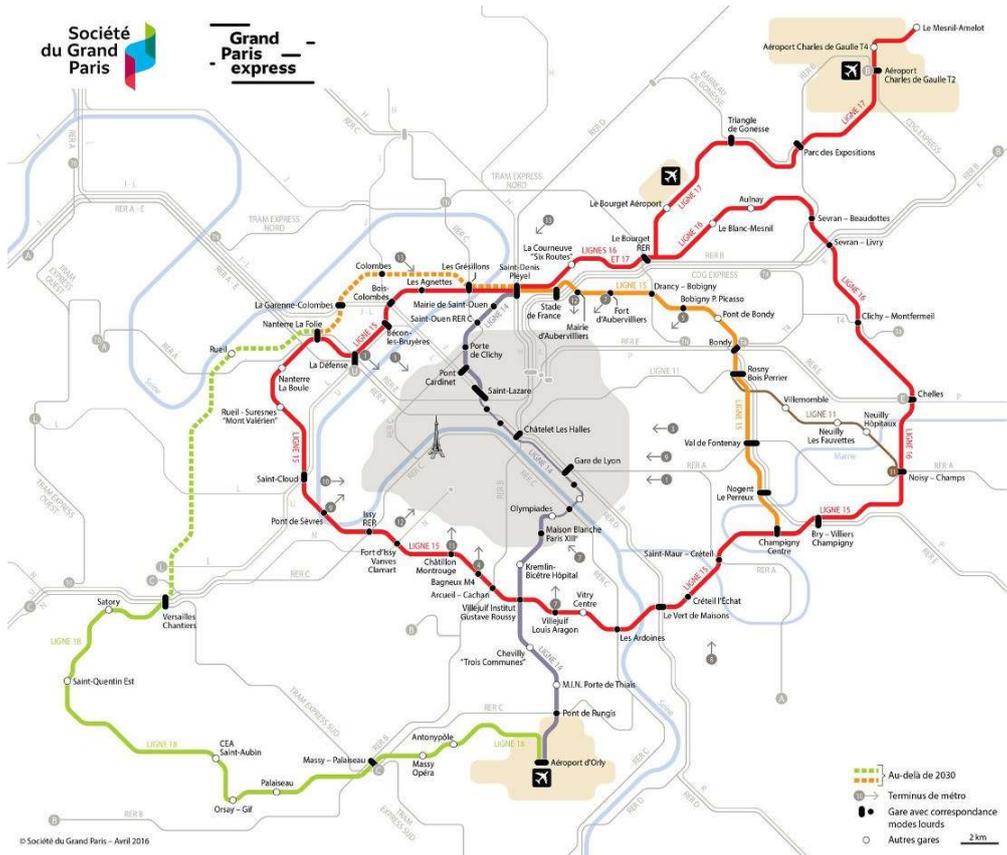


LA COLLABORATION DANS LA DEMARCHE RISQUE
au sein de l'AMOG de la Ligne 15S du GPE
 Maître de stage : Matthieu POULALHON



Résumé

Le cinquième semestre à l'EIVP donne l'opportunité d'effectuer un stage de 6 mois dans une entreprise du génie urbain et ce rapport présente le travail que j'ai effectué durant ce stage.

J'ai choisi de travailler au sein du groupement Artemis, l'assistant à maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris sur le projet du Grand Paris Express. En effet, je voulais accéder à la vision globale d'un projet de transport et celui-ci est particulièrement passionnant du fait de sa taille et la multiplicité des acteurs impliqués.

Au sein de l'équipe d'assistance à maîtrise d'ouvrage de la ligne 15 Sud, j'ai pu découvrir les problématiques propres à un projet hors normes puis, dans une démarche de gestion des risques, je me suis concentrée sur deux sujets : la mise en place du BIM 4D à l'échelle de la 15S et la coordination des marchés tous corps d'état.

Abstract

The fifth semester at the EIVP gives the opportunity to do a 6-month internship in an urban engineering company and this report presents the work I did during this internship.

I chose to work within Artemis, the project management assistant of the Société du Grand Paris on the project of the Grand Paris Express. Indeed, I wanted to access the global vision of a transport project and this one is particularly challenging because of its size and the multiplicity of actors involved.

Within the cross-functional team of line 15, I was able to discover the issues specific to a non-standard project and then in a risk management approach I focused on two topics: the implementation of BIM 4D at the level of the 15S and the all trade works coordination.

Thésaurus

Société du Grand Paris – Artémis – Transport – Métro – Assistance Maîtrise d'Ouvrage Générale –
Ligne 15 Sud – Gestion des risques – BIM 4D – Marchés CEA/CET

Sommaire

Résumé.....	2
Abstract.....	2
Thésaurus.....	2
Sommaire.....	3
Table des figures.....	4
Remerciements.....	5
Introduction.....	6
I – Les problématiques d’un projet hors normes.....	7
1. Présentation du projet et des différents acteurs.....	7
2. La complexité induite par l’ampleur du projet.....	13
II – Principales démarches de maîtrise des risques majeurs au stade REA.....	15
1. Le management du projet par les risques.....	15
2. La démarche sur la Ligne 15 Sud.....	15
3. Mise en place d’Obeyas comme outil de management réactif et collaboratif de risques majeurs.....	19
III – Mise en place de maquettes BIM 4D pour simplifier la compréhension des enjeux planning.....	20
1. Risque : mauvais enchaînement du planning.....	20
2. Une méthode peu développée au sein du projet.....	20
3. L’élaboration d’une maquette 4D à l’échelle de la ligne 15 Sud.....	21
IV – Le pilotage transverse de la phase achat puis des travaux CEA-CET.....	27
1. Les travaux CEA-CET sur la 15S.....	27
2. Le risque d’incohérence.....	29
3. Le travail de pilotage et d’homogénéisation.....	30
Conclusion.....	32
Glossaire.....	33
Bibliographie.....	34
Annexes.....	35

Table des figures

Figure 1 Schéma d'ensemble du GPE - SGP - Mai 2017.....	7
Figure 2 Emploi accessible en moins de 45 min en transport en commun en 2009 et 2030	8
Figure 3 Plan de la ligne 15 Sud.....	9
Figure 4 Limites de prestations entre chaque marché	9
Figure 5 Synoptique du planning projet.....	10
Figure 6 Schéma des différents acteurs de la loi MOP	11
Figure 7 Organigramme d'Artemis.....	12
Figure 8 Organisation Infra/Sys.....	13
Figure 9 Matrice de criticité.....	15
Figure 10 Démarche de gestion des risques.....	17
Figure 11 Etapes de la démarche risque.....	19
Figure 12 Cycle de vie d'un projet BIM. Source : Autodesk.....	20
Figure 13 Portion de tunnel	22
Figure 14 Ouvrage Annexe 1302 sous Revit.....	22
Figure 15 Gare du Vert de Maisons sous Revit.....	22
Figure 16 Capture d'écran Timeliner	23
Figure 17 Animation de la maquette en fonction du planning sous Navisworks.....	24
Figure 18 Les différences entre station historique et gare du GPE.....	27
Figure 19 Schéma d'une gare fonctionnelle.....	27
Figure 20 Schéma de principe des limites entre les différents travaux d'infrastructures.....	28
Figure 21 Planning DCE CEA-CET	29

Remerciements

Je tiens à remercier mon tuteur de stage, Philippe Dujardin, pour sa disponibilité lors de mon stage et ses conseils.

Merci à l'ensemble des artémisiens de m'avoir accueillie et notamment à l'ensemble de la ligne 15 Sud pour leur bonne humeur et leur bienveillance.

A l'équipe Transverse de la 15 Sud pour m'avoir si bien intégrée, d'avoir toujours été disponible pour m'aider et m'apporter ses conseils. J'aimerais notamment remercier Sandie Hummler, Anne-Sophie Blot, Gaëlle Evain et Solenne Grognet pour avoir rendu cette expérience chez Artemis très agréable.

Merci à Mustapha Naciri, Yann Peschanski, Mathieu Esnard et Hélène Bonnet d'avoir pris le temps de m'expliquer le projet et de m'avoir fait confiance.

Enfin, je remercie tout particulièrement Matthieu Poulalhon mon maître de stage, pour m'avoir donné l'opportunité de travailler dans son équipe, pour ses conseils, sa bienveillance, pour avoir partagé ses connaissances et sa passion pour le projet, pour son aide précieuse lors de la rédaction de ce rapport et pour m'avoir permis de continuer l'expérience à la suite du stage.

Introduction

Pour mon stage de fin d'études, j'ai voulu travailler sur un grand projet de transport. Mes stages à l'Universidade Federal do Rio Grande do Norte et à BECA¹ m'ont initiée aux thématiques de transports et leur rôle structurant dans la ville ainsi que la complexité technique qu'ils impliquent. J'ai pu consolider ces compétences lors de mon cinquième semestre à l'EIVP et surtout lors des différents projets y afférant. A la suite de ces expériences techniques il m'a semblé intéressant de disposer également d'une vision globale d'un projet et notamment son pilotage, tout cela afin d'acquérir une meilleure compréhension du déroulement d'un projet de l'établissement de son programme à la livraison.

Ainsi, postuler chez Artemis, l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage Générale (AMOG) du projet Grand Paris Express (GPE), au sein de la L15 Sud, m'a permis de découvrir un projet aux dimensions exceptionnelles. Dans ce cadre, j'ai pu approfondir ce que j'avais précédemment appris et découvrir de nouvelles problématiques liées à la gestion de projet et interagir avec de nombreux acteurs notamment les maîtres d'œuvre (MOE) et le maître d'ouvrage (MOA), la Direction de Projet de la L15 Sud (DP15S).

Ce stage m'a permis d'acquérir des connaissances et des compétences en pilotage et management de projet de grande ampleur. En effet je me suis posé la question du développement de démarches de travail collaboratif au sein d'un projet complexe.

Dans un premier temps je présenterai les problématiques liées à un projet hors-norme, puis les principales démarches mises en œuvre par la DP15S pour la maîtrise des enjeux liés à la complexité organisationnelle et technique du projet en phase de réalisation. Enfin je présenterai deux démarches auxquelles j'ai fortement contribué dans le cadre de mon stage : l'une s'inscrivant dans une logique d'innovation (mise en place de maquettes BIM 4D des ouvrages) ; l'autre très opérationnelle : la mise en place d'une cellule transverse de pilotage de la phase achat des marchés de travaux de corps d'états techniques et architecturaux.

¹ Bureau d'étude néo-zélandais

I – Les problématiques d'un projet hors normes

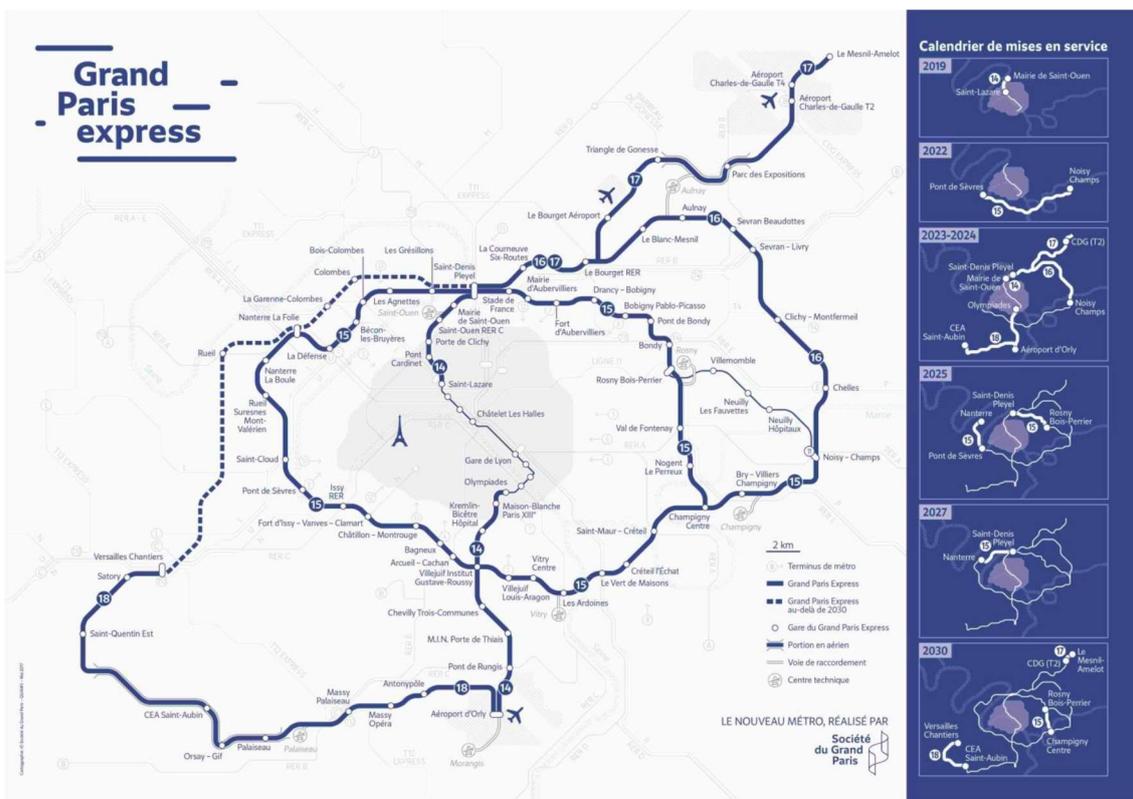
1. Présentation du projet et des différents acteurs

Le GPE

Le Grand Paris Express (GPE) est un programme de dimension européenne, élément phare de la politique de mobilité durable en région Ile-de-France promu par le gouvernement de 2008.

« Un projet visant à transformer l'agglomération parisienne en une grande métropole mondiale et européenne du XXI^e siècle, afin d'améliorer le cadre de vie des habitants, de corriger les inégalités territoriales et de construire une ville durable. » (Ministère de la cohésion des territoires, s.d.)

Le projet consiste en un système de transport en commun automatique à capacité adaptée et est essentiel au développement et à la fluidification des transports. Les quatre nouvelles lignes du Grand Paris Express (15, 16, 17 et 18), ainsi que la ligne 14 prolongée au nord et au sud, seront connectées au réseau de transport existant. Cela représente 205 km de réseaux de transport nouveaux et 68 gares.



L'objectif de cette infrastructure est de relier les banlieues entre elles ainsi que les grands pôles d'activités afin de réduire les temps de trajets pour les Franciliens. En multipliant les possibilités d'itinéraires, il facilitera pour tous l'accès à l'emploi, à la formation, à la culture et aux loisirs et désengorgera le réseau actuel tout en renforçant l'accès aux deux aéroports franciliens actuels.

Pendant la phase de chantier, le projet de la 15 Sud générerait en moyenne 8 000 à 9 000 emplois sur la période 2015-2025. La réalisation du projet devrait ensuite favoriser les créations d'emplois soit 700 emplois directs à l'horizon 2025 associés à l'exploitation de la Ligne 15 Sud et les simulations effectuées par la SGP montrent qu'à l'horizon 2035, 85% des emplois nouveaux seront localisés dans le cœur de l'agglomération parisienne contre 60 à 65% en tendance. Les populations des territoires traversés par la 15 Sud bénéficient en moyenne



d'un accès à plus de 250 000 emplois supplémentaires en moins d'une heure cela grâce au GPE et ces bénéfices s'étendent aux tronçons ferrés en correspondance avec la 15Sud.

< Figure 2 Emploi accessible en moins de 45 min en transport en commun en 2009 et 2030

Aux conditions économiques de 2010 le coût du programme a été évalué à 28,171 Milliards d'euros, comprenant les acquisitions foncières, l'infrastructure et le matériel roulant. Les coûts d'investissement de la ligne 15 Sud dans ces conditions représentent 5761 M€. Pour assurer le financement du projet la SGP dispose de

ressources financières spéciales :

- Taxe spéciale d'équipement (à hauteur de 117M€/an)
- Imposition forfaitaire sur les équipements de réseaux (60M€/an)
- Part de la taxe sur les bureaux en Ile-de-France (300M€/an)

Soit des ressources propres annuelles à hauteur de 500M€/an.

Le décret du 24 août 2011 acte l'approbation du schéma d'ensemble du réseau de transport public du Grand Paris (RTPGP), qui a été porté par l'État, la région et les départements. Celui-ci a été confirmé par le Premier Ministre Jean-Marc Ayrault le 6 mars 2013; le calendrier de l'opération est alors fixé - l'objectif étant de doubler le réseau ferré avant 2030.

Le projet du Grand Paris Express connaît, depuis son lancement, diverses phases de redéfinition, essentiellement budgétaires et calendaires. Le projet dépend d'un grand nombre de paramètres extérieurs qui ont des incidences importantes, notamment l'attribution des Jeux Olympique (JO) 2024, le lancement du projet de Ligne Charles-de-Gaulle-Express... Par ailleurs, le projet suit généralement un schéma habituel d'évolution des grands investissements publics, qui ont de tout temps affronté des contraintes fortes, résultant du jeu complexe des acteurs, de l'évolution des contextes économiques et politiques et de l'évolution progressive du sens même de ces projets.

La Ligne 15 Sud, la première ligne du GPE à être entrée en phase réalisation, s'étend de l'Ile de Monsieur à Sèvres à l'Ouest jusqu'à Noisy Champs à l'Est. Ses 37 kilomètres, entièrement en tunnels, creusés par 8 tunneliers, relie 16 gares; 39 ouvrages annexes sont nécessaires pour l'accès des secours et la ventilation du tunnel. Onze de ces gares sont actuellement reliées avec le réseau lourd actuel de transport en commun et à terme toutes les gares du tronçon seront en correspondance avec une autre ligne du réseau. Ainsi le projet de la 15 Sud permet aux habitants des territoires traversés un itinéraire alternatif et contribue à l'objectif d'allègement de la charge du réseau existant. De plus les communes desservies directement par l'infrastructure seront plus attractives et cela favorisera un bâti dense à proximité des gares du Grand Paris Express.

Le projet de transport s'accompagne d'opérations d'aménagement à dimension métropolitaine tels l'île Seguin, la ZAC « Campus Grand Parc » autour de l'Institut Gustave Roussy et l'Opération d'intérêt national Orly-Rungys/Seine Amont qui renforcent la dynamique de renouvellement urbain. Ainsi le projet contribue au développement de centres secondaires à travers le territoire et à une urbanisation plus concentrée sur le cœur de l'agglomération parisienne.



Figure 3 Plan de la ligne 15 Sud

L'avancement du projet

La conception et construction du projet fait appel à 2 familles principales de métiers : d'une part le métier des Infrastructures, qui regroupent le Génie Civil (GC) du tunnel et des stations souterraines et les corps d'états techniques et architecturaux (CEA-CET) des bâtiments ; d'autre part le métier des Systèmes, c'est-à-dire tout ce qui permet de faire fonctionner le métro, comme par exemple les voies ferrées, les réseaux haute tension, le matériel roulant, les automatismes, mais aussi les centres d'exploitation .

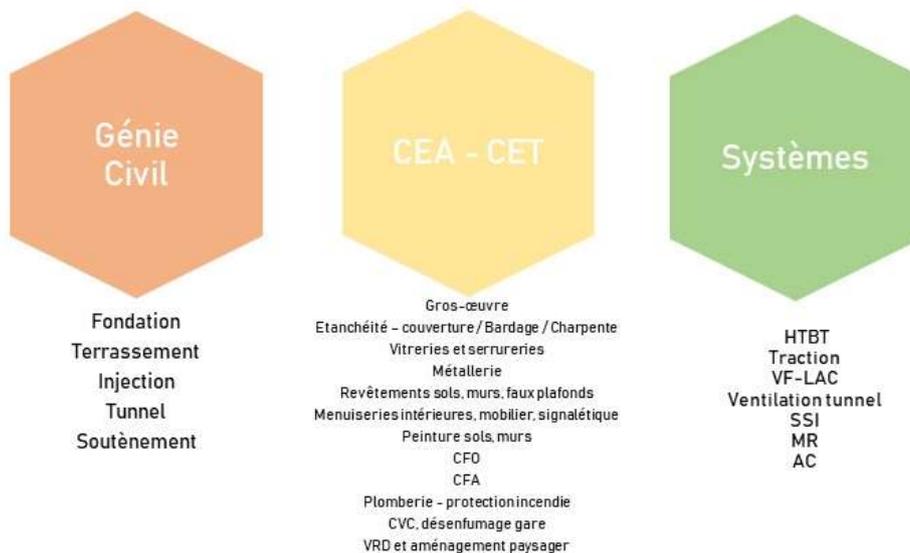


Figure 4 Limites de prestations entre chaque marché

En 2013 les premières enquêtes publiques démarrent et permettent de lancer les travaux préparatoires sur la ligne 15 Sud en 2015.

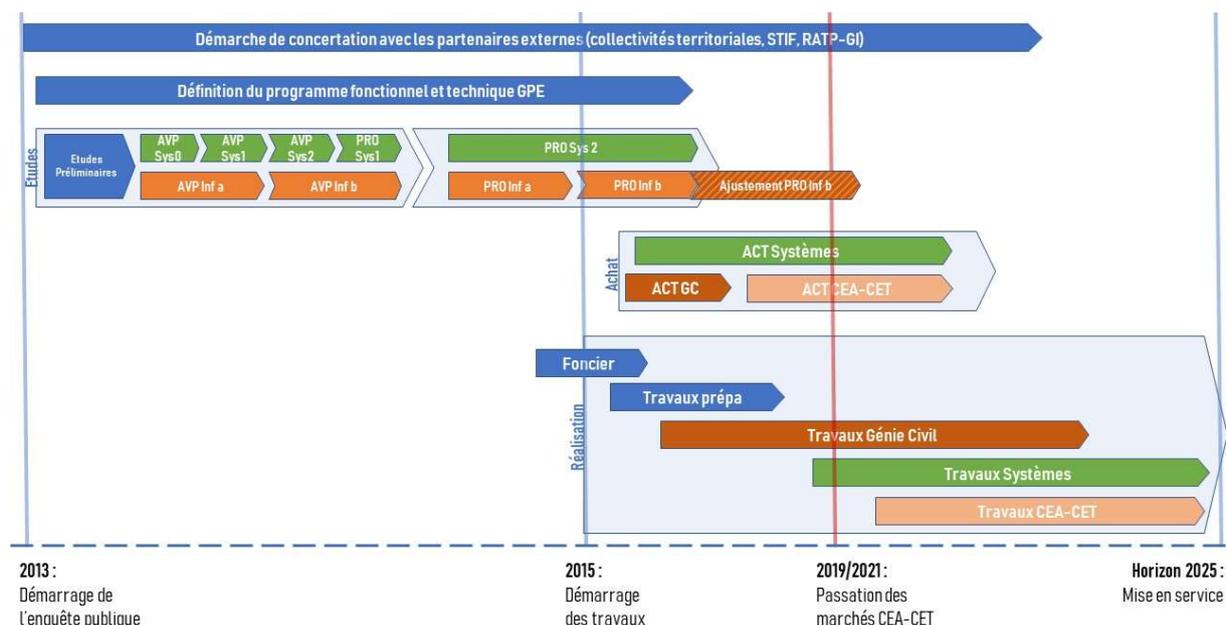


Figure 5 Synthétique du planning projet

Au sein du périmètre des Infrastructures :

À la suite des études de PRO-a Infrastructures, les travaux de Génie Civil ont pu démarrer courant 2016 et aujourd'hui sont bien entamés (voir Annexe 1). A ce stade les études de PRO-b infra sont en cours d'ajustement afin de pouvoir réaliser la passation en 2019-2020 des marchés de travaux CET-CEA, c'est-à-dire d'aménagement et d'équipement intérieurs et extérieurs des gares.

Au sein du périmètre des Systèmes et Exploitation :

Les premiers marchés de travaux Systèmes ont été attribués, en particulier certains marchés de Voie et Caténaires, mais pour entreprendre les travaux il est nécessaire que le tunnel ait été réalisé par les entreprises de Génie Civil. Par ailleurs, de nombreux travaux systèmes comme les équipements Haute Tension seront réalisés en interface étroite et en coactivité avec les travaux CEA-CET. Les travaux du site de maintenance du matériel roulant à Champigny ont également débuté et celui-ci devra être disponible à la livraison des premières rames de métro. Puis les essais seront réalisés pour une mise en service prévue à l'horizon 2025.

