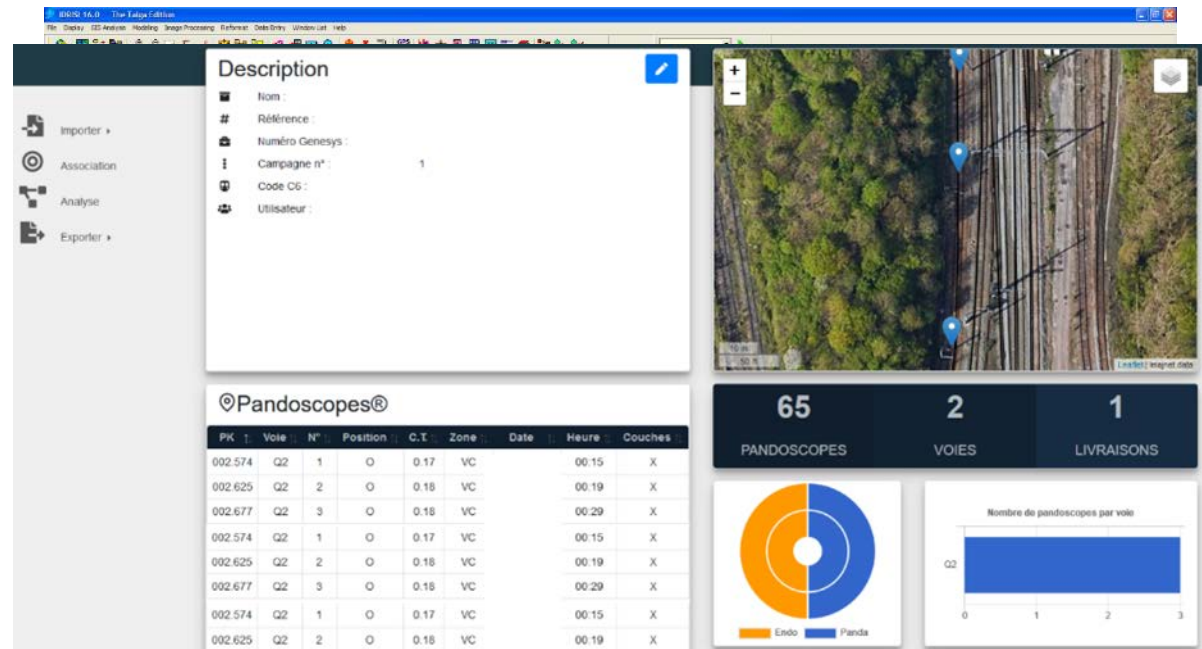
## 2. Disposer d'outils permettant d'alimenter les systèmes d'apprentissage

Acquisition numérique

Géoréférencement

Connectivité

Logiciels de gestion de données



**Numériser et contextualiser** les données issues d'essais en conditions réelles

# Conditions de mise en place de l'IA

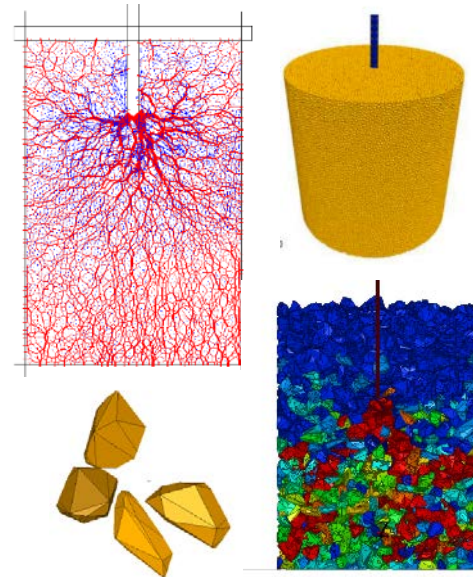
## 2. Disposer d'outils permettant d'alimenter les systèmes d'apprentissage

Banque physique de sols  
« modèles »



+ de 45 sols stockés  
1 m<sup>3</sup>/sol

Base de donnée d'essais  
numérisés



Pour alimenter une BDD et permettre de valider/tester les outils d'IA



# Conditions de mise en place de l'IA

## 3. Disposer de techniques de traitement des données de masse

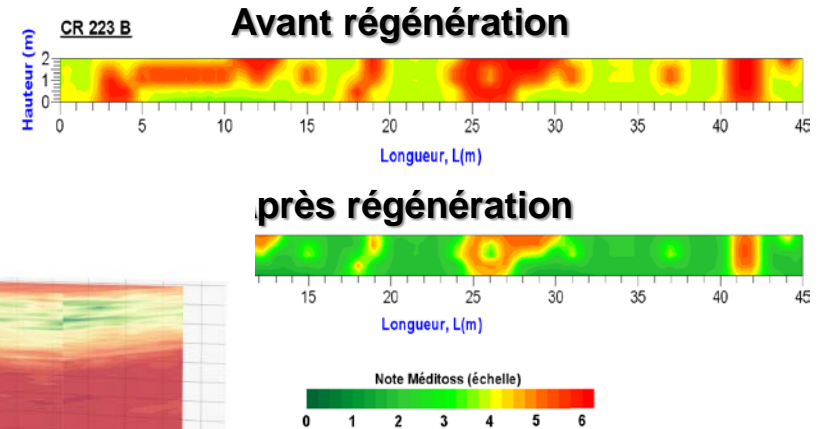
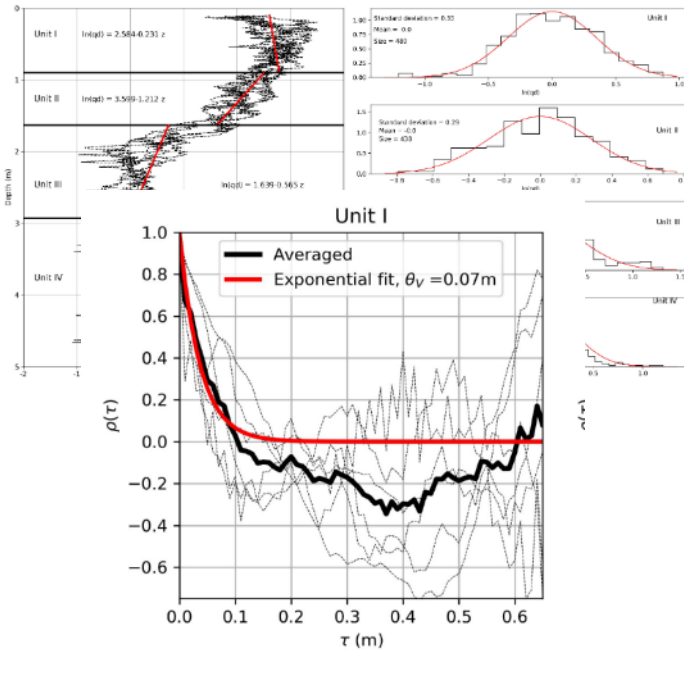
Géostatistique

