



Modélisation des INformations INteropérables
pour les INfrastructures Durables

GT1.4 - IfcTunnel

Méthodes constructives

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_GT1.4_ifc-tunnel_annexe_wp5_methodes_constructives_015_2021
LC/21/MINNDS2/031-031B-054-054B-056-057-057B-058-059-060 & LC/22/MIINNS2/22/146
Décembre 2021

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

1. ÉNONCÉ DES MANQUES	2
2. SERVITUDES.....	3
2.1 Servitudes de production	3
2.2 Installations de chantier	4
2.3 Activités propres au cycle de travail	6
3. MICRO-TUNNELLING	11
4. ACTIVITÉS DE PRÉVENTION.....	12
4.1 Cas général.....	12
4.2 Cas du creusement à l'explosif	13
5. COMMENTAIRES RELATIFS AUX « USE CASES » IMPACTÉS OU INTÉRESSÉS AUX MÉTHODES CONSTRUCTIVES.....	15

I. ÉNONCÉ DES MANQUES

En référence du document bSI d'expression des besoins en modélisation des infrastructures de tunnels, nous avons identifié qu'il y avait sans doute quelques manques dans la description des besoins relativement aux méthodes constructives.

Pour en faire une évaluation précise, nous avons fait appel à une banque de procédures d'exécution qui mettent en évidence les parties non traitées relatives aux méthodes de construction dans le document bSI. Nous listons ci-après certaines actions des activités de construction rattachées aux cas d'usage attendus de MINnD.

En particulier, le choix de la méthode de construction doit intégrer la prise en compte des servitudes (gainés de circulation des fluides, alimentation électrique, sécurité incendie, maintenance, marinage) ainsi que des activités découlant des exigences de la prévention qu'il doit être possible d'implémenter pleinement lors de la modélisation des méthodes de construction. Les installations de chantier sont une part importante à traiter dans l'acte de construire.

2. SERVITUDES

2.1 Servitudes de production

On appellera servitudes de production celles liées à l'avancement régulier du creusement. 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.

Convoyeur et autres servitudes

Pour la construction mécanisée, il convient de prévoir un mode opératoire permettant de procéder au rallongement de la bande tapis en tunnel servant à évacuer les marins au fur et à mesure de l'avancement du tunnelier. Dans le même registre, l'avancée du tunnelier s'accompagne du rallongement de toutes les servitudes (câbles d'alimentation, conduite d'exhaure, alimentation en eau, communications...).



Fig 1. Vue générale des servitudes nécessaires à l'avancement du creusement

Tour de tension

Ces phases particulières des travaux impactent le planning général de construction.

Leur visualisation est importante pour détecter des fragilités dans la conception.

Il s'agit d'un ouvrage particulier aux tapis des convoyeurs puisque cette tour permet de les mettre en tension afin qu'ils remplissent correctement leur rôle. Cet ouvrage est lui-même composite des modules suivants :

- une structure métallique composée d'une embase et de huit containers superposés
- un chariot fixe formant le point fixe des aller-retours de la bande.
- un chariot mobile formant le point mobile des aller-retours de la bande.
- un contrepoids permettant la tension de la bande.
- un treuil de tension
- un treuil de levage du chariot mobile lors des rallongement de bande.
- un local technique.

Tapis

Visualisation de l'ensemble convoyeur reliant l'arrière du tunnelier à la tour de tension de bande

Poste de rallongement

Les opérateurs y interviennent pour **vulcaniser** la bande.