Le GPE est un projet qui s'étend sur une longue durée avec de nombreuses phases qui s'entrecroisent, se chevauchent et s'enchaînent. Il est difficile en arrivant sur le projet en cours de route, d'avoir une vision très claire du déroulement. J'ai trouvé déroutant la manière dont le projet se dévoilait à moi comme une succession de phases imbriquées les unes dans les autres.

Schéma des différents acteurs

De nombreux acteurs collaborent sur le projet du Grand Paris Express :

- **Maîtrise d'ouvrage** : la Société du Grand Paris (SGP) est un établissement public à caractère industriel et commercial. Elle a été créée par la loi du 3 juin 2010. Elle porte le besoin qui définit le projet, définit le programme, conçoit et élabore le schéma d'ensemble, le budget et le calendrier du projet. Elle nomme son assistance à maîtrise d'ouvrage. Elle est propriétaire des infrastructures et chargée des investissements.
- **Assistance à Maîtrise d'ouvrage (AMO)** : assiste la SGP dans son rôle de maître d'ouvrage sur deux aspects : la conduite d'opération des différents ouvrages à réaliser et par ailleurs le pilotage transverse du projet (risques, coûts, planning). De manière générale l'AMO instruit les décisions du MOA, contrôle les missions confiées au MOE et rend compte au MOA.
- **Maîtrise d'œuvre** : en suivant le cahier des charges établi par le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre conçoit le projet sur son tronçon puis à la suite de la consultation des entreprises dirige l'exécution des marchés de travaux.
- **Entreprises** : les entreprises, à l'échelle du lot qui leur est attribué, exécutent les travaux.

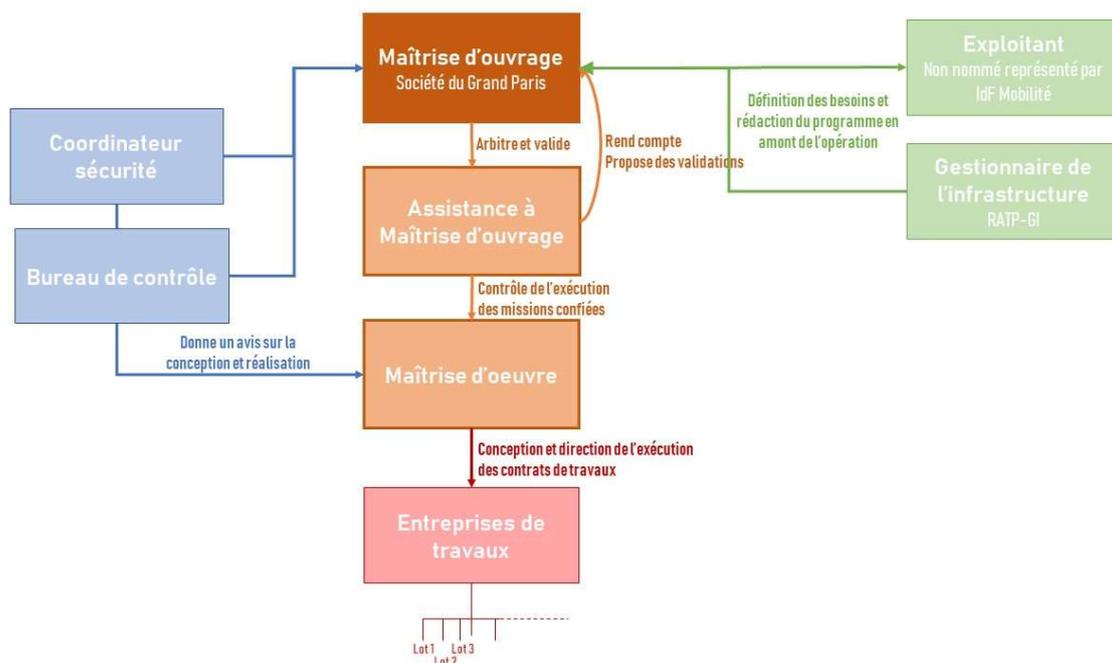


Figure 6 Schéma des différents acteurs de la loi MOP

La SGP collabore aussi avec Île-de-France Mobilités qui est l'autorité organisatrice des transports, chargée de désigner les exploitants et qui sera propriétaire des matériels roulants, et avec la RATP GI qui est le futur gestionnaire d'infrastructure et qui aura en charge d'organiser la maintenance, la sécurité et la disponibilité des infrastructures.

Zoom sur Artemis, AMOG du Grand Paris Express

Artémis est un groupement d'entreprises qui accompagne la SGP en qualité d'assistant à maîtrise d'ouvrage générale. Il est composé d'ARTELIA, ARCADIS et BG.

La mission d'AMOG consiste principalement à aider le MOA à définir, piloter et réaliser le projet ainsi qu'à anticiper les difficultés, émettre des conseils et encadrer le travail des Maîtres d'œuvre. Le rôle de décideur restant au MOA.

Le recours à une AMOG se justifie par la taille et la complexité du projet. Artemis est intervenu dès l'avant-projet et appuiera la SGP jusqu'à l'achèvement de l'opération.

Lors de mes premières semaines sur le projet, j'ai pu m'entretenir avec de nombreuses personnes de l'équipe aux profils et postes différents. Ce fut très formateur d'approcher le projet par les présentations passionnées de mes collègues et cela m'a permis d'avoir une meilleure compréhension des métiers de l'AMOG qui m'étaient obscures avant cela.

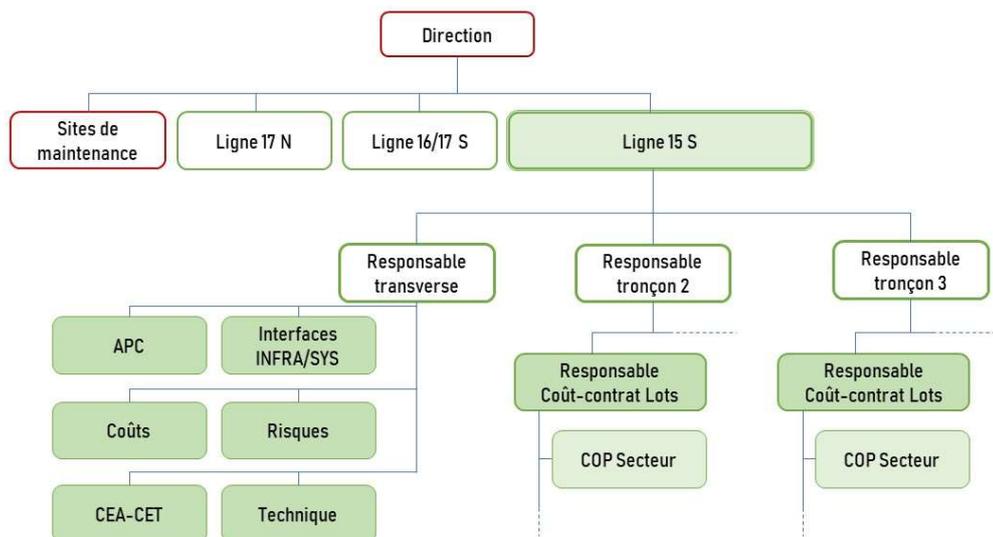


Figure 7 Organigramme d'Artemis

Au sein de la Ligne 15 Sud opèrent les équipes tronçons et l'équipe transverse.

Les tronçons correspondent chacun à un périmètre de MOE Infrastructure (Systra est en charge du Tronçon 2 et Setec-Ingerop du Tronçon 3).

A ce stade du projet, l'organisation d'Artemis à l'intérieur de chaque tronçon découle de l'allotissement des marchés de travaux de Génie Civil : en face de chaque entreprise de Génie Civil opère un Référent coût-contrat (RCC) dont le rôle est de piloter pour le compte du MOA la mission de Direction de l'Exécution des Contrats de Travaux (DET) du MOE. Il n'est pas responsable des aspects techniques du projet mais des aspects de pilotage en termes de coûts, délais, risques sur son périmètre. Il appuie particulièrement le MOA dans la vérification des engagements des co-contractants, le pilotage des modifications du marché initial et la préparation de la résolution des différends entre l'entreprise de travaux et le MOA. Mensuellement il effectue un reporting au

MOA, une synthèse de l'avancement des travaux sur son lot. Son interlocuteur à la SGP est un gestionnaire de marché, rôle tenu sur les lots principaux par le Directeur de projet adjoint en charge d'un tronçon.

Pour cela le RCC s'appuie sur une équipe de Conducteurs d'Opération (COP) qui pilotent la DET du MOE à l'échelle d'un ouvrage ou d'un groupe d'ouvrages et lui remontent les informations. Les COP ont également la charge du pilotage de la fin de conception des corps d'états architecturaux et techniques de leurs ouvrages, et de la préparation de la passation des marchés sur ces domaines. Leurs interlocuteurs à la SGP sont les Chefs de projet secteurs, qu'ils assistent par ailleurs dans leur relation avec les intervenants extérieurs (STIF, RATP, collectivités, associations de riverains ...).

L'équipe transverse au sein de l'AMOG de la Ligne 15S a la charge du pilotage des délais, des coûts, des risques et de la qualité et elle assure le reporting au maître d'ouvrage afin qu'il dispose d'une vision transversale sur ces sujets. Pour assurer cette mission, elle travaille en lien avec les intervenants des équipes tronçons pour fournir une image cohérente à l'échelle de la ligne. Les membres de l'équipe recueillent, analysent et synthétisent les informations fournies par les équipes opérationnelles pour produire un support à la prise de décision et préparer la validation des pièces par la direction de projet.

L'équipe transverse assure également le pilotage des interfaces entre les différents corps de métier (Infrastructures et Systèmes notamment) qui constituent le projet de Métro.

L'objectif de mon stage était d'assister l'équipe transverse dans ses missions. J'ai cependant dû commencer par une période où j'ai lu de nombreux documents, puis rencontré des personnes et assisté à des réunions pour m'imprégner du projet. Les acteurs et problématiques étant si nombreux, cela m'a nécessairement pris du temps. J'ai pu ensuite me plonger dans les démarches de pilotage des risques et du planning, mais ma compréhension des acteurs et des enjeux du projets ont continué à grandir jusqu'à la fin de mon stage

2. La complexité induite par l'ampleur du projet

Plusieurs métiers à coordonner en interne pour le pilotage du projet

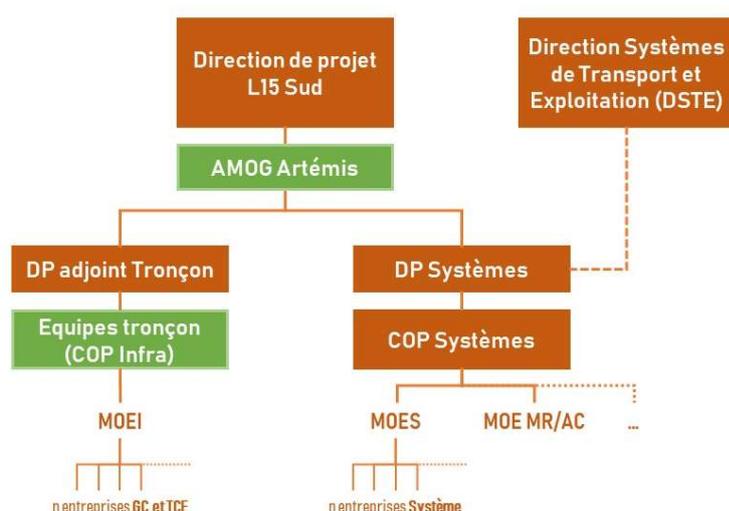


Figure 8 Organisation Infra/Sys

La Direction de Projet L15 Sud est responsable du coût, des délais de mise en service et du respect du programme de l'ensemble du projet de la L15 Sud, mais doit s'appuyer sur d'autres directions au sein de la SGP ; en effet l'organisation du pilotage du projet est rendue complexe par la nécessité de coordonner les différents métiers qui contribuent à la réalisation du projet.

Ainsi, la DP15S pilote de manière directe et autonome le périmètre Infrastructures, en s'appuyant sur l'AMOG Artémis (à laquelle appartiennent les RCC et COP Infra), et les MOE Infrastructures (MOE-I), Systra sur le Tronçon 2 et Setec-

Ingerop sur le Tronçon 3. Le périmètre des Systèmes (cf. paragraphe précédent) est co-piloté par la DP15S avec une Direction transverse « Direction des Systèmes de Transport et de l'Exploitation ». Le Directeur de projet adjoint Systèmes a un double rattachement à la DP15S et à la DSTE ; il s'appuie sur un AMO spécifique (COP Systèmes Systra, entité différente de l'AMOG Artemis) et des MOE spécifiques (MOE Systèmes Egis, MOE Matériel Roulant et automatismes, etc.). En effet le système de transport, y compris les trains, les équipements en tunnel, les équipements en gare font l'objet d'une mise en cohérence au niveau global Grand Paris Express, et leur définition dépasse le cadre de la L15 Sud. Si certains marchés systèmes sont regroupés par ligne ou zone géographique, d'autres sont transverses aux lignes 15, 16 et 17 notamment le matériel roulant et les équipements liés au système de surveillance et de sécurité car l'exploitation du système de transport est centralisée, ce qui oblige à une standardisation des équipements sur le réseau.

On notera que le projet est copiloté avec d'autres Directions encore au sein de la SGP, qui portent notamment des programmes (Direction des Gares et de la ville) ou qui sont en support sur des processus majeurs (Direction des achats ; Direction des relations avec les territoires, ...). En particulier une Direction porte la définition de projets immobiliers connexes qui seront construits en surplomb des gares. Au total ce sont les compétences de 8 directions que la Direction de projet doit coordonner pour la réussite du projet.

La multiplicité des intervenants peut être source de difficulté au sein du projet et nécessite une étroite coordination des interfaces.

La pluralité des acteurs oblige la création d'interfaces extérieures lorsque le projet est lié à des projets connexes mais aussi des interfaces internes entre deux lots dont le MOE est différent.

Il existe de véritables problématiques d'homogénéisation du projet aux interfaces.

De nombreuses parties prenantes

De nombreuses parties prenantes existent autour du projet, en plus des acteurs de la loi MOP présentés en partie I.1 :

- **Futurs voyageurs, riverains des chantiers** : sont consultés et informés,
- **Elus** : co-construction du projet territorial, débat public et suivi régulier avec les collectivités,
- **Pouvoirs publics** : procédures de déclarations d'utilité publique, d'autorisation environnementales,
- Mais aussi les financeurs, les tutelles de l'état, les mondes académique et économique ...

Sur des périmètres étendus

La Ligne 15 sud s'étend sur 37 kilomètres de tunnel, 16 gares et 39 ouvrages annexes. Cela pose des problèmes de représentation du projet car l'échelle est trop étendue.

De plus cela empêche de dupliquer certaines solutions car les situations géographiques sont différentes, sur la question de l'évacuation des déblais de chantier ou de la relation avec les riverains par exemple.

Pendant des périodes complexes

La diversité des types de phases et la complexité avec laquelle elles s'articulent, de manière différente sur chaque ouvrage, rend impossible à l'œil inexpérimenté la compréhension l'enchaînement du projet. Les problématiques planning sont si vastes dans le temps (10 ans de travaux) et dans l'espace qu'on ne peut appliquer les méthodes et outils connus pour des projets plus classiques.

Des problématiques techniques et politiques complexes

Le Grand Paris Express est un projet politiquement et techniquement complexe. Il est difficile si ce n'est impossible d'avoir une vision globale du projet et des enjeux liés. Il est donc nécessaire d'élaborer des méthodes et outils de travail innovants permettant de faciliter la collaboration entre les différents acteurs.

II – Principales démarches de maîtrise des risques majeurs au stade REA

1. Le management du projet par les risques

La loi MOP² cadre les rôles et responsabilités respectifs de chacun pour la construction d'ouvrages relevant d'une commande publique. Ainsi elle introduit le chiffrage en coût complet du projet dès les études d'avant-projet, en envisageant non seulement les coûts identifiés mais aussi les coûts qui ne sont pas encore définis du fait du niveau d'avancement des études. S'ajoutent les enveloppes financières destinées à couvrir les risques et aléas induits par la réalisation même du projet.

L'objectif de la démarche est d'éliminer ou réduire les risques pesant sur les coûts, les délais et la qualité du projet, en identifiant et en saisissant systématiquement les opportunités d'optimisation et d'améliorer la prise de décision en encourageant à tous les niveaux l'identification et la discussion des risques.

Le pilotage des risques se fait sur plusieurs niveaux :

- **MOE/entreprise** : risques techniques dans le cadre des travaux de génie civil
- **MOE/Artemis/SGP** : risque transverse projet ligne
- **SGP** : risque GPE

2. La démarche sur la Ligne 15 Sud

Identification des risques

Le risque est un événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet (Définition AFNOR). Il est caractérisé par des causes, des conséquences, une probabilité d'occurrence et sa gravité.

Les risques identifiés sont insérés dans un registre de risque, un exemple est présent en Annexe 2. Le registre des risques est un outil de pilotage du projet, il regroupe les risques identifiés sur un lot.

Chaque risque est attribué à un Propriétaire, qui est responsable du suivi de l'évolution du risque et un Porteur en charge du traitement du risque.

Mise en place d'un plan d'action

L'évaluation de chaque risque permet de calculer sa criticité (C) comme le produit de la probabilité (P) par la gravité (G) : $C = P \times G$. On évalue la gravité et la probabilité sur une échelle de 1 à 4 grâce à des indicateurs établis, présentés en Annexe 3.

		GRAVITE				Critères d'acceptabilité du risque	Qualification
		4	8	12	16		
PROBABILITE	4	16	12	8	4	inacceptable	Impose la mise en œuvre prioritaire de plans d'actions préventifs Nécessite la définition de plans d'actions correctifs opérationnels
	3	12	9	6	3	A traiter	Nécessite la définition opérationnelle de plans d'actions préventifs et correctifs Organisation d'arbitrages pour la mise en œuvre de plans d'actions préventifs
	2	8	6	4	2	A statuer	La définition de plans d'actions est à statuer par le propriétaire du risque
	1	4	3	2	1	Acceptable	Le risque est suivi

Figure 9 Matrice de criticité

² La loi no 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, dite loi MOP est une loi française qui met en place, pour les marchés publics, la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre. Elle constitue une des bases du droit de la construction publique en France, avec le Code des marchés publics. Son rôle est de déterminer les attributions de ces deux acteurs principaux de l'acte de construire dans le cadre d'une commande publique que sont la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. (Source : Wikipédia)

La criticité s'échelonne de 1 à 16. Elle permet de hiérarchiser la priorité de traitement des risques. Un plan de traitement préventif des risques est obligatoire pour tous les risques dont la criticité est égale ou supérieure à 6.

Pour une criticité 1 le risque est jugé acceptable .

Entre 2 et 4 le risque est à surveiller, il reste donc dans les registres mais la mise en place d'un plan d'action n'est pas exigée.

A partir d'un niveau de criticité 6, chaque risque fait l'objet d'un plan d'actions placé sous la responsabilité du Propriétaire du risque, dont la réalisation est confiée à des Porteurs d'actions. L'objectif du plan de prévention est de réduire l'occurrence et/ou la gravité du risque. Si cela n'est pas possible on met en place un plan de protection ou de détection pour réduire la gravité en cas d'occurrence.

Selon les cas il est aussi pertinent de transférer le risque, c'est-à-dire que si le risque se produit, les conséquences pèseront sur un autre acteur. Par exemple on opère un transfert lorsqu'on souscrit à une assurance.

Mais il n'est pas possible d'éviter l'occurrence de tout risque car premièrement, il est difficile d'être totalement exhaustif dans l'identification des risques et deuxièmement, on n'a pas forcément les moyens de rendre tout risque acceptable. Ainsi il faut prévoir des provisions temporelles ou financières en cas de risque avéré. Les provisions sur risques (PRI) sont incluses au budget des marchés et sont suivies par les référents coûts contrats (RCC). A l'échelle du GPE, sur les 35 milliards d'euros prévus, 7 sont des provisions pour risque et aléas.

Le plan d'action est inséré dans le registre des risques où on suit son avancement.

Mise à jour et reporting

A mon arrivée sur le projet, le processus était lancé ; je n'ai donc participé qu'au processus itératif de management par les risques. Cela consiste à mettre à jour les registres avec les RCC, contribuer au reporting risque à destination du MOA, et assister les équipes opérationnelles sur les risques.

Ma première mission en arrivant sur le projet fut d'assister l'adjoint Risque. Je pense que l'analyse des risques est une très bonne porte d'entrée dans le projet car elle permet d'être confronté à des problématiques très variées. La mise à jour des tableaux implique d'avoir des échanges poussés avec les RCC sur des sujets opérationnels.

Les risques sont gérés à plusieurs niveaux ; au sein de l'AMOG le RCC contrôle le registre de son lot et l'équipe transverse est chargée de faire apparaître les risques communs à tous les lots, de faire ressortir les risques majeurs, d'effectuer un retour d'expérience sur les risques. En théorie la mise à jour des registres est continue car c'est l'outil de management de projet opérationnel. Cependant, bien souvent, cette mise à jour n'est pas faite à chaque mise en place d'actions de traitement, et il est nécessaire de faire ce travail a posteriori lors de réunions où l'on reprend le tableau ligne par ligne. Ce tableau est assez lourd, comportant de nombreuses lignes et colonnes, le processus de mise à jour est donc assez laborieux.

Les risques majeurs identifiés sur la Ligne 15 Sud doivent être remontés au directoire de la SGP. Pour effectuer ce reporting j'ai donc assisté aux revues de lots où les équipes opérationnelles présentent les éléments les plus notables sur leur périmètre. Sur cette base, j'ai pu, en m'appuyant sur les registres existants, constituer un registre des risques majeurs L15S. Parallèlement j'ai assisté l'adjoint risque de l'équipe transverse à la

constitution d'un registre des risques transverses pour la ligne sur les sujet coût, délais, pilotage qui impactent l'ensemble de la ligne.

Retour d'expérience



Figure 10 Démarche de gestion des risques

Ainsi, après avoir identifié, analysé, évalué le risque, après avoir établi le plan de contrôle et rendu le risque acceptable il faut effectuer le retour d'expérience.

La capitalisation des risques consiste à regrouper dans un registre les risques que nous avons pu identifier auxquels on associera leurs caractéristiques. Ainsi, par retour d'expérience, on améliore la capacité à être le plus exhaustif possible sur les prochains lots lors de l'étape d'identification des risques. Cela facilite le management du risque car le travail de trouver un plan d'actions, d'évaluer la criticité a déjà été effectué.

Risques techniques des travaux de Génie Civil

Les modalités de contractualisation des risques entre MOA et entreprises pour les marchés publics sur travaux souterrains, décrit par le fascicule 69, a fortement structuré l'organisation du management des risques de la SGP.

ART I.2.2 DU FASCICULE 69 DU CCTG "TRAVAUX EN SOUTERRAIN" :

« Le Plan de Management des Risques liste les risques résiduels, à savoir ceux non couverts par les dispositions techniques prévues au marché et contre lesquels le maître d'ouvrage juge nécessaire de se prémunir. Il analyse les événements à leur origine, apprécie leur vraisemblance et en définit les conséquences prévisibles sur l'organisation du chantier.

Il rappelle les dispositions techniques prévues pour prévenir les événements redoutés et limiter leurs conséquences (reconnaisances à l'avancement, ...).

Il contient la description des dispositions techniques et organisationnelles envisagées :

- *Pour mettre le chantier en sécurité lors de leur survenance,*
- *Pour poursuivre le chantier.*

Le PMR propose enfin les principes ou modalités de rémunération de ces interventions. »

Le Plan de Management des Risques (PMR) est un document contractuel qui régit les relations entre le maître d'ouvrage et l'entreprise en cas de survenance d'un des risques qui auront été identifiés lors de la signature du marché. Il décrit la démarche menée en amont des consultations par le MOE sur le management des risques techniques, synthétise les principaux risques techniques, explicite le fonctionnement du Registre des Risques Techniques (RRT) et décrit les attentes organisationnelles vis-à-vis de l'entreprise dans la maîtrise des risques du projet.

