

Tuteur école : HASSANI Yassine

Tuteur entreprise : EL KHARROUBI Bilal

OUTIL DE CALCUL DES PROFILS D'AVANCEMENT DES TRAVAUX ET COMPARAISON AUX PROFILS THEORIQUES A PARTIR D'UN NUAGE DES POINTS.
Tool for calculating work progress profiles and comparison to theoretical profiles from a point cloud.

MEMOIRE DE TRAVAIL DE FIN D'ETUDE



MORABET, MOHAMED

01/03/2021 – 31/08/2021

T3 Option C2P

15 SEPTEMBRE 2021

Remerciement

Je tiens à remercier dans un premier temps l'entreprise Bouygues Travaux Publics de m'avoir intégré à son effectif pour mon stage de fin d'études en tant qu'ingénieur géomètre.

Je remercie tout particulièrement les personnes suivantes, pour l'expérience enrichissante et formatrice qu'elles m'ont fait vivre durant ces 6 mois au sein du groupe Bouygues :

- Bilal EL KHARROUBI – tuteur entreprise – ingénieur géomètre **ESTP** promo T2019, pour le temps qu'il a consacré à m'apporter les outils méthodologiques indispensables à la réalisation de mon TFE, pour tous les conseils dont j'ai pu bénéficier au cours de ces six mois et pour ses retours d'expériences très enrichissants ainsi que sa bienveillance.
- Frédéric TAN TENG HA – responsable du service topographie sur T2A, pour son encadrement et l'organisation de ce stage. Dès mon arrivée, il a instauré une relation de confiance et m'a donné plusieurs responsabilités, ce qui m'a permis de faire mes preuves dès le début. Il m'a énormément appris autant humainement que professionnellement.
- Yassine HASSANI – tuteur école – responsable du laboratoire de topographie / enseignant spécialisé chez ESTP Paris pour ses conseils avisés. Je le remercie aussi pour son encadrement, ses conseils ainsi que son orientation sur des sujets.
- Clément DUJARDIN – ingénieur géomètre promo **ESTP** T2021, pour son partage du savoir-faire notamment en ce qui concerne les travaux topographiques souterrains, pour ses conseils tout en étant toujours agréable au quotidien.
- Jesús Olivares – tuteur école de l'Université Polytechnique de Valence – pour son partage d'expérience et ses conseils.

J'aimerais exprimer ma gratitude à tous les collaborateurs et spécialistes de l'équipe T2A, d'avoir participé au bon déroulement de ce stage en travaux souterrains. Chacun de ces échanges m'a aidé à faire avancer mon analyse.

Sommaire

Remerciement	2
Résumé	5
Abstract	6
Liste des abréviations et acronymes	7
Introduction.....	8
Introduction.....	9
Présentation de l'entreprise.....	10
Le groupe BOUYGUES.....	10
Organisation du service Topographie	12
Présentation de l'opération : Le grand Paris Express – Ligne 15Sud- Lot T2A.....	12
Excavation en méthode conventionnelle.....	15
Procédure d'excavation en méthode conventionnelle.....	16
Dimensions des puits et rameaux	17
Phasage général	17
Installation de chantier des rameaux.....	17
Investigations géotechniques à l'avancement des rameaux.....	18
Injection de Collage	18
Sciage et démolition des Parois Moulées en souterrain	18
Excavation en méthodes conventionnelles.....	19
Gestion des déblais des rameaux.....	20
Renforcement en tunnel au droit des rameaux.....	20
Réalisation de la voûte parapluie des rameaux	20
Méthodologie.....	21
Mesures des convergences	23
Description de l'activité.....	23
La répartition des tâches.....	24
Moyens matériel	25
Revêtement	25
Gestion topographique des rameaux.....	28
La répartition des tâches.....	28
Les moyens matériels.....	29
Multi station Leica MS60.....	29
Guidage Amberg.....	29

Outil de calcul des profils d'avancement des travaux et comparaison aux profils théoriques à partir d'un nuage des points.....	33
Situation de départ.....	33
Les calculs.....	33
Les résultats.....	36
Comparaison.....	37
Conclusion.....	38
Conclusion.....	39
Bibliographie/Webographie.....	40
Table des illustrations.....	41
Annexes.....	42

Résumé

Mon stage de fin d'études a été effectuée au sein de la cellule topographique de l'entreprise Bouygues Travaux Publics, mandataire du lot T2A et tronçon de la future ligne 15 Sud du projet du Grand Paris Express. Pendant ma période de stage, j'ai été affecté à la partie conventionnelle des travaux souterrains. Mon TFE consiste à la réalisation d'un outil de calcul des profils d'avancement des travaux souterrains et à leurs comparaisons par rapport aux profils théoriques à partir d'un nuage de points.

Dans le cadre de mon étude, ma mission était d'assurer le guidage de l'excavation à travers le logiciel Amberg Tunnel et de traiter ces données en réalisant les différents profils : d'excavation, de béton de confinement et de finition. Pour cela, l'objectif qui m'a été donné sur ce projet consiste à automatiser un outil de calcul des profils pour atteindre les mêmes précisions de calcul que celles obtenues sur les différents logiciels payants tel que Amberg Tunnel. D'autre part, cet outil permettra aux exploitants de gagner en matière de rapidité de traitement et de simplicité.

Partant d'une très faible connaissance en programmation, j'ai donc dû développer mon savoir-faire à l'aide de documentations disponibles dans des livres ou sur internet et également avec l'aide de mes collaborateurs. Plus ma technique évoluait plus je cherchais à améliorer mes programmes en augmentant le nombre de tâches automatiques, simplifiant des formules, purifiant interface d'utilisation, réduisant le temps de traitement. J'ai ensuite comparé les différentes méthodes pour quantifier les améliorations apportées.

Ce projet a pu améliorer mes connaissances sur les travaux souterrains en méthode conventionnelle et d'apprendre les techniques de montage à travers le logiciel Amberg. Je garde une expérience singulière et formatrice de cette démarche d'ingénieur sur ce chantier de travaux souterrains.

Abstract

My end-of-studies internship was carried out within the topographic unit of the company Bouygues Travaux Publics, agent for the T2A lot and section of the future line 15 South of the Grand Paris Express project. During my internship period, I was assigned to the conventional part of the underground work. My TFE consists in the realization of a tool for calculating the progress profiles of underground work and their comparisons with the theoretical profiles from a cloud of points.

As part of my study, my mission was to guide the excavation through the Amberg Tunnel software and process this data by making the different profiles: excavation, confinement concrete and finishing. For this, the objective given to me on this project is to automate a tool for calculating profiles to achieve the same calculation precision as those obtained on various paid software such as Amberg Tunnel. On the other hand, this tool will allow operators to gain in terms of processing speed and simplicity.

Starting from a very low knowledge of programming, I therefore had to develop my know-how with the help of documentation available in books or on the internet and also with the help of my collaborators. The more my technique evolved the more I tried to improve my programs by increasing the number of automatic tasks, simplifying formulas, purifying the user interface, reducing processing time. I then compared the different methods to quantify the improvements made.

This project was able to improve my knowledge of underground work in the conventional method and to learn assembly techniques through the Amberg software. I keep a unique and formative experience of this engineering approach on this underground work site.

Liste des abréviations et acronymes

DTA	Design Tunnel Axis (Axe Projet)
CCTP	Cahier des Clauses Techniques Particulières
BYTP	Bouygues Travaux Publics
EMQ	Ecart Moyen Quadratique
FNC	Fiche de Non-Conformité
GC	Génie civil
MOA	Maitrise d'Ouvrage
MNT	Modèle Numérique de Terrain
PA1	Point arrêt niveau 1
PDF	Portable Document Format
RGF	Réseau Géodésique Français
RH	Ressources Humaines
TBM	(Tunnel Boring Machine) Tunnelier
TFE	Travail de Fin d'Etude
TQC	Tel Que Construit (As Built)
VBA	Visual Basic for Applications
PM	Paroi Moulée
PIRL	Plateforme Individuelle Roulante Légère
BRH	Brise Roche Hydraulique
MOE	Maîtrise d'Oeuvre
NOG	Note d'Organisation Générale
NOP	Note d'Organisation Particulière
DT	Directeur Technique
DP	Directeur de Projet
FDC	Fiche De Contrôle
PRC	Plan de Réalisation et Contrôle

Introduction

Après ma première expérience en tunnel traditionnel lors de mon stage de 2^{ème} année dans le cadre du prolongement du RER E au sein de l'entreprise NGE, j'ai souhaité réaliser mon TFE dans le même domaine chez l'entreprise BYTP sur le projet du Grand Paris Express. J'ai eu l'occasion d'assister au cours de ces 6 mois de stage à l'ensemble des phases des travaux (montage, excavation, etc.) car je suis arrivé au début de la partie conventionnelle de ce projet.

Outre l'apprentissage technique des travaux souterrains et la topographie associée, je souhaitais au cours de ce stage découvrir et développer la démarche d'un ingénieur géomètre aux côtés de personnes compétentes et expérimentées sur un projet aussi complexe et de grande ampleur qu'est celui du Grand Paris.

Afin de rédiger mon rapport, je me suis donc demandé les questions suivantes : Qu'est-ce qu'une démarche d'ingénieur ? Que puis-je apporter à l'entreprise BYTP dans un domaine où elle possède déjà une expertise ? Mais également, quel bilan retenir de ma formation à l'ESTP avant d'habiller le statut professionnel. Le sujet précis de mon étude porte sur le développement d'un outil informatique qui nous permettra de calculer les profils à partir d'un nuage de points. Cet outil, qui est à la fois unique et commun à toutes les équipes de topographie, réduira les durées de traitement et sera appliqué à l'ensemble des chantiers de Bouygues Travaux Publics.

C'est en ce sens que je présenterai dans un premier temps l'entreprise Bouygues Travaux Publics ainsi que le chantier auquel j'ai été affecté, puis je détaillerai ma démarche d'ingénieur développé au cours de ce stage ainsi que ma valeur ajoutée, avant d'apporter un regard critique dans la conclusion.

Introduction

After my first experience in a traditional tunnel during my 2nd year internship as part of the extension of the RER E within the NGE company, I wanted to carry out my TFE in the same field at the BYTP company on the project of Grand Paris Express. During these 6 months of internship I had the opportunity to attend all phases of the work (assembly, excavation, etc.) because I arrived at the start of the conventional part of this project.

In addition to technical learning of underground work and the associated topography, during this internship I wanted to discover and develop the approach of a surveyor engineer alongside competent and experienced people on a project as complex and large-scale as this of Greater Paris.

In order to write my report, I therefore asked myself the following questions: What is an engineering process? What can I bring to the BYTP company in an area where it already has expertise? But also, what conclusions can be drawn from my training at ESTP before qualifying for professional status. The specific subject of my study concerns the development of a computer tool that will allow us to calculate profiles from a cloud of points. This tool, which is both unique and common to all topography teams, will reduce processing times and will be applied to all Bouygues Travaux Publics sites.

It is in this sense that I will first present the Bouygues Travaux Publics company as well as the site to which I was assigned, then I will detail my engineering approach developed during this internship as well as my added value, before taking a critical look at the conclusion.

Présentation de l'entreprise

Le groupe BOUYGUES

Le groupe Bouygues, créé en 1952 par Francis Bouygues, est dirigé depuis 1989 par Martin Bouygues, président directeur général. D'abord centrées sur le bâtiment en Ile-de-France, les activités de Bouygues se sont rapidement développées. Aujourd'hui, Bouygues est un groupe industriel diversifié, structuré par une forte culture d'entreprise et dont les métiers s'organisent autour de trois pôles que sont la construction avec Bouygues Construction (BTP et électricité), Bouygues Immobilier, Colas (routes), les télécoms avec Bouygues Telecom et les Médias avec TF1. Bouygues, c'est également une participation dans le domaine de l'énergie-transport avec Alstom. Sa filiale Bouygues Construction est un acteur mondial dans le domaine du bâtiment. (Image1)

Enfin, Bouygues Travaux Publics, major mondialement reconnu des travaux publics, réalise des grands projets d'infrastructures et génie civil, de travaux souterrains, de projets linéaires et de travaux fluviaux et maritimes, en France et dans le monde. (Image 2) Implanté dans 92 pays, le groupe Bouygues compte 130 500 collaborateurs et a réalisé, en 2019, un chiffre d'affaires de 37,9 milliards d'euros.

Depuis plus de 35 ans, Bouygues Travaux Publics est un acteur incontournable du marché des tunnels et des ouvrages souterrains. Ses métiers recouvrent la conception, la construction, la rénovation, l'innovation et l'équipement de tunnels. Maîtrisant l'ensemble des méthodes d'excavation, ils ont bâti leur réputation de part leur capacité à creuser dans des terrains à la géologie complexe et à réaliser des tunnels de très gros diamètres ainsi que la réalisation de cavernes.

