



1
© SOLETANCHE BACHY

LE DIGITAL DANS LES FONDATIONS

AUTEURS : ALEXANDRE SCARWELL, RESPONSABLE INGÉNIERIE LOGICIELS ET DONNÉES, SOLETANCHE BACHY -
JEAN-FRANÇOIS MOSSER, DIRECTEUR RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT, SOLETANCHE BACHY

SOLETANCHE BACHY EST UN PIONNIER DANS L'INTRODUCTION DE L'INFORMATIQUE TECHNIQUE APPLIQUÉE AUX PROCÉDÉS DE TRAVAUX GÉOTECHNIQUES. AUJOURD'HUI, LE DIGITAL EST UTILISÉ AVEC POUR OBJECTIFS D'ACCÉLÉRER, DE VISUALISER, DE RATIONALISER, DE FIABILISER ET D'ARCHIVER LES PROCESSUS D'ÉTUDE, DE DESIGN ET DE PRODUCTION.

SOLETANCHE BACHY À LA POINTE DES TECH- NOLOGIES NUMÉRIQUES

Les moyens électroniques et en logiciels n'ayant pas cessé de croître d'année en année, la complexité des services rendus par les fonctions informatiques aux utilisateurs en bureau d'études, en R&D et sur chantier a considérablement augmenté. Ce phénomène offre ainsi toujours davantage de temps aux utilisateurs pour se concentrer sur la création d'autres tâches ou métiers à nouvelles valeurs

ajoutées. Selon ce principe, le curseur se voit donc toujours déplacé dans le sens de l'amélioration du service rendu et de la productivité pour les chantiers. Soletanche Bachy s'inscrit parfaitement dans cette démarche en pensant et en réalisant ses propres solutions digitales adaptées à ses métiers et à ses procédés. Dans la suite de l'article sont mis en avant trois types de solutions pouvant être complémentaires, soit fonctionner en écosystème et donc être complémentaires, soit fonctionner de manière indépendante selon le contexte et la taille du chantier.

1- Chantier du Vert-de-Maisons.

1- Le-Vert-de- Maisons project.

TRAVAUX D'INJECTION

Les chantiers d'injection peuvent être de nature et de taille très variables et suivent, en partie ou en totalité, le processus design, préparation, exécution, reporting. Pour assister cette séquence

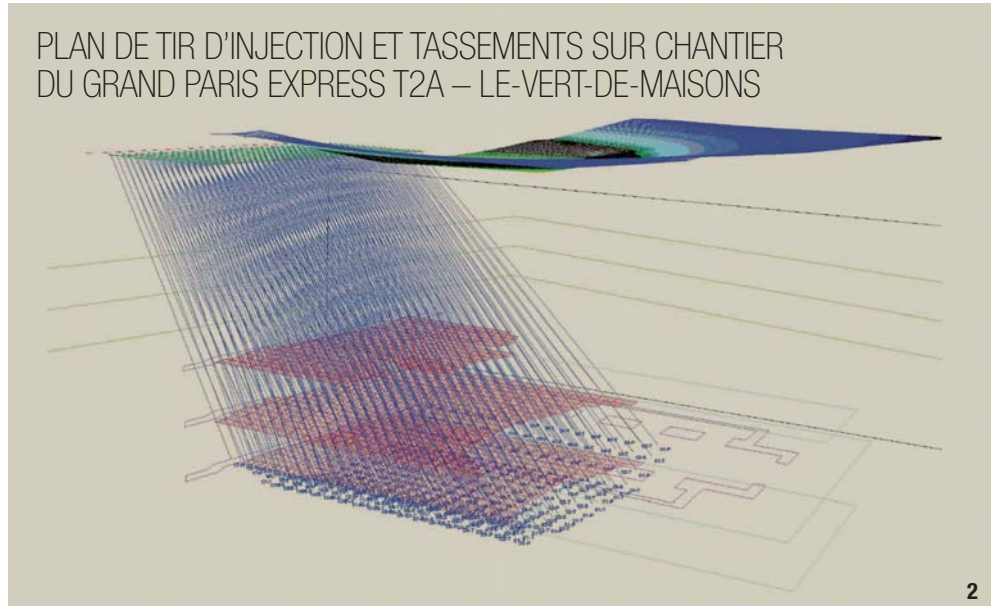
de phases, Soletanche Bachy a développé une suite logicielle nommée GrouIT permettant de couvrir chaque étape :

→ **Supplément au design** : sur la base des plans Autocad ou Revit faits en bureau d'études et qui donnent les implantations de la plateforme d'injection, des forages et les zones à injecter, les forages sont modélisés en calques additionnels 3D en respectant les instructions définies par les études (position, diamètre, inclinaison, orientation, ▷

longueur, etc.). Ceci permet de représenter des objets 3D propres au métier de l'injection dans le plan d'origine, chacun étant d'un type et ayant des propriétés, ce qui permet dans la suite de propager la terminologie et d'utiliser un langage homogène.