Réseau de neurones

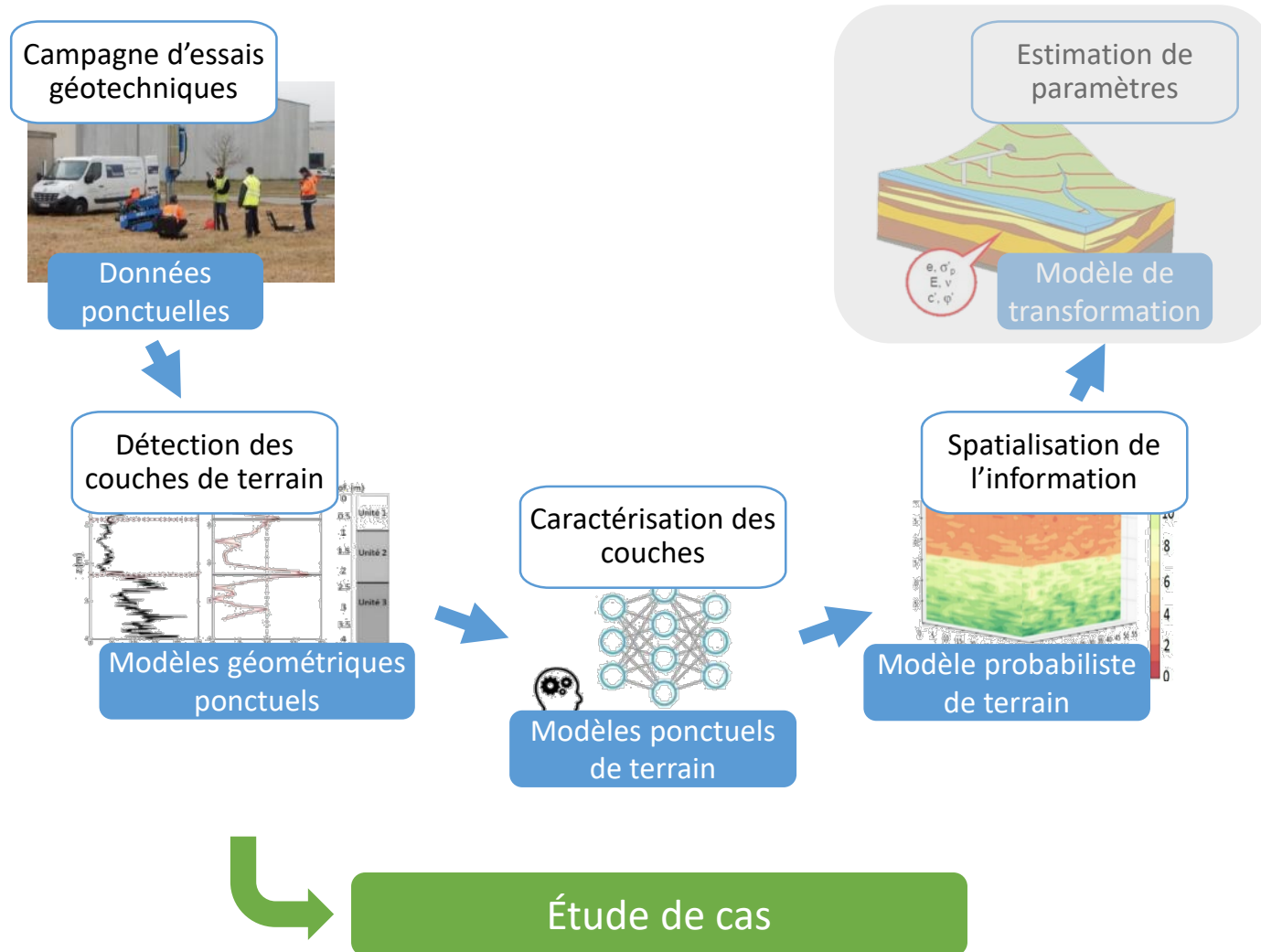
Couplage/fusion de données

Inférence bayésienne

...