Le MOE est le garant de la maîtrise des risques techniques, pour cela il tient un registre des risques techniques (RRT) qui lui permet de piloter les risques de manière opérationnel sur chaque lot. De plus il met en place des réunions risques à plusieurs niveaux avec l'entreprise et la MOA.

La mise à jour et le soin apporté au détail dans le registre technique est essentiel. En effet, les registres de risques opérationnels sont établis à partir des registres de risques techniques notifiés aux marchés de travaux, ces derniers sont génériques. Il est donc primordial lors de l'exécution de spécifier les risques en fonction du lieu et des enjeux afférant afin d'avoir une criticité et un plan d'action cohérent avec la réalité des travaux.

Par exemple, pour la gestion des avoisinants selon les lieux les enjeux ne sont pas les mêmes ; les caractéristiques des lots déterminent la criticité du risque mais aussi le plan d'action. On ne traite pas de la même manière la sensibilité structurelle d'un bâtiment, qu'on conforte, et un fontis, qu'on injecte.

Les risques sont de trois types :

- Type 1 : Risque de méthode à la charge de l'entreprise
- Type 2 : Risque notifié au marché payé par bordereau de prix unitaire par le MOA
- Type 3 : Risque imprévisible payé par négociations

Ainsi la vigilance du MOE est importante sur le pilotage des risques car l'entreprise l'utilise comme levier pour faire passer un maximum de risques en type 3.

J'ai contribué à la mise à jour des tableaux de risques pendant près d'un mois. Je lisais donc les tableaux, m'interrogeais sur la formulation.

« Est-ce bien un risque ? Les causes et le contexte sont-ils pertinents ? Quelles informations manquent ? Quelles informations sont superflues ? ».

Cette immersion dans l'outil, parfois fastidieuse, m'a permis d'adopter le vocabulaire et la logique de la gestion des risques. Cela m'a par la suite aidée, car les risques sont assez omniprésents dans le pilotage du projet.

3. Mise en place d'Obeyas comme outil de management réactif et collaboratif de risques majeurs

Une Obeya, du japonais 大部屋 « grande salle », est une forme de management de projet visant à améliorer le travail d'équipe. Le principe est que dans une grande salle sont affichés des panneaux pouvant être modifiés afin de suivre visuellement l'avancement des actions, des risques, du projet.

Au cours de mon stage j'ai réfléchi à l'application d'une démarche Obeya pour la gestion des risques majeurs. En effet cette démarche est pertinente car elle permet le dialogue et le pilotage partagé de plusieurs acteurs ce qui est exactement le besoin ici. Le processus se déroule en quatre étapes, pour lesquelles il est nécessaire d'identifier les aspects indispensables :

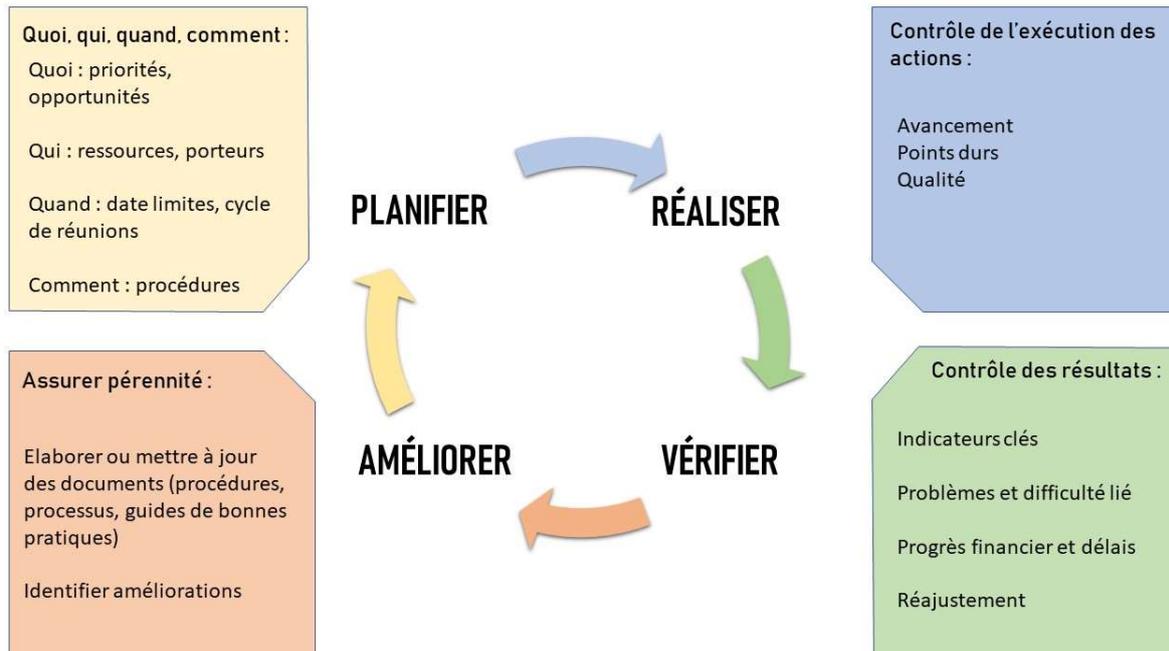


Figure 11 Etapes de la démarche risque

Sur cette base j'ai établi des panneaux permettant la conduite de ces risques majeurs lors d'une réunion Obeya, présents en Annexe 4. Pour chaque étape il s'agit de développer un outil de suivi et de prise de décision qui permet la collaboration, la facilité et la clarté d'utilisation.

Au cours de mon stage, nous n'avons finalement pas utilisé l'Obeya pour le pilotage des risques majeurs. Mais il a été décidé par la SGP de mettre en place cette démarche pour un certain nombre des risques spécifiques majeurs du projet.

En premier lieu, une Obeya a été mise en place pour améliorer les modalités de co-pilotage du projet et de coordination entre les métiers Infrastructures et les métiers Systèmes et Exploitation. Comme soulevé en première partie, les organisations séparées de ces deux métiers, nécessaires par définition, sont sources de difficultés lorsque des problèmes apparaissent aux interfaces. La configuration de l'Obeya permet de rassembler les intervenants nécessaires ainsi que les éléments de planning et les maquettes nécessaires à la compréhension du problème à résoudre. Une réunion hebdomadaire permet de suivre l'avancement des points ouverts majeurs entre DP 15S, AMO Générale, DSTE et AMO Systèmes.

Il a également été décidé de mettre en place 3 Obeyas plus ponctuelles pour traiter les principaux points durs du planning (sujets confidentiels). Ces Obeyas sont organisées pour pouvoir rassembler tous les acteurs et mettre en place un plan d'action efficace rapidement, sans avoir à organiser plusieurs séries de réunions où tout le monde n'est pas présent et le suivi des actions n'est pas clair ni les éléments du problème initial.

III – Mise en place de maquettes BIM 4D pour simplifier la compréhension des enjeux planning

1. Risque : mauvais enchaînement du planning

Le projet est très complexe notamment par son étendue géographique et le nombre d'acteurs impliqué. Ainsi lorsqu'il s'agit de planifier les travaux se posent des problématiques d'interfaces entre les acteurs notamment entre les travaux infrastructures et systèmes.

Il existe de nombreuses problématiques techniques difficilement compréhensibles pour une personne non experte (ou bien difficiles à appréhender dans leur ensemble, chacun étant expert de son domaine de compétence) mais dont la compréhension est importante pour pouvoir prendre le recul sur l'opération et appréhender l'enchaînement des différentes actions afin d'atteindre les objectifs de délais.

Il y a donc besoin d'un outil collaboratif permettant de regrouper et visualiser les différents enjeux des différents acteurs et compréhensible par tous afin d'être support d'atelier d'optimisation.

Ainsi, pour réduire le risque qu'un mauvais enchaînement du planning mène à un manquement des objectifs du projet, il m'a été demandé de tester le développement d'une maquette BIM 4D pour agir sur les causes du risque et améliorer la collaboration, le pilotage et la compréhension des enjeux.

2. Une méthode peu développée au sein du projet

Généralités sur le BIM

Le BIM (de l'anglais Building Information Model) est une base de données permettant de rassembler toutes les informations concernant un bâtiment ou projet de travaux public. Quand on pense au BIM on l'associe très souvent à une maquette numérique mais le BIM ne se limite pas à la géométrie : il couvre les relations spatiales, l'analyse de la lumière, l'information géographique, les quantités et les propriétés des éléments de construction et permet la gestion, la coordination et la simulation de documents tout au long du cycle de vie d'un projet (planification, conception, construction, exploitation et maintenance).

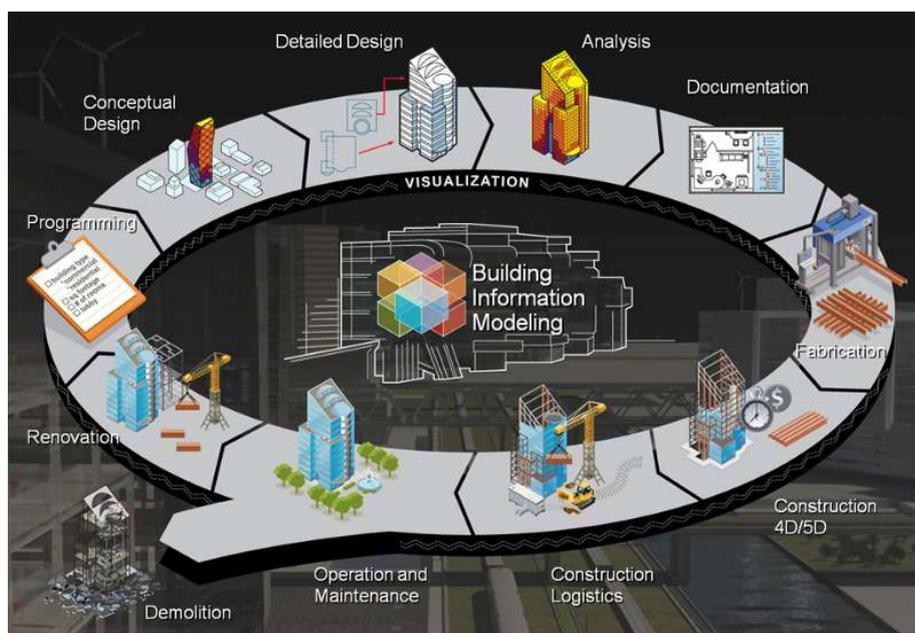


Figure 12 Cycle de vie d'un projet BIM. Source : Autodesk

Le BIM est décrit en termes de dimensions : 3D (modèle objet), 4D (temps), 5D (coût), 6D (durabilité), 7D (exploitation), et même 8D (sécurité).

Le modèle 4D relie les activités de construction aux plannings et produits des simulations graphiques en temps réel de l'avancement de la construction. La dimension "temps" permet d'évaluer la constructibilité et la planification d'un projet. Tous les acteurs du projet peuvent facilement visualiser, analyser et communiquer les problèmes dans les aspects séquentiels, spatiaux et temporels de l'avancement de la construction.

Contractualisation du BIM et organisation entre les acteurs

Les objectifs du BIM sur la Ligne 15 Sud sont de contribuer à la gestion de projet au travers d'une méthodologie de travail collaboratif ainsi qu'aux tâches de synthèse EXE menées par les MOE et titulaires de marchés de construction. De plus il permet de consolider les pièces du Dossier d'Ouvrage Exécuté communiqué au futur mainteneur et au futur exploitant, et les supports de communication internes et externes au projet.

Initialement, le BIM n'avait été intégré dans aucun contrat de MOE-I, plusieurs avenants ont été nécessaires pour intégrer cette demande. A ce jour, plusieurs missions relatives au BIM ont été contractualisées avec les MOE-I (T2 et T3) sur l'ensemble de la Ligne 15 Sud. Cependant certains groupements titulaires de lots de travaux GC ont refusé de réaliser leurs études d'exécution en BIM en s'appuyant sur une clause de leur contrat stipulant que le MOE devait fournir les bases de Maquettes Numériques aux titulaires en données d'entrées.

L'absence de contractualisation initiale du BIM a entraîné un manque de cadrage des interfaces en amont et une vision floue du MOA quant aux cas d'usages. De plus la déclinaison du BIM aux marchés Systèmes et CEA-CET se traduit difficilement en raison notamment d'un corpus documentaire non finalisé et des difficultés à accorder les différents MOE. Les prestations BIM n'étant pas contractualisées de manière homogène auprès des différents MOE (voire pas contractualisées du tout), cela entraîne des rôles et responsabilités BIM des MOE (I, S et MR/AC) peu cohérents entre eux avec un impact sur le fonctionnement de la synthèse EXE BIM et de la collaboration, préalable indispensable à l'efficacité du BIM. On manque de coordination et d'arbitrage interne entre les différentes directions et de plans d'action.

Difficulté inhérente à l'outil

L'utilisation du BIM est de plus en plus répandue dans le monde du bâtiment et des travaux publics. Initialement développé pour le bâtiment, c'est un outil assez jeune qui se développe rapidement et avec l'amélioration des ordinateurs et logiciels, les possibilités d'utilisation se diversifient. Désormais l'utilisation dans de grands projets de travaux publics d'infrastructures est plus fréquente même si l'outil n'y est pas encore tout à fait adapté.

Le BIM reste complexe et assez lourd. Il n'y a pas tant d'ingénieurs, en dehors des experts BIM, qui maîtrisent son utilisation car les logiciels évoluent constamment et tous les ordinateurs ne sont pas en capacité de faire tourner une maquette de manière fluide.

Le problème que cela pose est qu'on ne réalise pas en quoi le BIM peut être un atout pour le projet, on le considère comme une perte de temps. Cela parce qu'on ne connaît pas bien ce que permet l'outil et comment se déroule la réalisation d'un projet BIM.

En théorie toutes les maquettes développées par les intervenants (Archi, CFO/CFA, MEP, ...) seraient insérables dans une unique maquette synthèse qui permettrait de visualiser le projet complet que ce soit à l'échelle d'une gare ou même d'une ligne. Du fait du très grand nombre d'acteurs aux méthodes de travail différentes, il n'est pas possible de construire une telle maquette de synthèse à l'échelle de la ligne 15 Sud. A l'échelle d'une gare cependant, cela devrait être possible car elle permet d'animer la phase de synthèse.

3. L'élaboration d'une maquette 4D à l'échelle de la ligne 15 Sud

Une maquette de la Ligne 15 Sud permet d'avoir une vision très globale du projet et de faire apparaître les interfaces entre les différents lots. La 4D permet d'intégrer une visualisation très intuitive du planning. Ainsi une maquette 4D peut être un support pertinent pour donner une idée claire de problématiques très variées.

Les MOE et titulaires constituent des maquettes des ouvrages gares et annexes, cependant elles sont d'un niveau de détail élevé et construites avec des méthodologies différentes. Il était donc quasiment impossible de simplement les concaténer pour obtenir une maquette de la ligne.

J'ai donc utilisé les logiciels Revit et Navisworks pour établir une maquette 4D de la ligne 15 Sud qui a pour objectif de devenir un support pédagogique et collaboratif pour aider à la prise de décision et à lever les risques qui pèsent sur le planning.

Construction de la maquette 3D sous Revit

J'ai commencé ma maquette sur la base des documents .dwg des tracés du tunnel en 2D.

En exportant deux séries de points, selon deux plans différents, j'ai pu établir les coordonnées 3D du tunnel. J'ai importé cette liste dans Dynamo, ce qui m'a permis de créer une courbe 3D dans Revit en utilisant un algorithme présenté en **Annexe 1**. Ainsi j'ai obtenu autant de portions de tunnel que nécessaire pour relier tous les ouvrages.

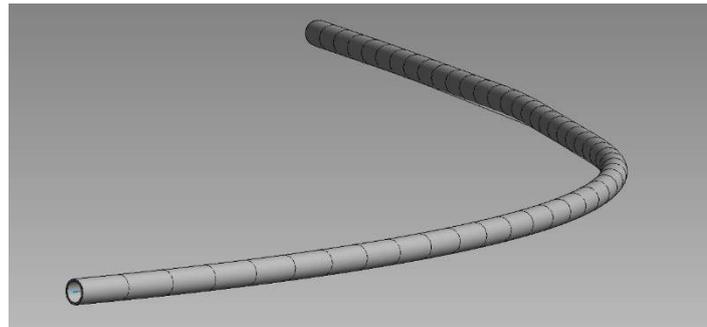


Figure 13 Portion de tunnel

J'ai ensuite créé les gares et ouvrages annexes.

S'est posée au cours de cette démarche, étendue sur plusieurs semaines, la question du niveau de détail à utiliser. La demande initiale du MOA était d'avoir un outil qui permette de présenter le strict nécessaire pour visualiser de manière simple des problématiques complexes. Il aurait de toute manière été trop complexe de réaliser seule et sur la durée de mon stage une maquette opérable sur un ordinateur commun par un utilisateur débutant en BIM

Cependant trop peu de détail ne permet pas de résoudre certaines problématiques techniques ou empêche simplement la visualisation des ouvrages et induit l'utilisateur en erreur.

J'ai décidé de ne représenter que les boîtes d'ouvrages, les planchers (autant que dans le planning), le tunnel et les rameaux reliant certains ouvrages au tunnel. Je n'ai donc pas représenté beaucoup d'objets à l'échelle d'un ouvrage mais à l'échelle de la Ligne 15 Sud, cela est assez conséquent. De plus la maquette peut être enrichie pour répondre à des besoins spécifiques, ou aux modifications de projet à venir. Ces modifications sont d'autant plus aisées à être effectuées que la maquette est une base saine sur laquelle il suffit d'ajouter l'information désirée.

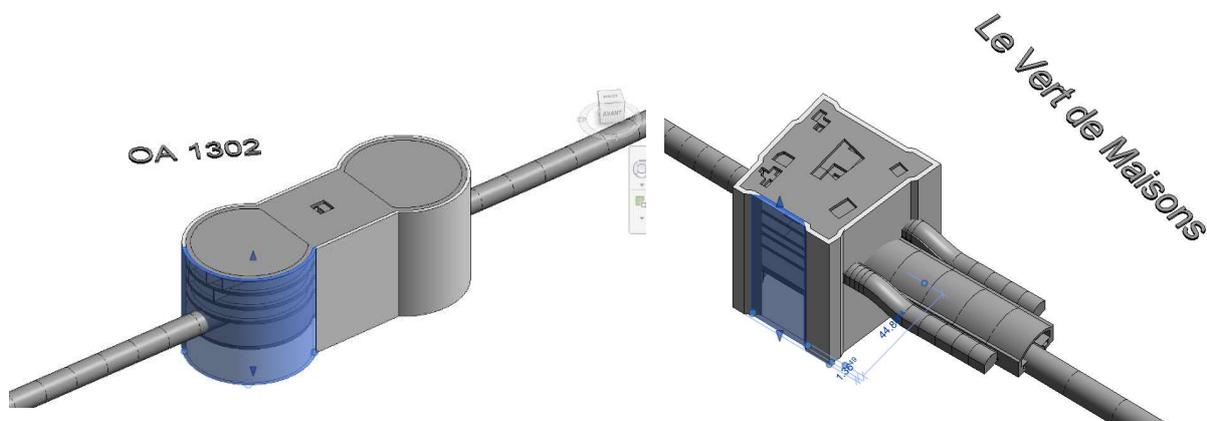


Figure 14 Ouvrage Annexe 1302 sous Revit

Figure 15 Gare du Vert de Maisons sous Revit

Après avoir dessiné la couche Génie Civil j'ai ajouté sur chaque ouvrage des pièces pour indiquer la localisation des locaux techniques. Cela répond à un besoin de pouvoir visualiser où se trouvent des locaux aménagés par les Systèmes qui influent sur l'enchaînement du planning.

Mise en forme sous Navisworks

J'ai ensuite exporté le fichier revit en *.nwc pour pouvoir l'ouvrir dans le logiciel Navisworks qui permet de naviguer dans la maquette et de la visualiser plus aisément. Revit est un outil de construction de maquette alors que Navisworks est un outil de pilotage.

Lorsque j'ai importé la maquette dans un projet Navisworks vide, elle apparaissait avec tous les objets de la même couleur et il était difficile de se repérer dans la maquette. Pour faciliter la visualisation j'ai utilisé l'outil « Jeux » pour créer des filtres qui me permettent d'aisément sélectionner un groupe d'objets correspondant à certains critères. Ainsi, si la maquette est mise à jour depuis Revit, les nouveaux objets seront sélectionnés par l'utilisation des filtres. J'ai ainsi pu créer des groupes de locaux techniques propres à certains besoins Systèmes (HTBT, Ventilation et d'autres) pour pouvoir les faire apparaître différemment les uns des autres dans la maquette. Il est donc possible de voir rapidement d'un seul coup d'œil où se trouve un local spécifique sur un tronçon sachant qu'une fois la famille de locaux identifiée il suffit de sélectionner l'objet pour plus de détail.