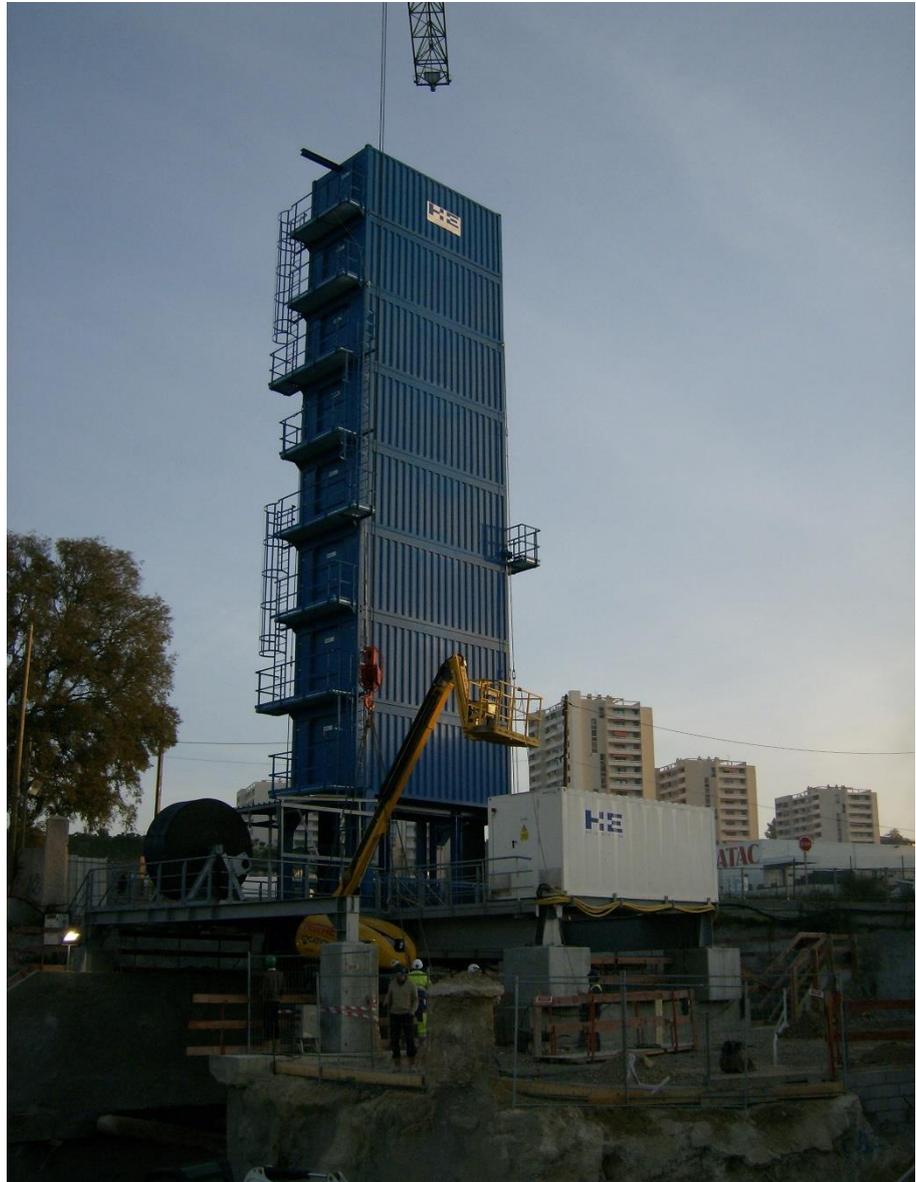


Fig 2. Tour de tension -Poste de rallongement

2.2 Installations de chantier

Installations de chantier

Visualisation des espaces disponibles en surface pour le stockage, l'emplacement des magasins, des aires de préfabrication.

Conformité au marché. (Use case 15 D)

Centrale béton

Visualisation de l'alimentation

Bureaux

Visualisation de leur emprise

Terrassement provisoire	Visualisation de la plateforme définitive de travail
Aire de préfabrication et d'assemblage	Aire d'assemblage des cages d'armatures Aire de stockage des voussoirs en pic
Plan de circulation	Définition et visualisation du plan de circulation en surface et des aires de déchargement, levage. Signalisation spécifique associée
Casiers	Capacité de stockage en pic. Soutènement associé au casier construit en déblais



Fig 3. Vue générale d'une installation de chantier -Silo-Base vie-circulation des engins

Entrée en terre/sortie	Visualisation pour : <ul style="list-style-type: none"> • Décrire le démarrage du creusement • Décrire le montage/démontage du tunnelier
Sous faible couverture	Mise en œuvre d'un remblai en surface
Cloche de protection	Mise en œuvre d'une cloche protectrice.
(Re)démarrage du tunnelier	<ul style="list-style-type: none"> • Montage du bâti de poussée • Pose des ½ anneaux métalliques et fixation au bati de poussée • Montage de la virole • Démarrage en station • Béton projeté en traversée de station



Fig 4. Légende de l'image au-dessus

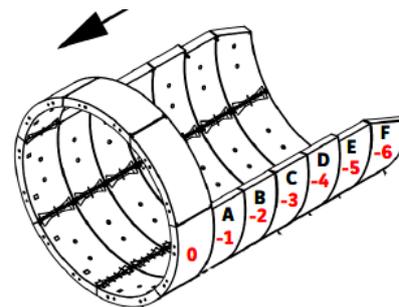


Fig 5. Repérage des anneaux métalliques

2.3 Activités propres au cycle de travail

On décrira tout d'abord le cycle de travail selon les différents types de tunnel avant de décrire plus précisément les opérations de mise en sécurité du front de taille.

