



Modélisation des INformations INteropérables
pour les INfrastructures Durables

IfcTunnel

Spécifications pour extension des IFC4.3

Auteurs / Organismes

Michel RIVES (Vianova)
Gilles CHAPRON (SETEC)
Olivier CITE (Andra)
Vincent COUSIN (Processus & Innovation)
Gabriel DE SEZE (RATP)

Nataliya DIAS (Andra)
Lucie MOURGUES (RATP)
Florent ROBERT (CETU)
Bertrand THIDET (Dodin CB)
Antoine VILLEDIEU (Eiffage)

Relecteur / Organisme

Vincent COUSIN (Processus & Innovation)
Eric TOURNEZ (Bouygues Travaux Publics)

Thème de rattachement : Structuration des données

MINnDs2_GTI.4_ifc-tunnel_specification_extension_ifc4.3_046_2022
LC/21/MINNDS2/031-031B-054-054B-056-057-057B-058-059-060 & LC/22/MIINNS2/22/146
Avril 2022

Site internet : www.minnd.fr

Président : François ROBIDA Chefs de Projet : Pierre BENNING / Vincent KELLER
Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

SOMMAIRE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1. | RÉSUMÉ/ABSTRACT | 3 |
| 2. | INTRODUCTION | 5 |
| 2.1 | Objectifs du GT I-4 | 5 |
| 2.2 | Organisation de projet | 5 |
| 3. | LIVRABLES | 6 |
| 3.1 | Organisation des livrables | 6 |
| 3.2 | Assurance qualité | 6 |
| 3.3 | Droits & diffusion | 7 |
| 4. | LIVRABLE 1 - WP2 TRADUCTION DES IDM & DD PRODUITS EN SAISON I | 8 |
| 4.1 | Contexte | 8 |
| 4.2 | Traductions réalisées | 8 |
| 4.3 | Livrables | 8 |
| 5. | LIVRABLE 2 - WP3 - RETOURS DES EXPERTS RATP/SNCF & FIB | 9 |
| 5.1 | Contexte | 9 |
| 5.2 | Objet des « Retours des experts RATP/SNCF & FIB » | 9 |
| 5.3 | Organisation des livrables | 9 |
| 5.4 | Principales conclusions et perspectives | 10 |
| 6. | LIVRABLE 3 WP4 OUVRAGES ANNEXES | 11 |
| 6.1 | Vue d'ensemble | 11 |
| 6.2 | Tranchées couvertes | 11 |
| 6.3 | Puits | 11 |
| 7. | LIVRABLE 4 - WP 5 - MÉTHODES CONSTRUCTIVES | 13 |
| 7.1 | Expression des besoins | 13 |
| 7.2 | Prise en compte des cycles d'exécution et de maintenance | 13 |
| 7.3 | Implémentation des modèles pour améliorer la prévention | 13 |
| 7.4 | Rallongement des servitudes | 13 |
| 8. | LIVRABLE 5 – WP 6 INTERFACE SOLS-STRUCTURES (GÉOTECHNIQUE) | 15 |
| 8.1 | Interactions sols structures | 15 |
| 8.2 | Coordination des commentaires sur l'analyse des besoins par bSI | 17 |
| 9. | LIVRABLE 6 - WP7 SURVEILLANCE/ MAINTENANCE/SUPERVISION | 19 |
| 9.1 | Contexte | 19 |
| 9.2 | Spécificités du MCO des tunnels | 19 |
| 10. | LIVRABLE 7 - WP9 GT45 COORDINATION AVEC LE GT45 DE L'AFTES | 21 |
| 10.1 | Les principaux acteurs des travaux souterrains | 21 |
| 10.2 | Le GT 45 de l'AFTES | 22 |
| 10.3 | La coordination internationale | 23 |
| 11. | LIVRABLE 8 - WP10 COORDINATION AVEC bSI IFC TUNNEL | 24 |
| 11.1 | Montage du projet bSI IFC for Tunneling | 24 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 11.2 | Objectifs du projet bSI IFC Tunneling | 26 |
| 11.3 | Planning général & livrables | 27 |
| 11.4 | Diffusion, déploiement, normalisation ISO | 28 |
| 12. | LIVRABLE 9- WPI I COORDINATION AVEC LES AUTRES GT | 30 |
| 12.1 | Coordination sur des sujets partagés | 30 |
| 12.2 | Coordination sur des sujets en interface | 30 |
| 13. | CONCLUSIONS | 32 |
| 13.1 | Bilan 32 | |
| 13.2 | Perspectives 2022 et au-delà..... | 33 |
| 14. | ANNEXES..... | 35 |
| 14.1 | Annexe WP2 – WP2 TRADUCTION DES IDM & DD PRODUITS EN SAISON I | 35 |
| 14.2 | Annexe WP3 – REX RATP, SNCF & FIB | 35 |
| 14.3 | Annexe WP4 – Ouvrages annexes | 35 |
| 14.4 | Annexe WP5 – Méthodes constructives | 35 |
| 14.5 | Annexe WP6 – Interface sol-structure | 35 |
| 14.6 | Annexe WP9 – Coordination avec AFTES/ITA | 35 |
| 14.7 | Annexe WPI0 – Coordination avec bSI Ifc Tunnelling..... | 35 |

Mots clés principaux (Fra)

MINnD ; Recherche ; Construction ; Infrastructures ; BIM ; Maquette numérique ;

Mots clés spécifiques au livrable (Fra)

IFC ; Tunnel ; Méthodes ; Production ; Installation ; Chantier ; Cas d’usage ; Micro-Tunneling.

Main key words (Eng)

MINnD; Research; Construction; Infrastructure; BIM; Digital model;

Deliverable key words (Eng)

IFC; Tunnel; Methods; Production; Installation; Site; Use case, Micro-tunnelling;

I. RÉSUMÉ/ABSTRACT

Résumé

Le groupe de travail GT1.4 IFC-Tunnel du projet national MINnD traite des sujets liés aux ouvrages souterrains. Il rassemble l'expertise nécessaire afin de pouvoir aborder les différents domaines qui composent une infrastructure souterraine :

- Ses éléments constitutifs du génie civil y/c les méthodes de réalisation ;
- Les systèmes électromécaniques qui permettent son exploitation.

Cette connaissance approfondie a été réalisée en faisant appel à :

- Des experts issus des rangs de maîtres d'ouvrage, d'ingénieries, de consultants et d'entrepreneurs de travaux souterrains ;
- Des experts des IFC ayant une solide expérience des projets d'infrastructures souterraines, en France comme à l'international.

Les objectifs du groupe de travail du GC sont, dans la continuité du travail conduit durant la saison 1 :

- de fournir des spécifications à l'organisation indépendante building SMART International (bSI) ;
- de poursuivre l'expérience collaborative de saison 1 de modélisation des travaux souterrains appropriée au contexte français et partageable au sein de la communauté française du génie civil souterrain.

Un premier travail a consisté en la traduction des IDM et DD produits en saison 1. Ce travail a été fait et livré à bSI qui l'a largement utilisé pour ses propres travaux.

Un deuxième travail a été de collationner les retours d'expériences des experts de la RATP et de la SNCF en commentaires des productions de la saison 1. Ces retours ont été intégrés au fur et à mesure.

Les ouvrages annexes (y inclus les puits) et les méthodes constructives (en particulier les servitudes et les opérations de prévention – sécurité des biens et des personnes – très particuliers aux travaux souterrains) ont fait l'objet de travaux spécifiques dont les résultats sont plus amplement détaillés dans des annexes spécifiques.

Du fait de l'importance des problématiques géotechniques dans la sécurisation des travaux souterrains, un groupe de travail spécifique a identifié toutes les occasions de simulation et de calculs indispensables et s'est assuré de la bonne compréhension mutuelle des groupes GT1.4 Génie Civil et 1.5 Géotechnique.

Trois autres groupes de travail se sont assurés de la bonne coordination des travaux avec les groupes correspondants de l'AFTES, de bSI et des autres groupes de MINnD sur les IFC.

Abstract

The working group GT-1.4 IFC-Tunnel of the national project MINnD covers all tasks related to modelling underground infrastructures. It gathers all expertise necessary to treat and consider all domains solicited when designing and constructing an underground infrastructure:

- All civil works components and sub-systems including construction methods;
- All electrical and mechanical systems enabling the operation of the infrastructure.

This in-depth knowledge was made possible through mobilizing:

- Experts coming out of Employers, Engineers, and Contractors in underground works;
- IFC experts with a sound experience in underground infrastructures in France and internationally.

Pursuing the objectives of the first season of MINnD project these objectives remain:

- Provide operational requirements to the independent normalization organization buildingSMART International (bSI);
- Strengthen the collaboration among French experts on the subject of tunnels and underground works modelling and widen the dissemination and knowledge sharing within the same community.

A first task consisted into the translation in English of IDM and DD published during the Season 1. This work got transferred to bSI to speed up the inception of the bSI-for-Tunnelling project.

A second task was to collect all return of experience from RATP and SNCF experts commenting all of season's 1 works. These comments were integrated progressively in all works to the extent necessary.

Particular works and ancillaries (including inclined and vertical shafts) and construction methods (with a special focus on construction services and safety requirements of goods and personnel so important in underground works) have been the subject of detailed works which are explained in more details in one of the annexes.

Given the high importance of geotechnical considerations in securing underground works, stabilization of the excavation front and minimization of damages to neighbouring structures, a sub-group was dedicated to the coordination of the works with MINnD GT 1.5 on geotechnics and identified all requirements for assessing geotechnical interactions through simulation and interpretation.

Three other sub-groups dedicated their efforts to ensure a good coordination with other working groups organised in other scientific and technical organization such as AFTES and bSI as well as with the other groups on IFC definitions within MINnD.

2. INTRODUCTION

2.1 Objectifs du GT 1-4

Objectifs principaux

Positionné dans le cadre de la Saison 2 de MINnD, le groupe de travail GT-1.4 est la continuation du groupe de travail de la Saison 1 constitué à l'initiative de l'ANDRA (tout comme le GT1-5), financeur de ces travaux.

Cette continuité permet de compléter le travail réalisé en Saison 1 et de définir des spécifications supplémentaires qui vont alimenter les travaux de pré-normalisation (IFC) en cours de production par le projet bSI Ifc-for-Tunnelling conduit au niveau international et à leur soumission au processus (ISO) de publication de normes internationales (16379) nécessaires aux travaux souterrains.

2.2 Organisation de projet

Gouvernance

Le projet est co-piloté par Nataliya Dias, ingénieur expert travaux souterrains à l'ANDRA et Michel Rives consultant BIM pour projets d'infrastructures chez VIANOVA France.

Somme des expertises

Les expertises rassemblées au sein du projet sont de haute technicité et opérationnelles, et de profils complémentaires :

- Organisme prescripteur de référence : CETU (au sein de la DGTIM)
- Ingénieristes systèmes et génie civil : ANDRA, RATP
- Géotechniciens : SETEC
- Entreprises spécialisées : Dodin Campenon Bernard, Eiffage

Consultants en BIM et ingénierie systèmes et génie civil : Via Nova, Processus & Innovation.