- **Préparation** : cette étape structure et organise un chantier d'injection en découpant, en identifiant et en caractérisant les opérations à venir tout en gardant un lien avec les objets 3D modélisés dans l'étape précédente. De ceci découlent les instructions d'injections à exécuter en fonction de la zone du chantier et du forage ; par extension cela peut être utilisé pour planifier les opérations à mener. Tout ce travail de préparation est regroupé au sein d'un Projet-Chantier GroutIT et enregistré en base de données, pour être mis à jour avec les informations *as built* de la production en quasi temps réel, et « requêttable » par les fonctions de visualisation et de reporting. Beaucoup d'informations sont enregistrées comme les compositions de matières injectées, les volumes, les débits, les numéros de forage et de manchettes, etc.
- **Exécution** : encadrées par une gestion de poste opérateur, les

PLAN DE TIR D'INJECTION ET TASSEMENTS SUR CHANTIER DU GRAND PARIS EXPRESS T2A – LE-VERT-DE-MAISONS



2
© SOLETANCHE BACHY

instructions définies dans l'étape précédente sont ensuite exécutées, les pompes étant pilotées par une partie logicielle directement basée sur l'information de préparation en amont de la chaîne. Plusieurs points d'injection peuvent être pilotés simultanément. L'opération d'injection est visuellement monitorée en temps réel par suivi et enregistrement des mesures de pression et

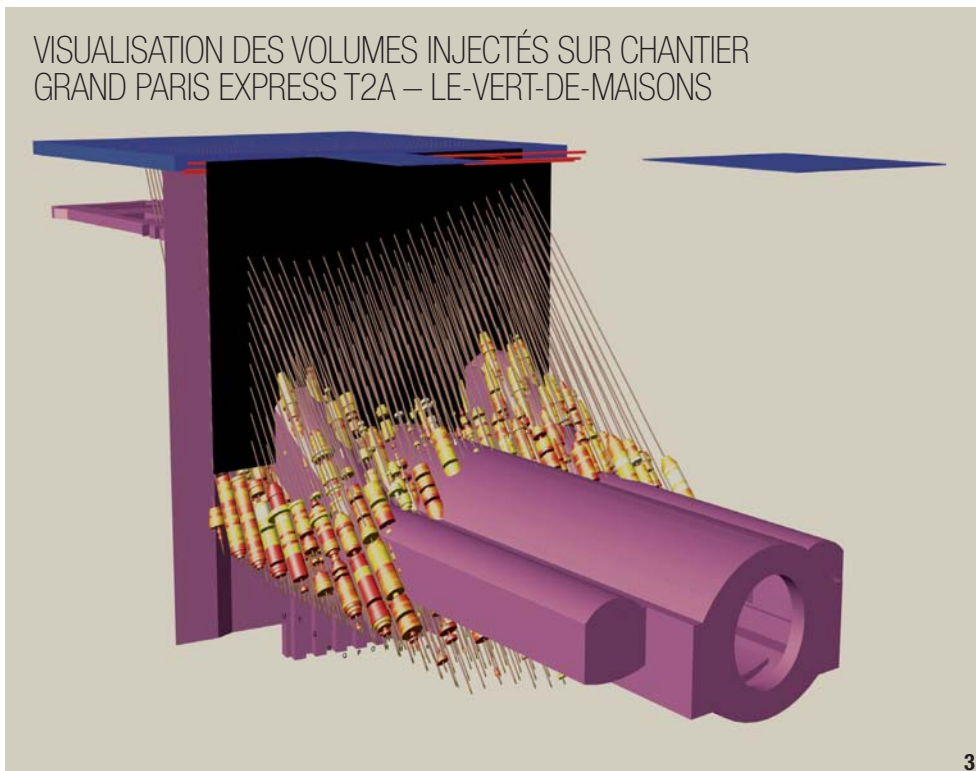
débit selon des consignes imposées, respectées par le logiciel.

- **Reporting** : des rapports d'injection sont produits sur la base des données enregistrées. Ils peuvent être synthétiques tabulaires, ou sous forme de courbes, ou 3D.

Le système peut concerner tous les types d'injection : injection de pénétration, injection de rocher, injection de compensation, méthode GIN, injection

de micropieux, pieux et barrettes. GroutIT a récemment été utilisé sur le chantier du Vert-de-Maisons du Grand Paris Express (figures 1, 2 et 3). Les derniers développements sur cette chaîne GroutIT ont été de l'adapter aux travaux d'injection aux États-Unis et pour la rénovation de barrages, puis de renouveler les fonctions assistant les travaux d'injection de compensation. GroutIT US/Dam (figure 4) :

VISUALISATION DES VOLUMES INJECTÉS SUR CHANTIER GRAND PARIS EXPRESS T2A – LE-VERT-DE-MAISONS



3
© SOLETANCHE BACHY

2- Plan de tir d'injection et tassements sur chantier du Grand Paris Express T2A – Le-Vert-de-Maisons.