Cycle de travail	En pratique, le tunnelier ou l'équipe de creusement s'arrête pour : <ul style="list-style-type: none"> • les opérations de maintenance • Les changements de poste • Le rallongement des servitudes • Les pannes • Les dommages en surface (remontée de fontis) <p>On entend par cycle de travail la succession de cycles de creusement et d'une phase durant laquelle les équipements sont en arrêt avant la reprise d'un nouveau cycle de travail.</p>
Excavation mécanique	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pose anneau N 2. Les vérins rétractés viennent se positionner sur les voussoirs de l'anneau N 3. Phase de poussée avec creusement sur l'épaisseur de l'anneau N+2, maintien de la pression de confinement, contrôle des déblais, et de l'alignement, réajustement du pilotage selon la feuille de consigne. 4. Injection de mortier ou coulis entre les anneaux et le terrain 5. Pose des voussoirs de l'anneau N+1 (un train sur pneu (TSP) a préalablement livré les voussoirs dans le tunnelier) 6. ... pour n cycles de creusement 7. Arrêt pour maintenance / changement de poste / ... 8.

Excavation traditionnelle

1. Creusement selon plan de tir
2. Chargement des explosifs dans les trous selon le plan de tir-Nombre de détonateurs-Calage des temps de départ
3. Évacuation des personnels et mise en sécurité des matériels
4. Tir
5. Évacuation des fumées
6. Examen du front de taille, purges éventuelles
7. Marinage
8. Pose du soutènement supplémentaire sur la longueur du décousu
9. Allongement des servitudes
10. ...

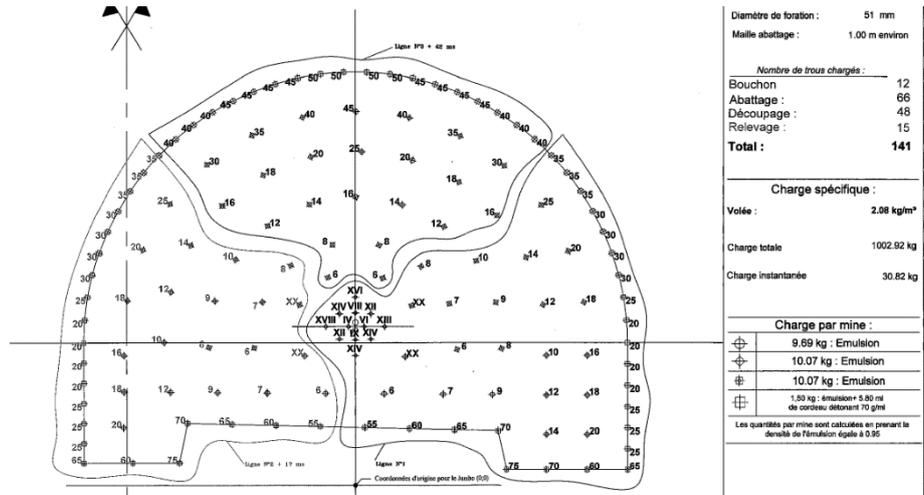


Fig 6. Caractéristiques d'un plan de tir

Raise boring

On aménage préalablement une installation de chantier spécifique en surface) et une galerie d'accès en pied permettant l'évacuation ultérieure des déblais. On réalise alors un forage dirigé vertical « guide » depuis la surface vers la galerie de pied.

Après avoir débouché dans la galerie de pied et procédé au démontage de la tête de coupe descendante et à l'assemblage de la roue de coupe, on initie la remontée.

1. Passe N de creusement, contrôle de la verticalité, la chute des déblais se fait naturellement par chute gravitaire,
2. Évacuation des déblais de la passe N par la galerie en pied
3. Pose éventuelle d'un soutènement
4. ...