Planning général

Juin 2019

Le projet a été lancé en juin 2019 avec un 1^{er} livrable à très court terme (T0+3mois) portant sur la traduction en anglais des éléments produits en Saison 1 de façon à alimenter au plus tôt le projet international Ifc-for-Tunnelling démarré à cette même période par bSI.

L'activité initiale a consisté à structurer les sujets retenus par l'équipe à traiter en work packages (WP), 12 en 1^{ère} approche, et d'évaluer les ressources disponibles et les charges à prévoir pour les traiter.

Le travail de recherche/investigation a pu être lancé rapidement avec la désignation pour chaque WP d'un pilote assisté d'un co-pilote, dont la mission a été de finaliser la définition de ses objectifs et de commencer de planifier sa production.

Décembre 2020

Des livrables intermédiaires, sur l'ensemble des WP, ont été produits en décembre 2020 qui visaient principalement à définir la structure des livrables finaux, et à documenter les travaux d'investigations qui avaient été déjà menés.

Sur la période de juin 2019 à décembre 2020, 20 réunions de projet ont été tenues.

Décembre 2021

L'année 2021 a quant à elle eu pour focus de recentrer la production sur 9 des 12 WP initiaux pour amener à des livrables plus directement en ligne avec les travaux de bSI Ifc-Tunnel et donc en se positionnant relativement au scope affiné de ce projet international.

Le dernier trimestre 2021 a été l'occasion de finaliser la rédaction du livrable final, avec le parti-pris d'une forme plutôt littérale facilement parcourable, complété d'une série d'annexes techniques très détaillées

Au total, une trentaine de réunions ont été tenues pendant la durée du projet.

3. LIVRABLES

3.1 Organisation des livrables

| | |
|---|---|
| Production en Work Packages (WP) | Le travail du groupe GT1.4 a organisé la définition et la production des livrables en 9 sous-groupes de travail (Work Packages), à savoir. |
| Livrable 012-WP2 | WP2 - Traduction des IDM & DD MINnD Saison 1 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp2_taxonomies_012_2021_eng.zip |
| Livrable 013 - WP3 | WP3 - Intégrer les retours des experts FIB, RATP & SNCF-R MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp3_rex_ratp_fib_013_2021.xlsx |
| Livrable 014 – WP4 | WP4 – Ouvrages annexes (Tranchées couvertes et Puits) MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp4_puits_trc_014_2021.xlsx |
| Livrable 015 - WP5 | WP5 - Méthodes constructives (tunnelier & traditionnel) MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp5_methodes_constructives_015_2021.pdf |
| Livrable 016 - WP6 | WP6 - Interface Géotechnique<->Génie civil (interface sols-structures) MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp6_geotech_016_2021.pdf |
| Livrable WP7 | WP7 - Maintenance/Surveillance/Supervision |
| Livrable WP8 | WP8 - Spécifications techniques MCD-IFC & MVD |
| Livrable 017 - WP9 | WP9 - Coordination avec le GT45 de l'AFTES MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp9_commentaires_aftes_gt45_017_2021_eng.xls |
| Livrable WP10 | WP10 - Coordination avec le projet bSI IfcTunneling MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp10_coordination_bSI_ifc-tunneling_047_2021_eng.xls |
| Livrable WP11 | WP11 - Coordination avec les GT Ifc MINnD & autres groupes |
| Synthèses & annexes | Les principaux éléments de ces livrables ont été repris dans ce document avec un chapitre de synthèse pour chaque WP rappelant son périmètre et ses objectifs, et une annexe pour chacun reprenant les résultats exhaustifs des travaux eux-mêmes (compilant plusieurs fichiers .xls, .doc, graphes, etc.). |

3.2 Assurance qualité

| | |
|--------------------------|---|
| Relecture interne | <p>Un premier travail de relecture a été conduit au sein du groupe de travail pour en assurer, sur le fond, l'harmonisation sémantique et méthodologique, et sur la forme, le respect de la charte applicable aux livrables du projet national MINnD.</p> <p>Cette action a été menée par Vincent Cousin (P&I).</p> |
| Relecture externe | <p>Le second travail de relecture a consisté à évaluer le travail fourni selon un point de vue extérieur, par une personne reconnue pour son expertise du sujet, mais qui n'ait pas participé à la production directement.</p> <p>Cette action a été menée par Eric Tournez (Bouygues TP).</p> |

3.3 Droits & diffusion

| | |
|---------------------------------|--|
| Propriété intellectuelle | <p>La propriété intellectuelle du travail présenté ici est celle définie par la charte du projet national MINnD. En substance, elle consiste à ce que le savoir-faire des contributeurs existant préalable au travail de recherche en commun leur reste propre, mais que celui résultant de ce travail en commun est par essence partagé et ne peut pas faire l'objet de droits de propriété intellectuelle.</p> |
| Modalités de diffusion | <p>Subsidiairement, le projet national MINnD s'inscrit dans la politique générale de diffusion des résultats des travaux des projets de recherche encadrés par l'IREX.</p> |

4. LIVRABLE I - WP2 TRADUCTION DES IDM & DD PRODUITS EN SAISON I

4.1 Contexte

Démarrage concomitant

Ce projet MINnD GT1-4 ayant pour vocation d'alimenter les travaux du projet international bSI IfcTunnel, et celui-ci ayant démarré en juin 2019 concomitamment au nôtre, la 1^{ère} action à réaliser dès son démarrage à consister à traduire en anglais les IDM & DD produits par l'équipe MINnD en saison 1 (sous label UC8).

Toute cette matière a pu être mise à disposition du projet international dès septembre 2019, et a ainsi accéléré notablement son démarrage et permis de lancer une recherche de consensus sur les grands principes apportés par cette base.

4.2 Traductions réalisées

IDM (Décompositions organiques)

Dans un premier temps, le groupe de travail Saison 1 avait défini une structuration logique des infrastructures souterraines : tubes, puits et cellules de stockage, en vue de produire une décomposition organique de l'ensemble de leurs structures et équipements de travaux publics, de leurs interdépendances (relations) et de leurs caractéristiques (propriétés).

L'approche utilisée pour mener ce travail a suivi une analyse systémique " pourquoi " / " quoi " / " comment " pour couvrir les aspects programmatiques, fonctionnels et organiques des infrastructures concernées. Cela a permis d'identifier une série de sous-systèmes, tels que décrits ci-dessous.

Parallèlement, l'effort avait porté sur l'identification de là où les échanges de données ont lieu dans un processus de conception (entre experts des domaines / à quelles phases), dans un processus de construction (y compris entre experts en conception détaillée et experts en méthodes constructives) ainsi que dans un contexte d'exploitation/entretien. Proposition de spécifications techniques.

DD (Dictionnaires de données)

Dans un deuxième temps, le groupe de travail Saisons 1 avait analysé la possibilité de mettre en œuvre de nouvelles classes d'objets (en termes d'IFC) nécessaires pour amener les représentations fonctionnelles, organiques et spatiales des différentes composantes des sous-systèmes, leurs relations et leurs propriétés.

Ce travail a consisté à exploiter en premier lieu les classes de fonctionnalités existantes et leurs hiérarchies disponibles dans IFC4.3, et ensuite à proposer un enrichissement de celles-ci, tout en visant à introduire le moins de complexité supplémentaire possible dans le modèle conceptuel existant de l'IFC.

4.3 Livrables

Livrables en anglais

Les livrables produits en anglais ont été remis à l'équipe internationale bSI IfcTunnel sous la forme de 7 matrices xls utilisant une décomposition fonctionnelle hiérarchique en 4 niveaux pour les objets et 2 niveaux pour les propriétés.

Ce travail a été réalisé en 3 mois dès le lancement du projet en juin 2019.

5. LIVRABLE 2 - WP3 - RETOURS DES EXPERTS RATP/SNCF & FIB

5.1 Contexte

Historique et contexte

Démarré en juin 2017 à l'initiative de l'ANDRA, le projet MINnD UC8 (use case 8) s'est intéressé à la description des infrastructures souterraines et de leur environnement.

Les deux volets « GC », description de l'ouvrage et de ses équipements et « GT », description de l'environnement et la géotechnique ont été traités séparément avec des échanges toutefois sur la connexion et la convergence des deux sujets.

La fin de la saison 1 de MINnD, s'est soldé par la vérification de la cohérence technique de l'ensemble des livrables produits. Pour cela, il a été décidé de faire appel à une expertise technique externe sur les différents sujets. La première expertise a été réalisée par les organismes tels que le CETU (Centre d'Étude des Tunnels) et l'Andra. Les résultats de cette expertise sont disponibles dans les livrables de la saison 1.

La saison 2 de MINnD a poursuivi la démarche commencée en saison 1, dans ce cadre d'autres organismes externes ont été sollicités, tels que :

- RATP
- CEBTP/FIB
- SNCF

À ce jour nous sommes encore en attente de l'expertise de la part de la SNCF.

5.2 Objet des « Retours des experts RATP/SNCF & FIB »

Objet

L'objet de la saison 2 est de finaliser et synthétiser l'expertise des livrables de la saison 1 afin de vérifier la pertinence des contenus des livrables techniques.

5.3 Organisation des livrables

Livrables

Les livrables ont été organisés par métiers :

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_DR_Alimentation_énergie

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_DR_EEG

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_DR_Evacuation

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_Dispositions_constructives

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_Etanchéité

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_Revêtement

MINnD-UC8-T1-Review_FIB+RATP_Synthèse

Note d'utilisation

Le retour d'expertise a été fourni dans des formats différents des fichiers source ; par conséquent un travail important de synthèse a été réalisé par GT 1-4 dans la saison 2.

L'analyse a été réalisée avec une approche suivante : l'intégration des commentaires des acteurs (CERIB/FIB et la RATP) dans chaque fichier source pour chaque item.

Les fichiers de synthèse sous forme de fichier xls sont repris dans le §Annexe-WP3 du dernier chapitre du document.

5.4 Principales conclusions et perspectives

Conclusions

La structuration des livrables et le contenu technique n'ont pas soulevé de points rédhibitoires.

La remarque principale concerne surtout l'absence de prise en compte de cas autres que les ouvrages neufs avec des méthodes récentes. En effet, aucune des structures généralement rencontrées sur les réseaux métros n'est évoquée (maçonnerie, tranchée couverte, mixte, tunnels immergés...) ; ce qui limiterait donc la transposition des livrables actuels pour ce type d'ouvrage.

Par ailleurs, il a été souligné l'absence de traitement :

d'autres ouvrages de type réseau de canalisation, des eaux d'infiltrations, niches, ouvrages annexes (PEP, PEF, galeries techniques...) qui présentent des spécificités par rapport aux ouvrages tunnels et stations (accès technique en surface, connexions aux réseaux tiers...);

sur des éventuels réseaux existants à proximité (égouts parallèles au tracés, réseaux etc...)

D'une façon plus générale, il a été mis en évidence l'absence de traitement des phases d'exploitation et de maintenance (peinture anticorrosion, étanchéité intrados, réfection d'enduit, changement appareils d'appui, stabilisation des talus...).