L'entreprise a réalisé à ce jour plus de 600 km de tunnels sur les 5 continents. Miami, Paris, Le Caire, Doha, Hong Kong, Sydney... Bouygues Travaux Publics a réalisé plus d'une centaine de projets, dont 50 tunnels ferroviaires et 25 tunnels routiers. Des tunnels de tous les diamètres : de 3,85 mètres à 17,63 mètres, un record du monde obtenu à Hong Kong en 2015. Des tunnels pour tous les usages : systèmes de transport public, tunnels de circulation routière, approvisionnement en eau potable et évacuation des eaux usées, espaces de stockage, galeries techniques et réseaux divers. BYTP se sent prêt à relever les défis de demain : creuser dans des matériaux complexes ou dans les milieux aquifères, forer en milieu urbain dense, excaver en grande profondeur.

Les tunneliers de la ligne 15 Sud

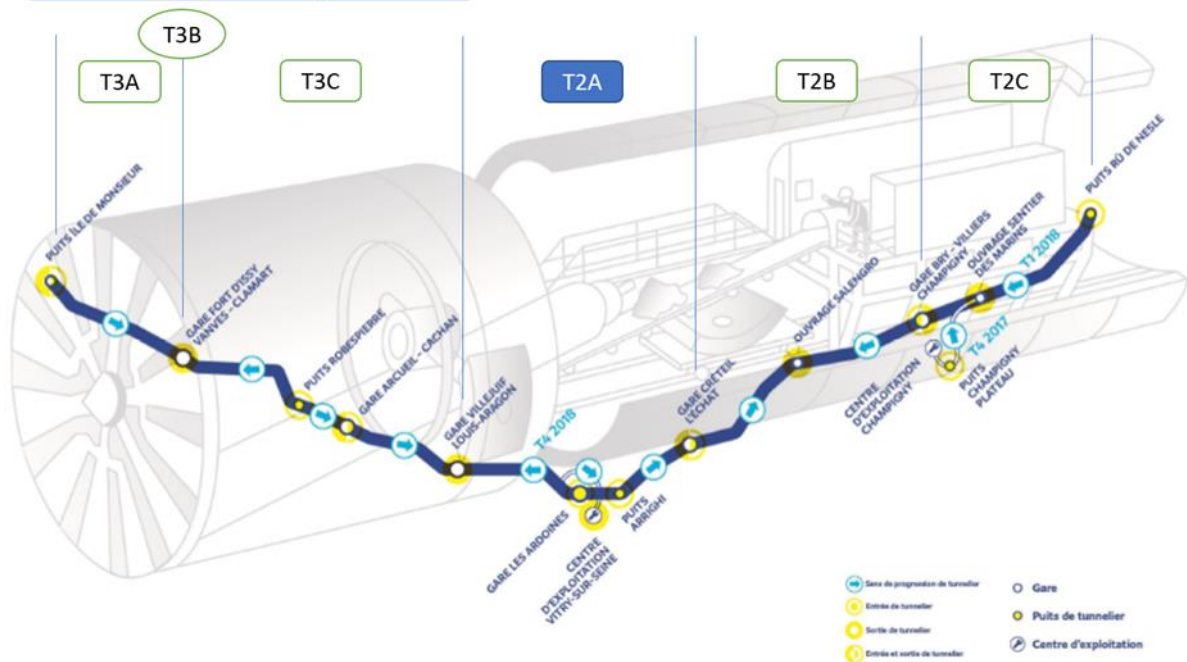
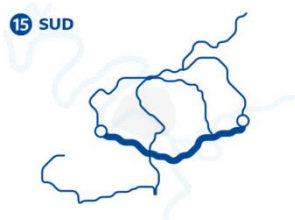


Figure 1: Grand Paris Express Ligne 15 Sud



Figure 2: Acteurs du Projet T2A



Organisation du service Topographie

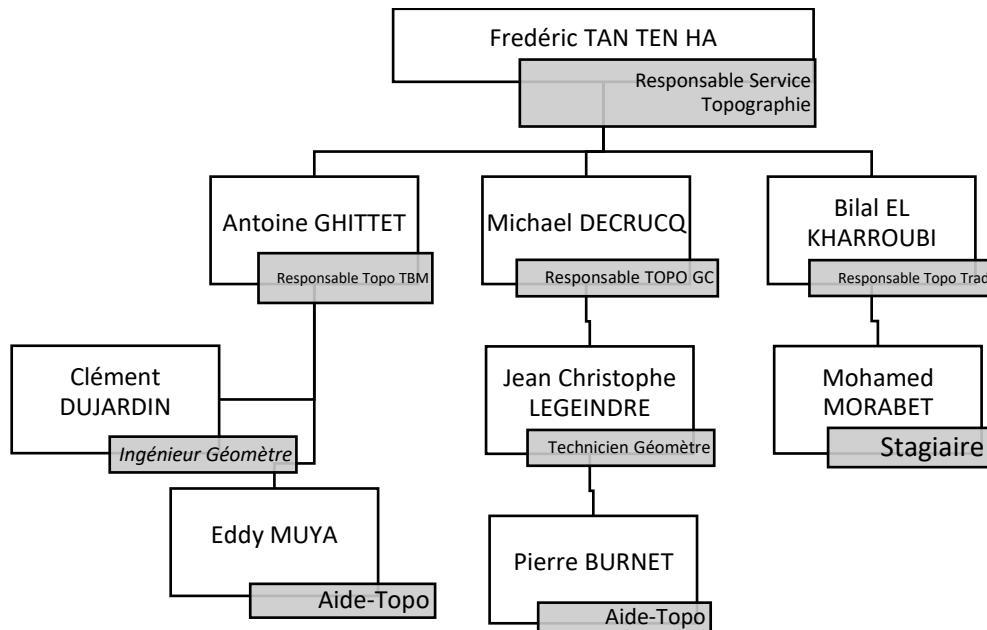


Figure 3: Organisation du service Topographie

Présentation de l'opération : Le grand Paris Express – Ligne 15Sud- Lot T2A

Le T2A est un tronçon de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express. Le Grand Paris est le plus grand projet urbain en Europe. Il consiste en la construction de 200km lignes de métro automatiques en rocade soit autant que le métro actuel et 68 gares dans le but de décongestionner le centre et l'agglomération parisienne mais aussi désenclaver les territoires de banlieues et de soutenir le développement économique de la région en mettant en réseau le grand pôle métropolitain.

200 km de lignes **68 gares** **7 centres techniques**

Figure 4 - Projets du Grand Paris

La ligne 15 sud des Grands Paris Express est longue de 33 Km relie Pont de sèvres à Noisy Champs. Elle traverse 22 communes et concernera plus d'un million d'habitants. Toutes ces gares ont des correspondances avec des lignes de métro, RER, tramway et ou transports en commun en site propre. Elle contribuera à l'allègement des autres lignes de transports en commun de la métropole et améliorera l'accessibilité aux grands équipements régionaux comme l'institut GUSTAVE-ROUSSY à Villejuif, le musée d'art contemporain MAC/VAL à Vitry sur Seine, l'hôpital Henri-Mondor à Créteil. Sa mise en service est prévue pour l'horizon 2024. A l'horizon 2030 avec les lignes 15 Ouest et 15 Est, elle formera une grande rocade de 75 Km autour de Paris.



Figure 5 - Gares de la ligne 15

Les chiffres clés sont :

- 16 Gares, toutes connectées au réseau de transports franciliens
- 22 communes concernées dans quatre départements
- 300 000 voyages prévus chaque jour
- 33 Km de métro automatique

Le T2A est le tronçon de la ligne entre Villejuif Louis Argon (non comprise) et Créteil l'Échat (comprise).

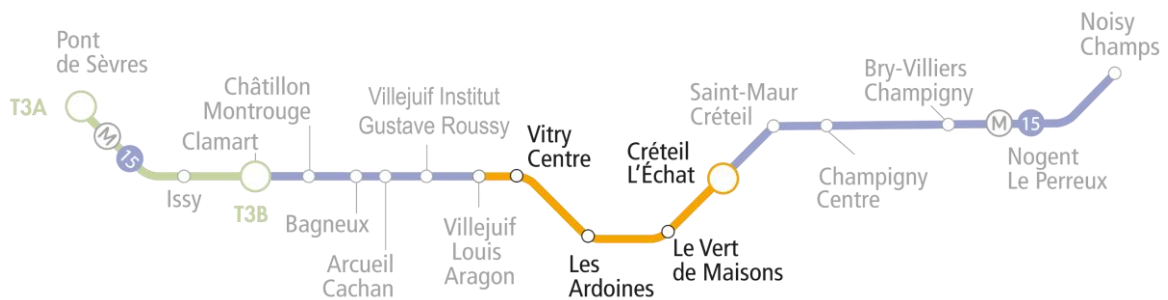


Figure 6: Les gares de la ligne 15 Sud

Ce tronçon est composé de 12 sites :

- Quatre gares (Vitry centre ; Les Ardoines ; Le Vert de Maisons ; Créteil l'Échat)
- Trois ouvrages spéciaux (TSMI ; 1401P ; 1302P ou friche Arrighi)
- Cinq ouvrages annexes (1201P ; 1501P ; 1402P ; 1404P ; 1301P)

Répartis sur cinq communes (Vitry sur Seine ; Maison Alfort ; Créteil ; Alfortville ; Villejuif).

Trois tunneliers se chargeront de creuser 7,2 Km de tunnel dont 6,6 Km Bi-Voies avec un diamètre intérieur de 8,7 m et 1,1 Km de tunnel monovoie de diamètre 6,7 m.

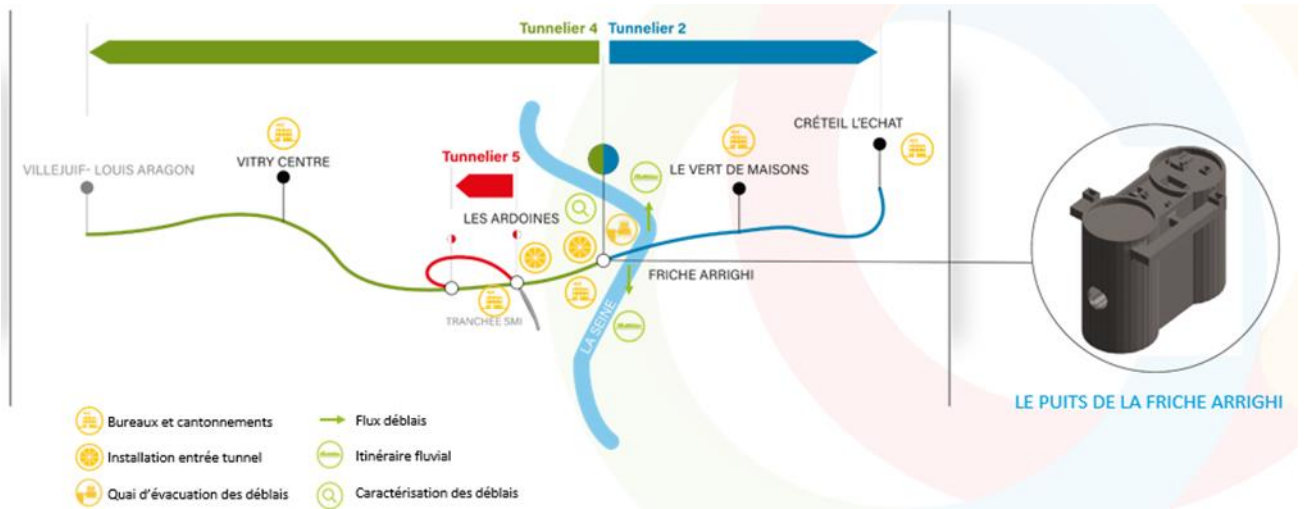


Figure 7 - Plan schématique du projet

Les acteurs du projet sont mentionnés dans le l'organigramme ci-dessous.

