



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

## Quand le numérique s'invite en géotechnique

Valérie BERNHARDT

TERRASOL



## Le contexte

- Qu'est-ce que « le numérique » ?
- Panorama des applications du numérique en géotechnique

## Intelligence artificielle, Machine Learning et Big Data

- Définitions
- En géotechnique

## Conclusions

# Le numérique : c'est quoi ?



« **Le numérique** » recouvre à la fois les sciences et technologies de l'information et de la communication (informatique, électronique, télécommunications). Le périmètre du numérique est donc plus large que celui de l'informatique. Le numérique modifie les activités humaines et sociales (*source : talentsdunumerique.com*).

On parle de **3<sup>ème</sup> (voire 4<sup>ème</sup>) révolution industrielle** (après celles de la machine à vapeur et de l'électricité – et de l'informatique).

## **Numérique ou digital ?**

Digital est le terme anglais. « Numérique » et « digital » sont souvent utilisés comme des synonymes. Officiellement, c'est l'usage du terme « numérique » qui est à privilégier en français.

**Transformation numérique** : processus qui permet aux entreprises d'intégrer toutes les technologies numériques disponibles au sein de leurs activités.

# Le numérique : c'est quoi ?



## Les principaux enjeux

- La plupart des concepts et théories ne sont pas nouveaux, mais ont pris récemment un **essor rapide** grâce au développement de la puissance des ordinateurs (capacité de traitement, de stockage, etc), aux technologies de communication (3G/4G, objets connectés, smartphones, etc)
- Basculement d'une économie de la propriété et de la vente à une **économie de l'usage**, de la fonctionnalité, et du service. Remise en cause profonde du modèle économique.
- **Impact majeur** dans l'ensemble des secteurs de l'économie, des sciences et de la vie quotidienne. Le numérique est **transverse** et vient se placer au cœur des activités humaines. Il va avoir un impact sur la plupart de nos métiers.