L'objectif principal en créant la maquette était d'obtenir un outil permettant de rendre la visualisation de problématiques de conditions de réalisation, d'enchaînement de tâches et de plannings plus aisée. Il a donc fallu lier le planning à la maquette. Pour cela, j'ai établi un lien entre Primavera et Navisworks. Le planning établi sous Primavera par l'équipe d'AMOG en charge du planning général apparait avec sa structure dans Navisworks :

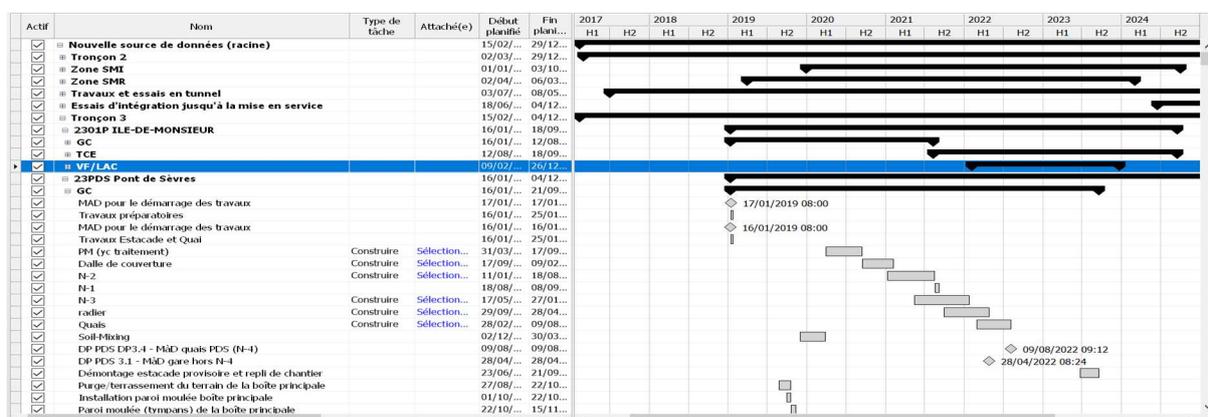


Figure 16 Capture d'écran Timeliner

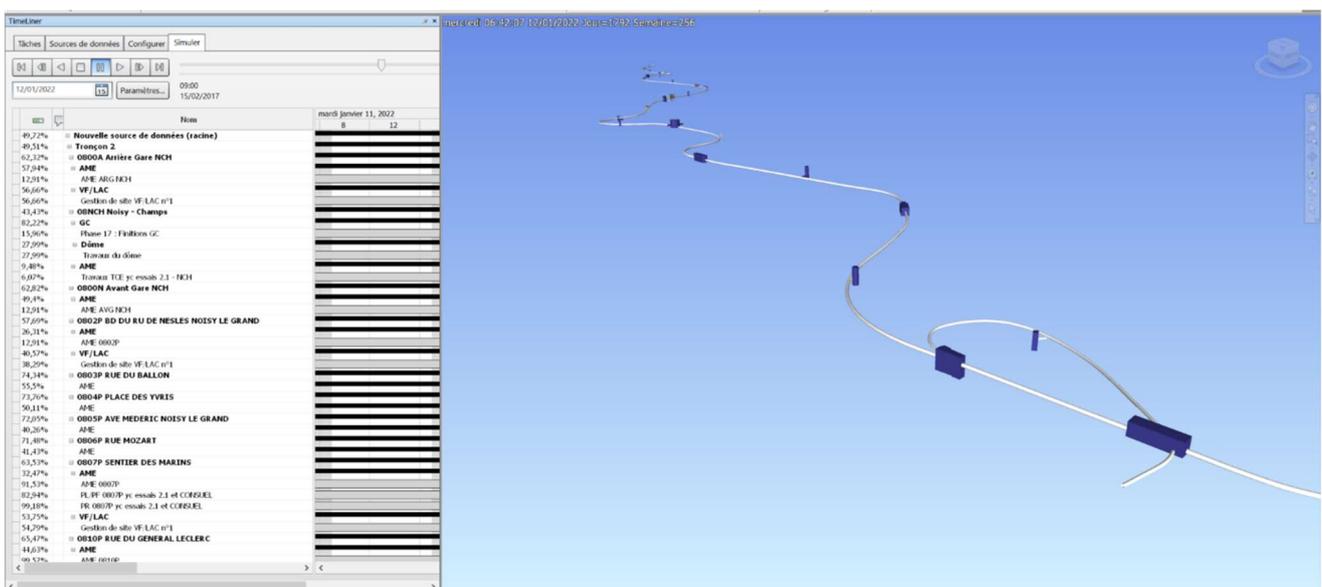
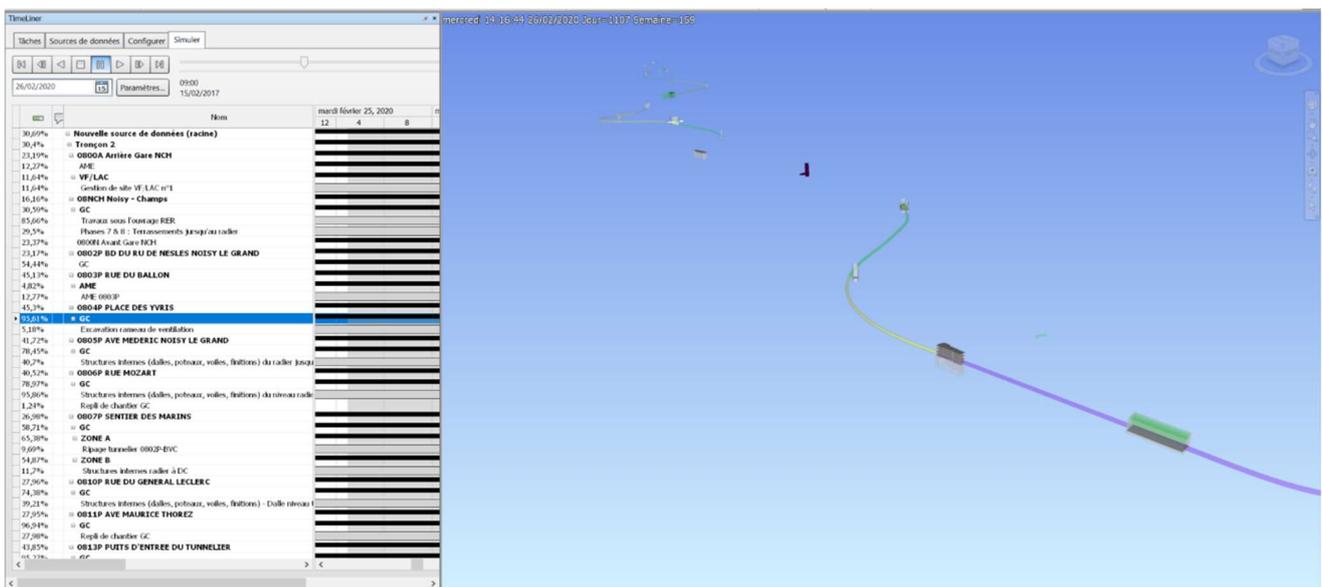
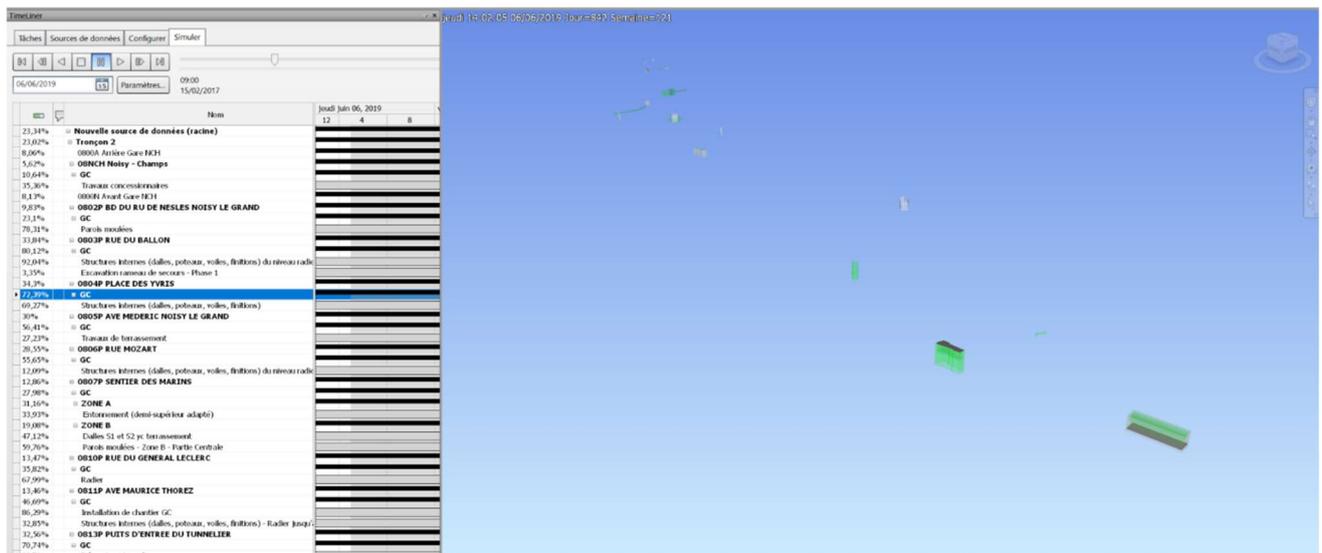


Figure 17 Animation de la maquette en fonction du planning sous Navisworks

J'ai ensuite associé à chaque tâche du planning un objet de la maquette et indiqué la phase à laquelle celle-ci se rattachait (construction, de creusement, d'aménagement, etc.) Ainsi lorsqu'on lance la simulation par rapport au temps on observe une simulation de la construction du projet avec un jeu de couleurs indiquant les phases en cours.

La force du lien Navisworks/Primavera réside notamment dans le fait que la mise à jour du planning sous Primavera se transfère directement sous Navisworks.

Comme lors de l'élaboration de la maquette sous Revit, se pose le problème du niveau de détail. Le planning Primavera étant très détaillé, l'objet correspondant de la maquette n'existe pas toujours. Il m'a fallu faire des approximations et des généralisations pour pouvoir faire apparaître les informations intéressantes malgré les limitations que posait le niveau de détail de la maquette.

Chaque étape d'élaboration de la maquette se fait en deux temps. D'abord il faut trouver comment effectuer ce qu'on veut, faire des recherches, des essais. J'ai toujours beaucoup apprécié chercher des solutions par tâtonnements successifs jusqu'à résoudre le problème.

Vient ensuite le deuxième temps où il s'agit d'appliquer la méthode établie à toute la ligne 15 Sud. J'ai donc à ce moment-là pu échanger avec les équipes opérationnelles, échangeant avec eux sur leur vision des potentielles utilisations de l'outil.

Fiabilisation

La mise en place de la maquette Ligne 15 Sud a duré plusieurs mois, il m'a d'abord fallu élaborer la méthode de montage de la maquette, puis l'appliquer sur toute la ligne. Souvent, en appliquant la méthode, je réalise qu'il existe une meilleure manière de faire, modifiant la méthode en cours ce qui entraîne un manque de cohérence. J'ai aussi pu laisser des erreurs, dans le positionnement d'un mur, dans le niveau d'un étage ou dans le nom d'un local.

Il faut donc repasser sur tous les plans d'étage pour vérifier qu'il n'y a pas d'erreur et que les méthodes sont cohérentes. Pour faire cela, il faut ouvrir tous les documents d'architecture correspondant au bon niveau de chaque ouvrage et vérifier les informations. Cela représente un très grand nombre de documents à ouvrir mais la fiabilisation est une étape nécessaire car une erreur dans la maquette peut à la fois décrédibiliser la maquette et donc la rendre inutile ou pire causer une erreur dans la prise de décision. La maquette sans fiabilisation représenterait donc un nouveau risque.

Perspectives

Une fois fiabilisée, la maquette peut être utilisée au sein du projet de plusieurs manières :

- **Réunion/Obeya Planning** : lors de réunions, la projection de la maquette permet de répondre très rapidement à des questions du type enchaînement de construction des planchers, date de fin du GC sur un ouvrage, enchaînement des phases, dimension d'une dalle, etc.
- **Communication** : avec les élus, les collectivités, les villes, les riverains. La maquette permet la compréhension du projet par toute personne. En effet lorsque l'on parle par exemple de passage en taube, de ripage de dalle ou d'éléments comme des parois moulées, cela est naturel pour une personne travaillant sur le projet mais cela bloque la communication avec les personnes extérieures qui ne possèdent pas ce vocabulaire. L'outil de la maquette 4D, qui peut s'animer, est un support très pédagogique pour montrer que passer en taube dans un ouvrage, c'est lorsque le tunnelier traverse

la boîte gare avant que la terre en ait été excavée, que le ripage de dalle c'est la translation d'une dalle de son lieu de fabrication à sa position définitive et qu'une paroi moulée est un mur d'ouvrage.

- **Document support:** des extractions vidéo ou image de la maquette permettent d'illustrer des présentations et documents de reporting divers.

Mais la maquette n'est jamais « terminée », il est constamment nécessaire de la mettre à jour en fonction des modifications que ce soit du GC, de l'emplacement des locaux et autres. De plus lorsque les phases de GC seront terminées, il pourrait être pertinent de rajouter du détail concernant les phases en cours CEA-CET et Systèmes.

Limites

Pour l'utilisation voulu pour cette maquette, il fallait un simple niveau de détail. Cependant il serait intéressant de pouvoir lier les maquettes très détaillées des MOE afin de basculer d'un niveau de détail à l'autre aisément et ainsi élargir les possibilités d'utilisation de la maquette.

Cela nous ramène à un problème récurrent dans le BIM, la taille des fichiers. Si on doit aller en réunion avec les maquettes de tous les ouvrages cela représente plusieurs gigas de données. Sachant que les maquettes sont souvent réparties entre réseaux, Drive, GED, c'est un casse-tête qui rend difficile la navigation entre les maquettes.

Ce travail d'élaboration d'une maquette ligne 15 Sud s'inscrit dans une démarche d'innovation, elle n'avait pas vocation à se substituer aux contributions des MOE, architectes et groupements. On cherchait à développer un outil qui permettait effectivement de simplifier la compréhension de problèmes, une maquette utile dans l'appropriation et l'aide à la décision. Mais cela n'était vraiment possible que dans le cadre d'un stage, le temps nécessaire aux tâtonnements et à la recherche étant disponible. Sur cette base, Artemis et la DP15 Sud peuvent commencer à réfléchir aux manières de pérenniser une telle démarche, et à l'organisation à mettre en place pour cela.

IV – Le pilotage transverse de la phase achat puis des travaux CEA-CET

1. Les travaux CEA-CET sur la 15S

Périmètre des marchés CEA-CET

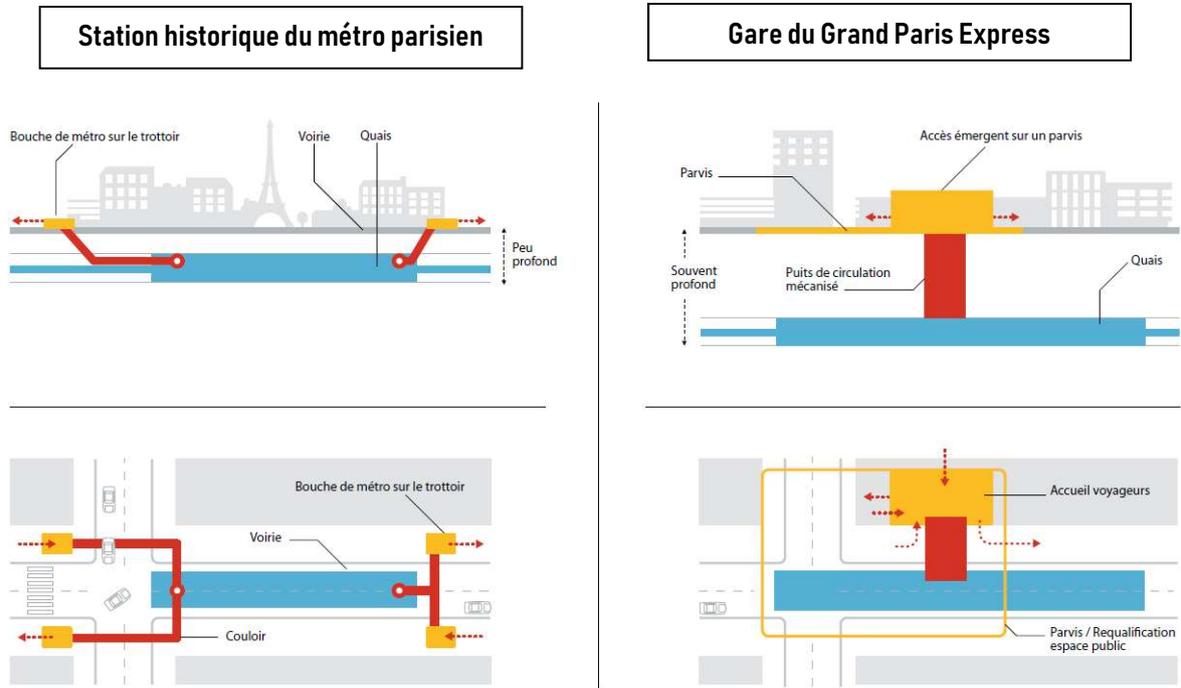


Figure 18 Les différences entre station historique et gare du GPE

A la différence des stations historiques du métro parisien, les gares du GPE sont composée d'une émergence, offrant des services diversifiés, reliée aux quais en profondeur par un puits de circulation mécanisé. Elles constituent un repère dans la ville et sont connectées aux autres transports.

La gare du Grand Paris est un Etablissement Reçevant du Public (ERP) souterrain. L'insertion urbaine de la gare, son organisation fonctionnelle, son dimensionnement, son architecture et ses caractéristiques techniques ont pour objectif principal de rendre le parcours de l'utilisateur le plus clair et le plus rapide possible.

Les prestations CEA-CET concernent le gros œuvre des émergences pour une partie des ouvrages, ainsi que le second œuvre, les aménagements intérieurs et les aménagements extérieurs, c'est à dire l'ensemble des travaux nécessaires à l'aménagement des ouvrages une fois le génie civil finalisé.

Les aménagements de la gare se veulent sobres, durables et facilement maintenables. Ils sont propres à chaque gare et répondent à des standards

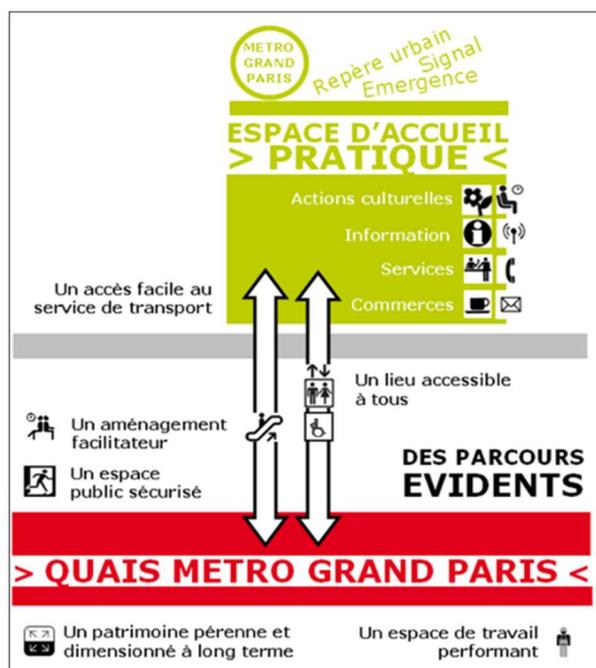


Figure 19 Schéma d'une gare fonctionnelle

communs en matière de composition des volumes, de traitement de la lumière et de l'acoustique, de second-œuvre. Le sol est toutefois commun à toutes les gares.

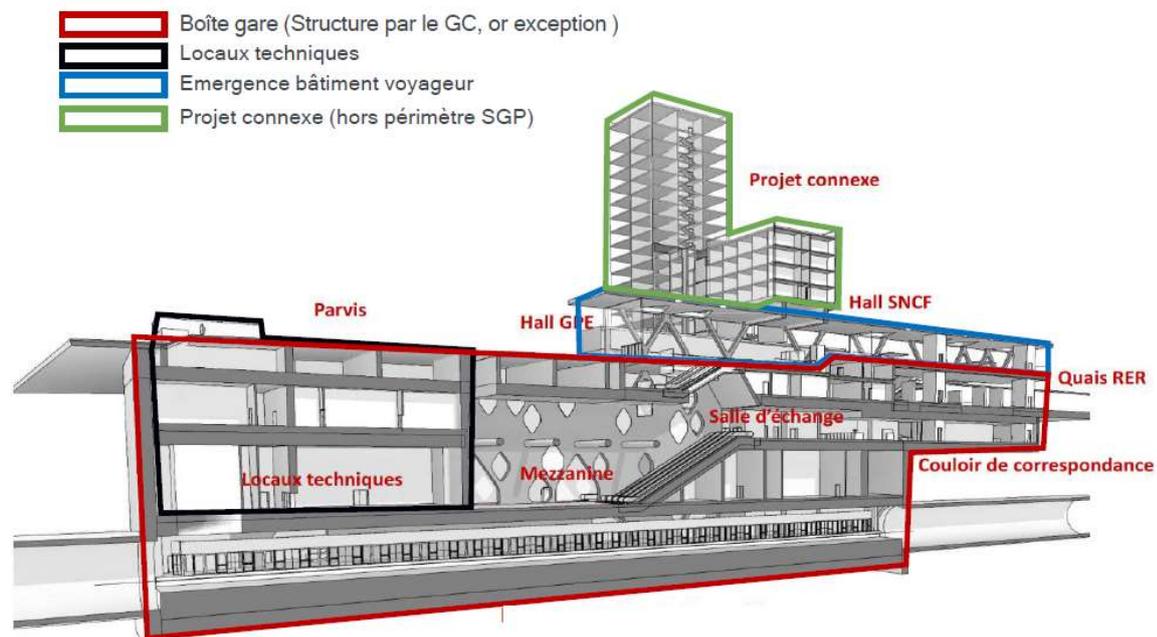


Figure 20 Schéma de principe des limites entre les différents travaux d'infrastructures

Les émergences ne sont pas comprises dans les lots de Génie Civil et sont donc réalisées par les titulaires des marchés CEA-CET.

Les différents corps d'états inclus dans les CEA-CET sont :

- Gros-œuvre (terrassements complémentaires, structure béton des émergences, maçonneries intérieures...)
- Etanchéité - couverture / Bardage / Charpente
- Vitreries et serrureries, gardes corps, parois vitrées, gaines d'ascenseurs
- Métallerie - menuiserie métallique, escaliers, échelles, garde-corps, portes, grilles
- Revêtements sols, murs, faux plafonds
- Menuiseries intérieures, mobilier, signalétique
- Peinture sols, murs
- CFO distribution à partir des TGBT, éclairage normal et de sécurité
- CFA billettique, contrôle d'accès et anti-intrusion, vidéosurveillance, sonorisation et information voyageurs, téléphonie et interphonie
- Plomberie - protection incendie
- CVC, désenfumage gare
- VRD et aménagement paysager

Les marchés incluent également les études d'exécution, le BIM, la Synthèse / OPC avec les lots en interface et la Maintenance en condition opérationnelle (MCO) des équipements installés jusqu'à la mise en service de la ligne. Ils sont allotis en trois lots d'ouvrages annexes et douze lots gares.

Au cours de mon stage est venu un moment où il était question de ma continuation au sein du projet après mon stage. On m'a donné l'opportunité de prendre le rôle de coordination des marchés CEA-CET au sein de l'AMOG de la L15 Sud.

J'arrive à ce poste à un moment essentiel du projet et il est ardu de prendre le train en marche sachant qu'il est à pleine vitesse.

Planning



Figure 21 Planning DCE CEA-CET

L'ajustement du PRO-b intervient avant la rédaction du Dossier Consultation des Entreprises (DCE) alors que les travaux de GC sont bien entamés. Il s'agit de mettre à jour le PRO en fonction de l'avancement réel du projet. Pendant cette période l'AMO doit programmer des ateliers à la demande du MOEI et analyser les différentes pièces au fur et à mesure. Elle renvoie alors ses commentaires au MOEI qui ajuste ses documents pour les insérer au DCE.

Dès la réception des pièces du livrable DCE le MOA et l'AMOG mènent leur analyse. Pendant une durée d'environ 9 semaines, le DCE est analysé et puis il est repris par le MOE avant d'être envoyé aux candidats. Pendant la consultation des entreprises, à la suite des différentes questions que celles-ci sont amenées à poser, le DCE sera de nouveau ajusté.

Quand la consultation est terminée les études d'exécution (EXE) démarrent pour une durée de 9 mois. Elles permettent la réalisation de l'ouvrage en établissant tous les plans d'exécution et spécifications à l'usage du chantier. Durant cette phase les entreprises établissent leur calendriers d'EXE ainsi que leur devis. Le titulaire regroupe les différents plans des intervenants pour effectuer une mission de synthèse. Cette phase est primordiale, notamment pour les marchés CEA-CET, car la multiplicité des acteurs induit de nombreuses interfaces et un besoin important d'arbitrage. Le MOE délivre son visa si à la suite de la synthèse, il constate que les documents respectent les dispositions du projet.

De plus, trois mois après la fin de la consultation, les entreprises CEA-CET peuvent prendre possession du site et six mois après la mise à disposition du site par les entreprises GC, les travaux peuvent démarrer. Ainsi pour optimiser le planning l'enjeu est de faire correspondre la fin des EXE avec la mise à disposition par les entreprises de GC.

2. Le risque d'incohérence

Les DCE des marchés CEA-CET de la Ligne 15 Sud sont les premiers à être établis (en parallèle de ceux de la Ligne 16), on ne peut donc se reposer sur aucun retour d'expérience d'autres lignes. Il aurait été intéressant d'en disposer car la complexité du projet va être décuplée entre les phases GC et CEA-CET. En effet, les marchés sont beaucoup plus nombreux avec 15 lots CEA-CET, qui cohabitent avec les Systèmes et les différents marchés de fournitures non inclus au périmètre CEA-CET.

L'allotissement des marchés TCE actuel est constitué de 12 lots gares et 3 lots d'ouvrages annexes (1 lot pour le tronçon 3 et 2 pour le tronçon 2). Cela permet un pilotage opérationnel des marchés des gares par les chefs de projet des secteurs et des marchés des ouvrages annexes à l'échelle d'un tronçon, en cohérence avec l'organisation de la DP15 Sud. Les consultations et travaux sont échelonnés afin d'éviter une saturation du marché et un surcoût lié à un manque de concurrence. De plus cela permet de lisser la charge de travail des MOEI, entreprises, MOA et AMOG.

Lors des ajustements du DCE, de nombreuses pièces sont reprises ce qui pose un gros problème de gestion et suivi des versions. En effet les premiers marchés sont passés avec une première version des pièces, mais elles peuvent par la suite être modifiées pour un marché ultérieur. Ainsi, les pièces n'auront pas de version homogène sur l'ensemble des marchés ce qui peut créer des confusions. On a donc un risque d'incohérence entre les différents lots, car le MOA modifie les exigences et les pièces communes aux différents lots. Il est nécessaire de limiter ces incohérences en suivant les modifications des différentes pièces des DCE et d'établir des retours d'expérience au sein de la 15 Sud.

3. Le travail de pilotage et d'homogénéisation

Pilotage du planning

Une de mes premières tâches lorsque j'ai commencé à travailler sur la question des marchés CEA-CET fut de regrouper les informations déjà existantes pour établir un calendrier de pilotage des marchés. C'est un outil essentiel car il permet de répartir les charges de travail dans le temps entre les différents acteurs et réduire les difficultés aux interfaces.