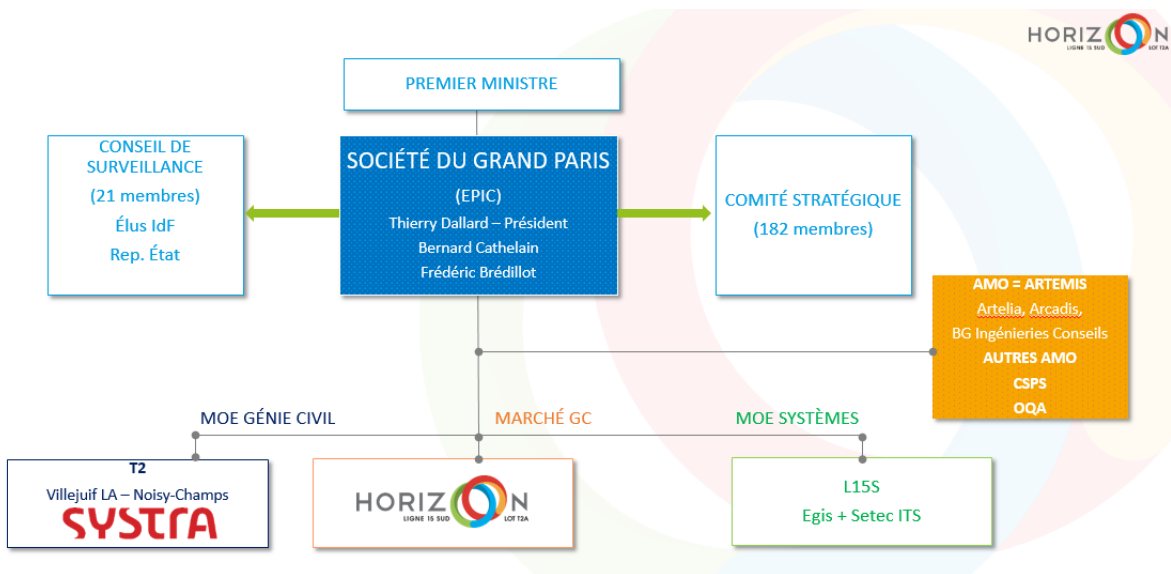


Figure 8 - Acteurs du Projet T2A

Excavation en méthode conventionnelle

Cette partie a pour objet de présenter les dispositifs mis en œuvre par le Groupement Horizon pour la réalisation du creusement et du soutènement des rameaux de liaison en méthode conventionnelle. Les ouvrages annexes sont des ouvrages ponctuels localisés sur les sections intergares du tracé du tunnel. Ils sont nécessaires à l'exploitation, et assurent plusieurs fonctions principales :

- Accès des secours (pompiers)
- Décompression du tunnel
- Ventilation et désenfumage du tunnel
- Epuisement et relevage des eaux
- Hébergement d'organes techniques (poste force, poste de redressement, local courant faible...).

Ces ouvrages peuvent avoir des conceptions variées et, par exemple, être composés d'un puits vertical relié au tunnel principal par un rameau de liaison ou bien d'un puits vertical centré sur le tunnel. Les rameaux connecteront les ouvrages annexes au tunnel principal foré au tunnelier.

Les rameaux sont situés sur les 5 Ouvrages Annexes du projet, sur les communes de Vitry-Sur-Seine, Alfortville et Créteil.

- OA-1402-P se situe sur la commune de Vitry-Sur-Seine (94 400) au 176 Avenue Rouget de L'Isle. Les travaux d'excavation se dérouleront depuis l'OA-1402-P.
- OA-1404-P se situe sur la commune de Vitry-Sur-Seine (94 400) au 40 Rue Gabriel Péri. Les travaux d'excavation se dérouleront depuis l'OA-1404-P.
- OA-1501-P se situe sur la commune de Vitry-Sur-Seine (94 400) à l'intersection Rue du Génie et Rue Lecocq. Les travaux d'excavation se dérouleront depuis l'OA-1501-P.
- OA-1201-P se situe sur la commune de Créteil (94 000) au 7 Rue Pasteur Vallery Radot. Les travaux d'excavation se dérouleront depuis l'OA-1201-P.
- OA-1301-P se situe sur la commune d'Alfortville (94 140) Place de l'Europe. Les travaux d'excavation se dérouleront depuis l'OA-1301-P.

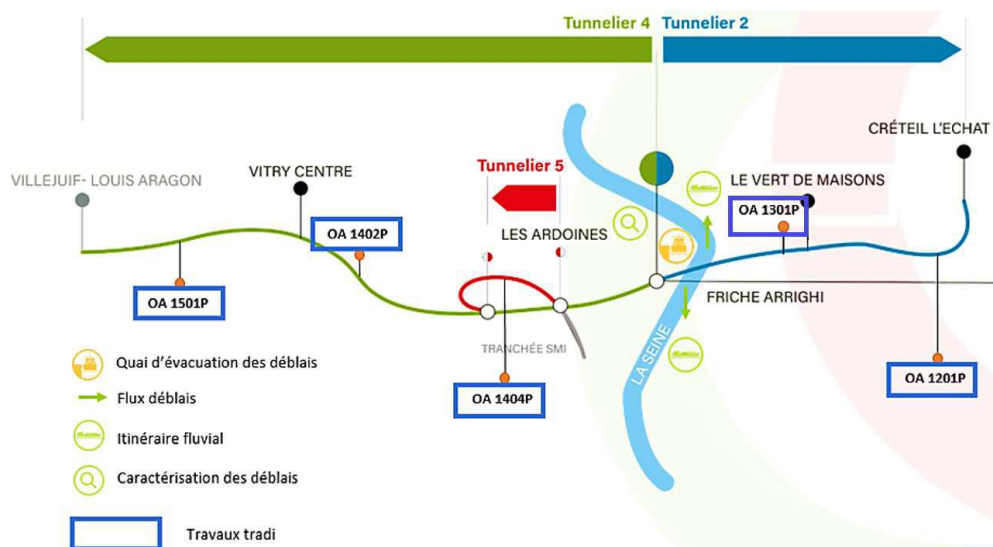


Figure 9: Les ouvrages annexes

Procédure d'excavation en méthode conventionnelle.

La procédure d'excavation en méthode conventionnelle est réalisée selon les différentes phases du processus suivant :

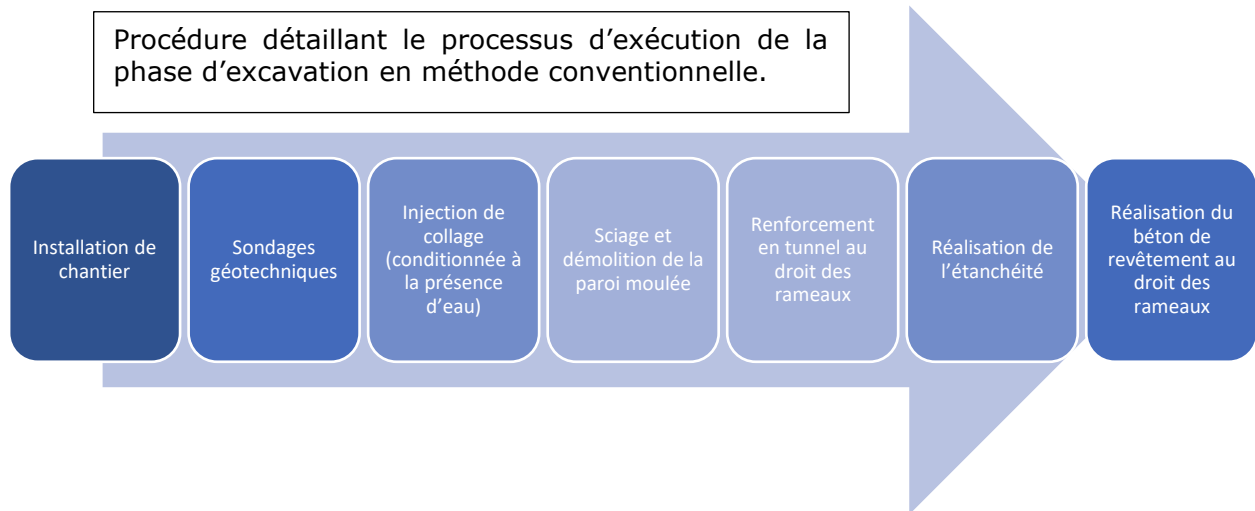


Figure 10: Procédure de la méthode conventionnelle

A la suite du sciage et de la démolition de la paroi moulée, chaque rameau sera excavé en suivant le phasage suivant :

- Creusement de la section supérieure du rameau
- Creusement de la section inférieure du rameau

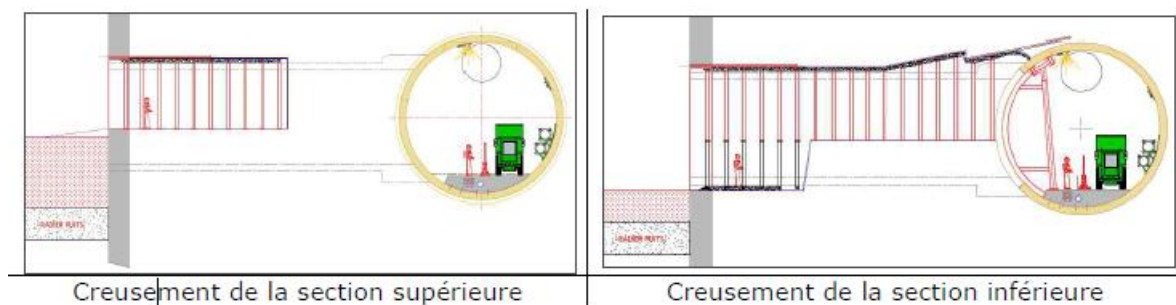


Figure 11: Phasage de creusement en méthode conventionnelle

Par la suite, le creusement sera réalisé à l'aide d'engins motorisés puis du béton de confinement sera projeté sur les parements excavés. Ensuite, des cintres métalliques seront installés pour créer un soutènement provisoire.

Investigations géotechniques à l'avancement des rameaux

A la suite de l'installation de chantier, des sondages géotechniques seront réalisés, dans le gabarit d'excavation, afin de contrôler la nature des terrains et des venues d'eau susceptibles d'être rencontrés.

Injection de Collage

Une fois que les sondages géotechniques sont réalisés (si nécessaire), des injections de collage permettant de limiter la circulation de l'eau par remplissage d'éventuels vides à l'interface terrain/paroi moulée pourront être réalisées avant d'excaver.

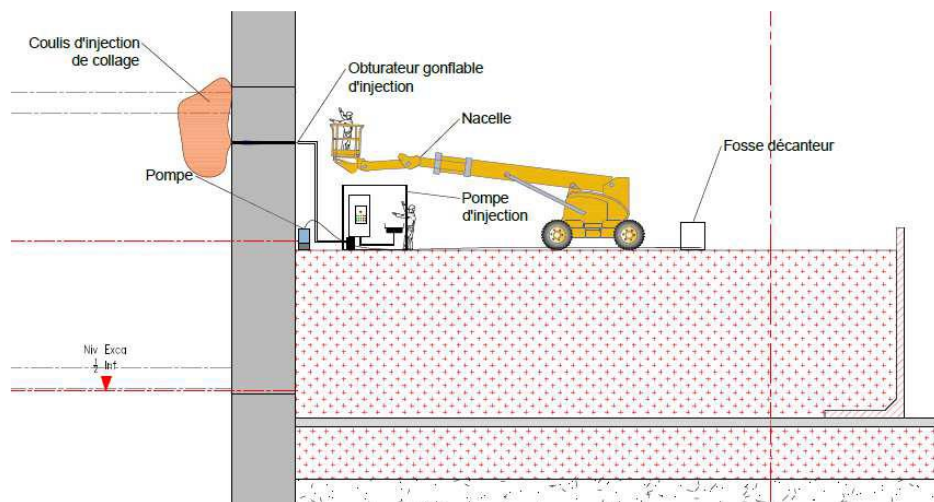


Figure 14: Injection de collage

Sciage et démolition des Parois Moulées en souterrain

Par la suite, la paroi moulée (PM) sera sciée et démolie à l'aide d'une pelle munie d'un brise-roche hydraulique (BRH).

Le sciage de la PM pourra être partiel dans le cas où l'entrée en terre se trouve à moins de 5m du passage du tunnelier et que le tunnelier n'est pas encore passé au droit du rameau.

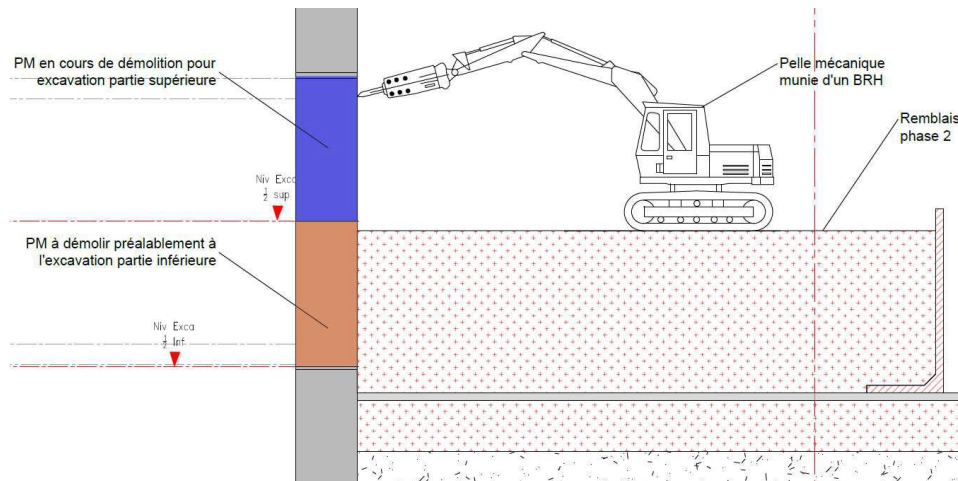


Figure 15: Démolition de sciage

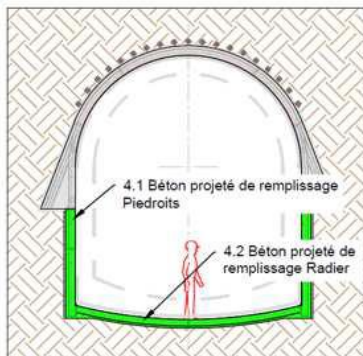
Excavation en méthodes conventionnelles

Comme indiqué précédemment, les rameaux seront excavés en deux phases. Tout d'abord, la section supérieure du rameau sera excavée jusqu'au tunnel, puis la partie inférieure du rameau sera creusée.