# Panorama du numérique en géotechnique

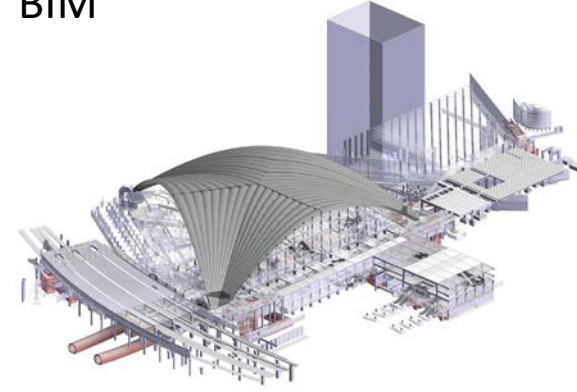
## Acquisition de données



## SIG



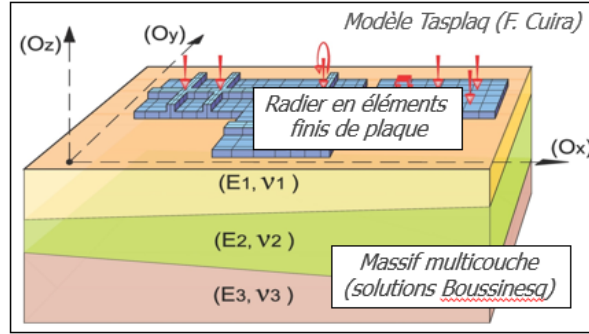
## BIM



## Big Data / IA



## Outils de conception



## Suivi ch.



## Réalité virtuelle/augmentée



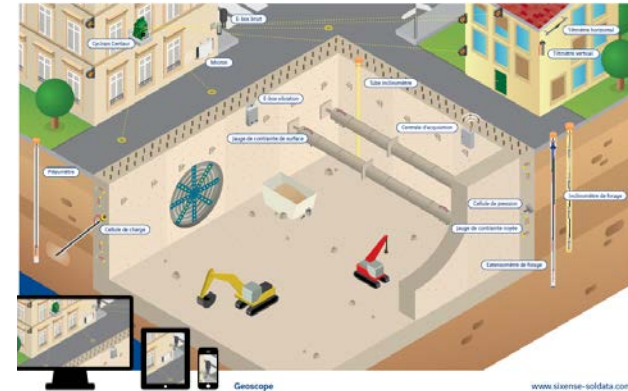
## Robots sur les chantiers



## Impression 3D



## Instrumentation



# Panorama du numérique en géotechnique



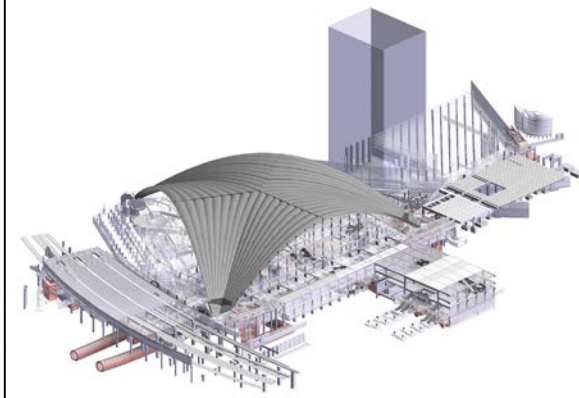
	Maturité scientifique	Dans la pratique géotech.	Perspectives en géotech.	Développements à venir en géotechnique

**Maturité scientifique** : disponibilité des outils théoriques (mathématiques, informatiques, électroniques, etc).

**Dans la pratique géotechnique** : déploiement à échelle industrielle dans le domaine géotechnique.

**Perspectives en géotechnique** : potentiel de nouveaux développements, ou de déploiement à grande échelle de solutions existantes / intérêt de ces développements pour le domaine géotechnique / acteurs concernés.

# Panorama du numérique en géotechnique



	Maturité scientifique	Dans la pratique géotech.	Perspectives en géotech.	Développements à venir en géotechnique
Acquisition / traitement numérique de données	+++	+(+)	↗	Interférométrie radar, photogrammétrie, techniques Lidar, scans 3D, utilisation des drones, imagerie, machines connectées, traitement automatisé des données...
SIG (Systèmes d'Information Géographiques)	+++	+(+)	↗↗	Interfaces avec les autres outils (acquisition des données, BIM, logiciels de conception...)
BIM (Building Information Modelling)	++	(+)	↗	Intégration de la géotechnique dans les BIM Bâtiment et Infras, en prenant en compte les incertitudes sur les données géotechniques

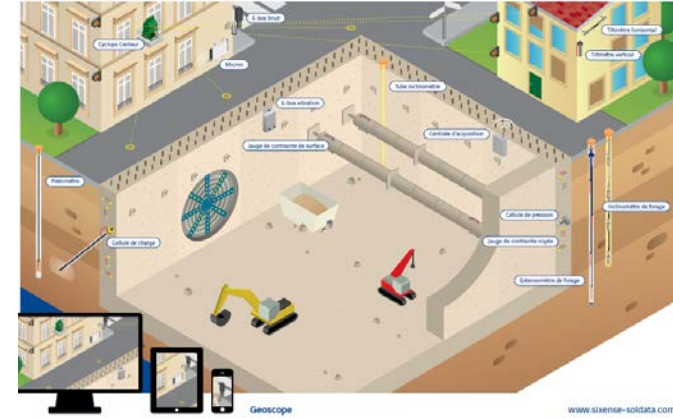
# Panorama du numérique en géotechnique



	Maturité scientifique	Dans la pratique géotech.	Perspect. en géotech.	Développements à venir en géotechnique
Big Data / IA / ML	+++	(+)	↗↗	Cf diapos suivantes
Les logiciels de calcul/conception	+++	++	↗↗	Interfaces avec les autres outils : acquisition données, SIG, BIM, Big Data/ML, recalage/mesures/REX Optimisation globale struct./géotech. Modèles de calcul hybrides Conception paramétrique
Outils de suivi de chantier	++	++	↗	Suivi sur tablettes/smartphones, automatisation de tâches, partage d'information en temps réel, surveillance/sécurité des chantiers
Réalité augmentée, virtuelle	++	+	↗	Simulateurs pour la formation des opérateurs (machines de sondages, machines travaux, tunneliers...)