3- Visualisation des volumes injectés sur chantier Grand Paris Express T2A – Le-Vert-de-Maisons.

2- Grout hole layout and subsidence on the Grand Paris Express T2A project – Le-Vert-de-Maisons.

3- Visualization of grouting volumes on the Grand Paris Express T2A project – Le-Vert-de-Maisons.



© SOLETANCHE BACHY
4a



4b

- Gestion d'informations spécifiques à l'injection aux États-Unis (unités, calcul de perte de charge, paramètres de composition des fluides injectés, tests à l'eau).
- Flexibilité de création d'instructions à la volée sans pour autant qu'elles aient été préparées en amont,

l'enregistrement des opérations se faisant néanmoins en base de données.

GroutIT Compensation :

- Facilitation et fiabilité de création des programmes d'injection par duplication de programmes ou par critères de manchettes.

4- Chantier de Boone Dam, Tennessee, États-Unis.

5- Injection sur chantier CrossRail, Londres.

6- Injection 3D CrossRail, Londres.

De plus, l'expérience utilisateur étant améliorée (intégration des fonctions plus facilement accessibles dans une nouvelle interface Homme/Machine), l'efficacité et la productivité sont accrues, en accélérant les tâches journalières qui prennent du temps.

- Amélioration de la modélisation des tunnels, des anneaux et des zones d'exclusion pouvant avoir des sections complexes. Ceci accroît la précision des calculs des volumes excavés et donc des tassements et finalement des volumes à injecter pour compenser.
- Phasage Quotidien/Planification : en fonction de la phase de compensation sont activés les anneaux en front de taille, et les zones d'exclusion.