La phase d'excavation de la section supérieure est composée, entre autres, des opérations suivantes :

1. Excavation
2. Réalisation du béton projeté de confinement
3. Pose du cintre
4. Réalisation du béton projeté de remplissage

COUPE TYPE RAMEAU DE VENTILATION
Echelle: 1/100



ELEVATION RAMEAU DE VENTILATION
Echelle: 1/100

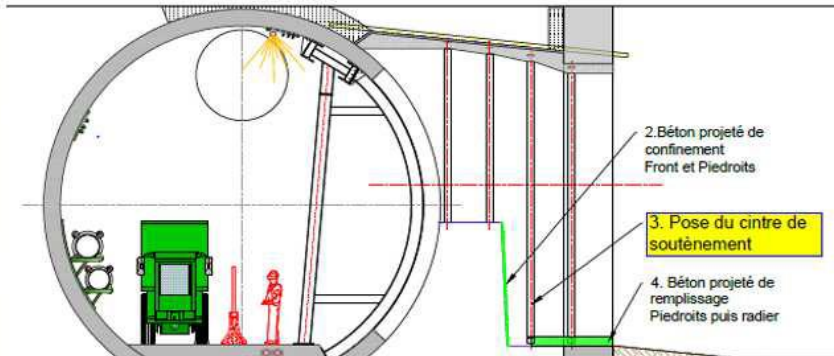


Figure 16: Excavation section inférieure

Gestion des déblais des rameaux

Les déblais seront remontés en surface pour être évacués dans les filières agréées.

Renforcement en tunnel au droit des rameaux

Cependant, l'excavation ne peut être réalisée à moins de 5m du Tunnel sans que ce dernier soit renforcé. C'est pourquoi, à la suite du passage du tunnelier au droit des rameaux, une structure de renforcement du tunnel sera installée en tunnel afin de renforcer temporairement les voussoirs concernés par l'ouverture des rameaux.

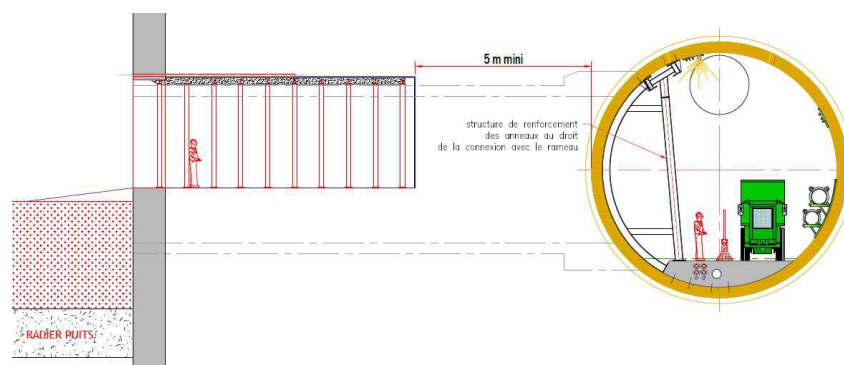


Figure 17: Renforcement en tunnel au droit des rameaux

Réalisation de la voûte parapluie des rameaux

En plus de la structure de renforcement en tunnel, pour les rameaux de ventilation, une voûte parapluie sera réalisée pour la connexion rameau/tunnel. Lorsque la configuration le permet, cette voûte parapluie sera réalisée depuis le puit, sinon celle-ci sera réalisée directement depuis le rameau en galerie.



Figure 18: Voûte parapluie

Méthodologie

Terrassement et marinage

Comme indiqué précédemment, le terrassement commence par la section supérieure avec des pas d'avancement variable en fonction du terrain. Une passe en section supérieure correspond à la distance entre deux cintres.

Les passes d'avancement seront donc comprises entre 1ml et 1.5ml en phase d'excavation de la partie supérieure.

Les deux rameaux (ventilation et secours) sont excavés en parallèle.



Figure 19: Rameau de secours et de ventilation

Le pas d'avancement durant l'excavation de la partie inférieure sera au départ égale à la distance entre deux cintres.

Néanmoins, en suivant une approche observationnelle et selon l'avis du géotechnicien, du chargé de soutènement et de la MOE, le pas d'avancement pourra être amené à évoluer.

La mini pelle collectera le marin (nom des déblais lors de la foration d'un tunnel) au niveau de la Brokk puis le chariot télescopique avec son godet chargera la benne à déblais située en fond de puit.

Ce chargeur réalisera des allers-retours entre le front de taille et la benne à gravats situé dans le puit. Cette logistique permet de minimiser la durée de l'excavation car elle évite de changer d'outil sur les engins.

Avant projection du béton de confinement, l'excavation est purgée pour sécuriser le terrain et les blocs de terre instable sont enlevés à l'aide du godet de la mini-pelle.

Durant cette phase, les équipes Tradi pourront stopper temporairement l'excavation afin de vérifier le profil d'excavation.

En effet, à l'aide du système de profilométrie type **Amberg Navigator**, le théodolite relèvera les profils et indiquera sur la tablette les sur-profils ou sous-profils pour permettre aux équipes d'excavation d'ajuster le terrassement.

Relevé géologique

A chaque passe, avant la projection de béton, un relevé du front de taille sera réalisé par le géologue du groupement en présence de la MOE.

Mise en œuvre du béton projeté de confinement

Après chaque passe de creusement, un béton projeté avec des fibres en polymères dit de confinement d'une épaisseur minimale de 5cm sera réalisé sur le front, les piédroits et la voûte.

Ce béton permet :

- ❖ Limiter la décompression du terrain excavé
- ❖ Mettre en sécurité le front de taille pour la pose du cintre

Pose du cintre

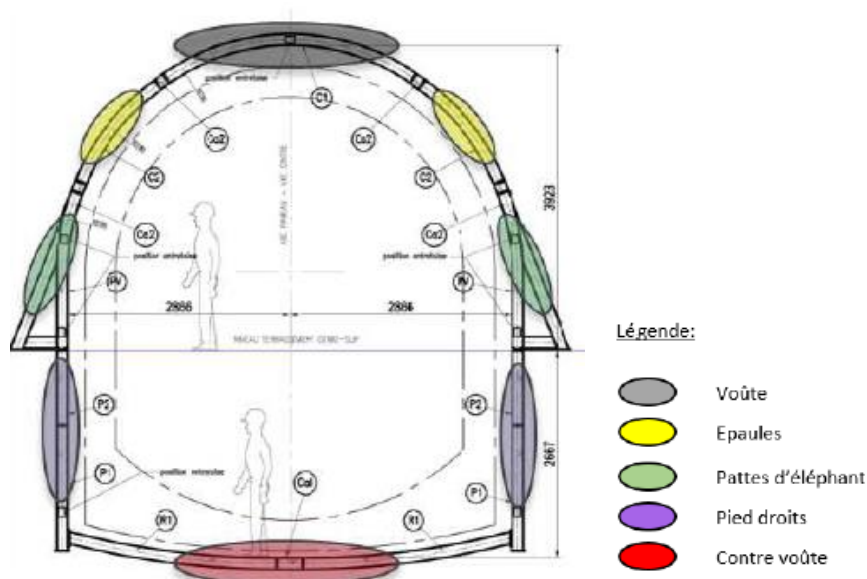
Avant la pose du cintre, la zone est nettoyée des rebonds de béton projeté de confinement.

Le cintre est posé en deux phases :

- La partie supérieure composée de 5 éléments :
- Voûte, 2 épaules, 2 pattes d'éléphants

L'élément de voûte et les deux épaules sont prémontés à l'aide de charnières

- ❖ La partie inférieure composée de 3 éléments :
- ❖ Pieds droits, 1 contre voûte



Lors de l'excavation de la section supérieure, les pattes d'éléphant seront installées en premier puis l'élément de voûte avec les 2 reins seront installés.

Lors de l'excavation de la section inférieure, les pieds droits seront installés en premier puis la contre voûte sera installée.

Le cintre est alors réglé une dernière fois à l'aide du système de profilométrie type Amberg et calé au terrain à l'aide de cales/coins avant de projeter le béton de remplissage.

Les entretoises sont ensuite mises en place en partie haute de façon à relier le cintre au cintre précédent en respectant l'espacement entre cintres.

Le même procédé est suivi pour l'installation de la partie inférieure du cintre à l'exception près que les cintres seront levés à l'aide du crochet de la pelle et non à l'aide de la pince à cintre.

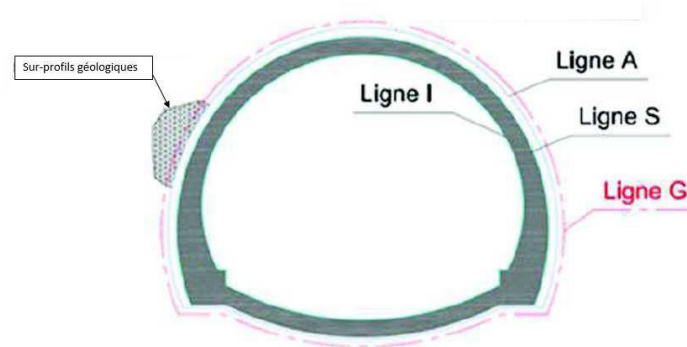


Figure 20: Pose du cintre

Béton projeté de remplissage

Une fois le cintre réglé, du béton fibré est projeté entre les cintres afin de bloquer le cintre mis en place et de remplir l'extrados du cintre. Une attention toute particulière sera portée sur le fait de ne pas dépasser l'intrados du cintre avec le béton projeté.

Après projection du béton, un relevé du béton de remplissage et du cintre sera réalisé à l'aide du système de profilométrie type Amberg. Ce relevé permettra de comparer le profil avec la ligne S qui définit l'intrados du soutènement.



Mesures des convergences

Description de l'activité

Des cibles sont installées sur les cintres à des sections de tunnel déterminées. Elles sont mesurées avec une station totale. Les coordonnées obtenues pour chaque cible permettent de calculer les distances (cordes) entre les cibles d'une même section. La variation de ces cordes révélée par des mesures ultérieures permet de confirmer et quantifier des mouvements de convergences d'une excavation sur un profil. La corde est une distance relative entre cibles indépendante du système de coordonnées.

Le rattachement au système de coordonnées générale du projet permet uniquement le géo-référencement d'une section ainsi que le suivi des éventuelles variations en altitude (Z) qui révéleraient des tassements d'une section.

Ce rattachement sera donc effectué afin de permettre la corrélation entre les auscultations en surface et la surveillance des cintres en souterrain.



Figure 21: mesures des convergences

La répartition des tâches

La production

L'équipe de production présente sur site (chefs de chantier, ouvriers) est en charge de la pose des cibles, de leur préservation en bonne condition d'utilisation (visibilité, pas de choc) ainsi que de leur remplacement en cas de destruction. Le choix de leur emplacement sur le cintre devra assurer leur visibilité et leur pérennité des au cours des travaux.

Le géomètre

Le géomètre est en charge des mesures et du traitement des données dont il transmet les résultats aux chargés de soutènement.

Site	1501P	Rameau	secours	Cintre	CS22	CONVERGENCES																		
			5.72723333			1501P_RAM_CS22_CONV23	1501P_RAM_CS22_CONV24	1501P_RAM_CS22_CONV34	1501P_RAM_CS22_CONV35	1501P_RAM_CS22_CONV13	1501P_RAM_CS22_CONV14	0												
1501P - Mesures des convergences du rameau de secours																								
Point	X	Y	Z	ΔX (mm)	ΔY (mm)	ΔZ (mm)	Date	Heure	Commentaire	Point de convergence	Valeur de convergence	Date	heure	Valeurs des Convergences (cordes)					Initiales (Pc)					
1501P_RAM_CS22_17							11/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV23	2.459	Point zéro	11/08/21	00:00	2.459	8.639	2.242							
1501P_RAM_CS22_22	1654201.047	8176855.618	47.787				11/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV24	3.639	Mesures	Date	heure	Ecart Absolu aux Convergence									
1501P_RAM_CS22_32	1654199.188	8176854.952	49.254				11/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV34	2.242	M1	12/08/2021	00/01/1900	0.1	0.4	0.5	/	/	/				
1501P_RAM_CS22_42	1654197.591	8176854.479	47.754				11/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV13	/	M2	13/08/2021	00/01/1900	0.5	0.2	0.3	/	/	/				
1501P_RAM_CS22_52							11/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV14	/	M3	16/08/2021	00/01/1900	-0.1	-0.6	0.0	/	/	/				
Pas à remplir																								
1501P_RAM_CS22_12				/	/	/	12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV23	2.459	M7	/	/	/	/	/	/	/	/				
1501P_RAM_CS22_22	1654201.046	8176855.621	47.786	-0.3	3.3	-0.7	12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV24	3.638	M8	/	/	/	/	/	/	/	/				
1501P_RAM_CS22_32	1654199.188	8176854.956	49.253	-0.4	3.2	-1.0	12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV34	2.241	M9	/	/	/	/	/	/	/	/				
1501P_RAM_CS22_42	1654197.590	8176854.483	47.753	-0.1	4.1	-0.8	12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV13	/	M10	/	/	/	/	/	/	/	/				
1501P_RAM_CS22_52				/	/	/	12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV14	/	M11	/	/	/	/	/	/	/	/				
Pas à remplir																								
							12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV15	/	M12	/	/	/	/	/	/	/	/	/			
							12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV25	/	M13	/	/	/	/	/	/	/	/	/			
							12/08/21	00:00		1501P_RAM_CS22_CONV35	/	M14	/	/	/	/	/	/	/	/	/			

Figure 22: Tableau des convergences

Les chargés de soutènement

Les chargés de soutènement sont en charge de l'analyse et de l'interprétation des résultats en concertation avec les responsables travaux si nécessaire.