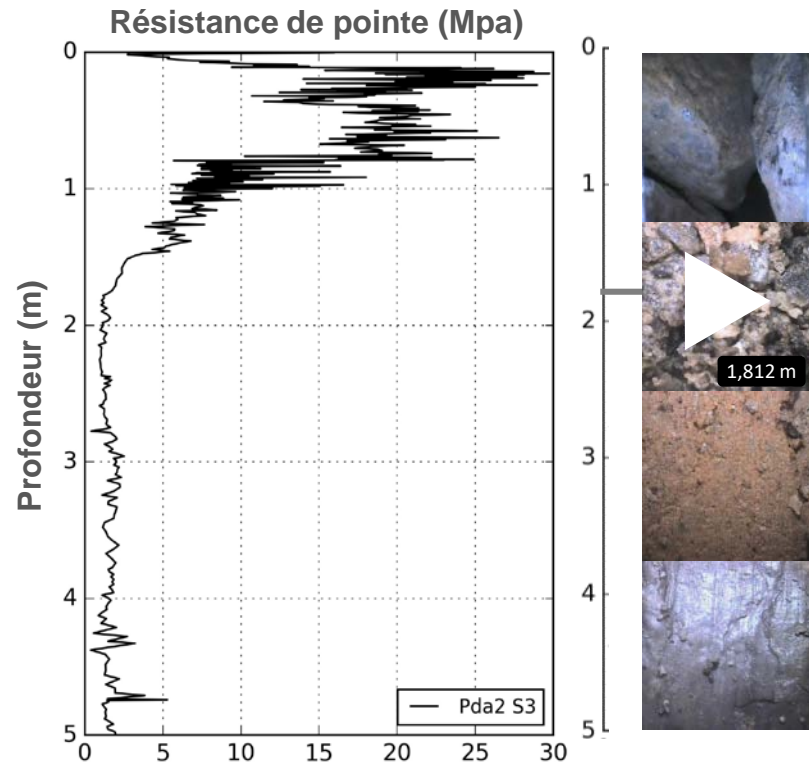
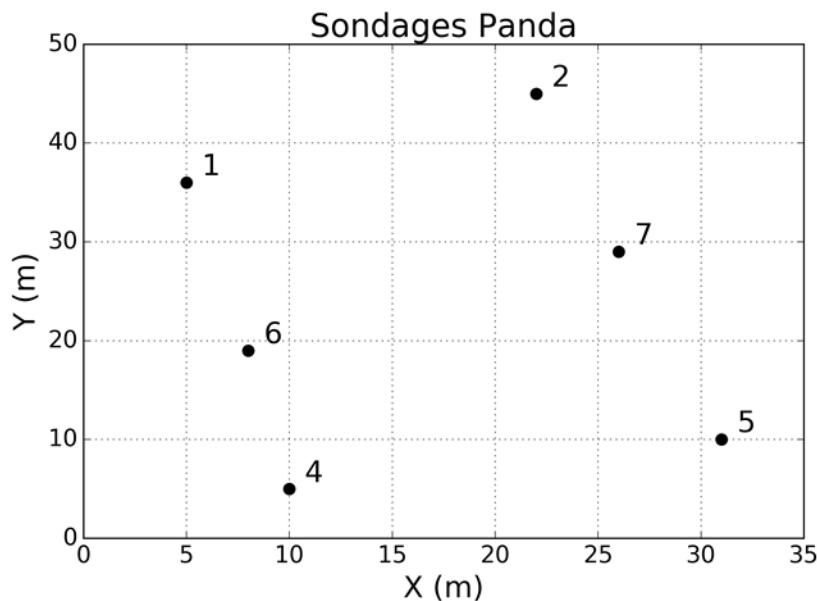
# Des essais au modèle géotechnique



# Campagne d'essais géotechniques

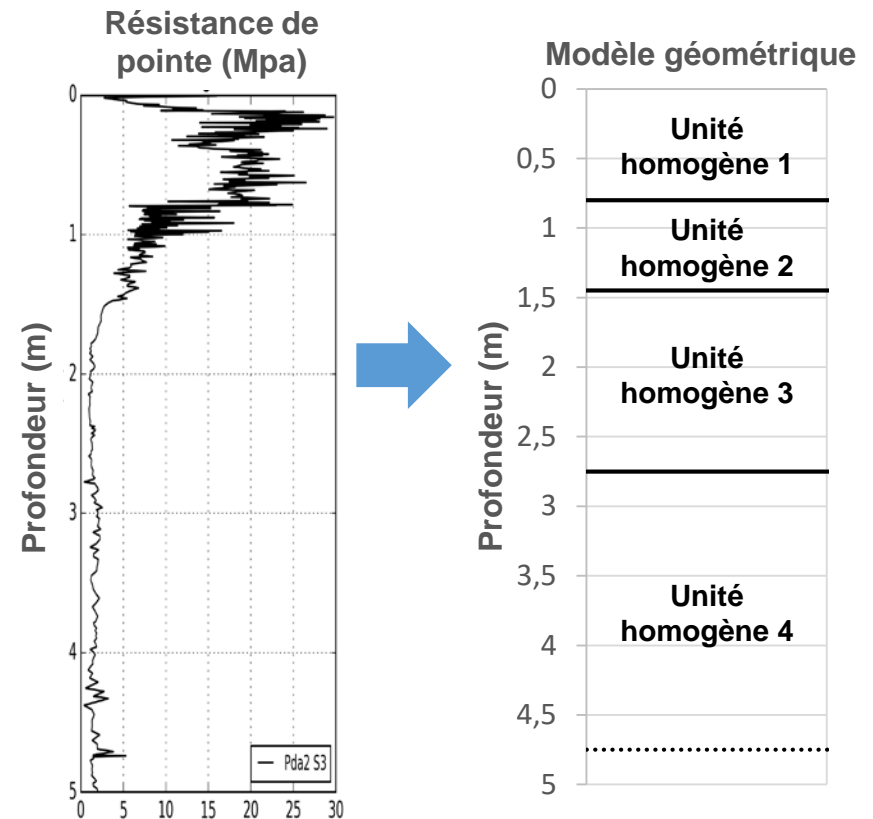
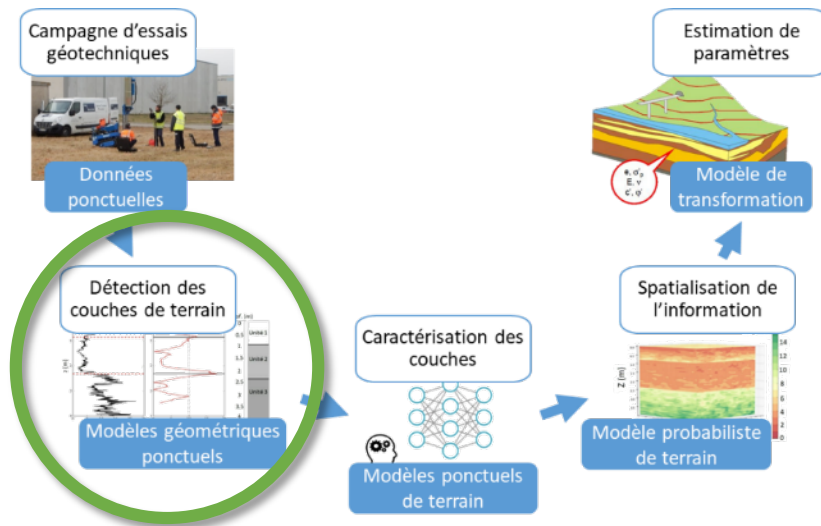
Essais de pénétration dynamique et geoendoscopie géoréférencés