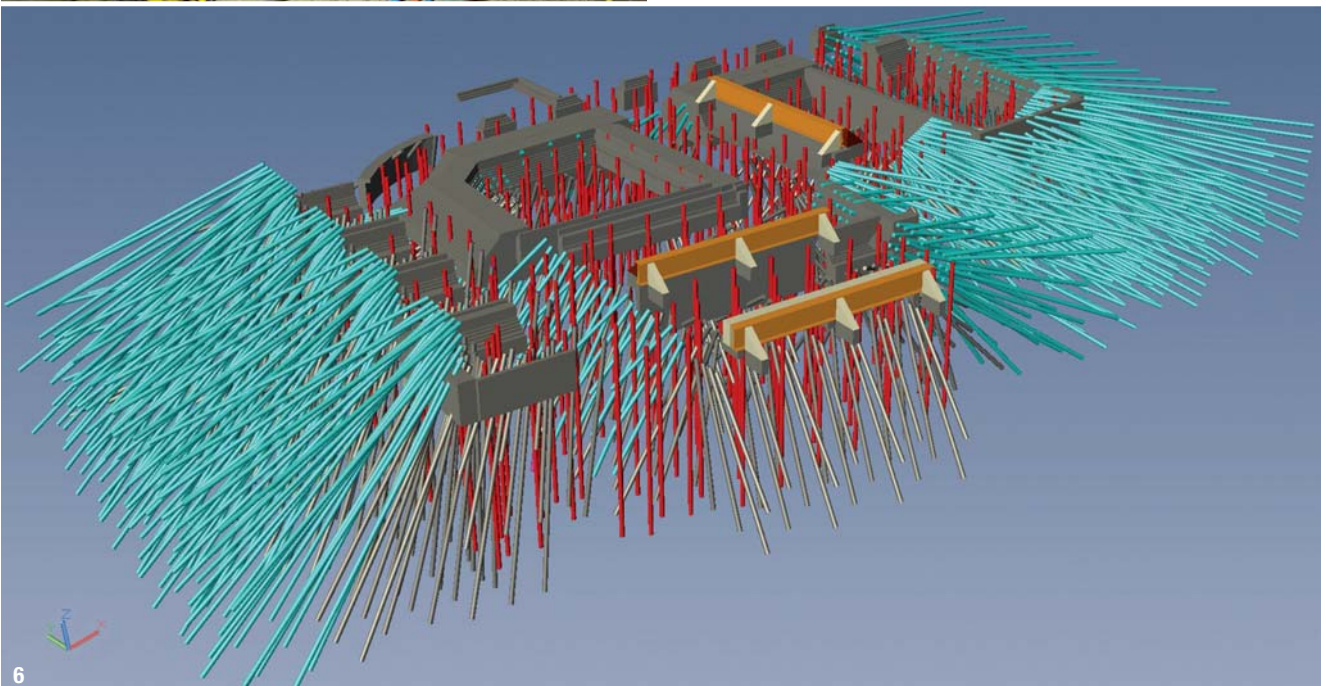


© SOLETANCHE BACHY
5

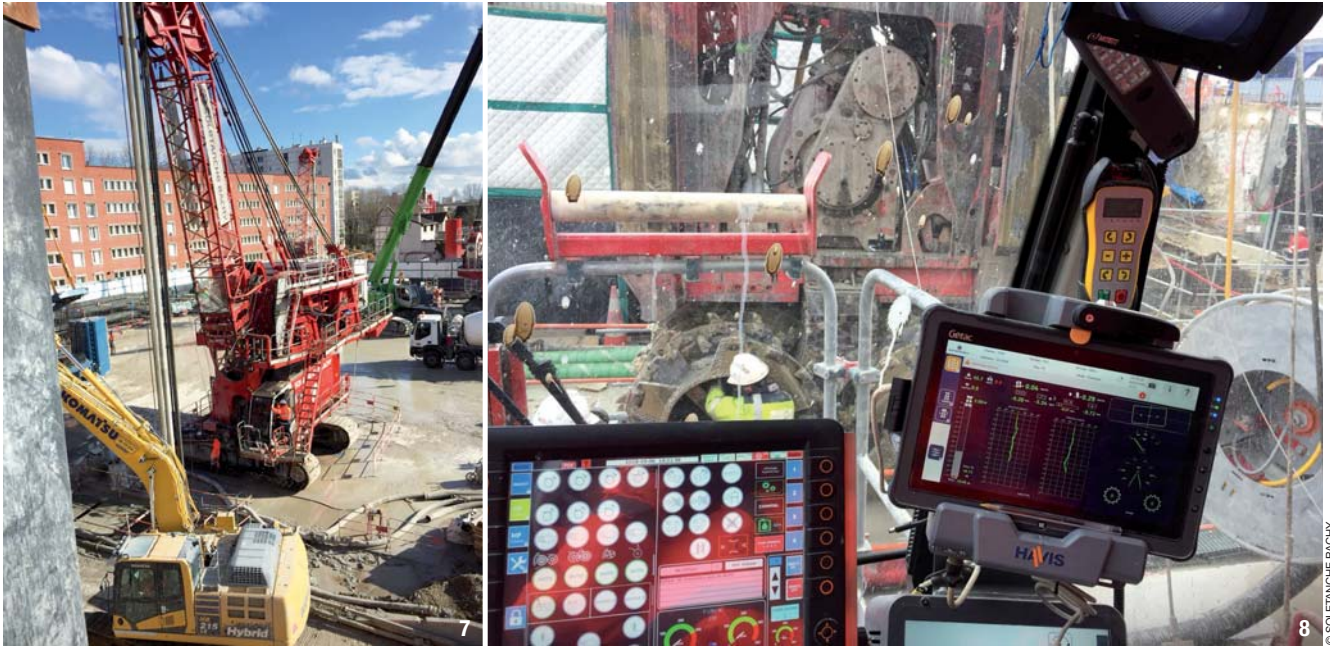
4- Boone Dam project, Tennessee, United States.

5- Jet grouting on the CrossRail project, London.

6- 3D grouting for CrossRail, London.



© SOLETANCHE BACHY
6



→ Amélioration des visualisations des cartes de tassements et des rapports en 2D/3D.
 → Visualisation *replay* en séquence de plusieurs programmes d'injection : avancement du tunnelier, progression du tunnel, évolution des tassements, zones d'exclusion actives, manchettes sélectionnées, manchettes exclues.
 GroutIT a été utilisé sur le chantier de compensation de CrossRail à Londres (figures 5 et 6).

L'ASSISTANCE AU FORAGE PAR SUPERVISION

Les supervisions Soletanche Bachy sont des logiciels embarqués dans les machines de forage telles que les Hydrofraises (figure 7), les bennes hydrauliques KS, les petites foreuses. Ils permettent de faire l'acquisition en temps réel des données capteurs et des actionneurs afin de visualiser l'évolution du forage en cours, sa profondeur, les déviations et les vrillages d'outil. L'objectif consiste à contrôler en permanence le respect des tolérances

7- Hydrofraise sur un chantier du Grand Paris Express.