Moyens matériel

- Station totale type MS60 ou TS16
- Trépied
- Prismes topo
- Cibles réfléchissantes
- Supports métalliques de cible

Revêtement

La partie finale pour les rameaux est la mise en place du béton de revêtement qui sera réalisé après son excavation, l'ouverture en tunnel (sciage voussoir), la pose du complexe d'étanchéité, le ferrailage et la mise à la terre.

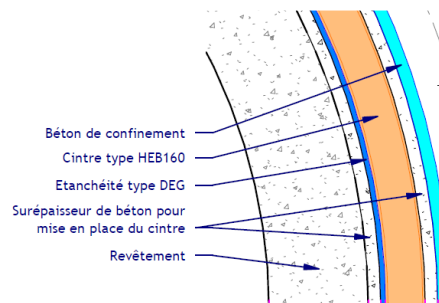


Figure 23: Coupe du rameau illustrant le béton de revêtement

Le béton de revêtement est réalisé comme décrit dans la figure et dans l'ordre suivant :

1. Radier
2. Recharge partielle
3. Banquette
4. Piédroit + voûte

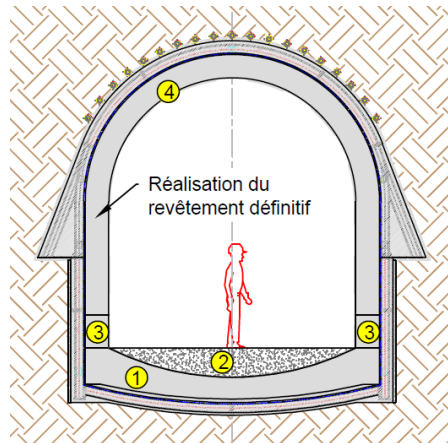


Figure 24: Béton de finition

Méthodologie

Avant l'amené de l'outil coffrant, la zone sera balisée et délimitée. En effet, afin de ne pas perturber les travaux du tunnelier, une installation spécifique en tunnel sera réalisée.

Cette installation comprend entre autres :

- Déviation ponctuelle des TSP
- Déviation du cheminement piéton
- Passage piéton
- Feux tricolores
- Glissières de sécurité
- Barrières de sécurité

Réalisation du bétonnage

Préalablement aux étapes qui vont suivre, nous considérons que l'étanchéité du rameau a été faite, y compris la chape de protection en radier et que le ferrailage a été réalisé par le sous-traitant.

Phase 1 : radier

Le béton est acheminé via une pompe à béton en tête de puit alimentant une descenderie béton jusqu'au radier, qui est ensuite acheminé vers le lieu de bétonnage par des flexibles. En fonction du phasage et des sites, les bétons pourront être acheminés par le tunnel. Cela fonctionnera de la même façon : une pompe à béton en tête d'ouvrage (gare ou ouvrage spécial) alimentant une descenderie béton jusqu'au radier, qui est ensuite acheminée vers le lieu de bétonnage par des flexibles.

Phase 2 : banquette

Les banquettes serviront d'appui à la base du coffrage. Le ferrailage sera préalablement réalisé par le sous-traitant conformément aux plans d'exécution.

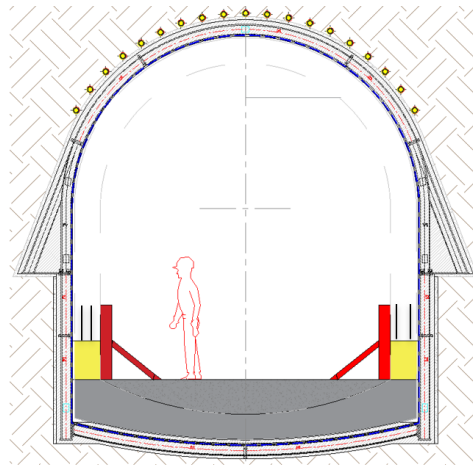


Figure 25: Banquette

Amené de l'outils coffrant

L'outils coffrant est amené en pièce détaché dans le rameau par le tunnel via un TSP bras de grue. Un module coffrant est de longueur 2,5m. Deux modules peuvent être assemblé pour n'en former qu'un de 5m.



Figure 26: Coffrage

Phase 3 : piédroit et voûte

Le coffrage est ensuite amené au droit du premier plot à bétonner. Le premier plot est toujours celui côté puit de l'OA pour permettre au coffrage de se déplacer vers le tunnel et ainsi permettre son repli via le tunnel. L'outils peut être manutentionné grâce au chariot roulant intégré à la structure du coffrage.

Gestion topographique des rameaux

La répartition des tâches au cours de l'avancement des travaux n'est pas seulement effectuée par les géomètres. Plusieurs parties de cette répartition seront réalisées par la production. Ces parties seront expliquées dans les parties à venir, notamment dans la section suivante.

La répartition des tâches

Le géomètre

- Contrôler et développer le canevas de polygonale de l'ouvrage à réaliser.
- Mettre en place la polygonale dans les rameaux au fur et à mesure de l'avancement de leur excavation.
- Réaliser les profils de réception du béton de remplissage à l'arrière du front de production.
- Traiter tous les profils effectués par la Production. Archiver et diffuser les résultats.
- Calculer les volumes d'excavation, de bétons.
- Préparer les données de projet nécessaires aux instruments topo de la Production.
- Implanter et tracer le profil de sciage de la PM.
- Implanter tout ce qui est nécessaire à l'exécution de l'ouvrage et qui n'est pas en charge de la Production.
- Réaliser les mesures de convergence dans les rameaux.

La production

- **Voûte parapluie:** Implanter les points de foration de la voûte parapluie et contrôler la bonne orientation des forages en cours d'exécution.
- **Excavation:** Implanter le profil d'excavation au front sur le béton de confinement à chaque nouvelle passe.
- **Béton de confinement:** Réaliser un profil de contrôle du béton de confinement à l'emplacement du cintre à poser pour détecter et corriger les possibles sous profils empêchant un bon positionnement du cintre dans les tolérances requises.
- **Cintre:** Positionner et régler les cintres à leur emplacement puis vérifier leur bon positionnement avant béton de remplissage.
- **Béton de remplissage:** Faire les profils de contrôle.
- **Boulons:** Implanter les points de forations et donner l'orientation du forage.

Les moyens matériels

Désignation du matériel	Nombre
Multistation Leica MS60	1
Petit équipement topo et outillage	Divers
Logiciel Amberg Profile Plus pour le bureau	1
Applications topo sur MS60 pour le terrain	1
Amberg Proscan Plus	

Figure 27: Les moyens matériel

Multi station Leica MS60

La Leica Nova MS60, la première Multi Station au monde, permet de réaliser toutes les tâches de levé sur un seul et même instrument.

- Des capacités de station totale de pointe
- Un scanner laser 3D, pour numériser jusqu'à 30 000 points par seconde
- Une connectivité GNSS
- L'imagerie numérique



Figure 28: MS60

Guidage Amberg

Amberg Tunnel Navigator contient des outils permettant de définir les données de conception et les tâches de mesure nécessaires à l'exécution des étapes de travail notamment à l'aide de l'application Amberg Navigator Tablet. De nombreux types de tâches peuvent être définies, chaque type de tâche couvrant une étape de travail spécifique dans le tunnel.

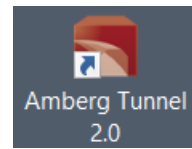


Figure 29: Tablette de guidage Amberg

Pour commencer à réaliser un projet Amberg, il faut dans un premier temps commencer par définir l'axe de travail, car le logiciel travaille uniquement avec des courbes puis créer dans la partie « Axes » les deux axes (horizontal et vertical).

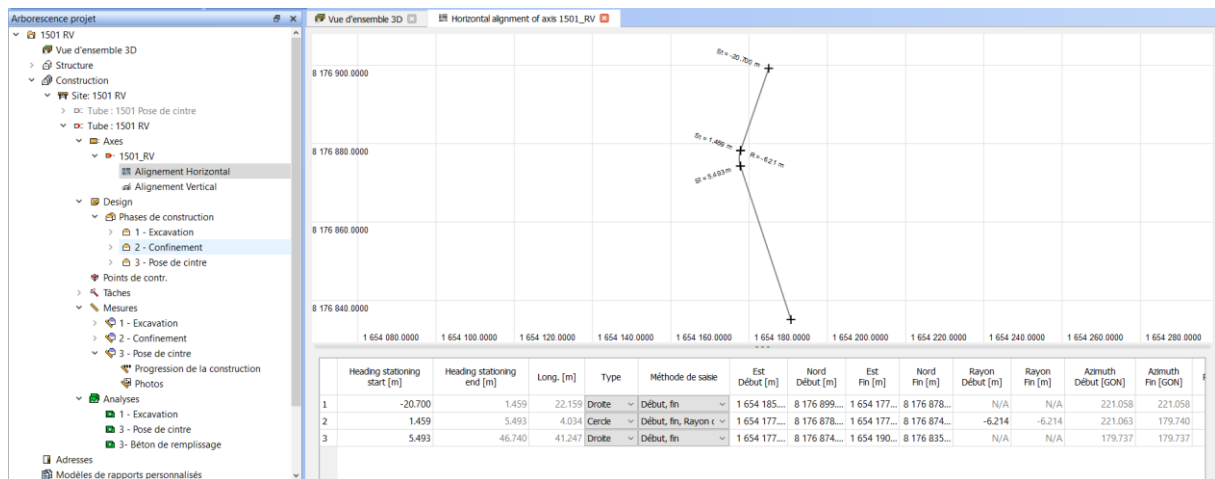


Figure 30: Axe Amberg

Une fois que les profils sont conçus sur AutoCAD, nous les importons sur Amberg (version 2007) afin de créer et façonner notre modèle.

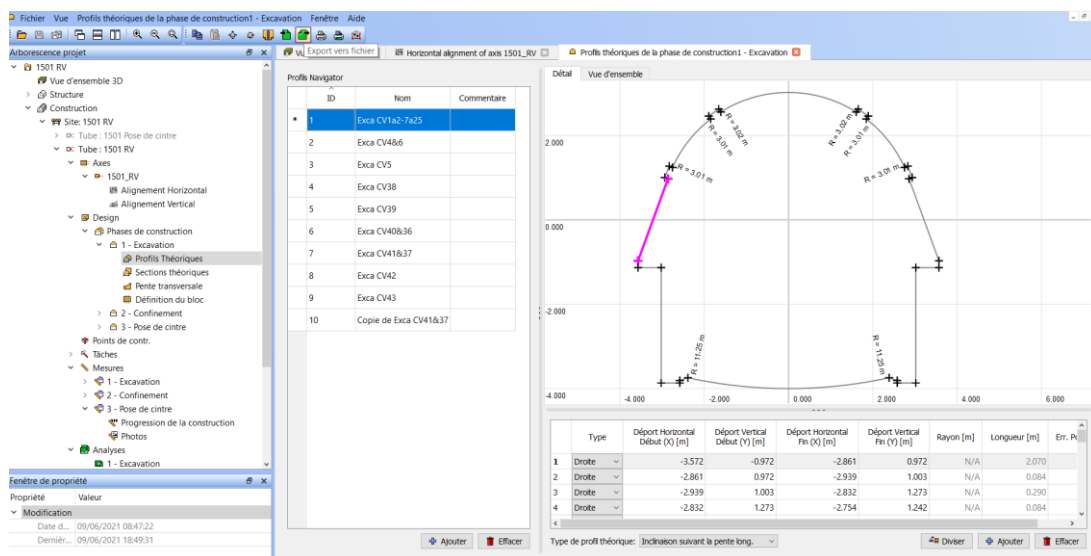


Figure 31: Profils Amberg

Taches

Après avoir créé les axes ainsi que nos profils, nous ajouterons les fonctions qui aideront la production à contrôler et à prendre les mesures pour pouvoir obtenir le rapport de nos profils.