Données ponctuels en profondeur :  
Résistance de pointe (pénétromètre)  
Images (geoendoscope)



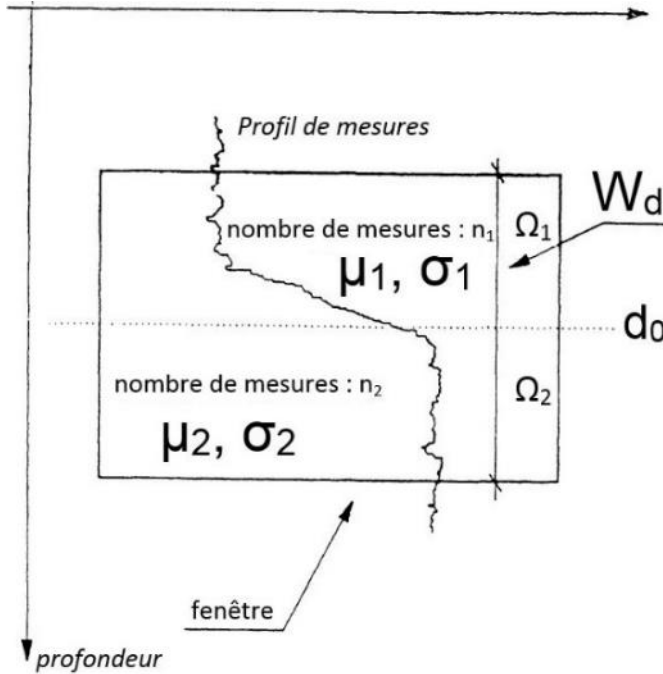
# Détection des couches de terrain

## Objectif



# Détection des couches de terrain : Principe

## Méthode par fenêtre glissante



## Test statistique et découpage

Tratio

- test statistique sur fenêtre glissante

Seuillage

Détection de pics

Unités homogènes

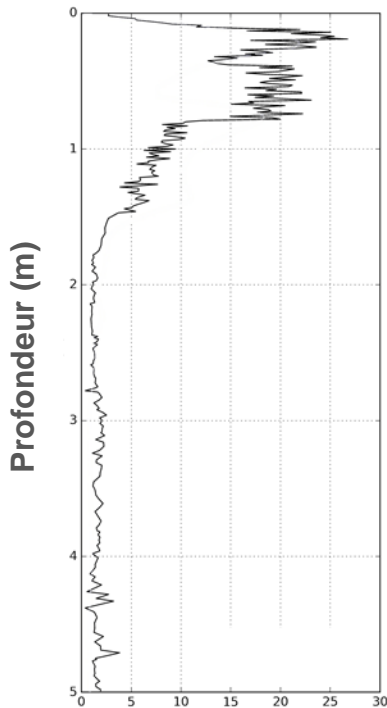


# Détection des couches de terrain : Étude de cas

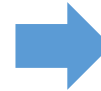
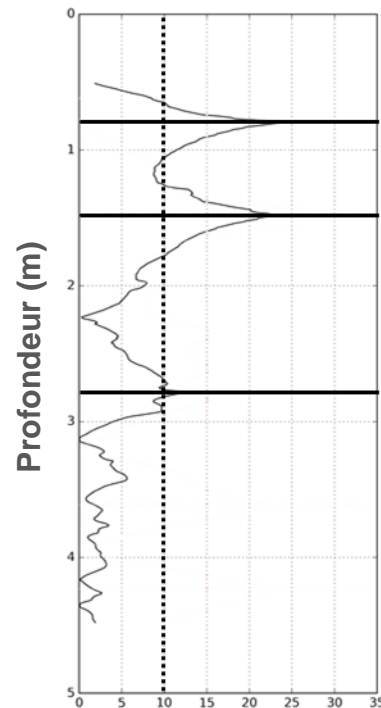
## Analyse du signal pénétrométrique