Perspectives

Il est important de rappeler que ce travail n'est pas finalisé ; en effet, le retour des experts de la SNCF est nécessaire afin de compléter l'expertise en cours.

Pour la suite des travaux, il serait souhaitable de trouver une instance pérenne pour la continuation de la démarche entreprise ; en effet, MINnD en tant que Projet National est destiné à s'arrêter. Les travaux réalisés par les deux saisons de MINnD doivent être récupérés, pérennisés et maturés par d'autres organismes tels que AFTES, CETU ou bSI.

6. LIVRABLE 3 WP4 OUVRAGES ANNEXES

6.1 Vue d'ensemble

Tranchées couvertes

Le groupe a procédé à deux travaux de classification des objets couvrant les ouvrages annexes.

En premier lieu, il a exploré l'ensemble des techniques dites de tranchées couvertes, en formalisant dans un fichier Excel bilingue les objets, leurs caractéristiques ou propriétés et l'arborescence hiérarchique associée.

Puits

En second lieu, il a exploré l'ensemble des techniques des puits et tunnels inclinés, en procédant selon la même méthodologie.

La terminologie adoptée a été celle adoptée en France par l'AFTES pour distinguer tous les types de puits depuis le puits vertical jusqu'aux galeries inclinées de plus de 15° sur l'horizontale.

6.2 Tranchées couvertes

Taxonomie

Les tranchées couvertes ont été décrites en différents éléments de structure, à savoir :

- Les ouvrages de soutènement ;
- Le traitement de sol ;
- La couverture ;
- Le portique
- L'ouvrage voûté
- Le terrassement
- Le radier

Chacun de ces éléments est décomposé en composants, chaque composant faisant l'objet d'un regroupement de caractéristiques.

Le parti a été pris de travailler dans un fichier tableur bilingue, où chaque colonne est dédoublée en anglais et en français. Des illustrations sont également incorporées dans le fichier.

6.3 Puits

Taxonomie

Les puits ont été décrits en différents éléments de structure, à savoir :

- Le site ;
- Les locaux techniques ;
- Le puits proprement dit ;
- La méthode de construction
- Attaque descendante mécanisée ;
- Attaque descendante conventionnelle
- Le fonçage

- L'haveuse
- L'excavation manuelle
- Forage et explosifs
- Excavation classique à l'abri du soutènement
- Excavation classique sous les venus d'eau
- Attaque montante mécanisée
- Attaque montante conventionnelle

Chacun de ces éléments est décomposé en composants, chaque composant faisant l'objet d'un regroupement de caractéristiques.

Le parti a été pris de travailler dans un fichier tableur bilingue, ou chaque colonne est dédoublée en anglais et en français. Des illustrations sont également incorporées dans le fichier.

7. LIVRABLE 4 - WP 5 - MÉTHODES CONSTRUCTIVES

7.1 Expression des besoins

Compléments aux exigences formulées dans le bSI RAR v1

À partir des documents préexistants ou développés par bSI (en particulier le Requirements Analysis Report ou RAR cf. ci-après), il est apparu que certains besoins en modélisation des infrastructures relatifs aux méthodes constructives avaient été insuffisamment décrits et pris en compte.

Nous listons ci-après certaines actions liées à des activités de construction, facilement rattachables aux cas d'usage attendus du projet MINnD.

7.2 Prise en compte des cycles d'exécution et de maintenance

La prise en compte des cycles d'exécution pour les travaux souterrains impacte directement le planning général des travaux.

En particulier, les opérations de maintenance sur tunnelier s'inscrivent totalement dans le cas d'usage « Design to construction » avec notamment les décisions inhérentes à leur programmation.

La modélisation des cycles et leur connaissance doit apporter une réponse sur les cas d'usages « construction sequencing », « quantity take off ».

7.3 Implémentation des modèles pour améliorer la prévention

MINnD au service de la prévention

Du fait de la dangerosité des opérations de constructions souterraines, il est indispensable de pouvoir modéliser méthodes, processus et engins propres à améliorer la prévention tant en phases de programmation que de préparation de chantier qu'en phase d'exécution.

Envisager la prévention dès le stade de la conception doit permettre à l'ensemble des parties prenantes de progresser dans ce domaine. Il pourrait en résulter la visualisation de tâches concomitantes (les coactivités) à risques, de plans de circulation compatibles avec la sécurité, de réflexions plus poussées sur les ouvrages provisoires, ou d'autres coactivités dangereuses.

Lier la prévention aux méthodes constructives répond au cas d'usage « safety visualization ».

7.4 Rallongement des servitudes

Marinage et autres servitudes

L'avancée des tunneliers ou des tunnels réalisés de manière traditionnelle s'accompagne du rallongement de toutes les servitudes que les techniques d'excavation imposent.

En effet, le creusement allonge progressivement la distance au puits précédent ou à l'entrée de la galerie en cours, laquelle sert de support, avec un matériel approprié, aux servitudes de marinage, d'alimentation en fluides et en énergie, de renouvellement d'air etc.

Les méthodes déployées pour répondre à cette problématique impactent le planning général d'exécution et peuvent de révéler comme une fragilité dans le processus général de conception.

8. LIVRABLE 5 – WP 6 INTERFACE SOLS-STRUCTURES (GÉOTECHNIQUE)

8.1 Interactions sols structures

Coordination

Étant donné que la modélisation des sols encaissants des tunnels est l'objet du groupe de travail 1.5 de MINnD en saison 2, il est apparu opportun de coordonner les travaux des groupes 1.4 et 1.5 puisque la structure du tunnel et les sols encaissants sont l'objet d'interactions mécaniques et hydrauliques très importantes et à la source de la majorité des risques graves associés aux tunnels et à leur construction.

Interactions sols-structures propres aux tunnels

Un premier travail a été conduit pour identifier l'ensemble des interactions sols-structures dont les modèles tant du sol et de la structure doivent rendre compte pour pouvoir simuler ces diverses interactions.

Risques globaux

Ce sont des analyses très globales des risques sous leurs aspects de coûts de réalisation et de délais qui peuvent être conduites dès les définitions très amont des projets de tunnels.

Elles se font en confrontant :

- des données d'expérience sur des projets réels
- des données géologiques et géotechniques que l'on acquiert ou estime rencontrer sur le tracé supposé du projet envisagé.

La fiabilité de la base d'expérience est très importante. Elle consiste à avoir collecté pour le plus grand nombre de projets réalisés dans des contextes géologiques relativement similaires les caractéristiques géologiques et géotechniques ainsi que les données de réalisation : coûts, délais, méthodes, aléas réels survenus.

Un exemple remarquable de ce type de simulation est représenté par le logiciel DAT développé par l'EPFL dans les années 2010 sous licence du MIT.

Risques aux biens des avoisinants

Le creusement de tout tunnel, que ce soit au tunnelier ou en méthode conventionnelle occasionne une décompression des terrains en place à partir du front de taille qui induisent à distance des tassements mettent des massifs de sol en équilibre de butée. Pour des tunnels urbains en particulier ceci peut causer des tassements en surface au droit des tunnels et dommages aux structures avoisinantes à des distances latérales de l'ouvrage qui peuvent être de l'ordre de quelques diamètres de l'ouvrage. Il est donc nécessaire de pouvoir mener des simulations de l'équilibre des massifs de sols devant et de part et d'autre du front de taille pour apprécier comment sont perturbées les équilibres statiques des fondations des ouvrages à l'intérieur de ce qu'il est convenu d'appeler la zone d'impact géotechnique ou ZIG.

Dans certains cas, il peut être fait appel à la technique des injections de compensation asservissant en permanence les injections de confortement des sols sur la ligne d'avancement futur du tunnel à la mesure des tassements constatés en surface.

Stabilité du front de taille en méthode conventionnelle

À l'échelle de l'atelier de creusement, il est nécessaire de s'assurer de la stabilité du front de taille et du bon dimensionnement des ouvrages de soutènement, voire d'amélioration des sols nécessaires au contrôle du front de taille.

La dynamique des opérations conduit à laisser le terrain se décompresser, en même temps que l'on installe le soutènement. Les techniques de calcul sont donc éminemment interactives ou fortement itératives car des déplacements importants

| | |
|---|---|
| <p>Stabilité du front de taille en creusement mécanisé</p> | <p>peuvent prendre place. Le contexte est le plus souvent rocheux plus ou moins fragmenté ou de sols de bonne qualité. La présence de nappes phréatiques nécessite une anticipation de mesures d'épuisement additionnelles qui nécessitent elles aussi des calculs particuliers.</p> <p>Enfin, les sols les plus faibles nécessitent la mise en œuvre de techniques spécialisées d'amélioration des sols (voûtes, parapluie, congélation, injections, etc.) qui sont autant d'appels à la simulation de leurs fonctionnement mécaniques.</p> <p>L'atelier de creusement au tunnelier est de nature différente sans présence humaine et d'étendue beaucoup plus courte au-devant du bouclier du tunnelier. Sa stabilité doit bien entendu en être assurée car en cas d'effondrement de celui-ci c'est tout le terrain devant et au-dessus du tunnelier qui se trouverait mariné par le tunnelier.</p> <p>L'équilibre en est assuré soit par la pression exercée par le tunnelier via la pression qu'il exerce sur les terres en cours d'excavation (tunnelier à pression de terre) ou via la pression des boues d'excavation injectées devant le tunnelier (tunnelier à pression de boue). La simulation en est bien sûr différente et les caractéristiques des terrains à simuler différentes. Cette simulation peut nécessiter des calculs en mécanique des fluides adoptant soit les points de vue d'Euler soit ceux de Lagrange (repère fixe ou repère mobile de la particule de terre en mouvement).</p> <p>Il est possible d'exercer un contrôle en continu sur le creusement par la mesure des marins et la comparaison avec la vitesse de progression des tunneliers.</p> <p>Tous ces domaines ont été bien étudiés par quelques projets européens de recherche dont TUNCONSTRUCT et NETTUN.</p> |
| <p>Études hydrauliques</p> | <p>Dans une première application, il s'agit d'étudier quelles sont lors du creusement initial, puis également en régime d'exploitation, les venues d'eau prévisibles et quel devra être le débit d'exhaure des pompes à mettre en place.</p> <p>Il s'agit aussi d'apprécier les risques de stabilité et de prévenir la survenue de phénomènes de renards (surgissement de venues d'eaux et de sols mélangés à haute pression qui peuvent amener dans les cas extrêmes à l'abandon des ouvrages (souvent en cas de zones sous haute pression hydraulique et de sols perméables meubles de faible tenue).</p> <p>Il s'agit enfin d'étudier les interactions de court et long terme entre les activités du chantier de creusement et la qualité des nappes phréatiques.</p> <p>Les activités de creusement font appel à de nombreux produits et additifs plus ou moins naturels pour tous les coulis, injections, bétons et consommables et carburants de chantier et des matériels opérés. La qualité des eaux souterraines en sera affectée et également les régimes hydrauliques des sources et l'hydrologie de surface. Ce sont là des études d'impacts environnementaux fondamentales dans l'acceptation des ouvrages par la société.</p> <p>Ce sont là des calculs qui sont à mettre en œuvre dans le cadre de modèles hydrologiques à grande distance.</p> |
| <p>Étude structurelle</p> | <p>À côté de l'étude du soutènement déjà indiquée, il y a bien entendu l'étude de la stabilité mécanique et hydraulique de long terme de la structure définitive.</p> |
| <p>Autres simulations sols-structures</p> | <p>Les travaux souterrains sont très variés et ne supposent pas seulement des ouvrages de puits et de tunnels. Ils font aussi appel à de multiples ouvrages de génie civil (fondations, tirants, etc.) qui sont également utilisés dans d'autres branches du génie civil : il nous est apparu néanmoins intéressant d'en fait un état rapide général pour une analyse plus robuste des interactions sols-structures.</p> |
| <p>Soutènement</p> | <p>Il s'agit des murs de soutènements qui peuvent être rigides ou flexibles (palplanches métalliques par exemple).</p> |