Fig 7. Roue de coupe et forage



Fig 8. Installation de surface



Fig 9. Forage

VSM Initialement, aménagement de surface, avec notamment réalisation de la poutre de couronnement.

- Havage du puits sur une hauteur correspondante à la hauteur d'un anneau
- Descente du cuvelage du puits sur lequel a été ajouté l'anneau suivant
- Poursuite du creusement sous la base du puits permettant le havage de l'anneau suivant



Fig 10. Vue générale de l'installation

Jacked tunnelling

Il s'agit des tunnels de faible diamètre réalisés et de longueur modeste par poussage de voussoirs ou segments successifs.

- Réalisation des puits de démarrage et d'arrivée
- Réalisation du bâti d'ancrage et de poussage dans le puits de départ
- Cycles répétés de creusement
 - Insertion d'un nouveau segment (souvent un tube en béton ou acier)
 - Poussage horizontal
 - Creusement et marinage
 - ...

Sécurisation et contrôle

Sécurisation du front et du parement / Béton projeté

Mise en œuvre de béton projeté sur la voûte et les piédroits

- Voie sèche
- Voie humide.

Contrôle des soutènements

Le chef de chantier ou le chef de poste établit une fiche de positionnement des cintres après leur réglage et blocage. Il mentionne :

- Le n° et le PM des cintres posés.
- La quantité de béton livré.
- L'épaisseur des couches de béton projeté.
- La durée de chaque phase.

Contrôle topographique

Le contrôle interne du canevas est mené au fur et à mesure de l'implantation des nouveaux repères. Dans les méthodes de construction, une procédure d'exécution doit traiter de l'organisation, des techniques et des moyens déployés pour la pose des repères. De plus, la méthode de mesure doit être explicitée.

Le rapport de production

En phase de production, il est attendu un rapport de poste qui liste l'enchaînement des tâches unitaires en fonction du temps :

- Excavation mécanique
- Excavation manuelle
- Pose soutènement
- Captage eaux
- Pose de blindage

- Pose gaines
- Prolongements conduits
- Topographie
- Pannes électriques
- Pannes mécaniques
- Divers

Ce rapport permet d'appréhender un niveau d'efficacité dans l'activité de production.

Use case

Ce rapport, émis par l'entreprise en charge des travaux, s'inscrit logiquement dans la logique du USE CASE 15 d- Quantity determination for billing/payment. Il permet en particulier de quantifier le travail réellement fait.

3. MICRO-TUNNELLING

Les ouvrages construits en faisant appel aux micro-tunneliers sont très nombreux et permettent de franchir des obstacles à des infrastructures de dimensions transversales modestes. Les ouvrages franchis (par exemple cas des forages dirigés pour des grands gazoducs ou oléoducs) peuvent être majeurs comme des traversées de cours d'eau importants ou de voies ferrées ou autoroutières, pour lesquelles les distances à franchir peuvent être de plusieurs centaines de mètres. L'économie en comparaison de solutions en fouilles ouvertes est alors très significative.

Micro-tunnelling

Spécificité du micro-tunnelier

- Chambre de départ et chambre d'arrivée
- Pilotage du micro-tunnelier
- Possibilité de mise en œuvre par havage
- Les joints entre anneau

4. ACTIVITÉS DE PRÉVENTION

Les activités de tunnels restent parmi les plus dangereuses de toutes les activités de construction. La sécurité des biens et des personnes se trouve y être une préoccupation permanente des équipes de conception et de réalisation des tunnels faisant appel à des organisations, procédures et matériels spécifiques. C'est l'objectif de ce chapitre que de souligner ces aspects en ce qu'ils ont de spécifiques en comparaison des activités plus usuelles de la construction supposées traitées dans d'autres lieux.

4.1 Cas général

La prévention	Prise en compte dans le processus de construction :
Use case	Le cas d'usage 4 « Safety visualization » est en adéquation avec la prise en compte de la prévention dans l'IFC tunnel. La visualisation de la sécurité demande l'identification de composants spécifiques. Nous listons ci-après des phases de construction avec leur impact sur la prévention.