## Modèle géométrique (pour chaque sondage)

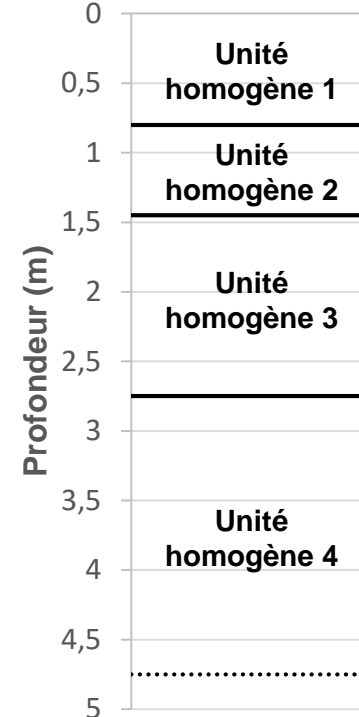
Résistance de pointe (Mpa)



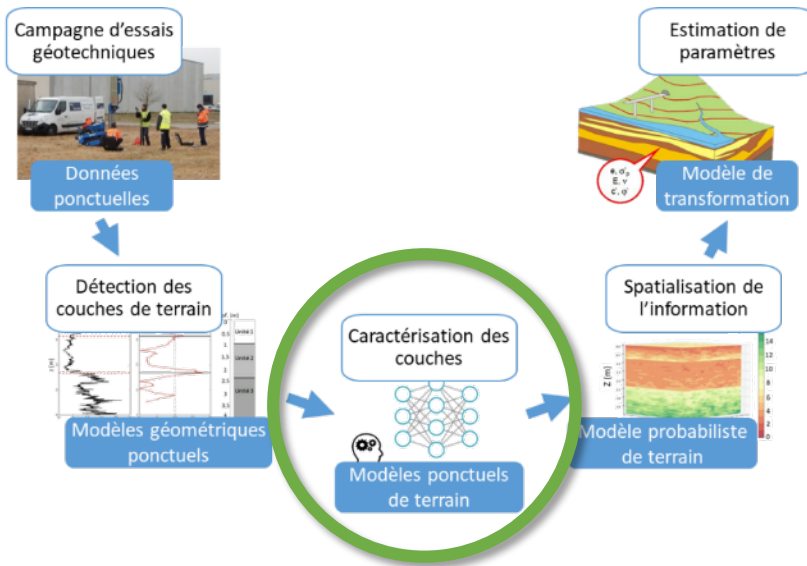
Tratio



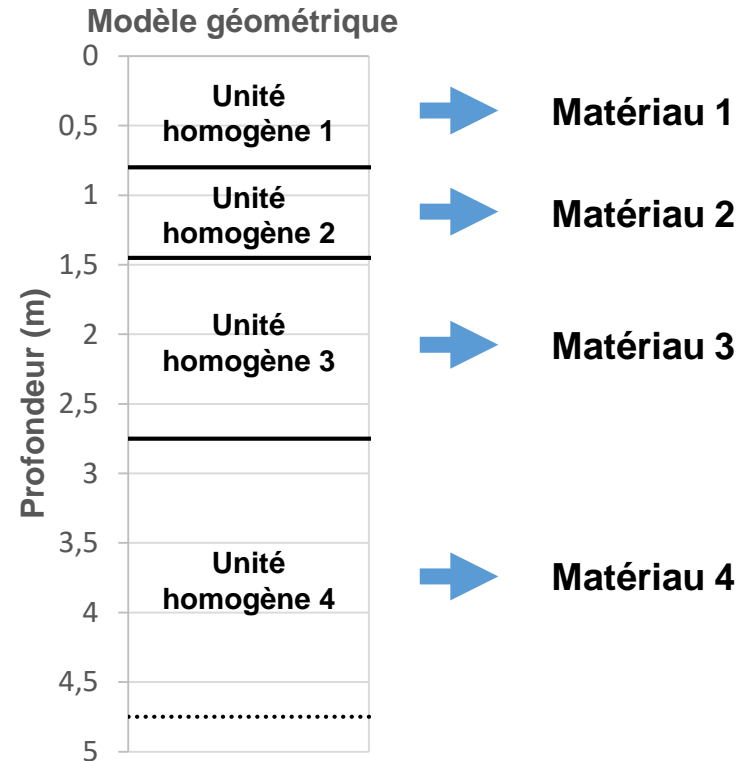
Modèle géométrique



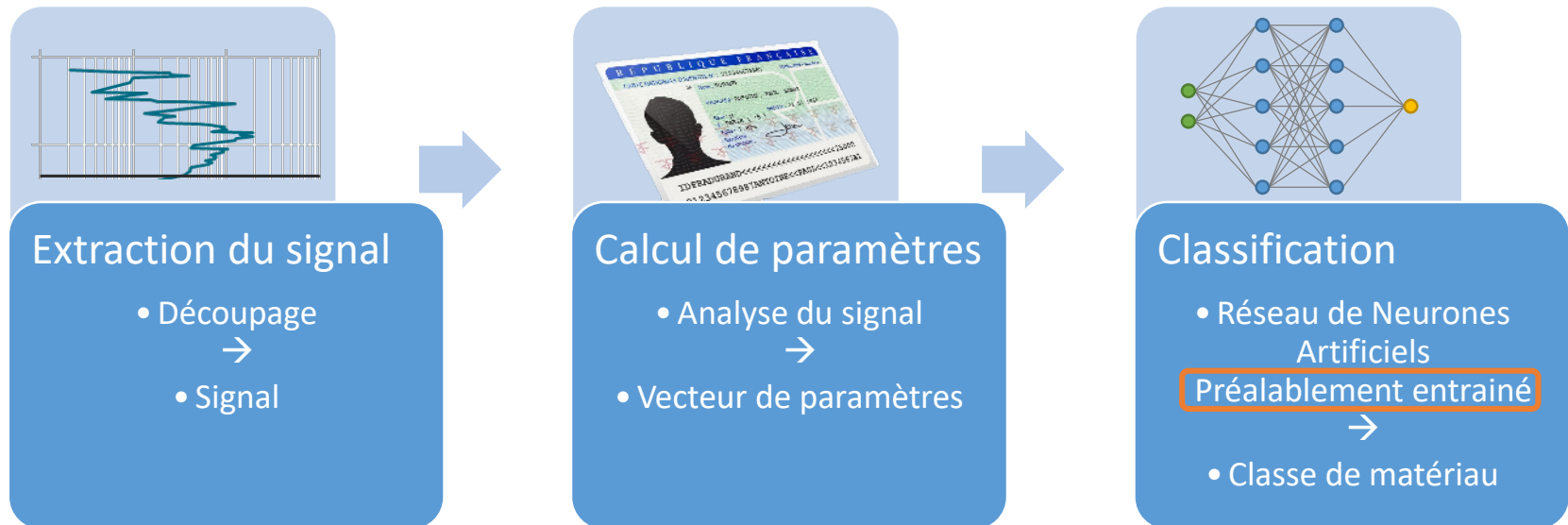
# Caractérisation des couches



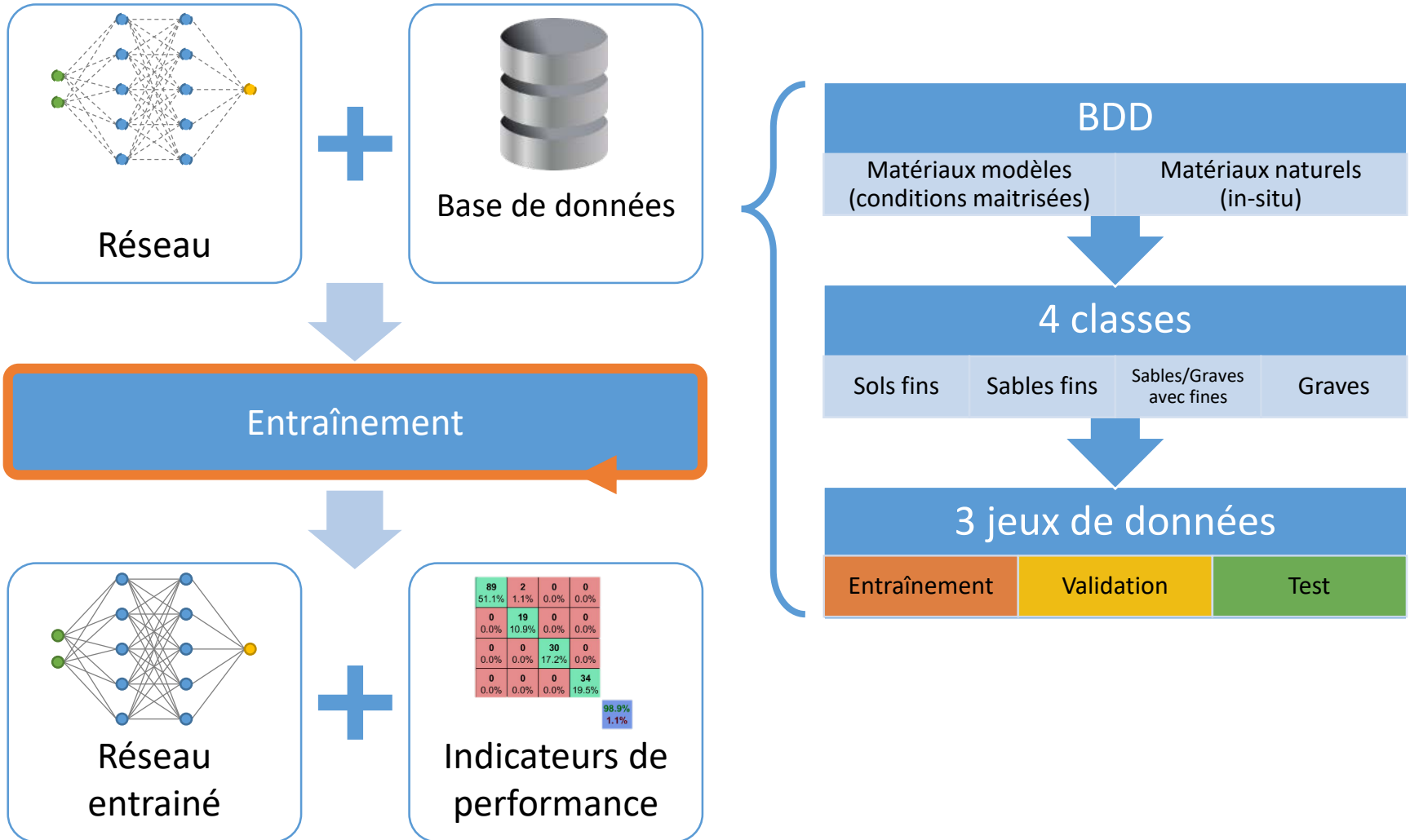
## Objectif



# Caractérisation des couches : Principe



# Caractérisation des couches : Entraînement du réseau



BDD

Matériaux modèles (conditions maîtrisées)	Matériaux naturels (in-situ)
--	---------------------------------

↓

4 classes

Sols fins	Sables fins	Sables/Graves avec fines	Graves
-----------	-------------	-----------------------------	--------