| | |
|--|--|
| Fondations superficielles | Poutres, dallages et bâtiments des ouvrages annexes pourront faire appel aux fondations superficielles dans lesquelles des calculs spécifiques de tassement et de stabilité mécanique sont à mener. |
| Renforcement de sols | Autant de technologies autant de modes spécifiques de dimensionnement et de vérification : jet grouting, inclusions rigides, compaction dynamique, colonnes ballastées et tapis de répartition. |
| Fondations profondes | Celles-ci, en cas d'insuffisance des solutions en fondations superficielles font alors appel à des pieux et micropieux mobilisant les effets de pointe (appui sur le bon sol atteint) et de frottement latéral (appui sur les terrains traversés) qui est nécessaire de modéliser. |
| Tassements | Les structures d'une certaine ampleur (solllicitations ou étendue géographique) nécessitent d'apprécier de façon assez fine les tassements attendus sous les structures qui peuvent induire des efforts très importants dans les structures elles-mêmes si celles-ci sont trop rigides. Il faut alors faire appel à des modèles en couches des terrains avec appréciations des composantes élastiques et plastiques des mouvements verticaux principalement mais aussi horizontaux associés. |
| Stabilité générale structures ou grands massifs de terres déblais ou remblais | Ce sont des calculs de stabilité des grands massifs de sols faisant appel à des modèles plastiques des sols pour en déterminer les lignes de rupture et les coefficients de sécurité présentés en face des solllicitations réelles attendues. |
| Érosion | Il s'agit des phénomènes d'érosion interne ou superficielle sur des ouvrages talus, remblais et digues qui font appel à des modélisations spécifiques mixant considérations hydrauliques, transports solides et stabilités mécaniques. |
| Stabilité des pentes et talus / clouage | Un éventail de technologies alliant des dispositifs de maintien de surface et d'ancrage ou clouage selon une maille prédéterminée pour assurer la stabilité de talus voire falaises plus ou moins rocheux tant mécanique que vis-à-vis de l'érosion superficielle. |

8.2 Coordination des commentaires sur l'analyse des besoins par bSI

| | |
|---|---|
| Les travaux de bSI | L'attention s'est ensuite portée sur l'harmonisation et la coordination des commentaires sur l'analyse des besoins conduite par bSI. Largement inspirés par les travaux de MINnD en saison 1 (groupe de travail UC8 alors scindé en deux l'un génie civil et équipements, l'autre environnement et géotechnique), building Smart International a lancé le projet Ifc-for-Tunnelling qui couvre les cas d'usages, les taxonomies et un modèle conceptuel unifié qui reprennent les exigences des échanges entre les métiers géotechnique, structures et système fonctionnels actifs. |
| Requirements Analysis Report (RAR) | À l'issue de la phase 1 de ses travaux, building Smart International a publié en fin 2020 un rapport d'analyse des besoins (dit RAR) pour la modélisation des travaux en tunnel et de la géotechnique. Ce rapport contient une identification des cas d'usages, un descriptif technique des technologies à décrire dans le modèle et des façons dont elles sont mises en œuvre par les techniciens du domaine ainsi qu'une taxonomie des objets, de leur hiérarchie et de leurs caractéristiques descriptives. |
| Cas d'usages | Le travail du groupe MINnD a été de les commenter et d'en préciser les contenus. Le détail des commentaires fournis est fourni en annexe, et la remarque majeure qui |

Descriptif

les fondait était, entre autres, celle d'un appel dans les dénominations et descriptions des cas d'usages aux notions d'incertitude et des risques qui en découlent et de leur nécessaire diminution tout au long du processus d'ingénierie de ces projets. Une autre réflexion était celle de la nécessité d'un cas d'usage dit de conception complète permettant l'échange natif des éléments les plus profonds de la conception en particulier ceux relatifs à la géométrie procédurale (un élément essentiel de la vision fonctionnelle ou théorique d'un ouvrage) qui doit permettre de savoir que telle surface ou volume est par exemple un cylindre (extrusion d'un cercle selon une génératrice) et non un agrégat de facettes sans plus aucune richesse sémantique.

Le travail a été fait de façon très exhaustive par ce groupe de travail et par le groupe géotechnique de MINnD qui ont collationné les retours de chacun pour les publier dans un seul fichier Excel de commentaires indexés sur les chapitres du RAR. Quelques points faibles ont été détectés aux niveaux des méthodes constructives et ont été étudiées par le sous-groupe méthodes constructives cf. WP5 ci-avant.

9. LIVRABLE 6 - WP7 SURVEILLANCE/ MAINTENANCE/SUPERVISION

9.1 Contexte

Cadre opérationnel

Le cadre de cette analyse est d'identifier la valeur potentielle d'une démarche BIM pour les opérations de surveillance, de maintenance et de supervision (ou contrôle-commande) nécessaires à l'exploitation, opérationnelle d'une infrastructure souterraine. Elles peuvent être synthétisées sous la dénomination de maintien en conditions opérationnelles nominales (MCO).

Apport de valeur

Cette valeur viendra notamment de la prise en compte, dès la conception et lors de la réalisation, des exigences liées aux opérations courantes, correctives voire prédictives réalisées sur l'ouvrage, que la démarche BIM a vocation à servir.

Ces exigences sont portées par les composants de l'ouvrage selon leur fonction (rôle) et notamment :

- les composants passifs : composants structurels assurant les fonctions de soutien, de revêtement et d'étanchéité, la signalisation passive ;
- les composants actifs :
 - assurant la ventilation, l'éclairage, le drainage, l'alimentation HT/BT, la traction (PAC) en cas de VF
 - assurant la surveillance du front d'excavation (convergence, stabilité)
 - gérant directement le trafic (selon sa nature : routier, ferroviaire) : signalisation dynamique, évacuation, comptage

Conception dédiée

La conception BIM doit être déclinée pour servir les problématiques opérationnelles qui peuvent être (en transverse) regroupées comme suit :

- appropriation des sites (par les équipes d'intervention internes ou prestataires)
- préparation des interventions (ensemble cohérent d'équipements à changer)
- accessibilité, manœuvrabilité/dégagement, gabarits
- surveillance et signalement
- protections, sécurité

L'approche à suivre pour que cette conception BIM serve correctement ces objectifs est de repartir des protocoles des interventions de surveillance, entretien et maintenance qui reprennent pour chaque typologie d'intervention les modalités de sécurisation des espaces nécessaires, les pièces à rassembler (depuis les stocks), les moyens humains à mobiliser, la documentation des amenées et des accès, les modalités de remplacement, de tests, et la documentation de l'intervention.

Ainsi on identifie les éléments (plans, modèles 3D, fiches d'intervention) à extraire du modèle BIM de l'ouvrage sous-exploitation à mettre à disposition, sur iPhone/iPad, des intervenants sur site.

En retour, il s'agit d'intégrer dans le modèle BIM la documentation de l'intervention réalisée et les caractéristiques des équipements mis à jour (et assurer la cohérence et l'actualité du modèle BIM du TelQueMaintenu).

9.2 Spécificités du MCO des tunnels

| | |
|-----------------------------|--|
| Conditions nominales | Les opérations de maintien en conditions opérationnelles nominales (MCO) d'un ouvrage souterrain sont typiquement de 4 grandes natures : |
| Gestion du trafic | <p>La gestion du trafic par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La gestion des évènements (incidents/accidents) • La surveillance, notamment par des patrouilleurs • La régulation du trafic, notamment en cas de surcharge ou d'incidents • La gestion de l'information aux usagers (PMV ou autre) • Gestion des moyens d'intervention (RH et matériels) |
| Entretien | <p>L'entretien structurel et de la voie portée (hébergée) par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Étanchéité structures • Nettoyage extracteurs, éclairage, SV, barrières, sas et système d'évacuation • Nettoyage surfaces polluées (suite incidents/accidents) • Rechapage surface de roulement • Nettoyage CAF/OH • Maintenance des espaces de sécurisation/évacuation |
| Grands travaux | <p>La planification et la gestion des grands travaux (GER) par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Planning général travaux prévus sur année N tel qu'établi en année N-1 • Gestion des contraintes dues aux pics de trafic • Programmation entretien régulier & entretien saisonnier • Gestion des ressources RH (24/24), MAT, stock (cônes) • Gestion des travaux en régie (reconnaissance, suivi/documentation du réalisé). |
| Maintenance GTC | <p>La maintenance des équipements par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gestion évènements (symptôme, cause, remède) • GTC (synthèse de défaut, suivi de performance équipements & interventions) • Gestion des stocks • Programmation inspections • Intégration/diffusion des DIUO • Plans de maintenance programmée (fin de vie des équipements) |

10. LIVRABLE 7 - WP9 GT45 COORDINATION AVEC LE GT45 DE L'AFTES

10.1 Les principaux acteurs des travaux souterrains

L'AFTES

L'Association Française des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AFTES), créée en 1972, a pour objet de rassembler et mobiliser tous les acteurs de la profession, investisseurs, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre, bureaux d'études et de contrôle, centres de recherche et de formation, entrepreneurs, consultants, architectes, urbanistes, équipementiers, enseignants, etc. dans le but de :

- faire progresser la connaissance dans ses domaines de compétence,
- échanger entre ses membres et diffuser le plus largement possible les recommandations de ses Groupes de Travail et plus généralement toutes les informations techniques, contractuelles, sociales, environnementales etc. dont elle dispose,
- promouvoir l'Espace Souterrain et soutenir toutes les actions qui contribuent à le faire connaître,
- aider au développement et à la diffusion du savoir-faire de l'ingénierie, des entreprises et des constructeurs français,
- entretenir l'apport technique et la production de doctrine,
- accroître l'intérêt des jeunes ingénieurs et techniciens du BTP pour les métiers du souterrain.

Dès sa fondation, l'AFTES a mis en place un Comité Technique (CT) et des Groupes de Travail (GT) chargés d'approfondir les sujets d'intérêt commun pour la Profession. Le comité et les groupes ont pour tâche essentielle d'élaborer des recommandations techniques. Une vingtaine de groupes de travail sont en activité, dont le GT 45 qui traite des nouvelles technologies numériques dans le domaine des travaux souterrains.