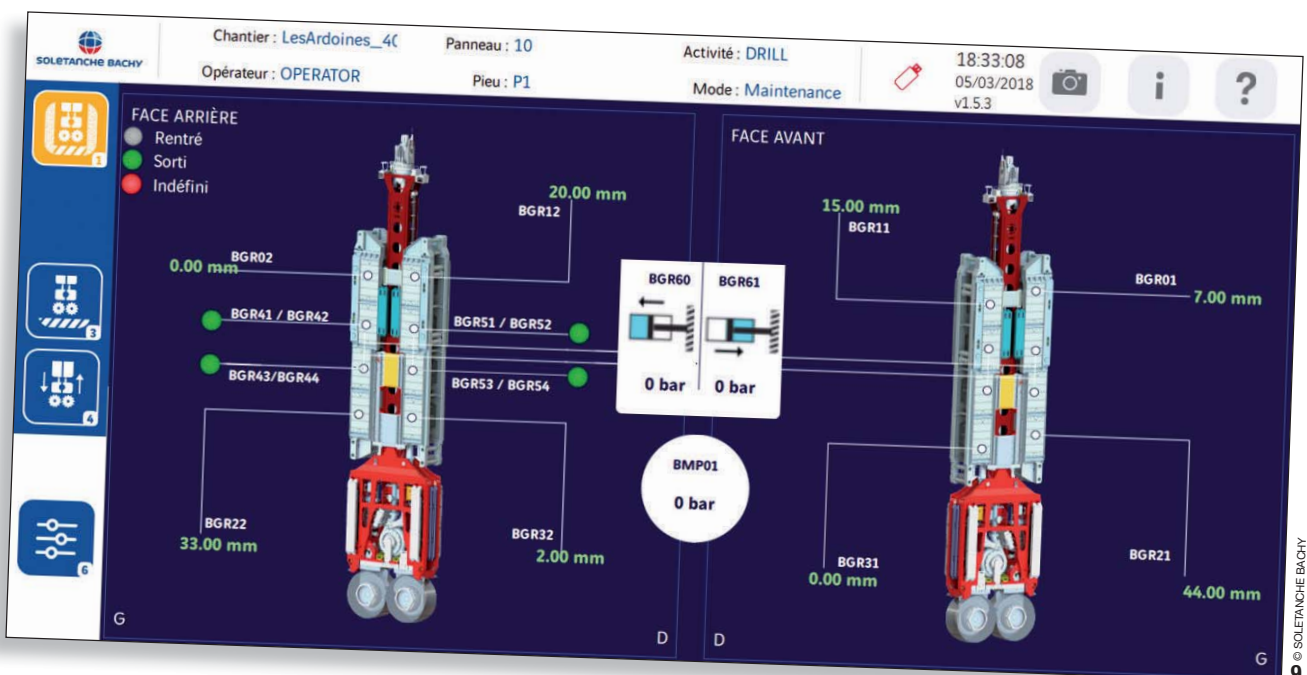
8- Supervision en cabine de machine de forage.
 9- Un des écrans de Supervision.

7- Hydrofraise on a construction site for the Grand Paris Express.

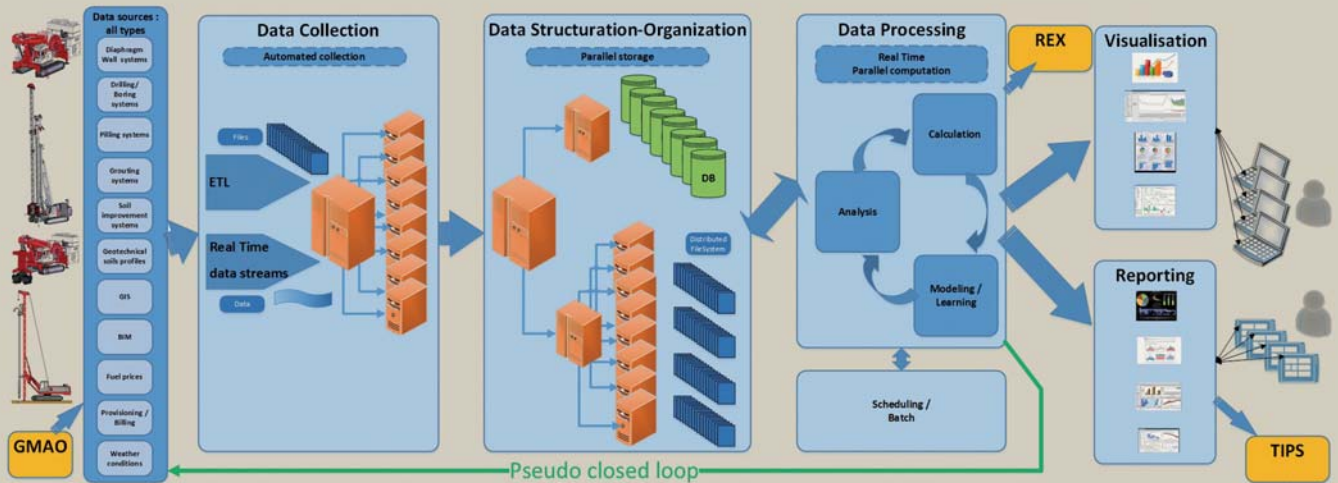
8- Supervision in a drilling machine cab.
 9- One of the supervision screens.

et, si besoin, à corriger les trajectoires (figure 8).