# Panorama du numérique en géotechnique

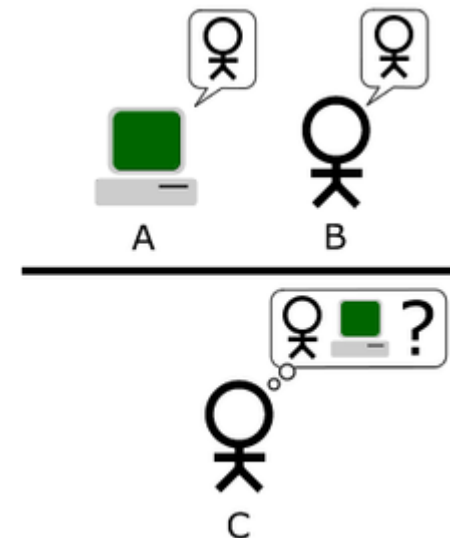
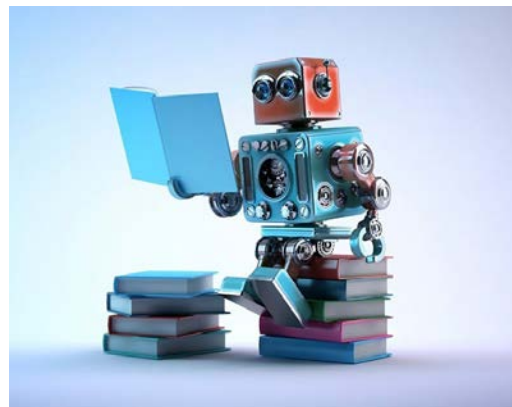
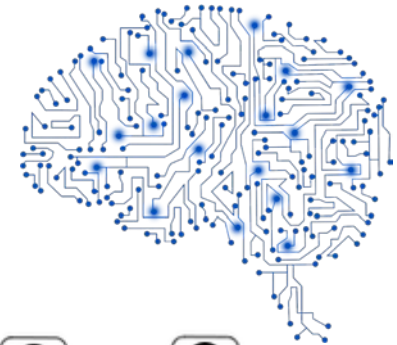


	Maturité scientifique	Dans la pratique géotech.	Perspectives en géotech.	Développements à venir en géotechnique
Robotique	++	(+)	↗↗	Robots sur les chantiers, exosquelettes...
Impression 3D	++	-	-	Applications surtout en GC.
Instrumentation	+++	++	↗	<p>Développement des capteurs autonomes et communicants (objets connectés / IoT).                      Utilisation de la fibre optique.                      Chaîne complète : acquisition, transmission, stockage, traitement, visualisation...                      Et alertes en cas de dépassement de certains seuils de déplacements.                      Lien avec le Big Data.</p>

# L'intelligence artificielle



- Ensemble des théories et des techniques mises en œuvre en vue de réaliser des machines capables de simuler l'intelligence humaine.  
(source : Larousse).  
A la croisée de l'informatique, de l'électronique et des sciences cognitives.
- Née dans les années 1950.  
Référence à Alan Turing (test de Turing).



# L'intelligence artificielle



- **Machine Learning (ou apprentissage automatique)** : champ d'étude de l'intelligence artificielle qui se fonde sur des approches statistiques pour donner aux ordinateurs la capacité d' « apprendre » à partir de données. Conception, analyse, développement et implémentation de telles méthodes (*source : Wikipédia*).  
Applications : détection de spams, voiture autonome, reconnaissance vocale...
- **Deep learning (ou apprentissage profond)** : dérivé du machine learning, avec application des réseaux de neurones. Progrès importants et rapides dans les domaines de la reconnaissance faciale et vocale, de la vision par ordinateur, du traitement automatisé du langage...

## IA (Intelligence Artificielle)

Les machines peuvent résoudre des tâches généralement associées à l'intelligence humaine.

## ML (Machine Learning)

Déduction venant de l'expérience au lieu d'une approche basée sur la programmation exclusive.

## DL (Deep Learning)

Apprentissage automatique utilisant des couches de réseaux de neurones.