Le Comité Technique de l'AFTES, où toutes les composantes de l'association sont représentées, fixe les thèmes qui seront traités dans les groupes de travail, en fonction des demandes de la Profession. Il suit la progression des travaux des divers groupes, puis valide les textes qu'ils ont élaborés pour leur donner le statut de "Recommandations de l'AFTES". Celles-ci constituent un système de références apprécié par toutes les personnes intervenant dans le domaine des travaux souterrains. Elles sont couramment utilisées comme textes de référence dans les appels d'offres nationaux et internationaux.

Pour cette raison, toutes les recommandations nouvelles de l'AFTES sont traduites en anglais. La plupart des recommandations récentes sont disponibles et téléchargeables sur le site web de l'Association : <http://www.aftes.asso.fr/>

L'AFTES est une organisation nationale adhérente à l'AITES (Association Internationale des Tunnels et de l'Espace Souterrain).

L'AITES

Fondée en 1974 à l'initiative de dix-neuf Nations, l'Association Internationale des Tunnels et de l'Espace Souterrain (AITES ou ITA en anglais) a pour objectifs de :

- encourager l'utilisation du sous-sol au bénéfice du public, de l'environnement et du développement durable et,
- promouvoir les progrès en matière de planification, de conception, de construction, d'entretien et de sécurité des tunnels et de l'espace souterrain, en

L'EUTF

rassemblant les informations à ce sujet et en étudiant les questions qui s'y rapportent.

Depuis lors, l'AITES s'est considérablement développée. Actuellement, l'AITES regroupe 78 nations membres et 266 membres affiliés, entreprises ou particuliers.

L'AITES est dotée de 23 groupes de travail qui proposent des recommandations à portée internationale¹.

Le forum européen EUTF (European Underground & Tunnel Forum) a été officiellement créé le 1er novembre 2019. Ce forum rassemble aujourd'hui 9 associations nationales des tunnels qui partagent la même vision et les mêmes attentes en matière d'enjeux et de priorités dans l'action internationale : l'Autriche, la Belgique, la France, l'Allemagne, l'Italie, le Portugal, les Pays-Bas, l'Espagne et la Suisse.

La création de ce forum répond à un double objectif :

d'une part, consolider un lieu d'échanges pour la construction de positions communes pour ce qui concerne la normalisation, le portage des intérêts européens, ou encore l'affirmation d'un point de vue de la profession tout entière,

d'autre part, parler d'une seule voix au sein de l'association internationale AITES, ce qui permet d'être mieux entendu et de pouvoir peser davantage dans la gouvernance et dans les choix stratégiques de cette association à laquelle tous sommes très attachés.

10.2 Le GT 45 de l'AFTES

Objectifs et enjeux

Le GT 45 de l'AFTES a été créé en 2019 afin de sensibiliser les acteurs de la profession des travaux souterrains aux enjeux de la démarche BIM qui tend à se généraliser dans les projets d'infrastructures. L'animation de ce groupe de travail a été confié à Florent Robert (CETU) et Nataliya Dias (Andra).

Les tunnels et espaces souterrains présentent des enjeux spécifiques car ils doivent, par définition, être intégrés dans le sol environnant. L'AFTES est consciente que le projet MINnD aura une durée de vie limitée et souhaite disposer d'un espace de travail et d'échanges pérenne sur les questions relatives aux nouvelles technologies numériques, le BIM en particulier. Le GT 45 répond à cette volonté. Au niveau international, l'AFTES souhaite également être représentée au sein du WG22 Information Modelling in Tunnelling de l'AITES créé en 2017. En se dotant du GT 45, elle légitime sa position. Enfin, l'EUTF a récemment décidé de monter un comité de pilotage sur la thématique du BIM. Les animateurs du GT 45 représenteront la France au sein de ce groupe de travail.

L'AFTES souhaite que les spécifications qui seront produites au sein de MINnD et de bSI soient pertinentes et adaptés aux usages des utilisateurs finaux que sont ses membres.

Le GT 45 a pour objectif de produire une recommandation qui sensibilisera les maîtres d'ouvrage aux enjeux du BIM, afin de se doter des moyens nécessaires à la conduite d'une démarche BIM, et de pouvoir structurer leurs besoins vis-à-vis des maîtres d'œuvre et des entreprises de travaux.

¹ <https://www.ita-aites.org/>

Composition

Le GT 45 participe également aux réflexions et à la dissémination des sujets relatifs au BIM en travaux souterrains. On peut citer la présentation d'articles au congrès de l'AFTES 2021, au Word Tunnel Congress en 2022, au congrès Infra Bim Open 2021, la participation à la journée commune AFGC/AFTES sur le BIM en marge d'EDUBIM le 3 décembre 2021, au Mastère spécialisé BIM de l'ENPC en 2021, etc.

Le GT 45 comprend des représentants des maîtres d'ouvrage, des ingénieries, des entreprises, des exploitants et des consultants spécialisés. Pour la rédaction de la recommandation, les participants sont :

| | |
|----------------------------|-----------------------|
| Sabine Ayraud | |
| Pierre Bouvelot | Consultant |
| Sylvain Bronner | TELT |
| Catherine Cabut | CETU |
| Umberto Celardo | Axa |
| Olivier Cité | Andra |
| Trevelyan Courtney-Wildman | Axa |
| Olivier Cuchet | Vinci construction |
| Claire Labruyère | Systra |
| Nataliya Dias | Andra |
| Bastien Le Hello | Egis |
| Alain Quoniam | Egis |
| Michel Rives | Vianova France |
| Florent Robert | CETU |
| Eric Tournez | Bouygues Construction |

10.3 La coordination internationale

MINnD

De par sa composition, les membres du GT 45 sont issus pour partie des membres du projets MINnD qui ont travaillé sur les IFC relatives aux tunnels. Le GT 45 a débuté son travail par le balayage des travaux faits au sein de MINnD dans le cadre de la saison 1, avec les deux groupes de travail Géotechnique (pilote par M. Beau-fils) et Génie civil (pilote par M. Rives).

Building Smart International

L'équipe projet de bSI traitant du sujet des IFC tunnels a produit un rapport d'analyse des exigences (Requirement Analysis Report ou RAR). La première version produite par bSI a été finalisée en août 2020. Il a été demandé à chaque nation représentée au sein de l'équipe projet de procéder à une revue du RAR et de proposer des amendements le cas échéant. Côté français, le GT 45 de l'AFTES a été le lieu d'examen dudit RAR, et a consacré 4 séances de partage à la revue du RAR et a fait remonter un canevas de remarques à bSI.

AITES/ITA

L'AITES s'est doté d'un groupe de travail spécifique relatif au BIM : le WG22 intitulé Information Modelling in Tunnelling. La France est représentée au sein de ce groupe de travail par le biais de l'AFTES. A noter la proposition d'un Memory of Understanding entre bSI Ifc Tunnel et le WG22 de l'AITES et le lien fait au sein de l'AITES avec le comité ITA-TECH qui représente l'industrie des travaux souterrains.

II. LIVRABLE 8 - WP10 COORDINATION AVEC bSI IFC TUNNEL

II.1 Montage du projet bSI IFC for Tunneling

| | |
|--|---|
| <p>Situation bSI existante</p> <p>Projet Ifc4.1</p> <p>Projet Ifc4.3</p> | <p>A la date de montage au sein de bSI du projet IFC for Tunneling deux initiatives majeures avaient déjà été lancées pour commencer de traiter la problématique de structuration d'échanges cohérents de données au sein des projets d'infrastructure notamment linéaires. Ces initiatives viennent compléter le schéma conceptuel de données IFC en version 2x3 et 4.0 qui couvrait les projets bâtimentaires.</p> <p>La 1^{ère} de ces initiatives, les extension IFC4.1 du schéma, a apporté le traitement des notions de géoréférencement (absolu et linéaire), de fils rouges de projet (axes en plan et profil en long) et de modélisations de surface (MNT). Ce périmètre est équivalent à ce que traite LandXML et a donné lieu à une coordination avec l'OGC.</p> <p>La 2^{nde} initiative, les extensions IFC4.3 du schéma, s'appuient sur les IFC4.1 nécessaires pour définir le squelette (référentiel) de tout projet d'infrastructure, et couvrent en 2 volets principaux les voies ferrées et les autres infrastructures (ouvrages de franchissement, digues, voies routières).</p> |
| <p>Apports MINnD</p> <p>Apports intellectuels</p> <p>Apport financier</p> | <p>MINnD a initié la mise sur pied du projet international bSI IFC for Tunneling de prénormalisation des données de projets d'infrastructures souterraines en y amenant, d'une part, des apports intellectuels sous la forme d'un scope fonctionnel reprenant ses travaux des GT1-4 et GT1-5, et d'autre part un apport financier qui a permis de lancer un tour de table auprès de stakeholders internationaux.</p> <p>Les apports intellectuels (livrables des GT1-4 & GT1-5) traduits en anglais ont été constitués par les explicitations des processus d'échanges des données, et des acteurs, au cours des phases d'un projet (IDM, sous forme de schémas BPMN) et par les descriptions organiques hiérarchisées (parents-enfants) des composants (et de leurs caractéristiques) des ouvrages sous l'angle fonctionnel (taxonomies en 4 niveaux de composition).</p> <p>Tous ces éléments couvraient :</p> <ul style="list-style-type: none"> - la géotechnique (données factuelles et résultantes d'interprétation), - les aspects creusement (réalisation au tunnelier et en traditionnel), le soutènement et l'étanchéité - les systèmes assurant la ventilation, l'assainissement de plateforme de la voie portée/hébergée, le drainage des eaux du sous-sol, l'alimentation CF/Cf, l'éclairage, la sécurité et les procédures d'évacuation <p>Restaient exclues les problématiques liées à la réalisation des puits (creusement vertical type VTB) et des tranchées couvertes. L'explicitation de certaines méthodes de réalisation étaient aussi à compléter. Ces 2 aspects ont fait l'objet de recherches et de livrables au titre de l'année 2021 des travaux du GT1-4, qui seront reversés à la Phase-2022 du projet bSI.</p> <p>MINnD ayant abondé le budget initial du projet bSI IFC for Tunneling d'un montant de 45k€, un tour de table international a permis la consolidation d'un budget suffisant (220k€) rendant le projet bSI viable sur la période 2019-2020. Ce budget a</p> |

ensuite été élargi pour couvrir la période 2021 par les contributions de stakeholders supplémentaires recrutés en cours de projet.

Gouvernance

Stakeholders

Le scope et le budget initial une fois validés, bSI a confié le pilotage du projet à Vianova France, Michel Rives en Project Mgr, aidé de Technische Universität München (TUM), André Borrmann en Pilote technique.