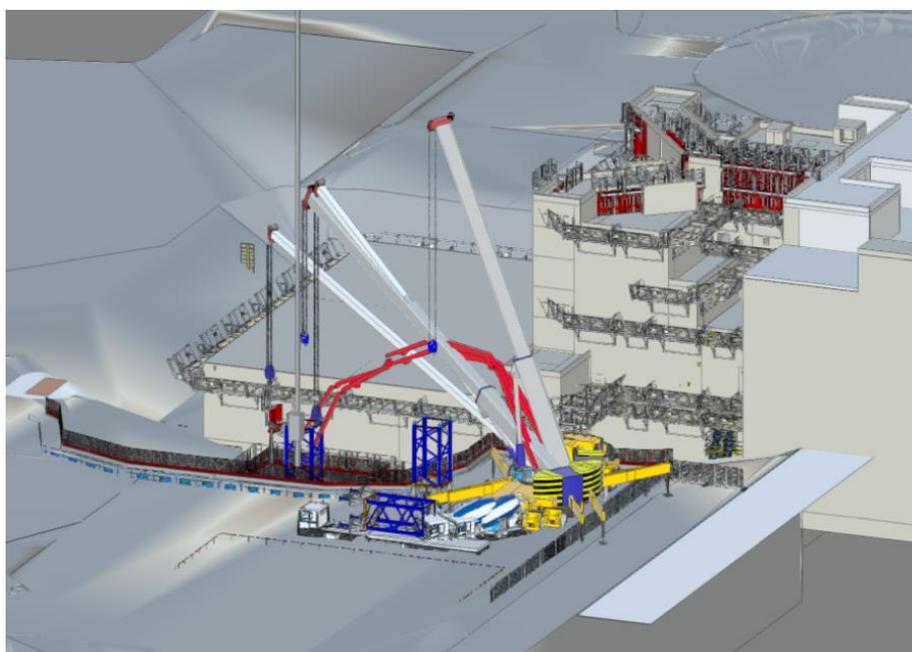


Fig 11. Exemple de contribution d'un modèle 3D à la prévention

Phase de construction	Impact prévention
Excavation à la pelle	Poste de travail suffisamment éclairé Aspersion du front pour limiter les envols de poussière Captage et pompage vers les bennes de décantation et la station de traitement provisoire des débits d'exhaure.
Marinage	Respect du plan de circulation des engins. Définition du rayon de chargement du marin.
Purge	Définition et balisage de la zone de purge. Application d'une couche de béton de confinement avant intervention du personnel affecté au front après la purge.
Pose des cintres	Prévoir un érecteur de cintres.

Phase de construction	Impact prévention
	Zone de travail éclairé.
Maintenance du tunnelier	Accès à la chambre d'abatage Visualisation d'une chambre hyperbare. Phasage et contrôle des ouvertures des sas. Changement des outils et molettes.
Montage/démontage du tunnelier en fond de fouille	Visualisation des différentes phases de montage/démontage du tunnelier et du train suiveur Visualisation des aménagements de surface
Installation de chantier	Visualisation du plan d'installation de chantier (PIC) Visualisation des plans de circulation en surface
Mise en service des grues	Grue mobile – visualisation des emplacements/ compatibilité avec les méthodes de construction Grue à tour -arrivée sur site
Use case	S'inscrit aussi dans une réponse au cas d'usage 4 Safety visualization.

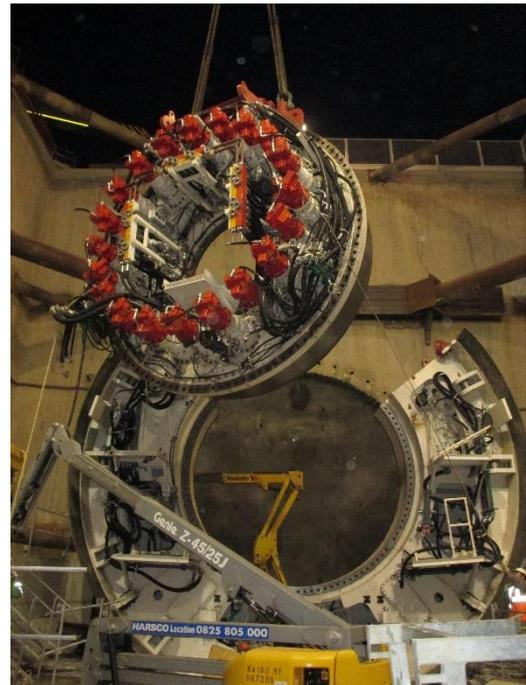


Fig 12. Assurer la prévention en phase de montage du tunnelier

4.2 Cas du creusement à l'explosif

Réception, transport et mise en œuvre de produits explosifs

Use case

Par produits explosifs, nous entendons les matières dangereuses classées 1 au niveau de la législation des transports des matières dangereuses (détonateurs, cordons détonants, dynamites, émulsions explosives...