↓

3 jeux de données

Entraînement	Validation	Test
--------------	------------	------

# Caractérisation des couches : Entraînement du réseau

## Performance

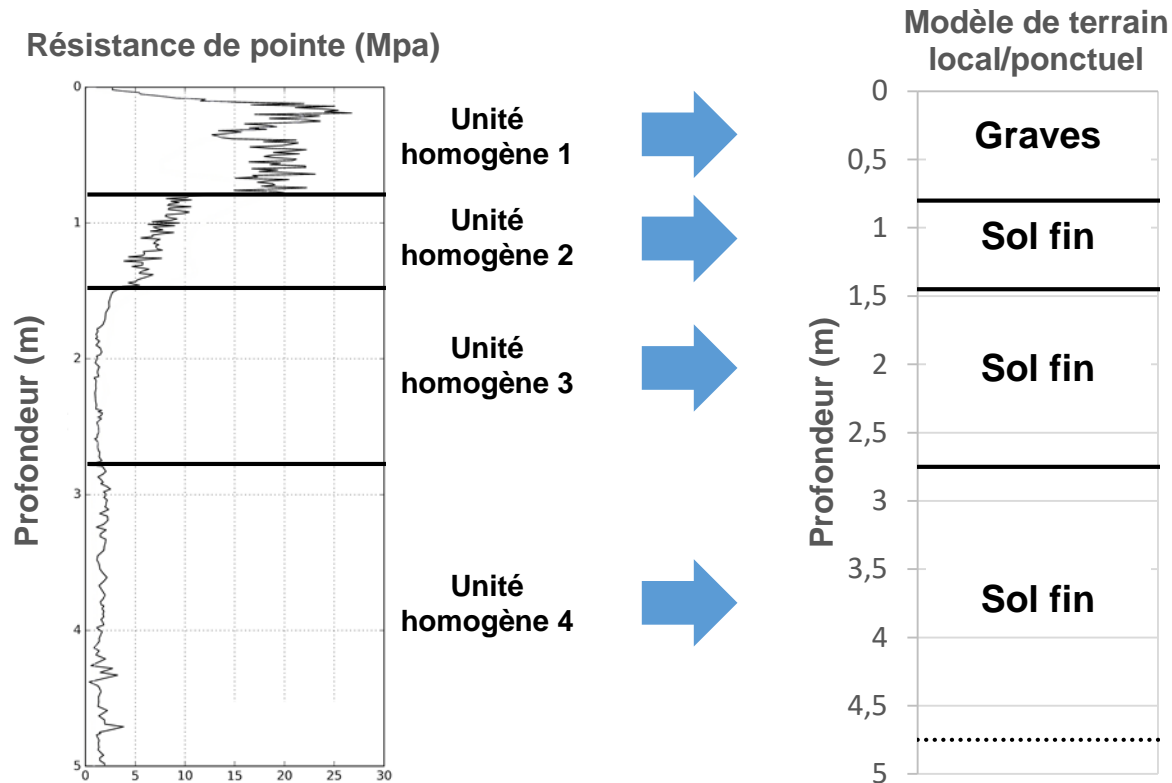
Classe de sol	Classification correcte
Sol fins	95 %
Sables fins	83 %
<b>Sables/Graves avec fines</b>	<b>50 %</b>
Graves	100 %

- ✓ Bonne performance globale
- Plus de difficultés pour la classe **Sable/Graves avec fines**



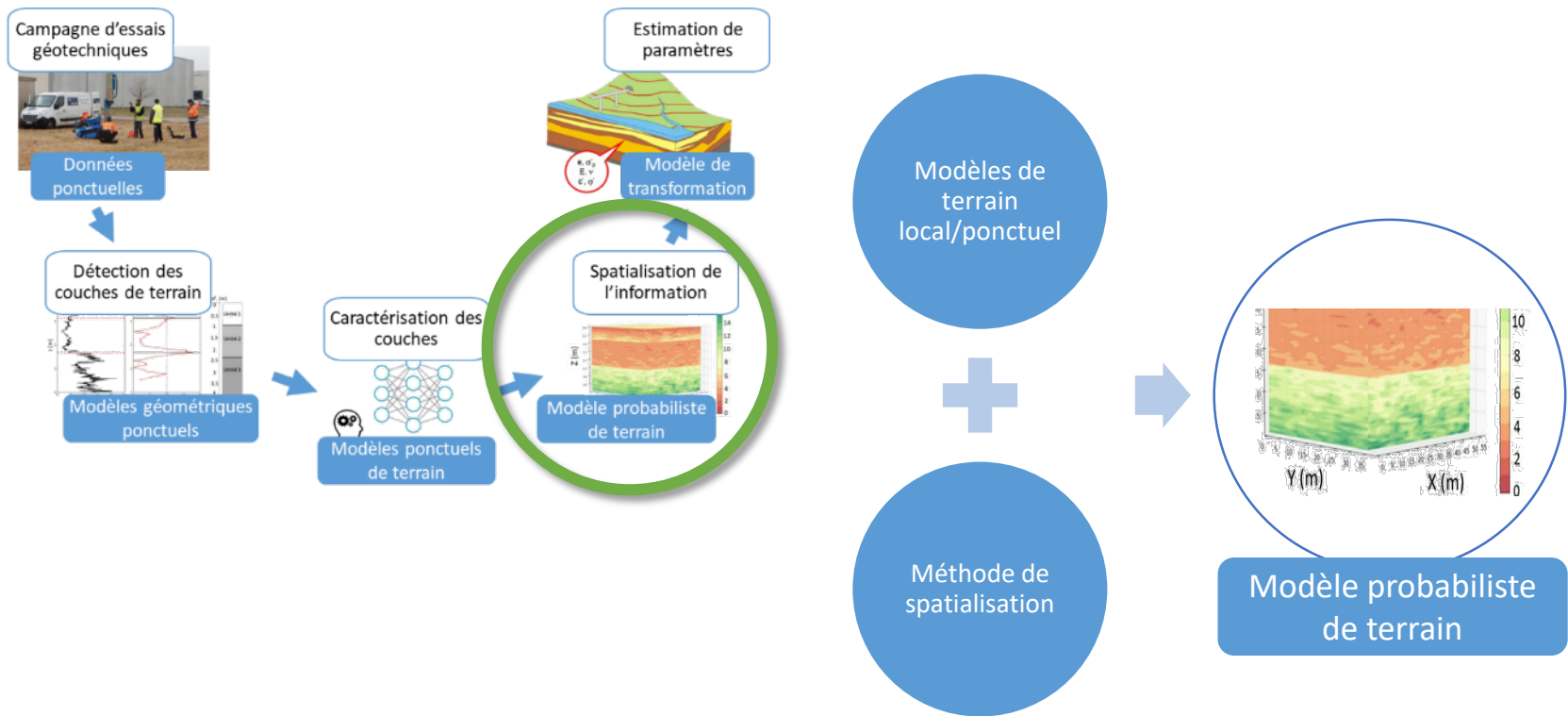
# Caractérisation des couches : Étude de cas