À fin 2021, le projet comprend 12 stakeholders issus des 4 continents (A, AUS, BRE, CH, D, F, FIN, I, JPN, N, NZ, S, US) de profils complémentaires, ce qui était l'objectif recherché pour viser et assoir un consensus international, à savoir :

- des MOA et des organismes prescriptifs
- des bureaux d'études en géotechnique, structures et ingénierie des systèmes
- des établissements de recherche appliquée et universités techniques
- des éditeurs de solutions logicielles

| | |
|--------------------------------------|------------------|
| Chemins de fer suisses (CFF/SBB) | Suisse |
| Finnish Ministry of Transport (FTIA) | Finland |
| Geodata | Italie |
| MINnD National Project | France |
| Norwegian Tunnelling Assoc. (NFF) | Norvège |
| OYO Engineering | Japon |
| Sequent | Nouvelle-Zélande |
| Swedish Ministry of Transport (TVK) | Egis |
| Univ. of Bochum | Allemagne |
| Univ. of Florida | États Unis |
| Univ. of Loeben | Autriche |
| Univ. of Munich (TUM) | Allemagne |
| Univ. of Sao Paolo (Polytech) | Brésil |

Organisation de projet

L'équipe bSI du projet IFC for Tunneling est constituée d'environ 50 personnes contribuant aux travaux conduits en 4 équipes, avec un Team lead à leur tête :

- 3 équipes d'experts des 3 métiers principaux : géotechnique, creusement, soutènement étanchéité, et systèmes fonctionnels (pour environ 15 personnes chacune),
- 1 équipe d'expert de l'implémentation IFC (pour env. 10 personnes)

Les équipes métiers ont conduit et contrôlé leur production respective par le biais de réunions bimensuelles (soit env. 140 sessions sur 2 ans).

L'équipe implémentation a conduit sa production par le biais de réunions hebdomadaires (soit env. 40 sessions sur 1 an).

Des réunions croisées équipe métier vs équipe implémentation ont également été menées pour consolider les propositions techniques au regard des attentes métiers (soit env. 30 sessions sur 1 an)

Il ressort de ce travail coordonné un consensus international solidifié, à la fois sur le périmètre des concepts à considérer et leur priorisation, sur leur définition et leur structuration, et quant à leur finalité (usages dans un contexte métier).

11.2 Objectifs du projet bSI IFC Tunneling

Périmètre fonctionnel

L'objectif du projet bSI Ifc-Tunneling étant d'amener la définition structurée des données descriptives, et des modalités de leur échange, des éléments et composants de l'étude, de la réalisation, et de la maintenance/exploitation d'un ouvrage d'infrastructure souterraine, son périmètre fonctionnel a été très tôt organisé en 3 grands domaines fonctionnels, à savoir :

- la géotechnique au sens large,
- les aspects structurels et leur réalisation,
- les systèmes fonctionnels qui équipent une telle infrastructure qu'elle porte une voie routière, une voie ferrée voire une voie navigable.

In-fine, l'objectif du projet bSI Ifc-Tunneling est clairement de faciliter les échanges de données entre ces 3 disciplines qui sont aujourd'hui, par manque de standard et du fait des hétérogénéités des structures de données manipulées par les outils logiciels, une difficulté opérationnelle importante dans chaque projet, générant inefficience et conduisant aussi à une mauvaise compréhension des contraintes et des attentes des acteurs de chacune.

Ingénierie géotechnique

Le volet géotechnique du projet a repris les 3 sous-disciplines, imbriquées, composant cette discipline qui visent à décrire la connaissance et la méconnaissance que l'on peut avoir des configurations du sous-sol, à savoir :

- la géologie à proprement parlé
- l'hydrogéologie
- la mécanique des sols

La particularité remarquable de ces disciplines est de s'appuyer sur des données d'observations partielles (sondages, tests laboratoires) pour tenter de proposer une probabilité des situations du sous-sol là où elles n'ont pu être observées.

Il s'agit donc notamment de manipuler et d'échanger des concepts d'incertitudes associées à ces situations (en position, en disposition, en nature, en propriétés) et de risques inhérents à ces incertitudes et particulièrement sur le choix des méthodes de creusement et sur les éléments de dimensionnement structurel.

En termes de typologies de données à gérer et échanger, le projet a décidé d'utiliser l'organisation suivante :

- données factuelles : observations (sondages), tests laboratoires, mesures en cours de creusement (MWD) - sous le label Book-A
- modèles interprétés : modélisations appuyées sur les observations et l'interprétation faite par les experts pour créer un modèle (3D) probable des configurations du sous-sol (units de types : failles, plis, discontinuités), dans l'idée de définir des sections longitudinales cohérentes le long du fil rouge de l'infrastructure – sous le label Book-B.
- données issues de simulation, notamment en mode éléments-finis, pour l'évaluation des efforts qui s'exercent dans un contexte sols-structures (le sol sur la structure, et vice-versa), et ce dans l'idée d'affiner sous un cycle itératif le dimensionnement de la structure, appuyé sur les méthodes de creusement choisies en fonction des sections longitudinales cohérentes identifiées dans les modèles interprétés – sous le label Book-C.

| | |
|--|---|
| | <p>On peut souligner que cette structure, directement dérivée de celle recommandée par le CETU, a recueilli un consensus international.</p> <p>Conformément aux principes des IFC, tous ces éléments et concepts sont structurés et définis par :</p> <ul style="list-style-type: none"> leur sémantique (et leurs relations potentielles) leurs propriétés (y/c les incertitudes et les risques associés) leurs géométries (bien qu'optionnelles) leur géoréférencement. |
| <p>Consensus international</p> <p>Consensus nationaux</p> <p>Adoubement ITA</p> | <p>Les travaux de l'équipe bSI Ifc-Tunneling ont été menés par environ 50 experts issus d'une douzaine de pays majeurs et ont été caractérisés par un consensus international, acté au sein de l'équipe, appuyé par une série d'échanges au niveau national qui ont permis de le consolider.</p> <p>Au cours de ces échanges plus de 200 suggestions d'étoffement, évolutions, clarifications ont été capturées, pour les 3 grandes disciplines, qui vont constituer autant de matériau pour enrichir une version subséquente du schéma de données.</p> <p>Les échanges au niveau national ont été conduits par les membres de l'équipe bSI Ifc-Tunneling dans leur pays respectifs le plus souvent via les associations professionnelles nationales du métier des tunnels et des espaces souterrains (par ex : les collèges locaux de l'ITA ou de l'ISSMGE) et les organismes scientifiques concernées.</p> <p>Ils ont permis d'exposer le schéma de données envisagé, ainsi que les cas d'usages qui le sous-tendent, et surtout d'informer les marchés nationaux (autorités prescriptives, maîtres d'ouvrages, ingénieristes, entreprises de réalisation, éditeurs de solutions logicielles, de la préparation et la mise à disposition de ce standard et de la norme ISO (16739) associée.</p> <p>Au niveau international, un accord de collaboration a été mis en place entre l'International Tunneling Association (ITA) et bSI International (via l'équipe IfcTunnel) qui a permis là aussi d'exprimer des exigences en termes d'échanges de données métiers (openBIM for Tunneling) et de valider les propositions de l'équipe IfcTunnel.</p> <p>Des échanges ont été également montés avec l'International Association of engineering Geologists (IAEG) qui a produit un rapport d'analyse des travaux de l'équipe bSI IfcTunnel</p> |

1.1.3 Planning général & livrables

| | |
|---|--|
| <p>Planning général</p> <p>Actions 2020</p> | <p>Démarré en juin 2019, le projet bSI Ifc-Tunneling s'est organisé en 3 grandes étapes.</p> <p>Sa 1^{ère} phase s'est concentrée sur la production des cas d'usages et des décompositions organiques des objets des 3 disciplines.</p> <p>Les livrables comprennent : taxonomies des données géotechniques, creusement-soutènement, systèmes (sémantique des objets et leurs propriétés fonctionnelles), et expression des exigences des corps de métiers (Requirements analysis report).</p> |
|---|--|

| | |
|---------------------|---|
| Actions 2021 | <p>Sa 2nde phase s'est assurée de la production d'une 1^{ère} mouture d'un modèle conceptuel de données, et identification des classes d'objet existantes, à étoffer ou à créer, sur lesquelles associer données métiers et objets IFC.</p> |
| Actions 2022 | <p>Les livrables comprennent : modèle conceptuel de données géotechnique, creusement-soutènement, systèmes, et modèles d'implémentation en classes IFC associés, et leur documentation (Conceptual model report).</p> <p>Sa 3^e phase se préoccupe de la production de toute la documentation technique de ce modèle notamment pour les implémentations dans les solutions logicielles, et de celle requise pour alimenter le processus de normalisation ISO.</p> <p>Les livrables comprennent : documentation HTML, schéma Express, règles de mise en œuvre (General usages, Concepts templates, Use cases, Tests instructions).</p> |

11.4 Diffusion, déploiement, normalisation ISO

| | |
|--|--|
| Diffusion bSI | <p>Tous les résultats des travaux réalisés par les équipes projets de bSI Int'l sont diffusés via plusieurs plateformes :</p> <ul style="list-style-type: none"> le site web www.buildingsmartinternational.org la plateforme collaborative GitHub (destinée à la communauté internationale de chaque projet). |
| Plan d'aide aux implémentations | <p>Dans la continuité du plan de support aux éditeurs de solutions logicielles à l'implémentation des extensions 4.3 du schéma IFC, l'équipe bSI IfcTunnel a prévu une disposition équivalente pour ses propres extensions (4.4) sur les 3 grands domaines fonctionnels couverts (géotechnique, creusement et soutènement, systèmes).</p> <p>Elle intégrera plusieurs composants, notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> Des tests de fonctions unitaires techniques (fonctions logicielles de bas niveau) avec mise à disposition de jeux de données libres de droit, Des tests de cas d'usages métiers (fonctions répondant aux exigences métiers d'échanges cohérents de données, inter-métiers, inter-phases), avec mise à disposition de jeux de données libres de droit. <p>L'équipe bSI IfcTunnel comptant déjà parmi ses financeurs plusieurs éditeurs majeurs, ses efforts porteront en priorité et dans un 1^{er} temps sur ce 1^{er} groupe : Seequent (LeapFrog), Bentley (Plaxis), Trimble (Novapoint), BRGM (GDM).</p> <p>En parallèle ont été contactés des éditeurs de bibliothèques de fonctions d'import/export IFC de bas niveau (.lib), comme RDF et ODA, sur lesquelles s'appuient les fonctions de plus haut niveau développées par les éditeurs de solutions métiers.</p> <p>Le plan d'implémentation ('Deployment plan') sera mis en place dès juin 2022, avec une invitation qui sera lancée à la communauté des éditeurs déjà impliqués dans le Deployment plan IFC4.3 qui est en cours.</p> |
| Normalisation ISO | <p>Finalité ultime de tout projet bSI, l'activation du processus de normalisation ISO constituera la dernière phase du projet IfcTunnel (dans sa 1^{ère} itération). Elle vise à alimenter la norme ISO739 qui accueille l'ensemble des normes issues de la prénormalisation IFC.</p> <p>Le processus consiste à livrer à l'ISO la documentation (technique et littérale) du schéma conceptuel de données développé par le projet IfcTunnel sur les 3 disciplines couvertes, à savoir : géotechnique, creusement et soutènement, systèmes. Il n'inclut pas la documentation des MVD (spécification d'échanges cohérents).</p> |

Cette ultime étape sera initiée en septembre 2022, sa durée estimée est de l'ordre de 9 à 12 mois.