En effet si on connaît l'impact du décalage actuel sur l'interface GC/TCE, on va pouvoir limiter les surcoûts de gardiennage des ouvrages après la fin des travaux GC en faisant le transfert de gestion des emprises et des installations de chantier d'un lot à un autre de manière optimale. De plus il faut lisser la charge des marchés de travaux et fournitures de Systèmes, notamment les lots HT/BT et Traction.

Jouer sur le calendrier nous permet de prioriser l'aménagement et l'équipement des ouvrages critiques pour la mise en service de la ligne, on détermine alors le besoin travaux au plus tard en tenant compte de la durée prévisionnelle des travaux de chaque ouvrage.

La recherche d'optimisation

Lorsque l'on a réceptionné le DCE V0 d'une gare, nous effectuons en parallèle de la MOA notre analyse des différentes pièces. Il s'agit de vérifier la cohérence et le respect des exigences au sein du DCE. Lorsque cette phase d'analyse se termine, l'AMO regroupe les avis pour envoi au MOEI.

Commence alors l'ajustement du DCE V0. Pendant cette période, j'ai pu participer à différents ateliers d'échange avec le MOEI afin de trouver des pistes d'optimisation. A la fin de cette série d'échanges, l'AMOG rédige conjointement avec la MOA une note de cadrage rappelant au MOEI les différentes modifications à apporter au DCE.

Ainsi le DCE V1 est publié et démarre alors la consultation avec les entreprises.

Lors de mon stage j'ai participé à différentes phases de l'ACT CEA-CET mais cela sur plusieurs lots. Cela m'a permis de comprendre les enjeux propres à chaque étape assez rapidement. Cependant travailler en simultané sur plusieurs lots peut être complexe car les périodes intenses peuvent s'accumuler.

Task Force

Étant donné la nature transverse des questions d'optimisation CEA-CET à travers les lignes du GPE, une «Task-Force» a été constituée pour une action «coup de poing» sur deux mois afin de lever les difficultés rencontrées durant les premiers appels d'offres (L15S, L16) concernant les corps d'état secondaires et proposer des mesures à adapter par les directions de projet avec leur(s) maître(s) d'œuvre(s) en fonction de leurs objectifs et des spécificités sectorielles.

Cette «Task-force» constituée par la DPMO, DMPC et DP du MOA et l'AMOG recherche notamment les simplifications possibles sur les exigences techniques et sur les sur-spécifications des CEA-CET qui pourrait être à l'origine d'un surcoût.

Ainsi, à la suite des conclusions de la Task-Force, les pièces du DCE ont été simplifiées et on a établi des pièces dites de référence, applicables aux différents lots.

Conclusion

Je voulais que ce stage me permette de comprendre le déroulement d'un projet d'infrastructure et les métiers qui s'y développent. Le fait qu'Artémis œuvre sur un projet aussi exceptionnel que le GPE a rendu l'apprentissage d'autant plus enrichissant que plus ardu.

En effet prendre le train en marche s'est avéré difficile. Il m'a fallu comprendre qui étaient les différents acteurs du projet et quels étaient leurs rôles. Le GPE est un projet hors norme et l'organisation nécessaire pour piloter un tel projet est tout aussi complexe. Mais j'ai pu au sein de l'équipe transverse de la L15 Sud prendre le temps de m'immerger dans le projet, à chaque étape accompagnée par la bienveillance de mes collègues.

J'ai donc pris mes marques, en travaillant d'abord sur la gestion des risques. L'apprentissage de la méthodologie et la mise à jour des registres m'a permis d'échanger avec de nombreux membres de l'équipe. La démarche risque m'a permis d'appréhender le pilotage du projet.

Par la suite, j'ai pu mener indépendamment un projet visant à simplifier les échanges au sein du projet. Le développement du BIM 4D pour la 15 Sud a été riche d'apprentissage à la fois en ce qui concerne l'outil, avec Revit et Navisworks, mais aussi en pour comprendre les besoins d'amélioration de pilotage du projet.

En juin, on m'a proposé de continuer l'expérience Artemis en prenant le poste de coordinatrice CEA-CET. Riche des enseignements précédents de mon stage, je me suis appropriée les problématiques de ces marchés en participant à leur pilotage.

Tout ce que j'ai entrepris en six mois n'a pas forcément été directement utilisé par le projet, certaines idées n'ayant pas été à ce stade retenues, d'autres n'étaient simplement pas applicables. Cependant rien n'a été vain car je pense avoir tiré des enseignements de tout ce que j'ai entrepris.

Glossaire

ACT	Assistance pour la passation des contrats de travaux
AMOG	Assistance à maîtrise d'ouvrage générale
AVP	Avant-Projet
BIM	Building Information Modeling
CEA-CET	Corps d'états architecturaux-Corps d'états techniques
CFO	Courants Forts
CFA	Courants Faibles
COP	Conducteur d'Opération
CVC	Chauffage Ventilation Climatisation
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DET	Direction de l'Exécution des Contrats de Travaux
DP	Direction de Projet
DSTE	Direction des Systèmes de Transport et de l'Exploitation
ERP	Etablissement Recevant du Public
EXE	Etudes d'exécution
GC	Génie Civil
GPE	Grand Paris Express
HTBT	Haute Tension / Basse Tension
MCO	Maintien en Condition Opérationnel
MOA	Maître d'Ouvrage
MOE	Maître d'Œuvre
MR	Matériel Roulant
RCC	Référent coût-contrat
SGP	Société du Grand Paris
SSI	Système de Sécurité Incendie
VRD	Voirie et Réseau Divers

Bibliographie

Le Grand Paris Express en résumé. (2019, Juillet). Récupéré sur <https://www.societedugrandparis.fr/>

Magdelénat, E. (2015). *Synthèse sur les gains d'accessibilité permis par la mise en service de la ligne 15 Sud.*
Service de la connaissance des Etudes et de la Prospective.

Ministère de la cohésion des territoires. (s.d.). *Le Nouveau Grand Paris : un projet par et pour les Franciliens.*
Récupéré sur : http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/spip.php?page=article-sous-site&id_article=40&sommaire=20

Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des transports et du logement; Ministère , de l'économie des finances et de l'industrie (2012). *Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux.*

SGP. (2013). *Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique.*

SGP. (2013). *Etude d'impact de la ligne 15 Sud.*

SGP. (2016). *Plan de management de projet Ligne 15Sud-16-17.*

SGP. (2016). *Plan de Management des Risques.*

Annexes

Annexe 1: Les Chantiers du GPE au 31 Mars 2019

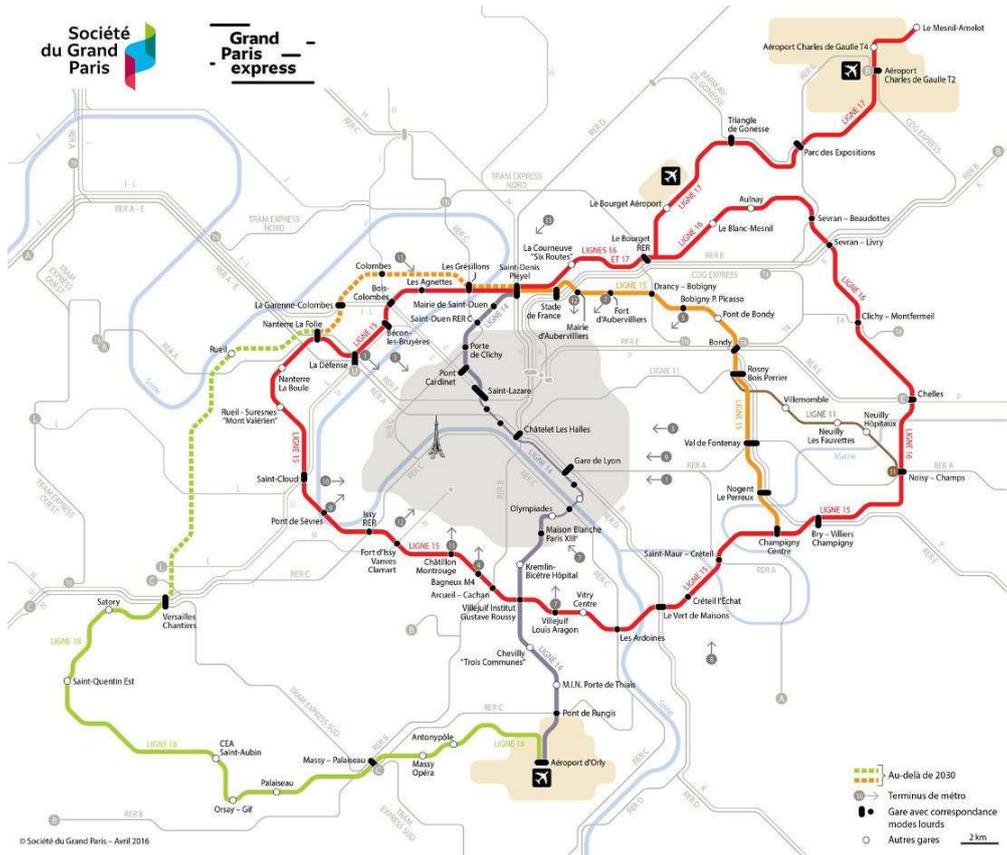
Annexe 2: Registre des risques

Annexe 3: Echelle criticité des risques

Annexe 4: Maquette Obeya

Annexe 5: Algorithme Dynamo

LA COLLABORATION DANS LA DEMARCHE RISQUE
au sein de l'AMOG de la Ligne 15S du GPE
 Maître de stage : Matthieu POULALHON



Résumé

Le cinquième semestre à l'EIVP donne l'opportunité d'effectuer un stage de 6 mois dans une entreprise du génie urbain et ce rapport présente le travail que j'ai effectué durant ce stage.

J'ai choisi de travailler au sein du groupement Artemis, l'assistant à maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris sur le projet du Grand Paris Express. En effet, je voulais accéder à la vision globale d'un projet de transport et celui-ci est particulièrement passionnant du fait de sa taille et la multiplicité des acteurs impliqués.

Au sein de l'équipe d'assistance à maîtrise d'ouvrage de la ligne 15 Sud, j'ai pu découvrir les problématiques propres à un projet hors normes puis, dans une démarche de gestion des risques, je me suis concentrée sur deux sujets : la mise en place du BIM 4D à l'échelle de la 15S et la coordination des marchés tous corps d'état.

Abstract

The fifth semester at the EIVP gives the opportunity to do a 6-month internship in an urban engineering company and this report presents the work I did during this internship.

I chose to work within Artemis, the project management assistant of the Société du Grand Paris on the project of the Grand Paris Express. Indeed, I wanted to access the global vision of a transport project and this one is particularly challenging because of its size and the multiplicity of actors involved.

Within the cross-functional team of line 15, I was able to discover the issues specific to a non-standard project and then in a risk management approach I focused on two topics: the implementation of BIM 4D at the level of the 15S and the all trade works coordination.

Thésaurus

Société du Grand Paris – Artémis – Transport – Métro – Assistance Maîtrise d'Ouvrage Générale –
Ligne 15 Sud – Gestion des risques – BIM 4D – Marchés CEA/CET

Sommaire

Résumé.....	2
Abstract.....	2
Thésaurus.....	2
Sommaire.....	3
Table des figures.....	4
Remerciements.....	5
Introduction.....	6
I – Les problématiques d’un projet hors normes.....	7
1. Présentation du projet et des différents acteurs.....	7
2. La complexité induite par l’ampleur du projet.....	13
II – Principales démarches de maîtrise des risques majeurs au stade REA.....	15
1. Le management du projet par les risques.....	15
2. La démarche sur la Ligne 15 Sud.....	15
3. Mise en place d’Obeyas comme outil de management réactif et collaboratif de risques majeurs.....	19
III – Mise en place de maquettes BIM 4D pour simplifier la compréhension des enjeux planning.....	20
1. Risque : mauvais enchaînement du planning.....	20
2. Une méthode peu développée au sein du projet.....	20
3. L’élaboration d’une maquette 4D à l’échelle de la ligne 15 Sud.....	21
IV – Le pilotage transverse de la phase achat puis des travaux CEA-CET.....	27
1. Les travaux CEA-CET sur la 15S.....	27
2. Le risque d’incohérence.....	29
3. Le travail de pilotage et d’homogénéisation.....	30
Conclusion.....	32
Glossaire.....	33
Bibliographie.....	34
Annexes.....	35

Table des figures

Figure 1 Schéma d'ensemble du GPE - SGP - Mai 2017.....	7
Figure 2 Emploi accessible en moins de 45 min en transport en commun en 2009 et 2030	8
Figure 3 Plan de la ligne 15 Sud.....	9
Figure 4 Limites de prestations entre chaque marché	9
Figure 5 Synoptique du planning projet.....	10
Figure 6 Schéma des différents acteurs de la loi MOP	11
Figure 7 Organigramme d'Artemis.....	12
Figure 8 Organisation Infra/Sys.....	13
Figure 9 Matrice de criticité.....	15
Figure 10 Démarche de gestion des risques.....	17
Figure 11 Etapes de la démarche risque.....	19
Figure 12 Cycle de vie d'un projet BIM. Source : Autodesk.....	20
Figure 13 Portion de tunnel	22
Figure 14 Ouvrage Annexe 1302 sous Revit.....	22
Figure 15 Gare du Vert de Maisons sous Revit.....	22
Figure 16 Capture d'écran Timeliner	23
Figure 17 Animation de la maquette en fonction du planning sous Navisworks.....	24
Figure 18 Les différences entre station historique et gare du GPE.....	27
Figure 19 Schéma d'une gare fonctionnelle.....	27
Figure 20 Schéma de principe des limites entre les différents travaux d'infrastructures.....	28
Figure 21 Planning DCE CEA-CET	29

Remerciements

Je tiens à remercier mon tuteur de stage, Philippe Dujardin, pour sa disponibilité lors de mon stage et ses conseils.

Merci à l'ensemble des artémisiens de m'avoir accueillie et notamment à l'ensemble de la ligne 15 Sud pour leur bonne humeur et leur bienveillance.

A l'équipe Transverse de la 15 Sud pour m'avoir si bien intégrée, d'avoir toujours été disponible pour m'aider et m'apporter ses conseils. J'aimerais notamment remercier Sandie Hummler, Anne-Sophie Blot, Gaëlle Evain et Solenne Grognet pour avoir rendu cette expérience chez Artemis très agréable.

Merci à Mustapha Naciri, Yann Peschanski, Mathieu Esnard et Hélène Bonnet d'avoir pris le temps de m'expliquer le projet et de m'avoir fait confiance.

Enfin, je remercie tout particulièrement Matthieu Poulalhon mon maître de stage, pour m'avoir donné l'opportunité de travailler dans son équipe, pour ses conseils, sa bienveillance, pour avoir partagé ses connaissances et sa passion pour le projet, pour son aide précieuse lors de la rédaction de ce rapport et pour m'avoir permis de continuer l'expérience à la suite du stage.

Introduction

Pour mon stage de fin d'études, j'ai voulu travailler sur un grand projet de transport. Mes stages à l'Universidade Federal do Rio Grande do Norte et à BECA¹ m'ont initiée aux thématiques de transports et leur rôle structurant dans la ville ainsi que la complexité technique qu'ils impliquent. J'ai pu consolider ces compétences lors de mon cinquième semestre à l'EIVP et surtout lors des différents projets y afférant. A la suite de ces expériences techniques il m'a semblé intéressant de disposer également d'une vision globale d'un projet et notamment son pilotage, tout cela afin d'acquérir une meilleure compréhension du déroulement d'un projet de l'établissement de son programme à la livraison.

Ainsi, postuler chez Artemis, l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage Générale (AMOG) du projet Grand Paris Express (GPE), au sein de la L15 Sud, m'a permis de découvrir un projet aux dimensions exceptionnelles. Dans ce cadre, j'ai pu approfondir ce que j'avais précédemment appris et découvrir de nouvelles problématiques liées à la gestion de projet et interagir avec de nombreux acteurs notamment les maîtres d'œuvre (MOE) et le maître d'ouvrage (MOA), la Direction de Projet de la L15 Sud (DP15S).

Ce stage m'a permis d'acquérir des connaissances et des compétences en pilotage et management de projet de grande ampleur. En effet je me suis posé la question du développement de démarches de travail collaboratif au sein d'un projet complexe.

Dans un premier temps je présenterai les problématiques liées à un projet hors-norme, puis les principales démarches mises en œuvre par la DP15S pour la maîtrise des enjeux liés à la complexité organisationnelle et technique du projet en phase de réalisation. Enfin je présenterai deux démarches auxquelles j'ai fortement contribué dans le cadre de mon stage : l'une s'inscrivant dans une logique d'innovation (mise en place de maquettes BIM 4D des ouvrages) ; l'autre très opérationnelle : la mise en place d'une cellule transverse de pilotage de la phase achat des marchés de travaux de corps d'états techniques et architecturaux.

¹ Bureau d'étude néo-zélandais

I – Les problématiques d'un projet hors normes

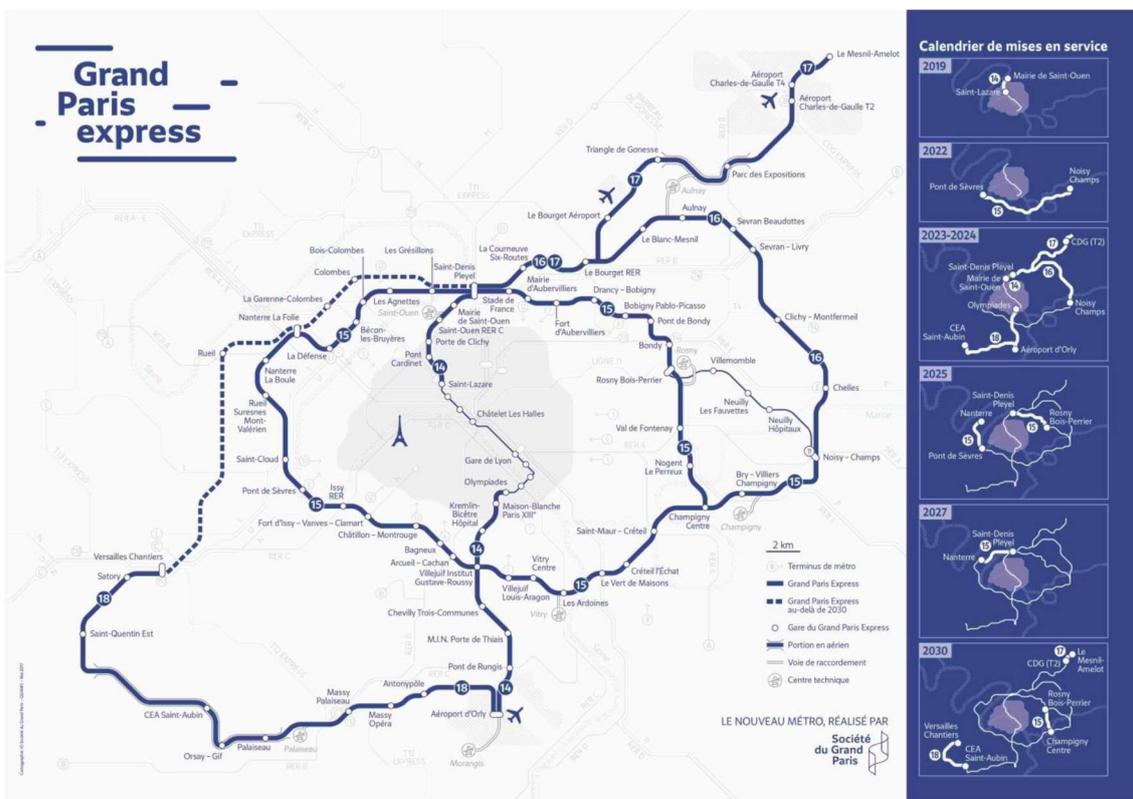
1. Présentation du projet et des différents acteurs

Le GPE

Le Grand Paris Express (GPE) est un programme de dimension européenne, élément phare de la politique de mobilité durable en région Ile-de-France promu par le gouvernement de 2008.

« Un projet visant à transformer l'agglomération parisienne en une grande métropole mondiale et européenne du XXI^e siècle, afin d'améliorer le cadre de vie des habitants, de corriger les inégalités territoriales et de construire une ville durable. » (Ministère de la cohésion des territoires, s.d.)

Le projet consiste en un système de transport en commun automatique à capacité adaptée et est essentiel au développement et à la fluidification des transports. Les quatre nouvelles lignes du Grand Paris Express (15, 16, 17 et 18), ainsi que la ligne 14 prolongée au nord et au sud, seront connectées au réseau de transport existant. Cela représente 205 km de réseaux de transport nouveaux et 68 gares.



L'objectif de cette infrastructure est de relier les banlieues entre elles ainsi que les grands pôles d'activités afin de réduire les temps de trajets pour les Franciliens. En multipliant les possibilités d'itinéraires, il facilitera pour tous l'accès à l'emploi, à la formation, à la culture et aux loisirs et désengorgera le réseau actuel tout en renforçant l'accès aux deux aéroports franciliens actuels.

Pendant la phase de chantier, le projet de la 15 Sud générerait en moyenne 8 000 à 9 000 emplois sur la période 2015-2025. La réalisation du projet devrait ensuite favoriser les créations d'emplois soit 700 emplois directs à l'horizon 2025 associés à l'exploitation de la Ligne 15 Sud et les simulations effectuées par la SGP montrent qu'à l'horizon 2035, 85% des emplois nouveaux seront localisés dans le cœur de l'agglomération parisienne contre 60 à 65% en tendance. Les populations des territoires traversés par la 15 Sud bénéficient en moyenne



d'un accès à plus de 250 000 emplois supplémentaires en moins d'une heure cela grâce au GPE et ces bénéfices s'étendent aux tronçons ferrés en correspondance avec la 15Sud.

< Figure 2 Emploi accessible en moins de 45 min en transport en commun en 2009 et 2030

Aux conditions économiques de 2010 le coût du programme a été évalué à 28,171 Milliards d'euros, comprenant les acquisitions foncières, l'infrastructure et le matériel roulant. Les coûts d'investissement de la ligne 15 Sud dans ces conditions représentent 5761 M€. Pour assurer le financement du projet la SGP dispose de

ressources financières spéciales :

- Taxe spéciale d'équipement (à hauteur de 117M€/an)
- Imposition forfaitaire sur les équipements de réseaux (60M€/an)
- Part de la taxe sur les bureaux en Ile-de-France (300M€/an)

Soit des ressources propres annuelles à hauteur de 500M€/an.

Le décret du 24 août 2011 acte l'approbation du schéma d'ensemble du réseau de transport public du Grand Paris (RTPGP), qui a été porté par l'État, la région et les départements. Celui-ci a été confirmé par le Premier Ministre Jean-Marc Ayrault le 6 mars 2013; le calendrier de l'opération est alors fixé - l'objectif étant de doubler le réseau ferré avant 2030.

Le projet du Grand Paris Express connaît, depuis son lancement, diverses phases de redéfinition, essentiellement budgétaires et calendaires. Le projet dépend d'un grand nombre de paramètres extérieurs qui ont des incidences importantes, notamment l'attribution des Jeux Olympique (JO) 2024, le lancement du projet de Ligne Charles-de-Gaulle-Express... Par ailleurs, le projet suit généralement un schéma habituel d'évolution des grands investissements publics, qui ont de tout temps affronté des contraintes fortes, résultant du jeu complexe des acteurs, de l'évolution des contextes économiques et politiques et de l'évolution progressive du sens même de ces projets.

La Ligne 15 Sud, la première ligne du GPE à être entrée en phase réalisation, s'étend de l'Ile de Monsieur à Sèvres à l'Ouest jusqu'à Noisy Champs à l'Est. Ses 37 kilomètres, entièrement en tunnels, creusés par 8 tunneliers, relie 16 gares; 39 ouvrages annexes sont nécessaires pour l'accès des secours et la ventilation du tunnel. Onze de ces gares sont actuellement reliées avec le réseau lourd actuel de transport en commun et à terme toutes les gares du tronçon seront en correspondance avec une autre ligne du réseau. Ainsi le projet de la 15 Sud permet aux habitants des territoires traversés un itinéraire alternatif et contribue à l'objectif d'allègement de la charge du réseau existant. De plus les communes desservies directement par l'infrastructure seront plus attractives et cela favorisera un bâti dense à proximité des gares du Grand Paris Express.