Tous les signaux capteurs (figure 9) sont enregistrés en fonction du temps et de la profondeur pour assurer la production de rapports de verticalité de parois et mener des analyses post-production. De surcroît, ces supervisions étant connectées depuis n'importe quel chantier dans le monde par liaison radio 4G à un DMS interne (Data Management System ou système de gestion de données en ligne), elles envoient leurs données en direct pour les sanctuariser, les partager, les consulter sur un



ARCHITECTURE SIMPLIFIÉE DU SYSTÈME BIG DATA



10

© SOLETANCHE BACHY

site web sécurisé, puis les analyser en cas de problème ou pour améliorer les procédés et la productivité.

Soletanche Bachy étend les possibilités de ces supervisions communicantes en leur ajoutant des fonctionnalités de streaming de données diffusées en continu dans un périmètre contrôlé autour de la machine en opération et visualisables en temps réel seulement par des personnes autorisées possédant l'application cliente adéquate sécurisée. Ces données broadcastées peuvent également être visualisées de l'autre bout du monde, au bureau par exemple.

10- Architecture simplifiée du système Big Data.

11- Portail de la plateforme Big Data.

10- Simplified architecture of the big data system.

11- Portal of the big data platform.

BIG DATA OU LES DONNÉES EN MASSE

Les métiers, techniques et procédés de fondations spéciales, produisent des masses considérables de données hétérogènes, qui constituent une mine colossale d'informations brutes.

Soletanche Bachy a choisi de valoriser et de rendre utile dans son travail au quotidien cette masse de données.

Ceci projette les fondations spéciales dans le monde des cinq « V » du Big Data : Volume de données, Vitesse des traitements, Variété des sources

et des formats de données, Véracité de l'information transportée par la donnée, Valeur ajoutée à créer avec cette donnée.

Le Big Data est une nouvelle grande étape marquante dans l'évolution de l'informatique, qui rend possibles, souvent de façon exploratoire, la centralisation et l'analyse de très grands volumes de données sur des délais courts.

L'architecture informatique que Soletanche Bachy a mise en place est représentée de manière simplifiée sur la figure 10.

En amont de la chaîne figurent quelques exemples de sources de données injectées dans des flux les acheminant jusqu'au système, le principe étant de ne jamais limiter l'entrée de toute nouvelle source.

Les applications et traitements opérés par cette plateforme Big Data sont pensés pour s'adresser à tous les profils utilisateurs du groupe avec leurs besoins tous différents, et avec des rôles différents. Bien entendu, les services offerts par ces applications sont accessibles n'importe où, n'importe quand, quel que soit le fuseau horaire (figure 11).

Les données récoltées sont aussi bien celles issues des travaux et procédés géotechniques que celles provenant des machines ou équipements, ce qui élargit d'autant plus le public concerné. Pour illustrer la description de cette activité sont mis en relief dans la suite de l'article deux cas d'utilisation apportant des valeurs ajoutées distinctes pour les profils utilisateurs différents. ►



11 © SOLETANCHE BACHY



12

© SOLETANCHE BACHY

HONG KONG 3205

Le premier terrain d'application a été le chantier d'extension de l'aéroport international de Hong Kong pour la construction d'une piste d'atterrissage supplémentaire sur la mer. L'ampleur du chantier, représentant plus de soixante mille panneaux à produire en soil mixing, fait intervenir seize machines en deux postes par jour. Plus d'une centaine de panneaux sont produits chaque jour. Le système de données mis en place débute au niveau de chaque machine de forage embarquée sur une barge en mer (figure 12) ; en

effet, une supervision équipe chacune d'elles pour monitorer en temps réel le forage en cours, enregistrer puis envoyer par liaison sans fil ces données vers des serveurs informatiques de traitement, localisés sur la terre ferme. Dès qu'un panneau est foré et cimenté en mer, un jeu de données est immédiatement transmis automatiquement, et le système Big Data centralisé le contrôle entièrement pour le considérer comme conforme ou hors tolérances, avant de générer un rapport de contrôle, puis un rapport de production complexe ; ceci en moins de trois

12- Machine de geomix sur barge, Hong Kong 3205.