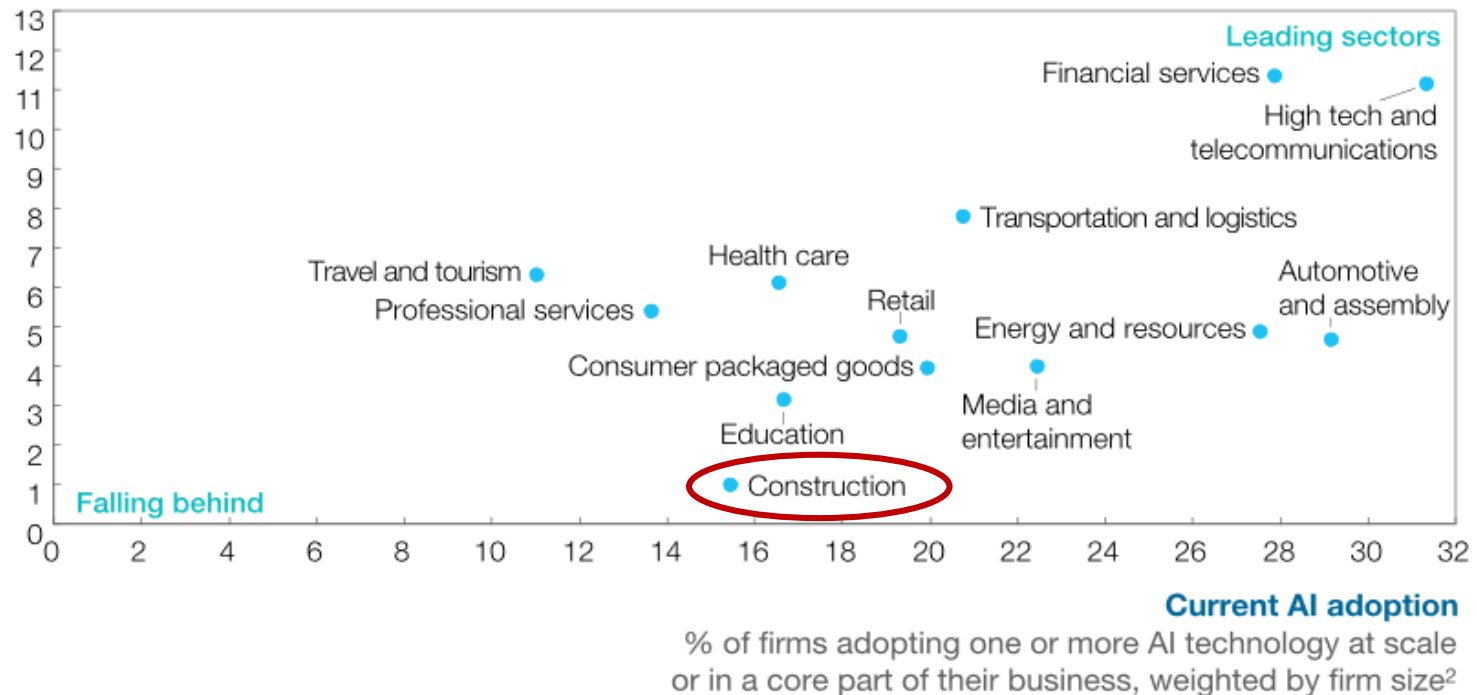
# L'IA dans la construction



L'Intelligence artificielle est encore peu utilisée dans le secteur de la construction.

## Future AI demand trajectory<sup>1</sup>

Average estimated % change in AI spending, next 3 years, weighted by firm size<sup>2</sup>



Source : McKinsey&Company, Janvier 2018

# Big Data



## Données massives ou mégadonnées

- Ensembles de données devenus si volumineux qu'ils dépassent l'intuition et les capacités humaines d'analyse et même celles des outils informatiques classiques de gestion de base de données ou de l'information (*source Wikipédia*).
- Expression apparue en 1997.
- Règle « des 3 (ou 4) V » (volume, vitesse et variété - véracité).
- Logiciels de développement : Python, R...