Le projet de transport s'accompagne d'opérations d'aménagement à dimension métropolitaine tels l'île Seguin, la ZAC « Campus Grand Parc » autour de l'Institut Gustave Roussy et l'Opération d'intérêt national Orly-Rungys/Seine Amont qui renforcent la dynamique de renouvellement urbain. Ainsi le projet contribue au développement de centres secondaires à travers le territoire et à une urbanisation plus concentrée sur le cœur de l'agglomération parisienne.



Figure 3 Plan de la ligne 15 Sud

L'avancement du projet

La conception et construction du projet fait appel à 2 familles principales de métiers : d'une part le métier des Infrastructures, qui regroupent le Génie Civil (GC) du tunnel et des stations souterraines et les corps d'états techniques et architecturaux (CEA-CET) des bâtiments ; d'autre part le métier des Systèmes, c'est-à-dire tout ce qui permet de faire fonctionner le métro, comme par exemple les voies ferrées, les réseaux haute tension, le matériel roulant, les automatismes, mais aussi les centres d'exploitation .



Figure 4 Limites de prestations entre chaque marché

En 2013 les premières enquêtes publiques démarrent et permettent de lancer les travaux préparatoires sur la ligne 15 Sud en 2015.

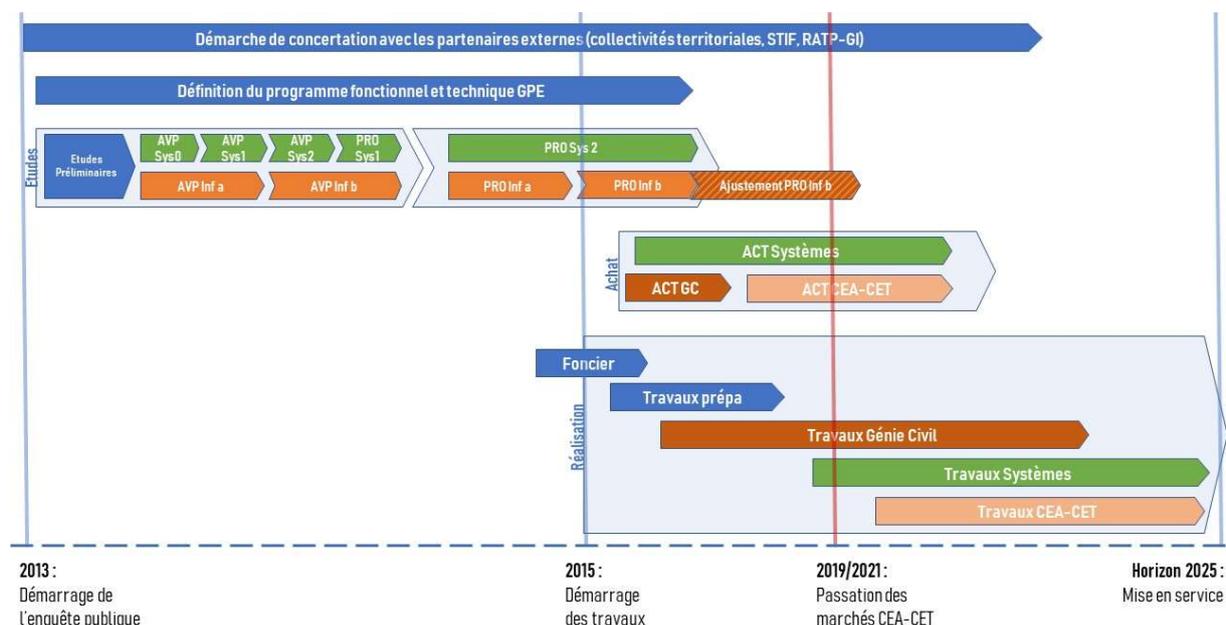


Figure 5 Synthétique du planning projet

Au sein du périmètre des Infrastructures :

À la suite des études de PRO-a Infrastructures, les travaux de Génie Civil ont pu démarrer courant 2016 et aujourd'hui sont bien entamés (voir Annexe 1). A ce stade les études de PRO-b infra sont en cours d'ajustement afin de pouvoir réaliser la passation en 2019-2020 des marchés de travaux CET-CEA, c'est-à-dire d'aménagement et d'équipement intérieurs et extérieurs des gares.

Au sein du périmètre des Systèmes et Exploitation :

Les premiers marchés de travaux Systèmes ont été attribués, en particulier certains marchés de Voie et Caténaires, mais pour entreprendre les travaux il est nécessaire que le tunnel ait été réalisé par les entreprises de Génie Civil. Par ailleurs, de nombreux travaux systèmes comme les équipements Haute Tension seront réalisés en interface étroite et en coactivité avec les travaux CEA-CET. Les travaux du site de maintenance du matériel roulant à Champigny ont également débuté et celui-ci devra être disponible à la livraison des premières rames de métro. Puis les essais seront réalisés pour une mise en service prévue à l'horizon 2025.

Le GPE est un projet qui s'étend sur une longue durée avec de nombreuses phases qui s'entrecroisent, se chevauchent et s'enchaînent. Il est difficile en arrivant sur le projet en cours de route, d'avoir une vision très claire du déroulement. J'ai trouvé déroutant la manière dont le projet se dévoilait à moi comme une succession de phases imbriquées les unes dans les autres.

Schéma des différents acteurs

De nombreux acteurs collaborent sur le projet du Grand Paris Express :

- **Maîtrise d'ouvrage** : la Société du Grand Paris (SGP) est un établissement public à caractère industriel et commercial. Elle a été créée par la loi du 3 juin 2010. Elle porte le besoin qui définit le projet, définit le programme, conçoit et élabore le schéma d'ensemble, le budget et le calendrier du projet. Elle nomme son assistance à maîtrise d'ouvrage. Elle est propriétaire des infrastructures et chargée des investissements.
- **Assistance à Maîtrise d'ouvrage (AMO)** : assiste la SGP dans son rôle de maître d'ouvrage sur deux aspects : la conduite d'opération des différents ouvrages à réaliser et par ailleurs le pilotage transverse du projet (risques, coûts, planning). De manière générale l'AMO instruit les décisions du MOA, contrôle les missions confiées au MOE et rend compte au MOA.
- **Maîtrise d'œuvre** : en suivant le cahier des charges établi par le maître d'ouvrage, le maître d'œuvre conçoit le projet sur son tronçon puis à la suite de la consultation des entreprises dirige l'exécution des marchés de travaux.
- **Entreprises** : les entreprises, à l'échelle du lot qui leur est attribué, exécutent les travaux.

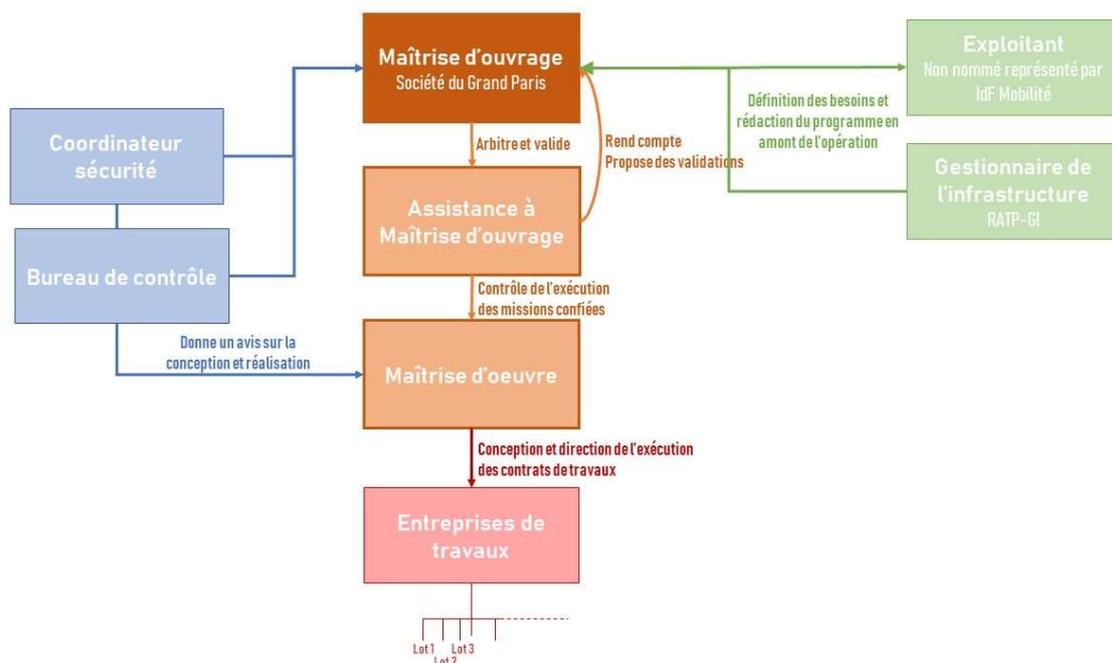


Figure 6 Schéma des différents acteurs de la loi MOP

La SGP collabore aussi avec Île-de-France Mobilités qui est l'autorité organisatrice des transports, chargée de désigner les exploitants et qui sera propriétaire des matériels roulants, et avec la RATP GI qui est le futur gestionnaire d'infrastructure et qui aura en charge d'organiser la maintenance, la sécurité et la disponibilité des infrastructures.

Zoom sur Artemis, AMOG du Grand Paris Express

Artémis est un groupement d'entreprises qui accompagne la SGP en qualité d'assistant à maîtrise d'ouvrage générale. Il est composé d'ARTELIA, ARCADIS et BG.

La mission d'AMOG consiste principalement à aider le MOA à définir, piloter et réaliser le projet ainsi qu'à anticiper les difficultés, émettre des conseils et encadrer le travail des Maîtres d'œuvre. Le rôle de décideur restant au MOA.

Le recours à une AMOG se justifie par la taille et la complexité du projet. Artemis est intervenu dès l'avant-projet et appuiera la SGP jusqu'à l'achèvement de l'opération.

Lors de mes premières semaines sur le projet, j'ai pu m'entretenir avec de nombreuses personnes de l'équipe aux profils et postes différents. Ce fut très formateur d'approcher le projet par les présentations passionnées de mes collègues et cela m'a permis d'avoir une meilleure compréhension des métiers de l'AMOG qui m'étaient obscures avant cela.

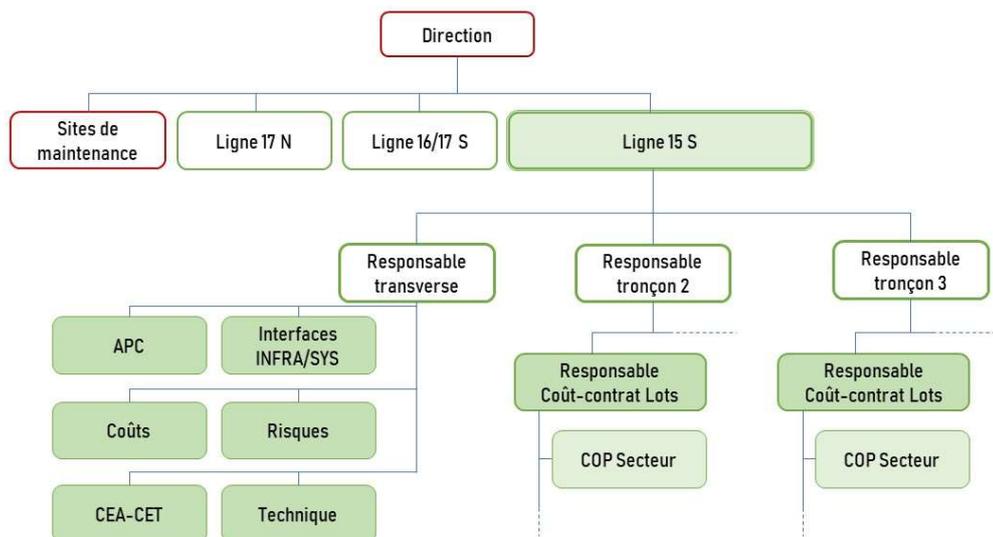


Figure 7 Organigramme d'Artemis

Au sein de la Ligne 15 Sud opèrent les équipes tronçons et l'équipe transverse.

Les tronçons correspondent chacun à un périmètre de MOE Infrastructure (Systra est en charge du Tronçon 2 et Setec-Ingerop du Tronçon 3).

A ce stade du projet, l'organisation d'Artemis à l'intérieur de chaque tronçon découle de l'allotissement des marchés de travaux de Génie Civil : en face de chaque entreprise de Génie Civil opère un Référent coût-contrat (RCC) dont le rôle est de piloter pour le compte du MOA la mission de Direction de l'Exécution des Contrats de Travaux (DET) du MOE. Il n'est pas responsable des aspects techniques du projet mais des aspects de pilotage en termes de coûts, délais, risques sur son périmètre. Il appuie particulièrement le MOA dans la vérification des engagements des co-contractants, le pilotage des modifications du marché initial et la préparation de la résolution des différends entre l'entreprise de travaux et le MOA. Mensuellement il effectue un reporting au

MOA, une synthèse de l'avancement des travaux sur son lot. Son interlocuteur à la SGP est un gestionnaire de marché, rôle tenu sur les lots principaux par le Directeur de projet adjoint en charge d'un tronçon.

Pour cela le RCC s'appuie sur une équipe de Conducteurs d'Opération (COP) qui pilotent la DET du MOE à l'échelle d'un ouvrage ou d'un groupe d'ouvrages et lui remontent les informations. Les COP ont également la charge du pilotage de la fin de conception des corps d'états architecturaux et techniques de leurs ouvrages, et de la préparation de la passation des marchés sur ces domaines. Leurs interlocuteurs à la SGP sont les Chefs de projet secteurs, qu'ils assistent par ailleurs dans leur relation avec les intervenants extérieurs (STIF, RATP, collectivités, associations de riverains ...).

L'équipe transverse au sein de l'AMOG de la Ligne 15S a la charge du pilotage des délais, des coûts, des risques et de la qualité et elle assure le reporting au maître d'ouvrage afin qu'il dispose d'une vision transversale sur ces sujets. Pour assurer cette mission, elle travaille en lien avec les intervenants des équipes tronçons pour fournir une image cohérente à l'échelle de la ligne. Les membres de l'équipe recueillent, analysent et synthétisent les informations fournies par les équipes opérationnelles pour produire un support à la prise de décision et préparer la validation des pièces par la direction de projet.

L'équipe transverse assure également le pilotage des interfaces entre les différents corps de métier (Infrastructures et Systèmes notamment) qui constituent le projet de Métro.

L'objectif de mon stage était d'assister l'équipe transverse dans ses missions. J'ai cependant dû commencer par une période où j'ai lu de nombreux documents, puis rencontré des personnes et assisté à des réunions pour m'imprégner du projet. Les acteurs et problématiques étant si nombreux, cela m'a nécessairement pris du temps. J'ai pu ensuite me plonger dans les démarches de pilotage des risques et du planning, mais ma compréhension des acteurs et des enjeux du projets ont continué à grandir jusqu'à la fin de mon stage

2. La complexité induite par l'ampleur du projet

Plusieurs métiers à coordonner en interne pour le pilotage du projet

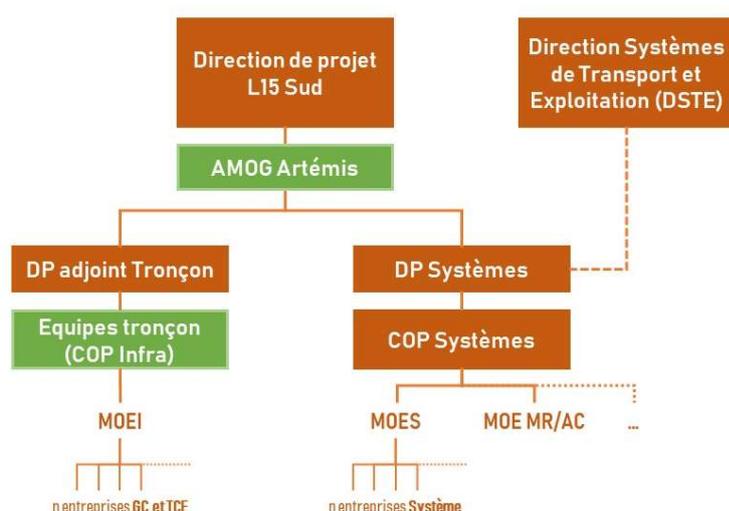


Figure 8 Organisation Infra/Sys

La Direction de Projet L15 Sud est responsable du coût, des délais de mise en service et du respect du programme de l'ensemble du projet de la L15 Sud, mais doit s'appuyer sur d'autres directions au sein de la SGP ; en effet l'organisation du pilotage du projet est rendue complexe par la nécessité de coordonner les différents métiers qui contribuent à la réalisation du projet.

Ainsi, la DP15S pilote de manière directe et autonome le périmètre Infrastructures, en s'appuyant sur l'AMOG Artemis (à laquelle appartiennent les RCC et COP Infra), et les MOE Infrastructures (MOE-I), Systra sur le Tronçon 2 et Setec-

Ingerop sur le Tronçon 3. Le périmètre des Systèmes (cf. paragraphe précédent) est co-piloté par la DP15S avec une Direction transverse « Direction des Systèmes de Transport et de l'Exploitation ». Le Directeur de projet adjoint Systèmes a un double rattachement à la DP15S et à la DSTE ; il s'appuie sur un AMO spécifique (COP Systèmes Systra, entité différente de l'AMOG Artemis) et des MOE spécifiques (MOE Systèmes Egis, MOE Matériel Roulant et automatismes, etc.). En effet le système de transport, y compris les trains, les équipements en tunnel, les équipements en gare font l'objet d'une mise en cohérence au niveau global Grand Paris Express, et leur définition dépasse le cadre de la L15 Sud. Si certains marchés systèmes sont regroupés par ligne ou zone géographique, d'autres sont transverses aux lignes 15, 16 et 17 notamment le matériel roulant et les équipements liés au système de surveillance et de sécurité car l'exploitation du système de transport est centralisée, ce qui oblige à une standardisation des équipements sur le réseau.

On notera que le projet est copiloté avec d'autres Directions encore au sein de la SGP, qui portent notamment des programmes (Direction des Gares et de la ville) ou qui sont en support sur des processus majeurs (Direction des achats ; Direction des relations avec les territoires, ...). En particulier une Direction porte la définition de projets immobiliers connexes qui seront construits en surplomb des gares. Au total ce sont les compétences de 8 directions que la Direction de projet doit coordonner pour la réussite du projet.

La multiplicité des intervenants peut être source de difficulté au sein du projet et nécessite une étroite coordination des interfaces.

La pluralité des acteurs oblige la création d'interfaces extérieures lorsque le projet est lié à des projets connexes mais aussi des interfaces internes entre deux lots dont le MOE est différent.

Il existe de véritables problématiques d'homogénéisation du projet aux interfaces.

De nombreuses parties prenantes

De nombreuses parties prenantes existent autour du projet, en plus des acteurs de la loi MOP présentés en partie I.1 :

- **Futurs voyageurs, riverains des chantiers** : sont consultés et informés,
- **Elus** : co-construction du projet territorial, débat public et suivi régulier avec les collectivités,
- **Pouvoirs publics** : procédures de déclarations d'utilité publique, d'autorisation environnementales,
- Mais aussi les financeurs, les tutelles de l'état, les mondes académique et économique ...

Sur des périmètres étendus

La Ligne 15 sud s'étend sur 37 kilomètres de tunnel, 16 gares et 39 ouvrages annexes. Cela pose des problèmes de représentation du projet car l'échelle est trop étendue.

De plus cela empêche de dupliquer certaines solutions car les situations géographiques sont différentes, sur la question de l'évacuation des déblais de chantier ou de la relation avec les riverains par exemple.

Pendant des périodes complexes

La diversité des types de phases et la complexité avec laquelle elles s'articulent, de manière différente sur chaque ouvrage, rend impossible à l'œil inexpérimenté la compréhension l'enchaînement du projet. Les problématiques planning sont si vastes dans le temps (10 ans de travaux) et dans l'espace qu'on ne peut appliquer les méthodes et outils connus pour des projets plus classiques.

Des problématiques techniques et politiques complexes

Le Grand Paris Express est un projet politiquement et techniquement complexe. Il est difficile si ce n'est impossible d'avoir une vision globale du projet et des enjeux liés. Il est donc nécessaire d'élaborer des méthodes et outils de travail innovants permettant de faciliter la collaboration entre les différents acteurs.

II – Principales démarches de maîtrise des risques majeurs au stade REA

1. Le management du projet par les risques

La loi MOP² cadre les rôles et responsabilités respectifs de chacun pour la construction d'ouvrages relevant d'une commande publique. Ainsi elle introduit le chiffrage en coût complet du projet dès les études d'avant-projet, en envisageant non seulement les coûts identifiés mais aussi les coûts qui ne sont pas encore définis du fait du niveau d'avancement des études. S'ajoutent les enveloppes financières destinées à couvrir les risques et aléas induits par la réalisation même du projet.

L'objectif de la démarche est d'éliminer ou réduire les risques pesant sur les coûts, les délais et la qualité du projet, en identifiant et en saisissant systématiquement les opportunités d'optimisation et d'améliorer la prise de décision en encourageant à tous les niveaux l'identification et la discussion des risques.

Le pilotage des risques se fait sur plusieurs niveaux :

- **MOE/entreprise** : risques techniques dans le cadre des travaux de génie civil
- **MOE/Artemis/SGP** : risque transverse projet ligne
- **SGP** : risque GPE

2. La démarche sur la Ligne 15 Sud

Identification des risques

Le risque est un événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet (Définition AFNOR). Il est caractérisé par des causes, des conséquences, une probabilité d'occurrence et sa gravité.

Les risques identifiés sont insérés dans un registre de risque, un exemple est présent en Annexe 2. Le registre des risques est un outil de pilotage du projet, il regroupe les risques identifiés sur un lot.

Chaque risque est attribué à un Propriétaire, qui est responsable du suivi de l'évolution du risque et un Porteur en charge du traitement du risque.

Mise en place d'un plan d'action

L'évaluation de chaque risque permet de calculer sa criticité (C) comme le produit de la probabilité (P) par la gravité (G) : $C = P \times G$. On évalue la gravité et la probabilité sur une échelle de 1 à 4 grâce à des indicateurs établis, présentés en Annexe 3.

		GRAVITE				Critères d'acceptabilité du risque	Qualification
		4	8	12	16		
PROBABILITE	4	16	12	8	4	inacceptable	Impose la mise en œuvre prioritaire de plans d'actions préventifs Nécessite la définition de plans d'actions correctifs opérationnels
	3	12	9	6	3	A traiter	Nécessite la définition opérationnelle de plans d'actions préventifs et correctifs Organisation d'arbitrages pour la mise en œuvre de plans d'actions préventifs
	2	8	6	4	2	A statuer	La définition de plans d'actions est à statuer par le propriétaire du risque
	1	4	3	2	1	Acceptable	Le risque est suivi

Figure 9 Matrice de criticité

² La loi no 85-704 du 12 juillet 1985 relative à la maîtrise d'ouvrage publique et à ses rapports avec la maîtrise d'œuvre privée, dite loi MOP est une loi française qui met en place, pour les marchés publics, la relation entre maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre. Elle constitue une des bases du droit de la construction publique en France, avec le Code des marchés publics. Son rôle est de déterminer les attributions de ces deux acteurs principaux de l'acte de construire dans le cadre d'une commande publique que sont la maîtrise d'ouvrage et la maîtrise d'œuvre. (Source : Wikipédia)

La criticité s'échelonne de 1 à 16. Elle permet de hiérarchiser la priorité de traitement des risques. Un plan de traitement préventif des risques est obligatoire pour tous les risques dont la criticité est égale ou supérieure à 6.

Pour une criticité 1 le risque est jugé acceptable .

Entre 2 et 4 le risque est à surveiller, il reste donc dans les registres mais la mise en place d'un plan d'action n'est pas exigée.