Les fonctions que nous utiliserons seront les suivantes :

- Point Check : fonction qui mesure en continu (tracking) en pointant le laser sur le parement en affichant l'écart radial par rapport au profil théorique ainsi que le PK de la mesure. Cette procédure est réalisée tout en déplaçant le laser sur le cintre (ou excavation et béton).
- Single Point : fonction qui mesure d'un point choisi sur la face intérieure d'un cintre. Elle permet d'afficher l'écart radial par rapport au profil théorique ainsi que le PK de la mesure puis permet de l'enregistrer.
- Profile Free : fonction qui réalise des profils automatiques en tout lieu de la galerie (excavation, béton, radier)



Figure 32: Profil free

- 3 prismes pour mesurer les références topo (messpunkt) lors de la mise en station de la ST.

Modèle 3D final :

Dès lors que nous suivons toutes les étapes que l'on vient de voir précédemment, nous obtenons comme résultat final un modèle 3D. Ce projet sera exporté par la suite pour avoir la possibilité de l'utiliser sur site à l'aide d'une tablette, ce qui permettra de contrôler tout l'avancement des travaux.

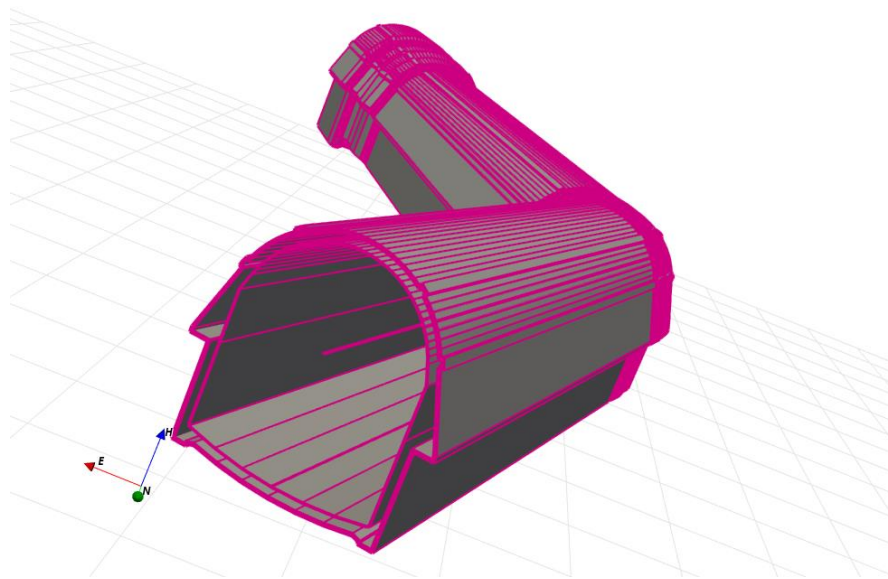


Figure 33: Modèle 3D Amberg

Analyses

Dans la partie analyse, nous effectuerons un scan après l'avancement des travaux. Ainsi, nous saurons si le travail effectué respecte les tolérances fixées, tant pour l'excavation, que pour la pose de cintre ou pour le béton de confinement.

Sur la figure ci-dessous, nous pouvons voir un exemple de profil calculé en Amberg avec les différents écarts obtenus :

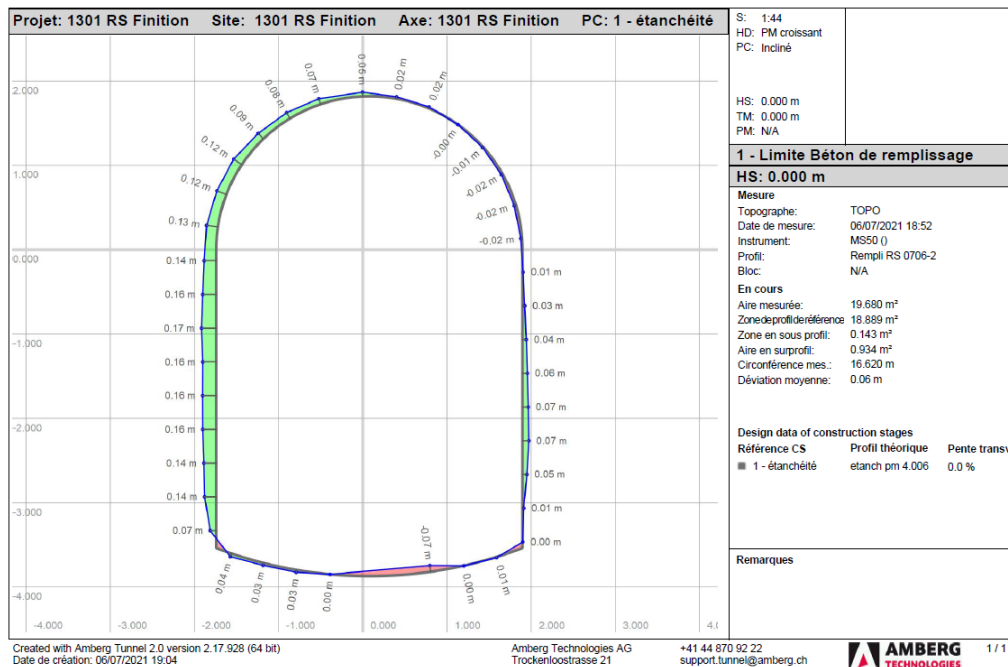


Figure 34: Traitement de profil sur Amberg

Outil de calcul des profils d'avancement des travaux et comparaison aux profils théoriques à partir d'un nuage des points.

Situation de départ

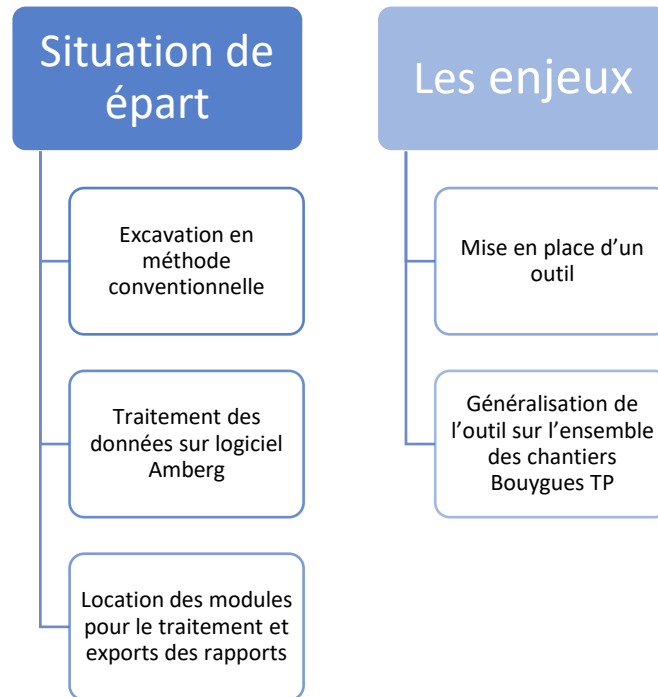


Figure 35: Situation de départ

Les calculs

Dans un premier temps, il faut définir l'axe de travail que l'on utilisera pour le guidage de nos travaux. L'axe du rameau est fixé en fonction de la position des anneaux dans le tunnel déjà creusé au tunnelier.

Après avoir défini notre axe de travail, nous saisissons le nuage de points pour les projeter sur notre axe et ainsi connaître le chainage, le déport vertical, le déport transversal et la distance 3D.

Un simple copier-coller des coordonnées de l'axe et du nuage pour remplir le tableau, comme montré ci-après.

Axe théorique					
index	ID	X	Y	Z	Pm
0	p1	1655454.487	8176137.270	4.866	0.000
1	p2	1655440.746	8176141.684	4.866	14.433
2	p3	1655429.129	8176132.194	4.866	29.433

Nuage de points					
ID	X	Y	Z		
1	1655443.365	8176140.856	6.722		
2	1655443.455	8176140.855	6.723		
3	1655443.544	8176140.853	6.725		
4	1655443.633	8176140.851	6.720		
5	1655443.723	8176140.850	6.739		
6	1655443.814	8176140.848	6.761		
7	1655443.905	8176140.846	6.772		
8	1655443.995	8176140.845	6.762		
9	1655444.082	8176140.843	6.733		
10	1655444.177	8176140.841	6.757		
11	1655444.271	8176140.840	6.768		
12	1655444.351	8176140.838	6.697		

Coordonnées locales		
Ch	T	V
11.686	0.013	1.856
11.600	0.040	1.857
11.515	0.065	1.859
11.429	0.090	1.854
11.343	0.117	1.873
11.256	0.143	1.895
11.169	0.169	1.906
11.083	0.195	1.896
10.999	0.220	1.867
10.908	0.247	1.891
10.819	0.275	1.902
10.742	0.297	1.831

Figure 36: Calcul projection de nuage de points

On calcule les coordonnées locales en appuyant sur le bouton « Calculer les coordonnées locales ». Cette opération peut durer quelques minutes en fonction du nombre de points du nuage.

Ensuite, nous pouvons voir la fonction utilisée pour projeter nos points sur l'axe de travail.

```

Function ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2)
  a = x2 - x1
  b = y2 - y1
  c = z2 - z1
  xp = ((a / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)) * ((a * (x - x1) + b * (y - y1) + c * (z - z1)) / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2))) + x1
  yp = ((b / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)) * ((a * (x - x1) + b * (y - y1) + c * (z - z1)) / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2))) + y1
  zp = ((c / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)) * ((a * (x - x1) + b * (y - y1) + c * (z - z1)) / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2))) + z1
  Dim P(2)
  P(0) = xp
  P(1) = yp
  P(2) = zp
  ProjDroite = P
End Function

```

Figure 37: Fonction pour calcul projection droite

Pour pouvoir réaliser une comparaison de nos profils, nous allons définir le profil théorique qui nous aidera à comparer le profil calculé avec le profil théorique.

Pour créer ce profil théorique, faut saisir le rayon et le centre de la voûte et les points pour dessiner le pied gauche, le pied droit et la contre voûte.

géométrie	Point début		Point fin		centre		rayon
	X	Y	X	Y	X	Y	
AD	-1.820	-3.537	-1.820	-0.004			
C	-1.820	-0.004	1.820	-0.004	0.000	0.000	1.820
AD	1.820	-0.004	1.820	-3.537			
C	1.820	-3.537	-1.820	-3.537	0.000	1.266	5.136

Pieds gauche		
	X	Y
Pg1	-1.820	-3.537
Pg2	-1.820	-0.004

Pieds droit		
	X	Y
Pd1	1.820	-0.004
Pd2	1.820	-3.537

Voute			
angle	X	Y	gis C->Pt
-	-1.820	-0.004	-1.573
-1.468	-1.810	0.187	-1.468
-1.363	-1.781	0.375	-1.363
-1.258	-1.732	0.559	-1.258
-1.153	-1.664	0.738	-1.153
-1.049	-1.577	0.908	-1.049
-0.944	-1.474	1.068	-0.944
-0.839	-1.354	1.216	-0.839
-0.734	-1.219	1.351	-0.734
-0.629	-1.071	1.471	-0.629

Contre Voute			
angle	X	Y	gis C->Pt
	1.820	-3.537	2.779
2.867	1.394	-3.677	2.867
2.954	0.958	-3.780	2.954
3.041	0.515	-3.844	3.041
3.128	0.068	-3.869	3.128
3.216	-0.380	-3.856	-3.067
-2.980	-0.825	-3.803	-2.980
-2.893	-1.264	-3.712	-2.893
-2.806	-1.693	-3.583	-2.806
	-1.820	-3.537	-2.779