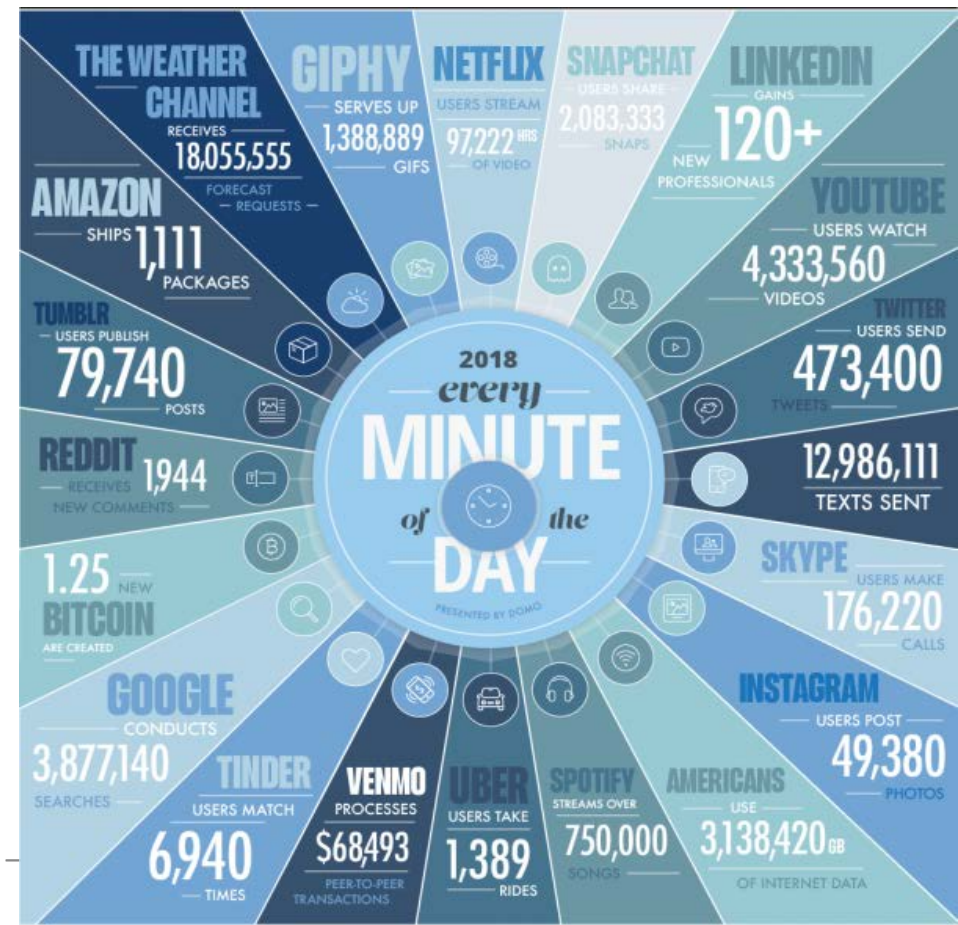
# Big Data



## Données massives ou mégadonnées

- Le volume mondial de données double tous les 3 ans.
- 90 % des données mondiales ont été créées ces 2 dernières années.
- 6 millions de développeurs dans le monde travaillent sur les thématiques Big Data / IA / Machine Learning

*(source McKinsey Global Institute, janvier 2018)*



# Big Data et Machine Learning en géotechnique



## Intelligence artificielle / Machine Learning

- Encore peu d'applications « industrielles », mais un intérêt qui se développe (recherche, publications).
- Quelques approches dans le domaine de la conception (“conception paramétrique” ou “generative design”).
- Quelques applications au pilotage de machines et en robotique.
- En lien direct avec le Big Data.

## Big Data

- Applications encore limitées, essentiellement dans le domaine de l'exploitation de mesures d'instrumentation. Notamment quelques premières applications dans le domaine des tunnels : aide au pilotage, sécurité du forage, maintenance/logistique prédictive...
- Cela correspond globalement à 2 objectifs : améliorer la sécurité du chantier et optimiser ses performances (sécurité, délais, coûts).