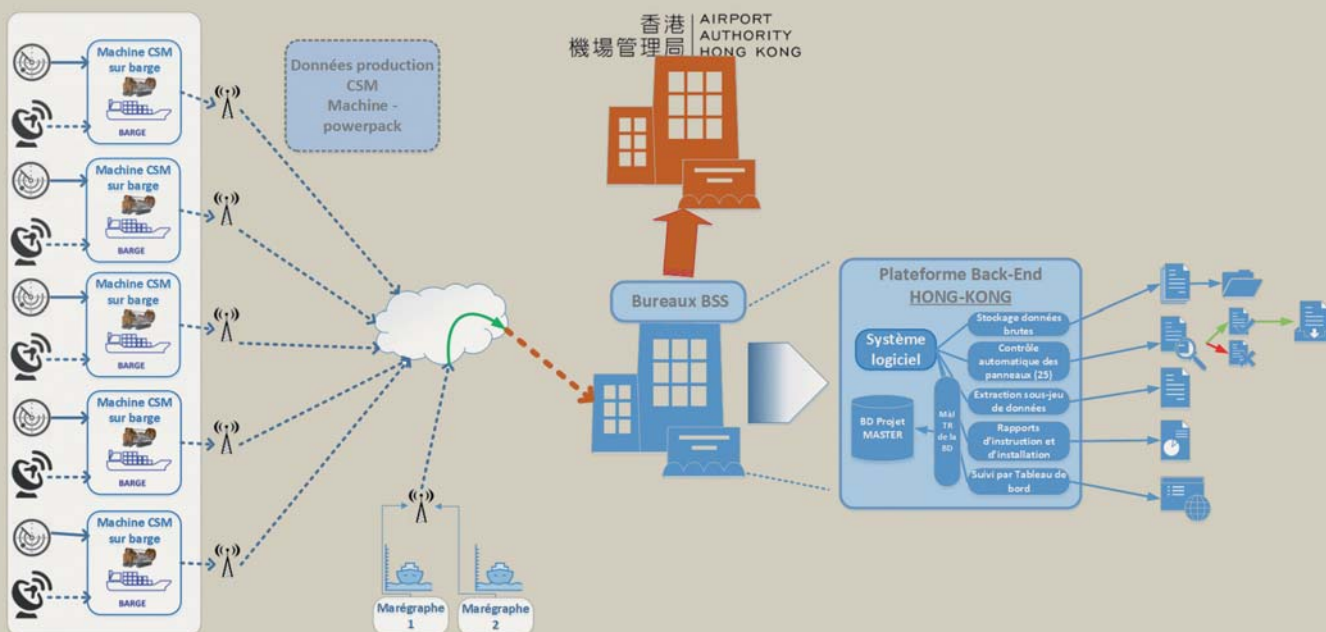
13- Vue simplifiée du système de données Hong Kong 3205.

12- Geomix machine on barge, Hong Kong 3205.

13- Simplified view of the data system, Hong Kong 3205.

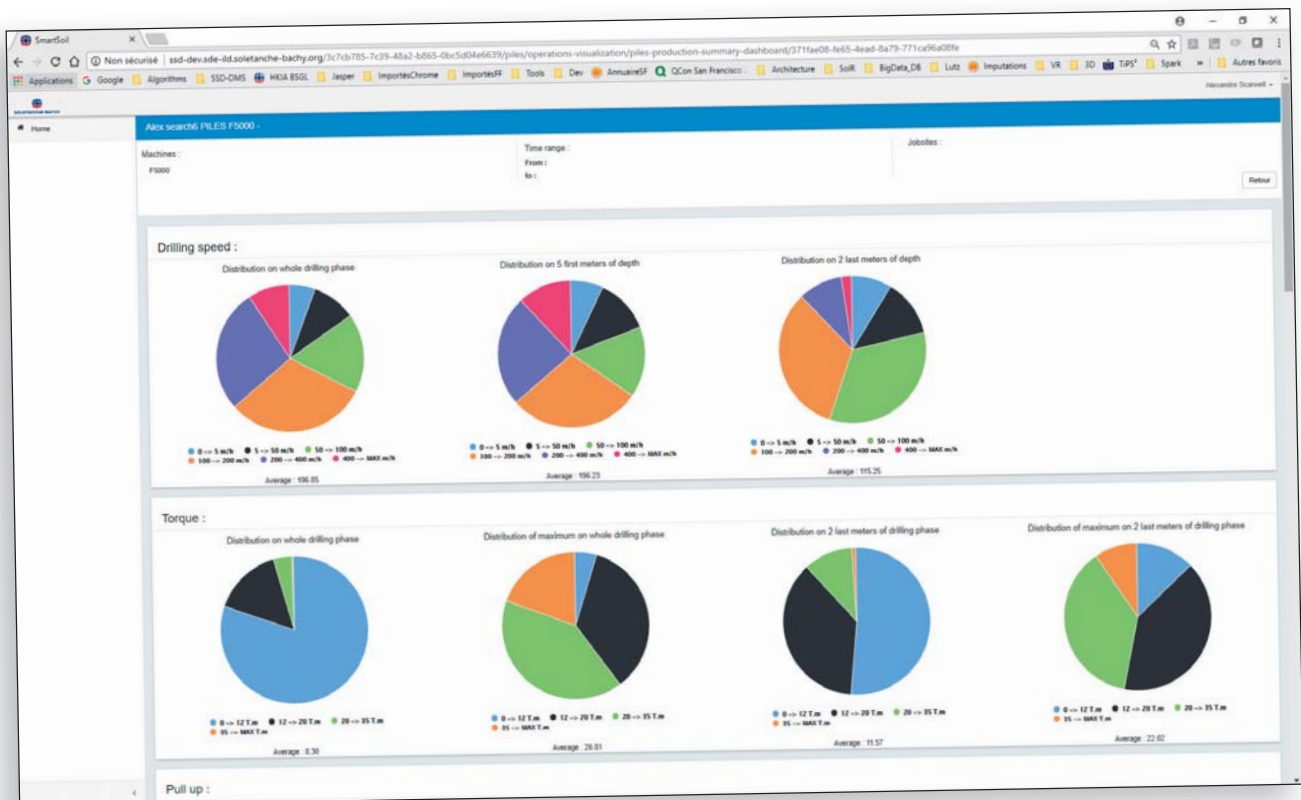
minutes ! Au cours de ce processus, un enregistrement des valeurs *as built* finales est stocké en base de données, puis un tableau de bord web en ligne de suivi de la progression du chantier est automatiquement mis à jour. Les indicateurs et statuts relatifs à la production de tout nouveau panneau sont en fin de compte rafraîchis automatiquement quelques instants après la fin de la cimentation (figure 13). Les données brutes et le rapport de production en format pdf de chaque panneau sont envoyés à l'Autorité aéroportuaire de Hong Kong par l'équipe