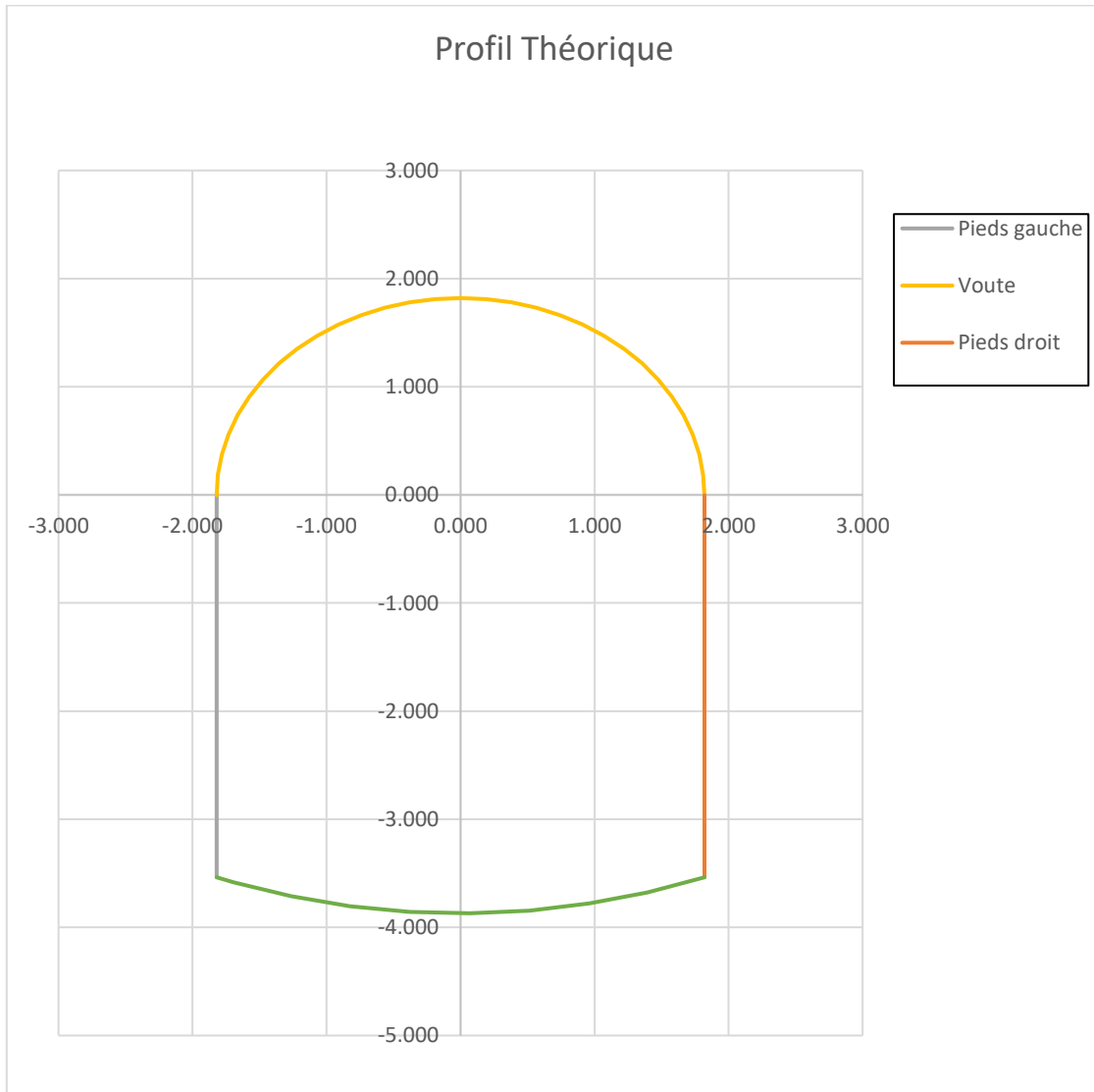


Figure 38: Profil théorique

Après avoir monter le théorique, nous pouvons maintenant extraire des profils du nuage et le comparer au théorique.

Pour extraire un profil, il faut donner le chainage souhaité et une épaisseur de coupe puis cliquer sur le bouton « Extraire ».

Chainage	10.000	Extraire
épaisseur de coupe	0.050	

Figure 39: Fonction extraire

Les résultats

Comme résultat, on aura un profil au chainage souhaité. Aussi, sont affichées les écarts du profil mesuré au théorique.

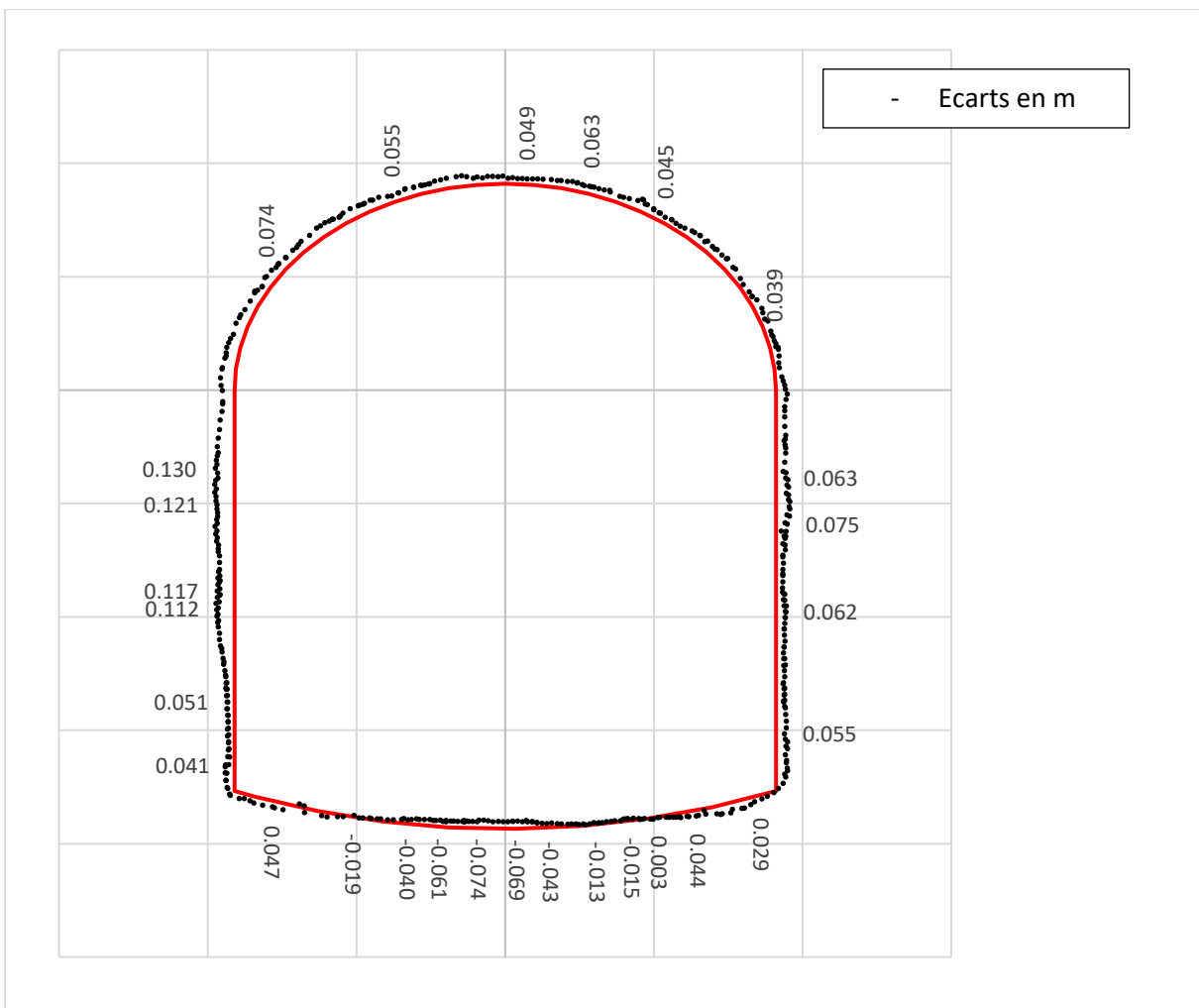


Figure 40: Résultat final avec les écarts

Comparaison

En analysant les résultats obtenus de l'outil programmé, on peut en déduire qu'il est plus simple, puisque Amberg a besoin d'une formation avant de pouvoir l'utiliser. En termes de précision, l'outil programmé atteint la même précision que celle obtenue sur Amberg. Le facteur de la rapidité est l'une des grandes différences entre ces deux outils car l'outil charge une quantité massive de points, ce qui est le cas du nuage de points.

En ce qui concerne l'aspect financier, l'outil développé reste accessible à tous, puisqu'il suffit d'avoir le fichier pour l'utiliser, tandis que dans le cas d'Amberg la fonction d'analyse vient séparément et doit être contractée, cela rend donc difficile quant à son utilisation pour un groupe de personnes en même temps.

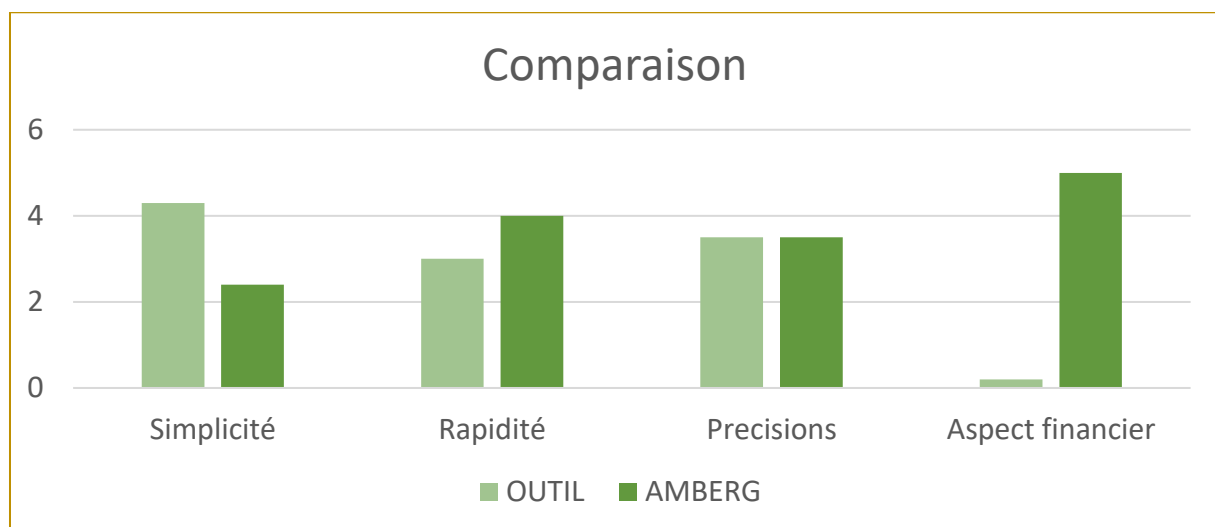


Figure 41: Comparaison Amberg et l'outil

Conclusion

Je suis ravi d'avoir pu réaliser cette expérience chez BYTP sur le projet de la ligne 15 Sud du Grand Paris Express. Mon affectation sur un site différent à celui de l'été dernier aura été bénéfique en m'apportant des connaissances nouvelles en travaux souterrains. Je ressens surtout à l'issue de ce stage, un net progrès sur ma technique en topographie souterraine, du fait des complications et problématiques que j'ai pu rencontrer sur le chantier et lors de mon travail de programmation. Je me suis senti novice lors de mon arrivée sur site et me sens désormais prêt à démarrer dans la vie professionnelle suite au savoir et à l'expérience engrangée lors de ce stage de fin d'étude.

Pour moi, la démarche d'ingénieur aura consisté en l'apprentissage d'une spécialité inconnue. Il m'aura fallu en passer par la recherche de ressources et de documentations pour m'améliorer ainsi que par l'autocontrôle et la vérification des résultats. L'objectif principal étant de répondre à un besoin concret, avec des paramètres d'entrée fixes, des résultats attendus et entre la détermination de plusieurs méthodes qui fonctionnent afin de les comparer et d'en retenir la meilleure solution qui satisfasse les aspects techniques, logistiques, financiers et organisationnels.

J'ai également pris conscience de la puissance de la programmation durant ce stage et y ai pris goût ! J'en suis le premier surpris car c'est une chose qui me lassait grandement lors de ma scolarité. Le cursus d'ingénieur à l'ESTP a été formateur d'un point de vue théorique. Une large vision des différents aspects de la construction nous a été enseignée et les stages nous ont apporté la technique d'un domaine bien précis.

Il faut parfois passer de nombreuses heures sur le développement d'une tâche que l'on saurait faire en 5 minutes. Mais cette opération permet d'automatiser un processus, facilitant ainsi le travail pour les utilisateurs, qui sur le long terme gagnent du temps et donc en efficacité de travail. La recherche, l'innovation, et le développement nécessitent du temps, qui se doit donc d'être compensé par un retour sur investissement gagnant. Les programmes que j'ai codés sont désormais mis à disposition sur le serveur du projet et sont utilisés en interne par mes collègues. J'aurai passé énormément d'heure en programmation, mais ce temps m'était alloué dans le cadre de mon stage et permet à mes collaborateurs de gagner le leur dès à présent.

Après avoir passé deux années stages consécutives dans les travaux souterrains j'ai décidé de continuer dans ce domaine et de chercher à la suite de mon TFE un travail en tant qu'Ingénieur Géomètre.

Conclusion

I am delighted to have been able to do this experience at BYTP on the Grand Paris Express line 15 South project. My assignment to a different site than last summer will have been beneficial in providing me with new knowledge in underground work. I especially feel at the end of this internship, a clear progress in my technique in underground topography, because of the complications and problems that I may have encountered on the site and during my programming work. I felt like a novice when I arrived on site and now feel ready to start my professional life following the knowledge and experience gained during this end-of-study internship.

For me, the engineering process will have consisted of learning an unknown specialty. I had to go through the search for resources and documentation to improve myself as well as through self-monitoring and verification of results. The main objective is to respond to a concrete need, with fixed input parameters, expected results and between the determination of several methods that work in order to compare them and retain the best solution that satisfies the technical aspects, logistical, financial and organizational.

I also realized the power of programming during this internship and got a taste for it! I am the first to be surprised because it is something that bored me greatly during my schooling. The engineering course at ESTP was educational from a theoretical point of view. We were taught a broad vision of the different aspects of construction and the internships gave us the technique of a very specific field.