12. LIVRABLE 9- WPII COORDINATION AVEC LES AUTRES GT

12.1 Coordination sur des sujets partagés

| | |
|--|---|
| Géométries avancées | <p>La coordination avec les autres GT a permis de mettre en évidence la nécessité de disposer de géométries complémentaires à celles déjà existantes dans les Ifc4.3, décrites ci-dessous (coordonnées, transitions et distribution de valeurs):</p> |
| Systèmes de coordonnées projetées | <p>Les spécifications techniques de ces sujets partagés se trouvent dans l'annexe référencée ci-dessous :</p> <p>MINnD S2 GT1-4 – Annexe WP11-Géométries Partagées v1 (31.12.2021).pdf.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Documentation du système de coordonnées utilisées par un projet pour spécifier (via un tag) que soit : <ol style="list-style-type: none"> 1. il résulte d'une projection (système de projection conique, cylindrique, etc.) et donc qu'il sait intrinsèquement gérer la distorsion des distances (distance sur sphère vs distance projetée à plat), ou , 2. il est constitué comme un système cartésien d'ingénierie de type DAO/CAO et qu'il ignore cette distorsion - problématique partagée avec les IfcRailway, IfcRoadway & IfcBridge |
| Transitions non linéaires | <ul style="list-style-type: none"> • Spécification de la transition entre 2 profils spécifiques en cas de variation non linéaire (élargissement, connexion de rameaux, de puits): pour spécifier la nature de la transition (cubique, parabolique, autre) - problématique partagée avec les IfcBridge (cas des ouvrages à inertie variable). |
| Distribution de valeurs | <ul style="list-style-type: none"> • Représentation de la variation de caractéristiques (une ou plusieurs) du sous-sol de façon non discrète : spécification de modèles géoréférencés en grilles 3D (modèles voxels) permettant d'affecter des valeurs des caractéristiques (connues ou probables) aux blocs unitaires constitutifs du modèle - problématique partagée avec les IfcBuildings (fondations profondes), IfcBridge (fondations profondes) & IfcEarthworks (délais/remblais, traitement des sols, ancrages/tirants). |

12.2 Coordination sur des sujets en interface

| | |
|---|---|
| Spécification des systèmes en tunnel | <p>La coordination avec les autres GT a permis de mettre en évidence la nécessité d'identifier l'intersection des périmètres des métiers, ainsi que la déclinaison dans une situation d'ouvrage souterrain des systèmes ou composants actifs impliqués dans les voies portées (continuité des services en tunnel), et notamment l'assainissement, le système ferroviaire et la signalisation et la sécurité. :</p> |
| Assainissement de plateforme | <ul style="list-style-type: none"> • Continuité de l'assainissement de la plateforme de la voie portée (hébergée) que ce soit une voie routière ou une voie ferrée, par le biais de dispositifs adaptés pour une configuration en tunnel (et TRC/TRO), et leur atterrissage sur ceux amont/aval situés hors-tunnel – cet aspect ne couvre pas la partie relative au traitement des eaux du sous-sol, même si certains équipements peuvent être partagés entre les 2 fonctions - problématique en interface avec les IfcRailway & IfcRoadway. |

Système ferroviaire**Signalisation &
équipements de
sécurité**

- Continuité des systèmes fonctionnels actifs d'une voie ferrée, par le biais de dispositifs adaptés pour une configuration en tunnel (ainsi qu'en et en TRC) notamment pour assurer la portance des files de rail (traverses béton), la traction (CAT & supports), la signalisation et la communication, et ceci en respect des gabarits contraints par ceux de la circulation des trains/rames, et leur atterrissage sur les équipements de ces systèmes situés en amont/avant du tunnel - problématique en interface avec les IfcRailway.
- Continuité des systèmes actifs d'une voie routière, par le biais de dispositifs adaptés pour une configuration en tunnel (et/TRC) notamment pour assurer la signalisation (horizontale et verticale/PMV) et la sécurité (glissières/GBA, barrière, feux, BAU), et ceci en respect des gabarits contraints par ceux de la circulation du trafic PL/VL, et leur atterrissage sur les équipements de ces systèmes situés en amont/avant du tunnel - problématique en interface avec les IfcRoadway.

Les spécifications techniques de ces sujets en interface se trouvent dans l'annexe référencée ci-dessous :

MINnD S2 GT1-4 – Annexe WP11-Systèmes en interface v1 (31.12.2021).pdf

13. CONCLUSIONS

13.1 Bilan

Un travail fondateur

Connaissances et modélisations numériques

La transformation numérique des secteurs industriels est incontournable. Cependant, face aux défis actuels que doivent relever les communautés industrielles, il est indispensable que les outils numériques soient adaptés aux professions et se révèlent des aides précieuses pour relever ces défis.

Les machines numériques ne disposent ni de connaissances innées sur ces domaines, ni de modélisations décrivant complètement et de façon cohérente les domaines industriels. La construction ne fait pas exception, et si les progrès récents ont initialisé les démarches, ils n'avaient pas encore abordé le domaine, pourtant à très hauts risques d'exécution, des tunnels et de la géotechnique.

Durant ces trois années de MINnD S2, le groupe de travail s'est attaché à compléter la sémantique et à formaliser les usages des professionnels de la construction dans leurs démarches de conception et de réalisation de génie civil des tunnels.

Un travail collaboratif

Ce travail, très largement engagé, même si des approfondissements seront encore nécessaires pour refléter au mieux la complexité de la réalité, a été conduit au sein d'experts français du domaine et en liaison étroite avec les autres communautés nationales grâce à la place prise au sein de l'association internationale de pré-normalisation et de normalisation buildingSMART International (bSI).

Le groupe de travail a assuré cette liaison avec bSI en traduisant ses travaux ou en publiant des documents bilingues français anglais. Il a travaillé en élargissant son groupe de travail avec les propres groupes de travail des maîtres d'ouvrages majeurs en travaux souterrains, des sociétés savantes du domaine l'AFTES, de l'organisme d'État CETU. Il a travaillé en interaction fréquente avec le groupe de travail de MINnD dédié à la géotechnique.

Une alimentation de l'extension des normes

Ainsi, il a pu enrichir les descriptions des ouvrages annexes et des méthodes constructives ainsi qu'améliorer la prise en compte des exigences de sécurité des biens et des personnes. bSI est sur le point de produire une nouvelle version des Ifc (4.4) intégrant ces dernières avancées.

13.2 Perspectives 2022 et au-delà

La nécessaire poursuite du travail collaboratif

2022 - Collaboration en interne à MINnD

Exemple unique de la fédération opérationnelle de l'ensemble des acteurs d'une filière autour d'une initiative de numérisation des processus des métiers, le projet MINnD a prouvé son utilité dans l'application des recommandations d'usages du BIM-Infrastructures dans les projets des travaux-publics en France, et son effet levier majeur dans l'accélération du développement des normes internationales (IFC/ISO) de structuration des données de ces disciplines.

Concernant le GT1-4, même si nos travaux propres se terminent fin du premier trimestre 2022, nous continuons notre activité sur plusieurs aspects de coordination avec les autres groupes, et notamment :

- Identification des intersections avec les autres travaux qui sont soit : souhaitables et à expliciter (ex : recommandations en termes de revue de projet), soit à éviter et à lever (ex : concepts du glossaire général),
- Dissémination de nos travaux, notamment auprès du système éducatif concerné (baccalauréats techniques, BTS/DUT, cycle ingénieur/masters), auprès des organismes et associations professionnels (AFGC, AFTES, FNTP, Syntec), auprès des donneurs d'ordres nationaux, régionaux (DREAL/DIR), locaux et sociétés privés ou EPIC d'exploitation des infrastructures,
- Expression d'exigences de la filière aux éditeurs de solutions logicielles impactées, basés ou distributeur en France.

2022++ – Collaboration au sein de la filière

Si les modalités de la continuité, au-delà de 2022, du travail collaboratif réalisé au sein de MINnD ne sont pas encore définies, le besoin de le poursuivre est devenu une évidence pour tous les acteurs à plusieurs titres :

- le 1^{er} portant sur la gestion, l'enrichissement et la maintenance future de la connaissance mise en commun et aujourd'hui structurée sous forme des livrables du GT1-4 (rapport final, fichiers xls, illustrations),
- le 2nd portant sur l'activation des éditeurs logiciels, nationaux ou filiales d'internationaux, par la préparation de jeux de données métiers de référence (projets représentatifs, neufs ou récolés) sur la base desquelles exiger de leur part la vérification des capacités de leurs solutions.

2022++ – Collaboration au niveau international

Cette nécessaire poursuite de notre travail collaboratif se justifie par la collaboration que nous devons continuer d'assurer avec les organismes internationaux de pré-normalisation (bSI) et de normalisation (ISO/CEN).

Cette collaboration est directement liée au planning du projet bSI Ifc-for-Tunneling dont la fin de la phase de production actuelle (Phase-2022) se termine en décembre 2022 – avant leur version finale officielle, et leur soumission documentée au processus de normalisation ISO, les livrables bSI (modèle conceptuel géotechnique-structures-systèmes, documentation HTML, schéma Express et instructions de tests pour les éditeurs) seront soumis pour revue/validation aux financeurs du projet (dont MINnD) et nous devons donc fournir un avis argumenté à ce titre.

Par ailleurs, au-delà de cette 1^{ère} itération du projet bSI Ifc-for-Tunneling, une suite sera très vraisemblablement lancée pour intégrer les extensions développées et soumises par le projet MINnD S2 (TRC et méthodes de réalisation) et les sugges-

tions d'ajustements/évolutions (plus de 200) captées lors des 12 sessions de partage des exigences du projet international conduites au niveau des associations nationales.

Enfin la prise en compte de façon précise de la documentation des ouvrages exécutés, à la fois pour les besoins des maîtres d'ouvrages, mais aussi des exploitants et des mainteneurs (MCO) devra être développée à l'appui de ce qui a été exprimé de façon synthétique par le GT1-4 en saison 2 de MINnD.

Ce sujet recommanderait de s'appuyer sur :

l'alignement des modèles de données des études EXE, du récolement réalisé (DOE), de la gestion des actifs, et notamment de leur niveau de granularité respectif (ni trop peu, ni trop, pour le successeur dans la chaîne de production),

les protocoles des inspections (entrants nécessaires, sortants produits),

les processus de préparation et de compte-rendu des intervention des mainteneurs (packages cohérents d'équipements à remplacer, réintégration des notes dans le modèle BIM du tel que maintenu),

l'apport de valeur sur ces différentes interventions (dès la conception, en lien avec la GMAO/GTC),

l'alimentation de la maintenance prédictive et d'un jumeau numérique de l'ouvrage sous exploitation (surveillance temps réel, contrôle commande des équipements énergisés).