- Classification par unité homogène



# Spatialisation de l'information

## Objectif



# Spatialisation de l'information : Principe

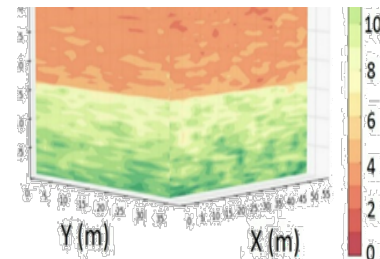
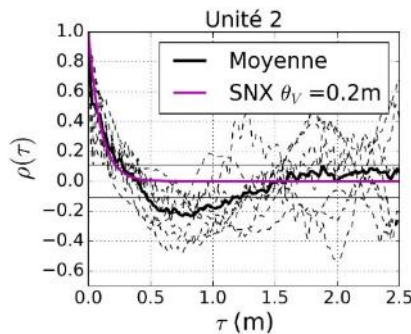
- Utilisation de méthodes de la géostatistique

Estimation de la variabilité horizontale  
+  
Étude de la variabilité verticale



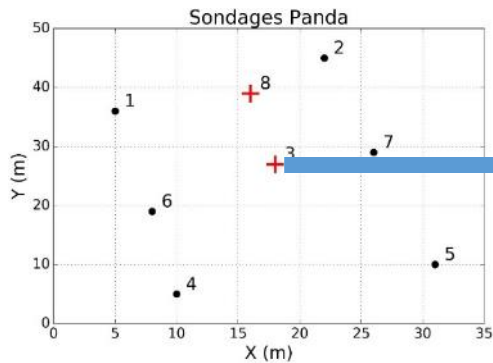
Génération de modèle 3D probabiliste

- Simulation
- Krigeage simple 3D



# Spatialisation de l'information : Étude de cas

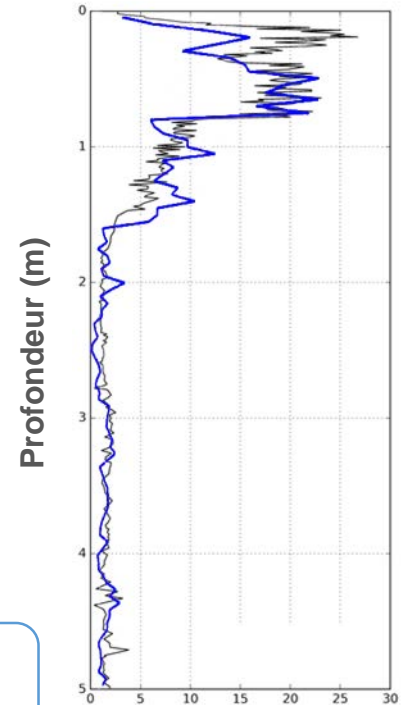
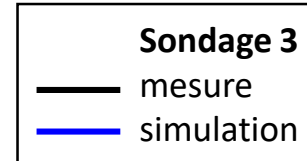
## Implantation



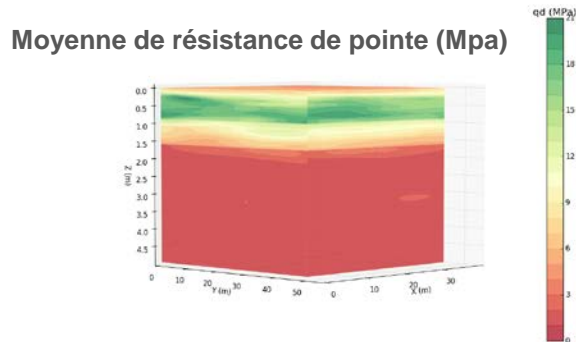
## Validation

## Prédiction d'un sondage

Résistance de pointe (Mpa)



## Modèle probabiliste de terrain 3D



**6 sondages** suffisent pour proposer des versions plausibles d'un sondage non réalisé

# Conclusions

**Machine Learning  
&  
Big Data  
en  
Géotechnique**

Nécessité de récolter un grand nombre de données numérisées

Outils d'appui et d'aide à la décision pour l'ingénieur

# Perspectives

Intégrer des données geoendoscopiques et Panda3<sup>®</sup>  
(travaux en cours)

Améliorer les méthodes de spatialisation de l'information horizontale  
(fusion de données différentes : géophysique, masses de croyance)

Passer au modèle géotechnique de terrain





Journée Scientifique et Technique du CFMS du 29 janvier 2020  
« *Machine Learning et Big Data en Géotechnique* »

# Le Big Data et le Machine Learning au service de la caractérisation des sols

Pierre BREUL, Université Clermont Auvergne, Institut Pascal

Sébastien BARBIER, Sol Solution