A partir d'un niveau de criticité 6, chaque risque fait l'objet d'un plan d'actions placé sous la responsabilité du Propriétaire du risque, dont la réalisation est confiée à des Porteurs d'actions. L'objectif du plan de prévention est de réduire l'occurrence et/ou la gravité du risque. Si cela n'est pas possible on met en place un plan de protection ou de détection pour réduire la gravité en cas d'occurrence.

Selon les cas il est aussi pertinent de transférer le risque, c'est-à-dire que si le risque se produit, les conséquences pèseront sur un autre acteur. Par exemple on opère un transfert lorsqu'on souscrit à une assurance.

Mais il n'est pas possible d'éviter l'occurrence de tout risque car premièrement, il est difficile d'être totalement exhaustif dans l'identification des risques et deuxièmement, on n'a pas forcément les moyens de rendre tout risque acceptable. Ainsi il faut prévoir des provisions temporelles ou financières en cas de risque avéré. Les provisions sur risques (PRI) sont incluses au budget des marchés et sont suivies par les référents coûts contrats (RCC). A l'échelle du GPE, sur les 35 milliards d'euros prévus, 7 sont des provisions pour risque et aléas.

Le plan d'action est inséré dans le registre des risques où on suit son avancement.

Mise à jour et reporting

A mon arrivée sur le projet, le processus était lancé ; je n'ai donc participé qu'au processus itératif de management par les risques. Cela consiste à mettre à jour les registres avec les RCC, contribuer au reporting risque à destination du MOA, et assister les équipes opérationnelles sur les risques.

Ma première mission en arrivant sur le projet fut d'assister l'adjoint Risque. Je pense que l'analyse des risques est une très bonne porte d'entrée dans le projet car elle permet d'être confronté à des problématiques très variées. La mise à jour des tableaux implique d'avoir des échanges poussés avec les RCC sur des sujets opérationnels.

Les risques sont gérés à plusieurs niveaux ; au sein de l'AMOG le RCC contrôle le registre de son lot et l'équipe transverse est chargée de faire apparaître les risques communs à tous les lots, de faire ressortir les risques majeurs, d'effectuer un retour d'expérience sur les risques. En théorie la mise à jour des registres est continue car c'est l'outil de management de projet opérationnel. Cependant, bien souvent, cette mise à jour n'est pas faite à chaque mise en place d'actions de traitement, et il est nécessaire de faire ce travail a posteriori lors de réunions où l'on reprend le tableau ligne par ligne. Ce tableau est assez lourd, comportant de nombreuses lignes et colonnes, le processus de mise à jour est donc assez laborieux.

Les risques majeurs identifiés sur la Ligne 15 Sud doivent être remontés au directoire de la SGP. Pour effectuer ce reporting j'ai donc assisté aux revues de lots où les équipes opérationnelles présentent les éléments les plus notables sur leur périmètre. Sur cette base, j'ai pu, en m'appuyant sur les registres existants, constituer un registre des risques majeurs L15S. Parallèlement j'ai assisté l'adjoint risque de l'équipe transverse à la

constitution d'un registre des risques transverses pour la ligne sur les sujet coût, délais, pilotage qui impactent l'ensemble de la ligne.

Retour d'expérience



Figure 10 Démarche de gestion des risques

Ainsi, après avoir identifié, analysé, évalué le risque, après avoir établi le plan de contrôle et rendu le risque acceptable il faut effectuer le retour d'expérience.

La capitalisation des risques consiste à regrouper dans un registre les risques que nous avons pu identifier auxquels on associera leurs caractéristiques. Ainsi, par retour d'expérience, on améliore la capacité à être le plus exhaustif possible sur les prochains lots lors de l'étape d'identification des risques. Cela facilite le management du risque car le travail de trouver un plan d'actions, d'évaluer la criticité a déjà été effectué.

Risques techniques des travaux de Génie Civil

Les modalités de contractualisation des risques entre MOA et entreprises pour les marchés publics sur travaux souterrains, décrit par le fascicule 69, a fortement structuré l'organisation du management des risques de la SGP.

ART I.2.2 DU FASCICULE 69 DU CCTG "TRAVAUX EN SOUTERRAIN" :

« Le Plan de Management des Risques liste les risques résiduels, à savoir ceux non couverts par les dispositions techniques prévues au marché et contre lesquels le maître d'ouvrage juge nécessaire de se prémunir. Il analyse les événements à leur origine, apprécie leur vraisemblance et en définit les conséquences prévisibles sur l'organisation du chantier.

Il rappelle les dispositions techniques prévues pour prévenir les événements redoutés et limiter leurs conséquences (reconnaitances à l'avancement, ...).

Il contient la description des dispositions techniques et organisationnelles envisagées :

- *Pour mettre le chantier en sécurité lors de leur survenance,*
- *Pour poursuivre le chantier.*

Le PMR propose enfin les principes ou modalités de rémunération de ces interventions. »

Le Plan de Management des Risques (PMR) est un document contractuel qui régit les relations entre le maître d'ouvrage et l'entreprise en cas de survenance d'un des risques qui auront été identifiés lors de la signature du marché. Il décrit la démarche menée en amont des consultations par le MOE sur le management des risques techniques, synthétise les principaux risques techniques, explicite le fonctionnement du Registre des Risques Techniques (RRT) et décrit les attentes organisationnelles vis-à-vis de l'entreprise dans la maîtrise des risques du projet.

Le MOE est le garant de la maîtrise des risques techniques, pour cela il tient un registre des risques techniques (RRT) qui lui permet de piloter les risques de manière opérationnel sur chaque lot. De plus il met en place des réunions risques à plusieurs niveaux avec l'entreprise et la MOA.

La mise à jour et le soin apporté au détail dans le registre technique est essentiel. En effet, les registres de risques opérationnels sont établis à partir des registres de risques techniques notifiés aux marchés de travaux, ces derniers sont génériques. Il est donc primordial lors de l'exécution de spécifier les risques en fonction du lieu et des enjeux afférant afin d'avoir une criticité et un plan d'action cohérent avec la réalité des travaux.

Par exemple, pour la gestion des avoisinants selon les lieux les enjeux ne sont pas les mêmes ; les caractéristiques des lots déterminent la criticité du risque mais aussi le plan d'action. On ne traite pas de la même manière la sensibilité structurelle d'un bâtiment, qu'on conforte, et un fontis, qu'on injecte.

Les risques sont de trois types :

- Type 1 : Risque de méthode à la charge de l'entreprise
- Type 2 : Risque notifié au marché payé par bordereau de prix unitaire par le MOA
- Type 3 : Risque imprévisible payé par négociations

Ainsi la vigilance du MOE est importante sur le pilotage des risques car l'entreprise l'utilise comme levier pour faire passer un maximum de risques en type 3.

J'ai contribué à la mise à jour des tableaux de risques pendant près d'un mois. Je lisais donc les tableaux, m'interrogeais sur la formulation.

« Est-ce bien un risque ? Les causes et le contexte sont-ils pertinents ? Quelles informations manquent ? Quelles informations sont superflues ? ».

Cette immersion dans l'outil, parfois fastidieuse, m'a permis d'adopter le vocabulaire et la logique de la gestion des risques. Cela m'a par la suite aidée, car les risques sont assez omniprésents dans le pilotage du projet.

3. Mise en place d'Obeyas comme outil de management réactif et collaboratif de risques majeurs

Une Obeya, du japonais 大部屋 « grande salle », est une forme de management de projet visant à améliorer le travail d'équipe. Le principe est que dans une grande salle sont affichés des panneaux pouvant être modifiés afin de suivre visuellement l'avancement des actions, des risques, du projet.

Au cours de mon stage j'ai réfléchi à l'application d'une démarche Obeya pour la gestion des risques majeurs. En effet cette démarche est pertinente car elle permet le dialogue et le pilotage partagé de plusieurs acteurs ce qui est exactement le besoin ici. Le processus se déroule en quatre étapes, pour lesquelles il est nécessaire d'identifier les aspects indispensables :

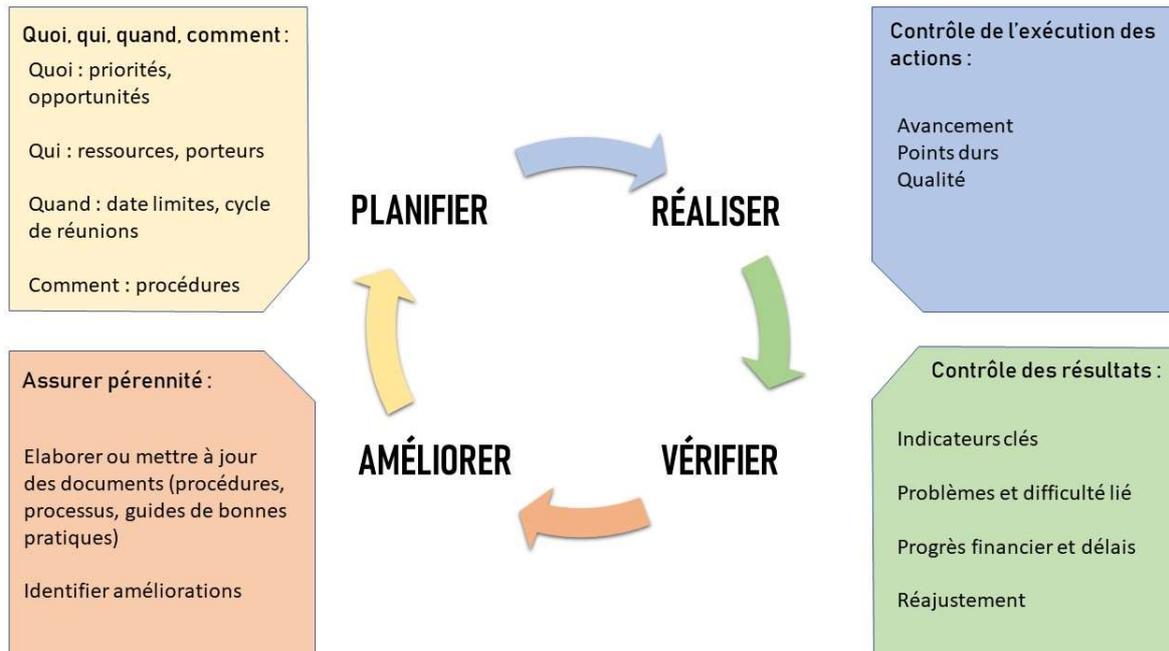


Figure 11 Etapes de la démarche risque

Sur cette base j'ai établi des panneaux permettant la conduite de ces risques majeurs lors d'une réunion Obeya, présents en Annexe 4. Pour chaque étape il s'agit de développer un outil de suivi et de prise de décision qui permet la collaboration, la facilité et la clarté d'utilisation.

Au cours de mon stage, nous n'avons finalement pas utilisé l'Obeya pour le pilotage des risques majeurs. Mais il a été décidé par la SGP de mettre en place cette démarche pour un certain nombre des risques spécifiques majeurs du projet.

En premier lieu, une Obeya a été mise en place pour améliorer les modalités de co-pilotage du projet et de coordination entre les métiers Infrastructures et les métiers Systèmes et Exploitation. Comme soulevé en première partie, les organisations séparées de ces deux métiers, nécessaires par définition, sont sources de difficultés lorsque des problèmes apparaissent aux interfaces. La configuration de l'Obeya permet de rassembler les intervenants nécessaires ainsi que les éléments de planning et les maquettes nécessaires à la compréhension du problème à résoudre. Une réunion hebdomadaire permet de suivre l'avancement des points ouverts majeurs entre DP 15S, AMO Générale, DSTE et AMO Systèmes.

Il a également été décidé de mettre en place 3 Obeyas plus ponctuelles pour traiter les principaux points durs du planning (sujets confidentiels). Ces Obeyas sont organisées pour pouvoir rassembler tous les acteurs et mettre en place un plan d'action efficace rapidement, sans avoir à organiser plusieurs séries de réunions où tout le monde n'est pas présent et le suivi des actions n'est pas clair ni les éléments du problème initial.

III – Mise en place de maquettes BIM 4D pour simplifier la compréhension des enjeux planning

1. Risque : mauvais enchaînement du planning

Le projet est très complexe notamment par son étendue géographique et le nombre d'acteurs impliqué. Ainsi lorsqu'il s'agit de planifier les travaux se posent des problématiques d'interfaces entre les acteurs notamment entre les travaux infrastructures et systèmes.

Il existe de nombreuses problématiques techniques difficilement compréhensibles pour une personne non experte (ou bien difficiles à appréhender dans leur ensemble, chacun étant expert de son domaine de compétence) mais dont la compréhension est importante pour pouvoir prendre le recul sur l'opération et appréhender l'enchaînement des différentes actions afin d'atteindre les objectifs de délais.

Il y a donc besoin d'un outil collaboratif permettant de regrouper et visualiser les différents enjeux des différents acteurs et compréhensible par tous afin d'être support d'atelier d'optimisation.

Ainsi, pour réduire le risque qu'un mauvais enchaînement du planning mène à un manquement des objectifs du projet, il m'a été demandé de tester le développement d'une maquette BIM 4D pour agir sur les causes du risque et améliorer la collaboration, le pilotage et la compréhension des enjeux.

2. Une méthode peu développée au sein du projet

Généralités sur le BIM

Le BIM (de l'anglais Building Information Model) est une base de données permettant de rassembler toutes les informations concernant un bâtiment ou projet de travaux public. Quand on pense au BIM on l'associe très souvent à une maquette numérique mais le BIM ne se limite pas à la géométrie : il couvre les relations spatiales, l'analyse de la lumière, l'information géographique, les quantités et les propriétés des éléments de construction et permet la gestion, la coordination et la simulation de documents tout au long du cycle de vie d'un projet (planification, conception, construction, exploitation et maintenance).

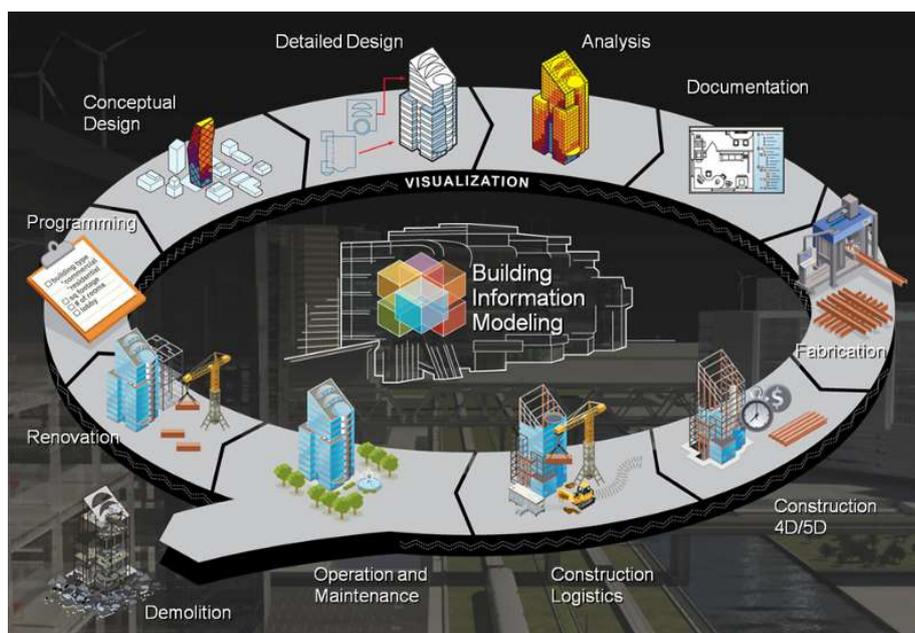


Figure 12 Cycle de vie d'un projet BIM. Source : Autodesk

Le BIM est décrit en termes de dimensions : 3D (modèle objet), 4D (temps), 5D (coût), 6D (durabilité), 7D (exploitation), et même 8D (sécurité).

Le modèle 4D relie les activités de construction aux plannings et produits des simulations graphiques en temps réel de l'avancement de la construction. La dimension "temps" permet d'évaluer la constructibilité et la planification d'un projet. Tous les acteurs du projet peuvent facilement visualiser, analyser et communiquer les problèmes dans les aspects séquentiels, spatiaux et temporels de l'avancement de la construction.

Contractualisation du BIM et organisation entre les acteurs

Les objectifs du BIM sur la Ligne 15 Sud sont de contribuer à la gestion de projet au travers d'une méthodologie de travail collaboratif ainsi qu'aux tâches de synthèse EXE menées par les MOE et titulaires de marchés de construction. De plus il permet de consolider les pièces du Dossier d'Ouvrage Exécuté communiqué au futur mainteneur et au futur exploitant, et les supports de communication internes et externes au projet.

Initialement, le BIM n'avait été intégré dans aucun contrat de MOE-I, plusieurs avenants ont été nécessaires pour intégrer cette demande. A ce jour, plusieurs missions relatives au BIM ont été contractualisées avec les MOE-I (T2 et T3) sur l'ensemble de la Ligne 15 Sud. Cependant certains groupements titulaires de lots de travaux GC ont refusé de réaliser leurs études d'exécution en BIM en s'appuyant sur une clause de leur contrat stipulant que le MOE devait fournir les bases de Maquettes Numériques aux titulaires en données d'entrées.

L'absence de contractualisation initiale du BIM a entraîné un manque de cadrage des interfaces en amont et une vision floue du MOA quant aux cas d'usages. De plus la déclinaison du BIM aux marchés Systèmes et CEA-CET se traduit difficilement en raison notamment d'un corpus documentaire non finalisé et des difficultés à accorder les différents MOE. Les prestations BIM n'étant pas contractualisées de manière homogène auprès des différents MOE (voire pas contractualisées du tout), cela entraîne des rôles et responsabilités BIM des MOE (I, S et MR/AC) peu cohérents entre eux avec un impact sur le fonctionnement de la synthèse EXE BIM et de la collaboration, préalable indispensable à l'efficacité du BIM. On manque de coordination et d'arbitrage interne entre les différentes directions et de plans d'action.

Difficulté inhérente à l'outil

L'utilisation du BIM est de plus en plus répandue dans le monde du bâtiment et des travaux publics. Initialement développé pour le bâtiment, c'est un outil assez jeune qui se développe rapidement et avec l'amélioration des ordinateurs et logiciels, les possibilités d'utilisation se diversifient. Désormais l'utilisation dans de grands projets de travaux publics d'infrastructures est plus fréquente même si l'outil n'y est pas encore tout à fait adapté.

Le BIM reste complexe et assez lourd. Il n'y a pas tant d'ingénieurs, en dehors des experts BIM, qui maîtrisent son utilisation car les logiciels évoluent constamment et tous les ordinateurs ne sont pas en capacité de faire tourner une maquette de manière fluide.

Le problème que cela pose est qu'on ne réalise pas en quoi le BIM peut être un atout pour le projet, on le considère comme une perte de temps. Cela parce qu'on ne connaît pas bien ce que permet l'outil et comment se déroule la réalisation d'un projet BIM.

En théorie toutes les maquettes développées par les intervenants (Archi, CFO/CFA, MEP, ...) seraient insérables dans une unique maquette synthèse qui permettrait de visualiser le projet complet que ce soit à l'échelle d'une gare ou même d'une ligne. Du fait du très grand nombre d'acteurs aux méthodes de travail différentes, il n'est pas possible de construire une telle maquette de synthèse à l'échelle de la ligne 15 Sud. A l'échelle d'une gare cependant, cela devrait être possible car elle permet d'animer la phase de synthèse.

3. L'élaboration d'une maquette 4D à l'échelle de la ligne 15 Sud

Une maquette de la Ligne 15 Sud permet d'avoir une vision très globale du projet et de faire apparaître les interfaces entre les différents lots. La 4D permet d'intégrer une visualisation très intuitive du planning. Ainsi une maquette 4D peut être un support pertinent pour donner une idée claire de problématiques très variées.

Les MOE et titulaires constituent des maquettes des ouvrages gares et annexes, cependant elles sont d'un niveau de détail élevé et construites avec des méthodologies différentes. Il était donc quasiment impossible de simplement les concaténer pour obtenir une maquette de la ligne.

J'ai donc utilisé les logiciels Revit et Navisworks pour établir une maquette 4D de la ligne 15 Sud qui a pour objectif de devenir un support pédagogique et collaboratif pour aider à la prise de décision et à lever les risques qui pèsent sur le planning.

Construction de la maquette 3D sous Revit

J'ai commencé ma maquette sur la base des documents .dwg des tracés du tunnel en 2D.

En exportant deux séries de points, selon deux plans différents, j'ai pu établir les coordonnées 3D du tunnel. J'ai importé cette liste dans Dynamo, ce qui m'a permis de créer une courbe 3D dans Revit en utilisant un algorithme présenté en **Annexe 1**. Ainsi j'ai obtenu autant de portions de tunnel que nécessaire pour relier tous les ouvrages.

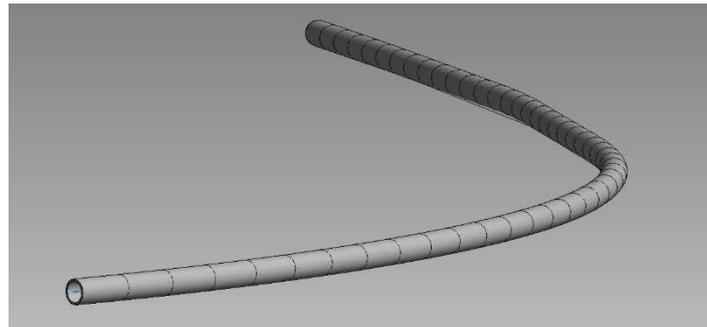


Figure 13 Portion de tunnel

J'ai ensuite créé les gares et ouvrages annexes.

S'est posée au cours de cette démarche, étendue sur plusieurs semaines, la question du niveau de détail à utiliser. La demande initiale du MOA était d'avoir un outil qui permette de présenter le strict nécessaire pour visualiser de manière simple des problématiques complexes. Il aurait de toute manière été trop complexe de réaliser seule et sur la durée de mon stage une maquette opérable sur un ordinateur commun par un utilisateur débutant en BIM

Cependant trop peu de détail ne permet pas de résoudre certaines problématiques techniques ou empêche simplement la visualisation des ouvrages et induit l'utilisateur en erreur.

J'ai décidé de ne représenter que les boîtes d'ouvrages, les planchers (autant que dans le planning), le tunnel et les rameaux reliant certains ouvrages au tunnel. Je n'ai donc pas représenté beaucoup d'objets à l'échelle d'un ouvrage mais à l'échelle de la Ligne 15 Sud, cela est assez conséquent. De plus la maquette peut être enrichie pour répondre à des besoins spécifiques, ou aux modifications de projet à venir. Ces modifications sont d'autant plus aisées à être effectuées que la maquette est une base saine sur laquelle il suffit d'ajouter l'information désirée.

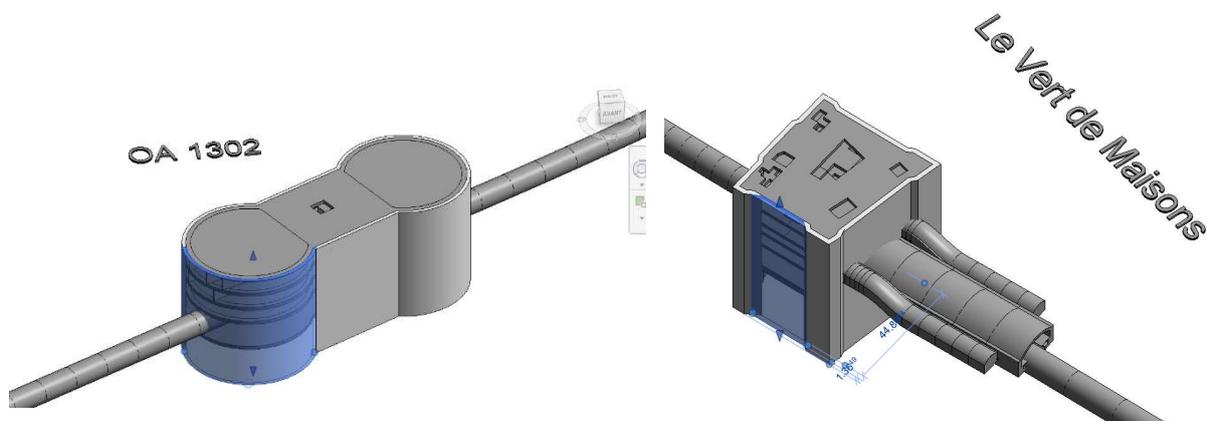


Figure 14 Ouvrage Annexe 1302 sous Revit

Figure 15 Gare du Vert de Maisons sous Revit

Après avoir dessiné la couche Génie Civil j'ai ajouté sur chaque ouvrage des pièces pour indiquer la localisation des locaux techniques. Cela répond à un besoin de pouvoir visualiser où se trouvent des locaux aménagés par les Systèmes qui influent sur l'enchaînement du planning.