VUE SIMPLIFIÉE DU SYSTÈME DE DONNÉES HONG KONG 3205



13

© SOLETANCHE BACHY



14 © SOLETANCHE BACHY

chantier par e-mail dans les 24 heures suivant l'achèvement du panneau. Ce système de données actuellement opérationnel sur chantier procure un gain de temps considérable pour produire des documents exigés par le client, ce qui ne serait même pas humainement faisable si on considère le volume total de données produites par jour. De plus, il contribue au chantier zéro-papier.

CAS D'UTILISATION SUR DES PIEUX

Pour les activités de forage de pieux, les données de production de pieux

ont été intégrées au système Big Data. Après récolte et ingestion des jeux de données d'environ 13000 pieux s'étalant sur deux ans, des analyses globales, puis par machine, ont été réalisées sur les répartitions des vitesses d'avance, des couples, des *pull up*, des *pull down*, des surconsommations de béton mesurées, des pressions de bétonnage, des débits de béton (figure 14).

Les phases de forage et de bétonnage ont été bien distinguées, ainsi que les intervalles de profondeurs (cinq premiers mètres, deux derniers mètres, ...) pour avoir davantage de finesse dans l'analyse. L'agrégation de données de milliers de pieux correspon-

14- Application d'analyse de données de pieux.

14- Pile data analysis application.

dant à l'activité de filiales sur plusieurs années donne la possibilité d'étudier les conditions d'utilisation du matériel et de mieux orienter les choix techniques d'achat de machines, par exemple.

La maintenance prédictive sera également bénéficiaire de cet outil.

CONCLUSION

La plateforme Big Data de Soletanche Bachy est pensée extensible : d'autres procédés et de nouvelles applications complémentaires orientées vers d'autres profils utilisateur et présentant d'autres intérêts rejoindront cet écosystème digital très cohérent qui intégrera ensuite de l'intelligence artificielle. Et ce, toujours avec les mêmes objectifs de fluidifier certaines tâches du quotidien, d'analyser et de faire parler les données, puis d'optimiser les techniques et procédés. □

ABSTRACT

DIGITAL TECHNOLOGY IN FOUNDATION WORK

A. SCARWELL, SOLETANCHE BACHY - J.-F. MOSSER, SOLETANCHE BACHY

Soletanche Bachy is a pioneer in the introduction of technical information systems in geotechnical work processes. Today, digital technology is used in order to speed up, visualise, rationalise, consolidate and archive engineering, design and production processes. Three types of solutions are described, which can either function in an ecosystem and therefore be complementary, or function independently according to the context and size of the project: jet grouting work and the GrouIT software suite, drilling assistance by supervision and big data with the example of the Hong Kong Airport extension project. □

TECNOLOGÍA DIGITAL EN LOS CIMENTOS

A. SCARWELL, SOLETANCHE BACHY - J.-F. MOSSER, SOLETANCHE BACHY

Soletanche Bachy es pionero en la introducción de la informática técnica en los procedimientos de las obras geotécnicas. Actualmente, la tecnología digital se utiliza para acelerar, visualizar, racionalizar, fiabilizar y archivar los procesos de estudio, diseño y producción. Se presentan tres tipos de soluciones, que pueden funcionar en ecosistema, y por tanto ser complementarias, u operar de forma independiente en función del contexto y el tamaño de la obra: las trabajos de inyección y el paquete de software GrouIT, la asistencia a la perforación por supervisión y el Big Data, con el ejemplo de la obra de ampliación del aeropuerto de Hong Kong. □