# Big Data et Machine Learning en géotechnique



## Données exploitables et applications possibles

Sources de données	Exploitation possible
Données de sols issues des reconnaissances	Exploitation <b>semi</b> -automatisée des résultats des sondages sur les gros projets pour aboutir à des synthèses géotechniques. Partage de données de sol à l'échelle d'une entreprise, à l'échelle nationale, voire à l'échelle internationale.
Résultats de calculs paramétriques	Exploitation de gros volumes d'études paramétriques grâce au Machine Learning pour optimiser la conception des ouvrages. « Conception paramétrique ».
Données de suivi de chantier issues des machines connectées et de l'instrumentation des chantiers	Exploitation en temps réel pour assurer la sécurité des chantiers, anticiper les difficultés, et optimiser la conception au fur et à mesure de la construction.
Données de suivi des ouvrages pendant leur exploitation	Maintenance prédictive des ouvrages.



# Big Data et Machine Learning en géotechnique



## Spécificités dans le domaine géotechnique

- Les données manipulées se rapportent à un objet physique (sol, ouvrage) => lien à conserver avec le terrain
- Gestion des **incertitudes** sur les données de sol, et de leur **variabilité**.
- Importance primordiale de l'**expérience** des géotechniciens :
  - ✓ Besoin de **faire appel au « jugement de l'ingénieur »** (une automatisation complète des processus ne pourrait se faire qu'au détriment de la sécurité et/ou de l'optimisation des ouvrages).
  - ✓ Besoin de **capitaliser** sur l'expérience accumulée pour progresser. Cela suppose notamment des développements à mener conjointement entre chercheurs / data scientists / praticiens.

# Big Data et Machine Learning en géotechnique



## Le cas particulier des données de sol issues des reconnaissances

Tout reste à faire (ou presque) en termes de stockage/partage des données de reconnaissance des sols :

- Passer d'un stockage des données par projet à un stockage global (indépendant du projet, du bureau ou de l'agence, voire de l'entreprise, ou encore du logiciel utilisé).
- Adopter une démarche centralisée de stockage des données, et donc une homogénéisation des formats de données.
- Vers la création d'une base de données à l'échelle nationale ? Et plus ?
  - ✓ Gérer la qualité des données, leur variabilité et les incertitudes.
  - ✓ Gérer la propriété des données, et les obstacles contractuels/économiques au partage des données.
  - ✓ Cette base de données ne « suffira » pas => il faut compléter par des reconnaissances spécifiques à chaque projet.

# Conclusion



Le numérique implique une **transformation profonde et incontournable de nos méthodes de travail et de nos métiers.**

Cette révolution industrielle a déjà commencé dans le BTP, et dans une moindre mesure en géotechnique.

Il nous faut à présent nous saisir du sujet à tous les niveaux (enseignement, recherche, ingénierie, entreprises), pour anticiper et maîtriser cette évolution, plutôt que la subir. Et définir ce qui doit rester du ressort de l'humain. Il s'agit de faire du numérique une **opportunité** plutôt qu'une menace.

L'objectif final reste toujours le même : **construire (ou réhabiliter) mieux, plus vite et à moindre coût.** Le numérique doit y contribuer, dans certaines limites : **à nous de les définir.** Il s'agit donc d'un **enjeu collectif**, à l'échelle nationale et internationale.

# Conclusion



- Vers une **optimisation** toujours plus poussée de la conception, de la construction et de la maintenance des ouvrages.
- Vers plus de **sécurité** sur les chantiers
- Vers des métiers à plus forte « **plus-value métier** » et vers des métiers **multi-compétences**, sous réserve d'être formés pour les appréhender.
- Des **spécificités** dans le domaine géotechnique.
- Un lien avec les problématiques liées au **changement climatique**, à prendre en compte dans les nouveaux développements pour s'assurer d'une contribution à la **réduction des émissions de CO<sub>2</sub>** :
  - ✓ Malgré un impact direct négatif en termes de consommation d'énergie
  - ✓ Un impact globalement positif grâce à l'économie générée sur certains travaux (accès/recours à des données déjà existantes), à l'optimisation des solutions mises en œuvre vis-à-vis de leur bilan carbone, et aux progrès permis en termes de maintenance/réhabilitation des ouvrages existants.



# Merci pour votre attention