S'inscrit aussi dans une réponse au cas d'usage 4 : Safety visualization.

Transport

Un véhicule est dédié aux transports des explosifs et des détonateurs. Les détonateurs et les explosifs ne peuvent pas être transportés en même temps dans un même engin.

Réception des explosifs

Les locaux d'entreposage des explosifs sont des locaux dédiés.

Mise en œuvre des explosifs

- Utilisation de détonateurs électriques. Le contrôle (visualisation) de la continuité de la ligne.
- Utilisation de détonateurs non électriques.
- Accessoires de mise à feu :
 - Exploseur simple
 - Exploseur séquentiel

Caractéristique d'un tir

- Section abattue théorique/obtenue
- Volume
- Diamètre de foration
- Maille d'abattage
- Charge spécifique
 - Volée
 - Charge totale
 - Charge instantanée
- Charge par mine
- Lignes de tir
 - Temps de départ
 - Nombre de détonateurs
 - Charge par numéro de détonateur

5. COMMENTAIRES RELATIFS AUX « USE CASES » IMPACTÉS OU INTÉRESSÉS AUX MÉTHODES CONSTRUCTIVES

N°	Use case	Description	Commentaires	Required geometry information	Required semantic information
4c	Safety visualization	Visualization of driver's view for safety reasons	<ul style="list-style-type: none"> - La visualisation du cheminement des explosifs sur un site de chantier en traditionnel - La visualisation de la zone décousue (zone interdite d'accès devant le front de taille avant la mise en œuvre des soutènements) - Permettre le marquage et la traçabilité des amphiboles 	Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets)	Materials, reflectivity, road markings
5	Design coordination	Coordination of domain-specific sub-models by combining models in coordination SW for detecting interference			Work breakdown structure, unique object identifier, ownership information
10	Quantity take-off	Basis for cost estimation, tendering, billing, logistics planning			Precise component types, combination with (national) classification system
11	Construction sequencing (4D modeling)	Excavation volumes and functional parts are associated with the corresponding processes of the construction schedule		Explicit geometry Faceted BRep, Triangulated Face Sets).	Temporal information (Schedule, Tasks, Durations)
12a	Design to tender: Construction Model	Provision of design models as part of the tender documents.		Explicit geometry Faceted BRep, Triangulated Face Sets).	Detailed information on materials, properties, quantities
13	Design to construction	Setting out construction projects, controlling earthmoving equipment, on-site decision making .		Explicit geometry Faceted BRep, Triangulated Face Sets).	Detailed information on materials, properties, quantities
15a	Progress monitoring	A BIM model is used to report progress on site on a regular basis.		Explicit geometry Faceted BRep, Triangulated Face Sets).	Work breakdown structure; unique object identifiers, responsible trade, completion status.
15d	Quantity determination for billing / payment	Logging and calculating the quantities of work performed or completed and communicating such information to all parties involved.	-Le rapport de production	Explicit geometry Faceted BRep, Triangulated Face Sets).	Quantities, work breakdown structure; unique object identifiers, responsible trade, completion status
16	Machine guidance & control	Steering a tunnel boring machine through the ground on the basis of the as-designed tunnel axis	<ul style="list-style-type: none"> -Visualisation des emplacements pour la mise en place des capteurs pour le pilotage du tunnelier -raise boring: tolérance sur la verticalité du forage initial (qui va permettre la remontée de la roue de coupe) 		
17	Damages recording	Damages control is done during construction, at acceptance of works and during operation. It aims at recording the damages affecting the quality of the structure during construction and operation.		Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets), precise localisation	
18	Settlement monitoring	Monitoring of ground deformations during tunnelling		Explicit geometry (Faceted BRep, Triangulated Face Sets), precise localisation of sensors	Sensor type, measurement, time stamp