Un travail de préfiguration devrait être conduit dès le second trimestre 2022 pour en tracer le périmètre. Cette activité pourrait démarrer en janvier 2023 et ainsi continuer d'alimenter le projet international BSI Ifc-for-Tunnelling pour sa 2^e itération.

14. ANNEXES

14.1 Annexe WP2 – WP2 TRADUCTION DES IDM & DD PRODUITS EN SAISON I

Livrable MINnDs2 012 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp2_taxonomies_012_2021_eng.zip

14.2 Annexe WP3 – REX RATP, SNCF & FIB

Livrable MINnDs2 013 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp3_rex_ratp_fib_013_2021.xlsx

14.3 Annexe WP4 – Ouvrages annexes

Livrable MINnDs2 014 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp4_puits_trc_014_2021.xlsx

14.4 Annexe WP5 – Méthodes constructives

Livrable MINnDs2 015 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp5_methodes_constructives_015_2021.pdf

14.5 Annexe WP6 – Interface sol-structure

Livrable MINnDs2 016 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp6_geotech_016_2021.pdf

14.6 Annexe WP9 – Coordination avec AFTES/ITA

Livrable MINnDs2 017 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp9_commentairesaftes_gt45_017_2021_eng.pdf

14.7 Annexe WP10 – Coordination avec bSI Ifc Tunnelling

Livrable MINnDs2 047 MINnDs2_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp10_coordination_bSI_ifc-tunnel-ing_047_2021_eng.pdf

Table des matières

| | |
|--|----------|
| Mots clés principaux (Fra)..... | 2 |
| Mots clés spécifiques au livrable (Fra)..... | 2 |
| Main key words (Eng)..... | 2 |
| Deliverable key words (Eng)..... | 2 |
| I. RÉSUMÉ/ABSTRACT..... | 3 |
| Résumé..... | 3 |
| Abstract..... | 3 |
| 2. INTRODUCTION..... | 5 |
| 2.1 Objectifs du GT I-4..... | 5 |
| Objectifs principaux..... | 5 |
| 2.2 Organisation de projet..... | 5 |
| Gouvernance..... | 5 |
| Somme des expertises..... | 5 |
| Planning général..... | 5 |
| Juin 2019..... | 5 |
| Décembre 2021..... | 6 |
| 3. LIVRABLES..... | 6 |
| 3.1 Organisation des livrables..... | 6 |
| Production en Work Packages (WP)..... | 6 |
| Livrable 012-WP2..... | 6 |
| Livrable 013 - WP3..... | 6 |
| Livrable 014 - WP4..... | 6 |
| Livrable 015 - WP5..... | 6 |
| Livrable 016 - WP6..... | 6 |
| Livrable WP7..... | 6 |
| Livrable WP8..... | 6 |
| Livrable 017 - WP9..... | 6 |
| Livrable WP10..... | 6 |
| Livrable WP11..... | 6 |
| Synthèses & annexes..... | 6 |
| 3.2 Assurance qualité..... | 6 |
| Relecture interne..... | 7 |
| Relecture externe..... | 7 |
| 3.3 Droits & diffusion..... | 7 |
| Propriété intellectuelle..... | 7 |
| Modalités de diffusion..... | 7 |
| 4. LIVRABLE 1 - WP2 TRADUCTION DES IDM & DD PRODUITS EN SAISON I..... | 8 |
| 4.1 Contexte..... | 8 |
| Démarrage concomitant..... | 8 |
| 4.2 Traductions réalisées..... | 8 |
| IDM (Décompositions organiques)..... | 8 |
| DD (Dictionnaires de données)..... | 8 |
| 4.3 Livrables..... | 8 |
| Livrables en anglais..... | 8 |
| 5. LIVRABLE 2 - WP3 - RETOURS DES EXPERTS RATP/SNCF & FIB..... | 9 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1 | Contexte | 9 |
| | Historique et contexte | 9 |
| 5.2 | Objet des « Retours des experts RATP/SNCF & FIB » | 9 |
| | Objet | 9 |
| 5.3 | Organisation des livrables | 9 |
| | Livrables..... | 9 |
| | Note d'utilisation..... | 9 |
| 5.4 | Principales conclusions et perspectives | 10 |
| | Conclusions | 10 |
| | Perspectives | 10 |
| 6. | LIVRABLE 3 WP4 OUVRAGES ANNEXES | 11 |
| 6.1 | Vue d'ensemble | 11 |
| | Tranchées couvertes..... | 11 |
| | Puits..... | 11 |
| 6.2 | Tranchées couvertes | 11 |
| | Taxonomie | 11 |
| 6.3 | Puits | 11 |
| | Taxonomie | 11 |
| 7. | LIVRABLE 4 - WP 5 - MÉTHODES CONSTRUCTIVES | 13 |
| 7.1 | Expression des besoins | 13 |
| | Compléments aux exigences formulées dans le bSI RAR vI | 13 |
| 7.2 | Prise en compte des cycles d'exécution et de maintenance | 13 |
| 7.3 | Implémentation des modèles pour améliorer la prévention | 13 |
| | MINnD au service de la prévention | 13 |
| 7.4 | Rallongement des servitudes | 13 |
| | Marinage et autres servitudes | 13 |
| 8. | LIVRABLE 5 – WP 6 INTERFACE SOLS-STRUCTURES (GÉOTECHNIQUE) | 15 |
| 8.1 | Interactions sols structures | 15 |
| | Coordination | 15 |
| | Interactions sols-structures propres aux tunnels..... | 15 |
| | Risques globaux..... | 15 |
| | Risques aux biens des avoisinants..... | 15 |
| | Stabilité du front de taille en méthode conventionnelle..... | 15 |
| | Stabilité du front de taille en creusement mécanisé | 16 |
| | Études hydrauliques | 16 |
| | Étude structurelle | 16 |
| | Autres simulations sols-structures | 16 |
| | Soutènement | 16 |
| | Fondations superficielles | 17 |
| | Renforcement de sols..... | 17 |
| | Fondations profondes..... | 17 |
| | Tassements | 17 |
| | Stabilité générale structures ou grands massifs de terres déblais ou remblais | 17 |
| | Érosion | 17 |
| | Stabilité des pentes et talus / clouage | 17 |
| 8.2 | Coordination des commentaires sur l'analyse des besoins par bSI | 17 |
| | Les travaux de bSI | 17 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| | Requirements Analysis Report (RAR)----- | 17 |
| | Cas d'usages----- | 17 |
| | Descriptif----- | 18 |
| 9. | LIVRABLE 6 - WP7 SURVEILLANCE/ MAINTENANCE/SUPERVISION..... | 19 |
| 9.1 | Contexte..... | 19 |
| | Cadre opérationnel..... | 19 |
| 9.2 | Spécificités du MCO des tunnels..... | 19 |
| | Conditions nominales..... | 20 |
| 10. | LIVRABLE 7 - WP9 GT45 COORDINATION AVEC LE GT45 DE L'AFTES..... | 21 |
| 10.1 | Les principaux acteurs des travaux souterrains..... | 21 |
| | L'AFTES..... | 21 |
| | L'AITES..... | 21 |
| | L'EUTF..... | 22 |
| 10.2 | Le GT 45 de l'AFTES..... | 22 |
| | Objectifs et enjeux..... | 22 |
| | Composition----- | 23 |
| 10.3 | La coordination internationale..... | 23 |
| | MINnD..... | 23 |
| | Building Smart International..... | 23 |
| | AITES/ITA..... | 23 |
| 11. | LIVRABLE 8 - WPI0 COORDINATION AVEC BSI IFC TUNNEL..... | 24 |
| 11.1 | Montage du projet bSI IFC for Tunneling..... | 24 |
| | Situation bSI existante..... | 24 |
| | Projet Ifc4.1----- | 24 |
| | Projet Ifc4.3----- | 24 |
| | Apports MINnD..... | 24 |
| | Apports intellectuels----- | 24 |
| | Apport financier----- | 24 |
| | Gouvernance..... | 25 |
| | Stakeholders----- | 25 |
| | Organisation de projet----- | 25 |
| 11.2 | Objectifs du projet bSI IFC Tunneling..... | 26 |
| | Périmètre fonctionnel..... | 26 |
| | Ingénierie géotechnique----- | 26 |
| | Consensus international..... | 27 |
| | Consensus nationaux----- | 27 |
| | Adoubement ITA----- | 27 |
| 11.3 | Planning général & livrables..... | 27 |
| | Planning général..... | 27 |
| | Actions 2020----- | 27 |
| | Actions 2021----- | 28 |
| | Actions 2022----- | 28 |
| 11.4 | Diffusion, déploiement, normalisation ISO..... | 28 |
| | Diffusion bSI..... | 28 |
| | Plan d'aide aux implémentations..... | 28 |
| | Normalisation ISO..... | 28 |
| 12. | LIVRABLE 9- WPI1 COORDINATION AVEC LES AUTRES GT..... | 30 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 12.1 | Coordination sur des sujets partagés | 30 |
| | Géométries avancées..... | 30 |
| | Systèmes de coordonnées projetées..... | 30 |
| | Transitions non linéaires | 30 |
| | Distribution de valeurs | 30 |
| 12.2 | Coordination sur des sujets en interface | 30 |
| | Spécification des systèmes en tunnel..... | 30 |
| | Assainissement de plateforme..... | 30 |
| | Système ferroviaire..... | 31 |
| | Signalisation & équipements de sécurité | 31 |
| 13. | CONCLUSIONS | 32 |
| 13.1 | Bilan 32 | |
| | Un travail fondateur..... | 32 |
| | Connaissances et modélisations numériques | 32 |
| | Un travail collaboratif..... | 32 |
| | Une alimentation de l'extension des normes | 32 |
| 13.2 | Perspectives 2022 et au-delà..... | 33 |
| | La nécessaire poursuite du travail collaboratif..... | 33 |
| | 2022 - Collaboration en interne à MINnD | 33 |
| | 2022++ – Collaboration au sein de la filière | 33 |
| | 2022++ – Collaboration au niveau international | 33 |
| 14. | ANNEXES..... | 35 |
| 14.1 | Annexe WP2 – WP2 TRADUCTION DES IDM & DD PRODUITS EN SAISON I | 35 |
| | Livrable MINnDs2 012 | 35 |
| 14.2 | Annexe WP3 – REX RATP, SNCF & FIB | 35 |
| | Livrable MINnDs2 013 | 35 |
| 14.3 | Annexe WP4 – Ouvrages annexes | 35 |
| | Livrable MINnDs2 014 | 35 |
| 14.4 | Annexe WP5 – Méthodes constructives | 35 |
| | Livrable MINnDs2 015 | 35 |
| 14.5 | Annexe WP6 – Interface sol-structure | 35 |
| | Livrable MINnDs2 016 | 35 |
| 14.6 | Annexe WP9 – Coordination avec AFTES/ITA | 35 |
| | Livrable MINnDs2 017 | 35 |
| 14.7 | Annexe WPI0 – Coordination avec bSI Ifc Tunnelling..... | 35 |
| | Livrable MINnDs2 047 | 35 |