Sometimes it takes many hours to develop a task that you can do in 5 minutes. But this operation makes it possible to automate a process, thus facilitating the work for the users, who in the long term save time and therefore in work efficiency. Research, innovation, and development take time, which must therefore be offset by a winning return on investment. The programs I coded are now made available on the project server and are used internally by my colleagues. I will have spent a lot of time in programming, but this time was allotted to me as part of my internship and allows my employees to earn theirs now.

After having spent two consecutive years internships in underground work I decided to continue in this field and to seek after my TFE a job as a Surveyor Engineer.

Bibliographie/Webographie

https://amberggroup.com/fileadmin/user_upload/brochures/Systems/03_Amberg_Tunnel_Brochure_en.pdf

<https://www.reseau-canope.fr/risquesetsavoirs/tunnels-routiers-souterrains-sous-haute-surveillance.html>

https://www.google.com/search?q=tunnel+en+methode+tradi&safe=active&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwiTjKO5oejyAhXvyIUKHcSwCSAQ_AUoAXoECAEQAw&biw=1536&bih=754

<https://tpelestunnels.wordpress.com/>

http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Tunnel_2_-_light_cle1a9613-1.pdf

Table des illustrations

<i>Figure 1: Grand Paris Express Ligne 15 Sud.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 2: Acteurs du Projet T2A.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 3: Organisation du service Topographie.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 4 - Projets du Grand Paris.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 5 - Gares de la ligne 15.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 6: Les gares du ligne 15 Sud.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7 - Plan schématique du projet.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 8 - Acteurs du Projet T2A.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 9: Les ouvrages annexes.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 10: Procédure de la méthode conventionnelle.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 11: Phasage de creusement en méthode conventionnelle.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 12: Dimensions générales.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 13: Exemple de puit.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 14: Injection de collage.....</i>	<i>18</i>
<i>Figure 15: Démolition de sciage.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 16: Excavation section inférieure.....</i>	<i>19</i>
<i>Figure 17: Renforcement en tunnel au droit des rameaux.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 18: Voûte parapluie.....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 19: Rameau de secours et de ventilation.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 20: Pose du cintre.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 21: mesures des convergences.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 22: Tableau des convergences.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 23: Coupe du rameau illustrant le béton de revêtement.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 24: Béton de finition.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 25: Banquette.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 26: Coffrage.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 27: Les moyens matériel.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 28: MS60.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 29: Tablette de guidage Amberg.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 30: Axe Amberg.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 31: Profils Amberg.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 32: Profil free.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 33: Modèle 3D Amberg.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 34: Traitement de profil sur Amberg.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 35: Situation de départ.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 36: Calcul projection de nuage de points.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 37: Fonction pour calcul projection droite.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 38: Profil théorique.....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 39: Fonction extraire.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 40: Résultat final avec les écarts.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 41: Comparaison Amberg et l'outil.....</i>	<i>37</i>

Annexes

Le programme en VBA :

```
Function dist2D(x1, y1, x2, y2)
    dist2D = Sqr((x2 - x1) ^ 2 + (y2 - y1) ^ 2)
End Function

Function dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)
    dist3D = Sqr((x2 - x1) ^ 2 + (y2 - y1) ^ 2 + (z2 - z1) ^ 2)
End Function

Function gisement(x1, y1, x2, y2)
    gisement = 2 * Atn((x2 - x1) / (y2 - y1 + dist2D(x1, y1, x2, y2)))
End Function

Function longArc(xd, yd, xf, yf, xc, yc, r)
    gisCPd = gisement(xc, yc, xd, yd)
    gisCPf = gisement(xc, yc, xf, yf)
    Pi = 4 * Atn(1)
    If gisCPf - gisCPd >= Pi Then
        teta = gisCPf - gisCPd - 2 * Pi
    Else
        teta = gisCPf - gisCPd
    End If
    longArc = Abs(teta * r)
End Function
```

```
Function ptsencadrants(x, y, z, Axe)
    Dim D(4)
    i = 0
    Do While IsNumeric(Axe(i, 0))
        D(i) = dist2D(x, y, Axe(i, 0), Axe(i, 1))
        i = i + 1
    Loop
    Dim PE(1)
    i = 0
    Do While D(i) <> WorksheetFunction.Small(D, 1)
        i = i + 1
    Loop
    PE(0) = i
    j = 0
    Do While D(j) <> WorksheetFunction.Small(D, 2)
        j = j + 1
    Loop
    PE(1) = j
    Dim PETri(1)
    PETri(0) = WorksheetFunction.Small(PE, 1)
    PETri(1) = WorksheetFunction.Small(PE, 2)
    ptsencadrants = PETri
End Function
```

```
Function ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2)
    a = x2 - x1
    b = y2 - y1
    c = z2 - z1
    xp = ((a / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)) * ((a * (x - x1) + b * (y - y1) + c * (z - z1)) / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2))) + x1
    yp = ((b / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)) * ((a * (x - x1) + b * (y - y1) + c * (z - z1)) / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2))) + y1
    zp = ((c / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2)) * ((a * (x - x1) + b * (y - y1) + c * (z - z1)) / dist3D(x1, y1, z1, x2, y2, z2))) + z1
    Dim P(2)
    P(0) = xp
    P(1) = yp
    P(2) = zp
    ProjDroite = P
End Function
```

```

Function ProjPlan(x, y, z, a, b, c, D)
  cste = -(a * x + b * y + c * z + D) / ((a) ^ 2 + (b) ^ 2 + (c) ^ 2)
  Dim P(2)
  P(0) = x + (a * cste)
  P(1) = y + (b * cste)
  P(2) = z + (c * cste)
  ProjPlan = P
End Function

Function ProjCercle(x, y, xc, yc, r)
  a = x - xc
  b = y - yc
  x = xc + ((a * r) / Sqr((a) ^ 2 + (b) ^ 2))
  y = yc + ((b * r) / Sqr((a) ^ 2 + (b) ^ 2))
  Dim ProjC(1)
  ProjC(0) = x
  ProjC(1) = y
  ProjCercle = ProjC
End Function

Function CoordLocal(x, y, z, Axe)
  Dim loc(2)
  x1 = Axe(ptsencadrants(x, y, z, Axe)(0), 0)
  y1 = Axe(ptsencadrants(x, y, z, Axe)(0), 1)
  z1 = Axe(ptsencadrants(x, y, z, Axe)(0), 2)
  x2 = Axe(ptsencadrants(x, y, z, Axe)(1), 0)
  y2 = Axe(ptsencadrants(x, y, z, Axe)(1), 1)
  z2 = Axe(ptsencadrants(x, y, z, Axe)(1), 2)
  xp = ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2)(0)
  yp = ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2)(1)
  zp = ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2)(2)

  loc(0) = dist2D(x1, y1, xp, yp)
  If ptsencadrants(x, y, z, Axe)(0) <> 0 Then
    i = ptsencadrants(x, y, z, Axe)(0)
    Do While i > 0
      loc(0) = loc(0) + dist2D(Axe(i, 0), Axe(i, 1), Axe(i - 1, 0), Axe(i - 1, 1))
      i = i - 1
    Loop
  End If

  g1 = gisement(x1, y1, x2, y2)
  g2 = gisement(x1, y1, x, y)
  If g2 < g1 Then
    T = -1 * dist2D(x, y, xp, yp)
  ElseIf g2 > g1 Then
    T = dist2D(x, y, xp, yp)
  ElseIf g2 = g1 Then
    T = 0
  End If
  loc(1) = T

  loc(2) = z - zp
  CoordLocal = loc
End Function

```

```

Function CoordLocalAC(x, y, z, AxeCoupe)
    x1 = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 0)
    y1 = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 1)
    z1 = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 2)
    x2 = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (1), 0)
    y2 = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (1), 1)
    z2 = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (1), 2)
    If AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 4) = "C" Then
        xp = ProjCercle(x, y, AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 6), AxeCoupe(ptsencad
        yp = ProjCercle(x, y, AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 6), AxeCoupe(ptsencad
        ch = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 3) + longArc(x1, y1, xp, yp, AxeCoupe(
    ElseIf AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 4) = "AD" Then
        xp = ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2) (0)
        yp = ProjDroite(x, y, z, x1, y1, z1, x2, y2, z2) (1)
        ch = AxeCoupe(ptsencadrants(x, y, z, AxeCoupe) (0), 3) + dist2D(x1, y1, xp, yp)
    End If
    Dim locC(2)
    locC(0) = ch
    g1 = gisement(xp, yp, x2, y2)
    g2 = gisement(xp, yp, x, y)
    If g2 < g1 Then
        T = -1 * dist2D(x, y, xp, yp)
    ElseIf g2 > g1 Then
        T = dist2D(x, y, xp, yp)
    ElseIf g2 = g1 Then
        T = 0
    End If
    locC(1) = T
    locC(2) = z - z1
    CoordLocalAC = locC
End Function

```

```

Sub calculerproj()
'Axe((x1,y1,z1),(x2,y2,z2),...)
    Dim Axe(4, 2)
    Axe(0, 0) = Range("c3")
    Axe(0, 1) = Range("d3")
    Axe(0, 2) = Range("e3")
    Axe(1, 0) = Range("c4")
    Axe(1, 1) = Range("d4")
    Axe(1, 2) = Range("e4")
    Axe(2, 0) = Range("c5")
    Axe(2, 1) = Range("d5")
    Axe(2, 2) = Range("e5")
    Axe(3, 0) = Range("c6")
    Axe(3, 1) = Range("d6")
    Axe(3, 2) = Range("e6")
    Axe(4, 0) = Range("c7")
    Axe(4, 1) = Range("d7")
    Axe(4, 2) = Range("e7")
'AxeCoupe((x1,y1,z1,pm,type,r,xc,yc,zc),...)
    Dim AxeCoupe(4, 8)
    i = 0
    Do While i <= 4
        AxeCoupe(i, 0) = Range("m" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 1) = Range("n" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 2) = Range("o" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 3) = Range("j" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 4) = Range("i" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 5) = Range("p" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 6) = Range("r" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 7) = Range("s" & i + 3)
        AxeCoupe(i, 8) = Range("t" & i + 3)
        i = i + 1
    Loop

```

```

Debut = 13
Fin = Debut
Do While IsEmpty(Range("D" & Fin)) = False
    Fin = Fin + 1
Loop

k = Debut
Do While k <= Fin - 1
    x = Range("D" & k)
    y = Range("E" & k)
    z = Range("F" & k)
    Range("H" & k) = CoordLocal(x, y, z, Axe) (0)
    Range("I" & k) = CoordLocal(x, y, z, Axe) (1)
    Range("J" & k) = CoordLocal(x, y, z, Axe) (2)
    'Range("L" & k) = CoordLocalAC(x, y, z, AxeCoupe) (0)
    'Range("M" & k) = CoordLocalAC(x, y, z, AxeCoupe) (1)
    'Range("N" & k) = CoordLocalAC(x, y, z, AxeCoupe) (2)
    k = k + 1
Loop

```

```
MsgBox ("ok")
```

```
End Sub
```

```

Sub selectionpt()
    ch = Range("e3")
    ep = Range("e4")
    i = 13
    k = 13
    Do While IsEmpty(Worksheets("Projection ortho sur axe").Range("h" & i)) = False
        If Worksheets("Projection ortho sur axe").Range("h" & i) <= ch + ep Then
            If Worksheets("Projection ortho sur axe").Range("h" & i) >= ch - ep Then
                Range("d" & k) = Worksheets("Projection ortho sur axe").Range("h" & i)
                Range("e" & k) = Worksheets("Projection ortho sur axe").Range("i" & i)
                Range("f" & k) = Worksheets("Projection ortho sur axe").Range("j" & i)
                k = k + 1
            End If
        End If
        i = i + 1
    Loop

MsgBox (k)
End Sub

```

```
Sub test2()  
  
xd = Range("e15")  
yd = Range("f15")  
xf = Range("i15")  
yf = Range("j15")  
xc = Range("n15")  
yc = Range("o15")  
r = Range("l15")  
a = 4 * Atn(1)  
MsgBox (longArc(xd, yd, xf, yf, xc, yc, r))  
  
'MsgBox (ProjCercle(x, y, xc, yc, r)(0) & " ; " & ProjCercle(x, y, xc, yc, r)(1))  
  
End Sub
```

```
Sub test3()  
'AxeCoupe((x1,y1,z1,pm,type,r,xc,yc,zc),...)  
Dim AxeCoupe(4, 8)  
i = 0  
Do While i <= 4  
    AxeCoupe(i, 0) = Range("m" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 1) = Range("n" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 2) = Range("o" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 3) = Range("j" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 4) = Range("i" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 5) = Range("p" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 6) = Range("r" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 7) = Range("s" & i + 3)  
    AxeCoupe(i, 8) = Range("t" & i + 3)  
    i = i + 1  
Loop  
x = 1655440.739  
y = 8176140.5401  
z = 4  
  
MsgBox (CoordLocalAC(x, y, z, AxeCoupe)(2))  
End Sub
```