Mise en forme sous Navisworks

J'ai ensuite exporté le fichier revit en *.nwc pour pouvoir l'ouvrir dans le logiciel Navisworks qui permet de naviguer dans la maquette et de la visualiser plus aisément. Revit est un outil de construction de maquette alors que Navisworks est un outil de pilotage.

Lorsque j'ai importé la maquette dans un projet Navisworks vide, elle apparaissait avec tous les objets de la même couleur et il était difficile de se repérer dans la maquette. Pour faciliter la visualisation j'ai utilisé l'outil « Jeux » pour créer des filtres qui me permettent d'aisément sélectionner un groupe d'objets correspondant à certains critères. Ainsi, si la maquette est mise à jour depuis Revit, les nouveaux objets seront sélectionnés par l'utilisation des filtres. J'ai ainsi pu créer des groupes de locaux techniques propres à certains besoins Systèmes (HTBT, Ventilation et d'autres) pour pouvoir les faire apparaître différemment les uns des autres dans la maquette. Il est donc possible de voir rapidement d'un seul coup d'œil où se trouve un local spécifique sur un tronçon sachant qu'une fois la famille de locaux identifiée il suffit de sélectionner l'objet pour plus de détail.

L'objectif principal en créant la maquette était d'obtenir un outil permettant de rendre la visualisation de problématiques de conditions de réalisation, d'enchaînement de tâches et de plannings plus aisée. Il a donc fallu lier le planning à la maquette. Pour cela, j'ai établi un lien entre Primavera et Navisworks. Le planning établi sous Primavera par l'équipe d'AMOG en charge du planning général apparait avec sa structure dans Navisworks :



Figure 16 Capture d'écran Timeliner

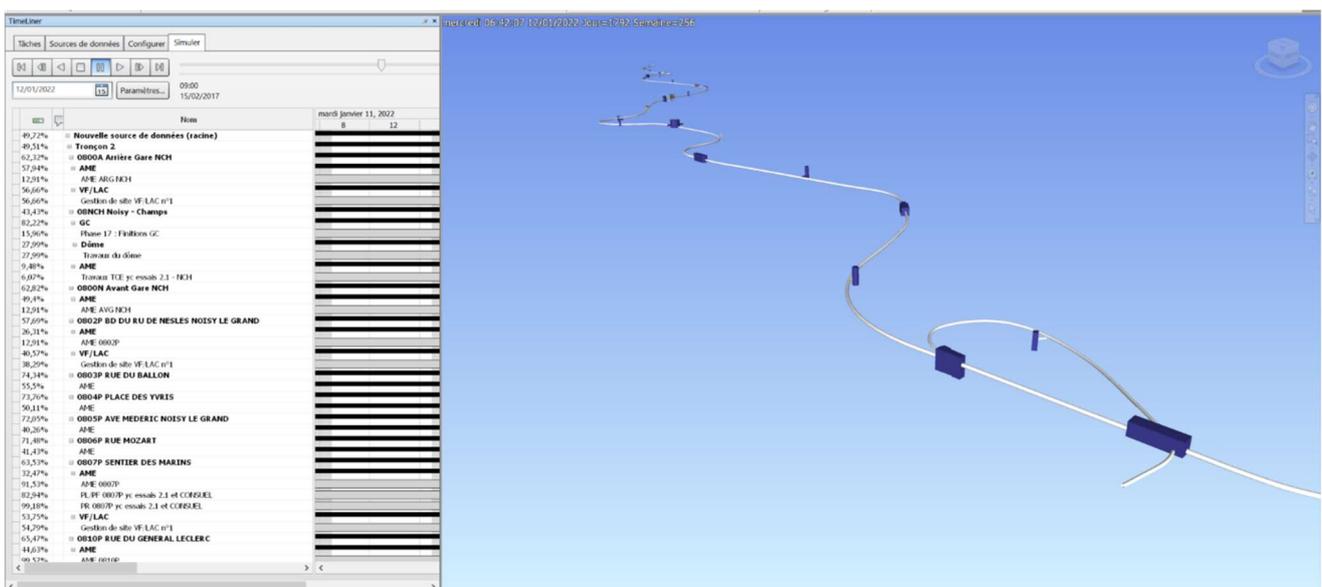
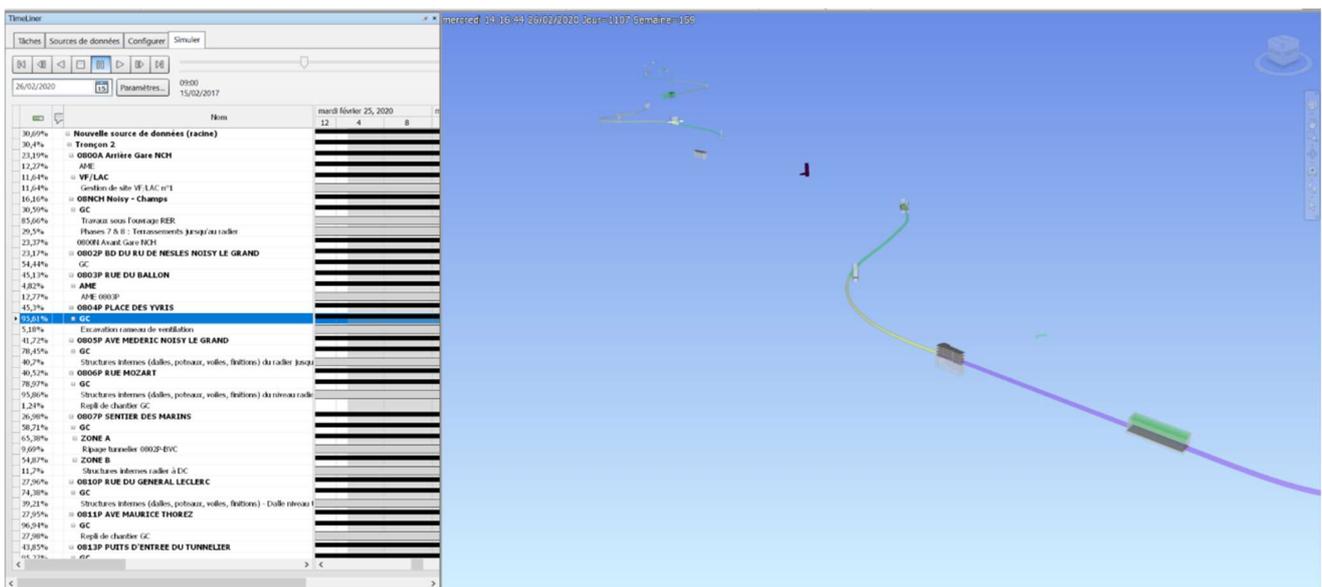
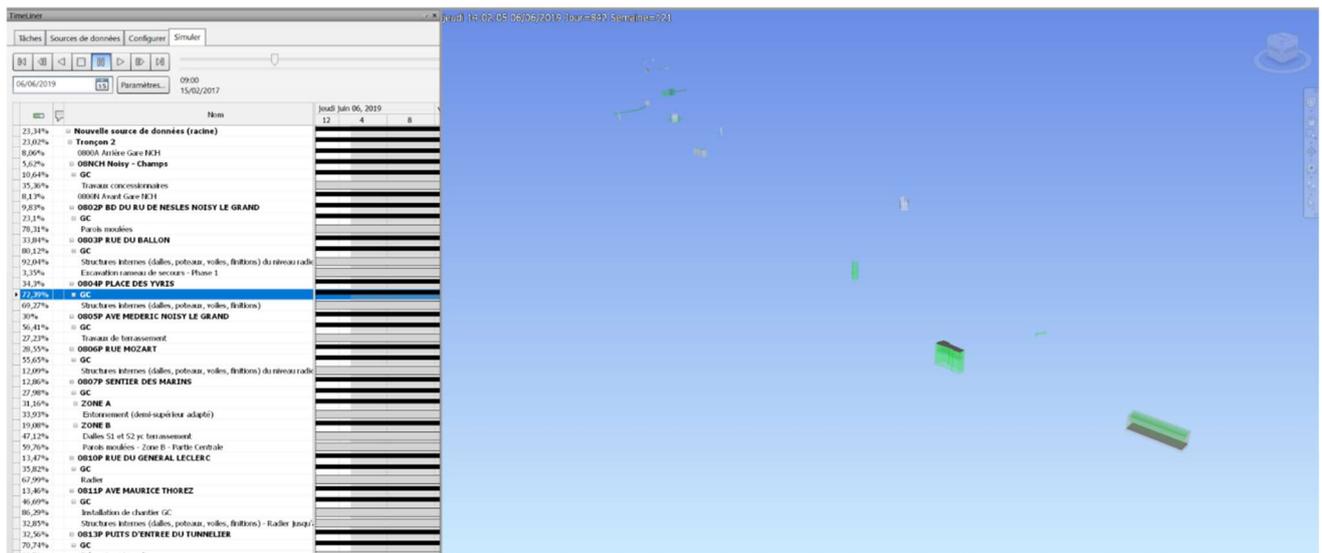


Figure 17 Animation de la maquette en fonction du planning sous Navisworks

J'ai ensuite associé à chaque tâche du planning un objet de la maquette et indiqué la phase à laquelle celle-ci se rattachait (construction, de creusement, d'aménagement, etc.) Ainsi lorsqu'on lance la simulation par rapport au temps on observe une simulation de la construction du projet avec un jeu de couleurs indiquant les phases en cours.

La force du lien Navisworks/Primavera réside notamment dans le fait que la mise à jour du planning sous Primavera se transfère directement sous Navisworks.

Comme lors de l'élaboration de la maquette sous Revit, se pose le problème du niveau de détail. Le planning Primavera étant très détaillé, l'objet correspondant de la maquette n'existe pas toujours. Il m'a fallu faire des approximations et des généralisations pour pouvoir faire apparaître les informations intéressantes malgré les limitations que posait le niveau de détail de la maquette.

Chaque étape d'élaboration de la maquette se fait en deux temps. D'abord il faut trouver comment effectuer ce qu'on veut, faire des recherches, des essais. J'ai toujours beaucoup apprécié chercher des solutions par tâtonnements successifs jusqu'à résoudre le problème.

Vient ensuite le deuxième temps où il s'agit d'appliquer la méthode établie à toute la ligne 15 Sud. J'ai donc à ce moment-là pu échanger avec les équipes opérationnelles, échangeant avec eux sur leur vision des potentielles utilisations de l'outil.

Fiabilisation

La mise en place de la maquette Ligne 15 Sud a duré plusieurs mois, il m'a d'abord fallu élaborer la méthode de montage de la maquette, puis l'appliquer sur toute la ligne. Souvent, en appliquant la méthode, je réalise qu'il existe une meilleure manière de faire, modifiant la méthode en cours ce qui entraîne un manque de cohérence. J'ai aussi pu laisser des erreurs, dans le positionnement d'un mur, dans le niveau d'un étage ou dans le nom d'un local.

Il faut donc repasser sur tous les plans d'étage pour vérifier qu'il n'y a pas d'erreur et que les méthodes sont cohérentes. Pour faire cela, il faut ouvrir tous les documents d'architecture correspondant au bon niveau de chaque ouvrage et vérifier les informations. Cela représente un très grand nombre de documents à ouvrir mais la fiabilisation est une étape nécessaire car une erreur dans la maquette peut à la fois décrédibiliser la maquette et donc la rendre inutile ou pire causer une erreur dans la prise de décision. La maquette sans fiabilisation représenterait donc un nouveau risque.

Perspectives

Une fois fiabilisée, la maquette peut être utilisée au sein du projet de plusieurs manières :

- **Réunion/Obeya Planning** : lors de réunions, la projection de la maquette permet de répondre très rapidement à des questions du type enchaînement de construction des planchers, date de fin du GC sur un ouvrage, enchaînement des phases, dimension d'une dalle, etc.
- **Communication** : avec les élus, les collectivités, les villes, les riverains. La maquette permet la compréhension du projet par toute personne. En effet lorsque l'on parle par exemple de passage en taube, de ripage de dalle ou d'éléments comme des parois moulées, cela est naturel pour une personne travaillant sur le projet mais cela bloque la communication avec les personnes extérieures qui ne possèdent pas ce vocabulaire. L'outil de la maquette 4D, qui peut s'animer, est un support très pédagogique pour montrer que passer en taube dans un ouvrage, c'est lorsque le tunnelier traverse

la boîte gare avant que la terre en ait été excavée, que le ripage de dalle c'est la translation d'une dalle de son lieu de fabrication à sa position définitive et qu'une paroi moulée est un mur d'ouvrage.

- **Document support:** des extractions vidéo ou image de la maquette permettent d'illustrer des présentations et documents de reporting divers.

Mais la maquette n'est jamais « terminée », il est constamment nécessaire de la mettre à jour en fonction des modifications que ce soit du GC, de l'emplacement des locaux et autres. De plus lorsque les phases de GC seront terminées, il pourrait être pertinent de rajouter du détail concernant les phases en cours CEA-CET et Systèmes.

Limites

Pour l'utilisation voulu pour cette maquette, il fallait un simple niveau de détail. Cependant il serait intéressant de pouvoir lier les maquettes très détaillées des MOE afin de basculer d'un niveau de détail à l'autre aisément et ainsi élargir les possibilités d'utilisation de la maquette.

Cela nous ramène à un problème récurrent dans le BIM, la taille des fichiers. Si on doit aller en réunion avec les maquettes de tous les ouvrages cela représente plusieurs gigas de données. Sachant que les maquettes sont souvent réparties entre réseaux, Drive, GED, c'est un casse-tête qui rend difficile la navigation entre les maquettes.

Ce travail d'élaboration d'une maquette ligne 15 Sud s'inscrit dans une démarche d'innovation, elle n'avait pas vocation à se substituer aux contributions des MOE, architectes et groupements. On cherchait à développer un outil qui permettait effectivement de simplifier la compréhension de problèmes, une maquette utile dans l'appropriation et l'aide à la décision. Mais cela n'était vraiment possible que dans le cadre d'un stage, le temps nécessaire aux tâtonnements et à la recherche étant disponible. Sur cette base, Artemis et la DP15 Sud peuvent commencer à réfléchir aux manières de pérenniser une telle démarche, et à l'organisation à mettre en place pour cela.

IV – Le pilotage transverse de la phase achat puis des travaux CEA-CET

1. Les travaux CEA-CET sur la 15S

Périmètre des marchés CEA-CET

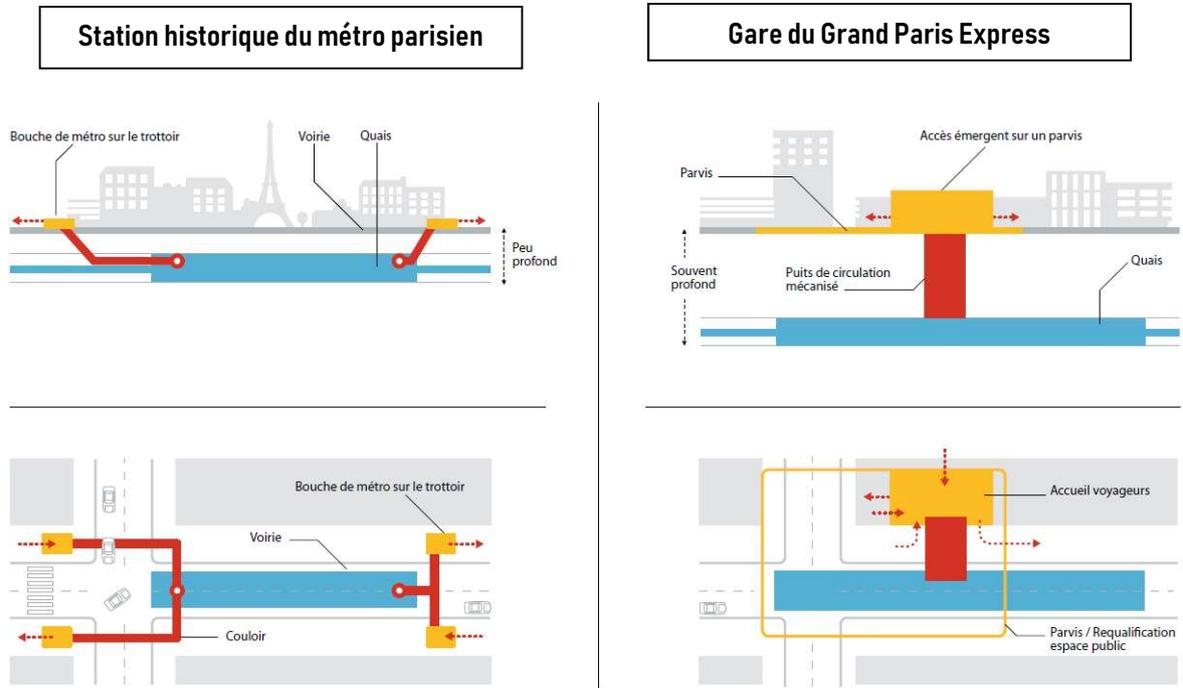


Figure 18 Les différences entre station historique et gare du GPE

A la différence des stations historiques du métro parisien, les gares du GPE sont composée d’une émergence, offrant des services diversifiés, reliée aux quais en profondeur par un puits de circulation mécanisé. Elles constituent un repère dans la ville et sont connectées aux autres transports.

La gare du Grand Paris est un Etablissement Reçevant du Public (ERP) souterrain. L’insertion urbaine de la gare, son organisation fonctionnelle, son dimensionnement, son architecture et ses caractéristiques techniques ont pour objectif principal de rendre le parcours de l’utilisateur le plus clair et le plus rapide possible.

Les prestations CEA-CET concernent le gros œuvre des émergences pour une partie des ouvrages, ainsi que le second œuvre, les aménagements intérieurs et les aménagements extérieurs, c’est à dire l’ensemble des travaux nécessaires à l’aménagement des ouvrages une fois le génie civil finalisé.

Les aménagements de la gare se veulent sobres, durables et facilement maintenables. Ils sont propres à chaque gare et répondent à des standards

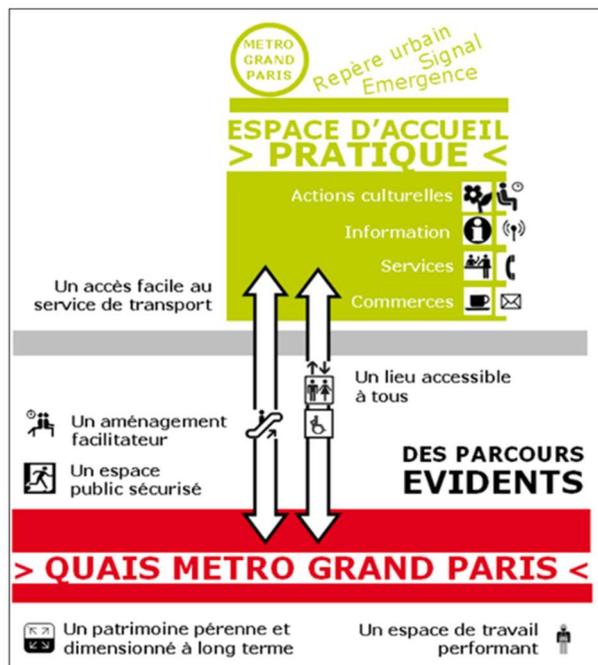


Figure 19 Schéma d’une gare fonctionnelle

communs en matière de composition des volumes, de traitement de la lumière et de l'acoustique, de second-œuvre. Le sol est toutefois commun à toutes les gares.

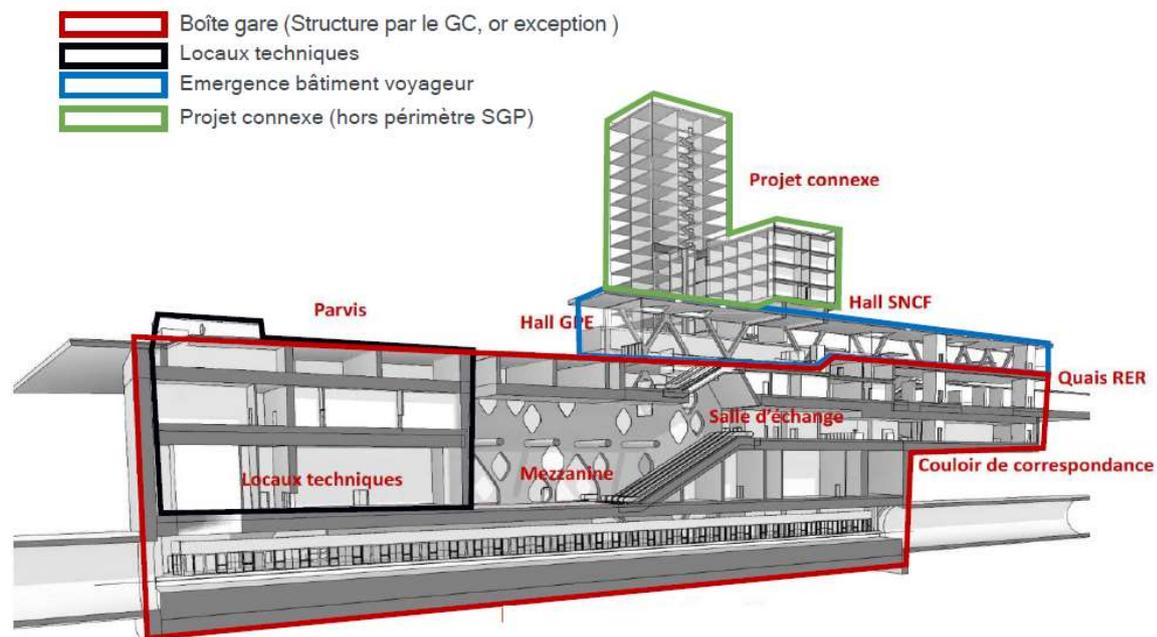


Figure 20 Schéma de principe des limites entre les différents travaux d'infrastructures

Les émergences ne sont pas comprises dans les lots de Génie Civil et sont donc réalisées par les titulaires des marchés CEA-CET.

Les différents corps d'états inclus dans les CEA-CET sont :

- Gros-œuvre (terrassements complémentaires, structure béton des émergences, maçonneries intérieures...)
- Etanchéité - couverture / Bardage / Charpente
- Vitreries et serrureries, gardes corps, parois vitrées, gaines d'ascenseurs
- Métallerie - menuiserie métallique, escaliers, échelles, garde-corps, portes, grilles
- Revêtements sols, murs, faux plafonds
- Menuiseries intérieures, mobilier, signalétique
- Peinture sols, murs
- CFO distribution à partir des TGBT, éclairage normal et de sécurité
- CFA billettique, contrôle d'accès et anti-intrusion, vidéosurveillance, sonorisation et information voyageurs, téléphonie et interphonie
- Plomberie - protection incendie
- CVC, désenfumage gare
- VRD et aménagement paysager

Les marchés incluent également les études d'exécution, le BIM, la Synthèse / OPC avec les lots en interface et la Maintenance en condition opérationnelle (MCO) des équipements installés jusqu'à la mise en service de la ligne. Ils sont allotés en trois lots d'ouvrages annexes et douze lots gares.

Au cours de mon stage est venu un moment où il était question de ma continuation au sein du projet après mon stage. On m'a donné l'opportunité de prendre le rôle de coordination des marchés CEA-CET au sein de l'AMOG de la L15 Sud.

J'arrive à ce poste à un moment essentiel du projet et il est ardu de prendre le train en marche sachant qu'il est à pleine vitesse.

Planning



Figure 21 Planning DCE CEA-CET

L'ajustement du PRO-b intervient avant la rédaction du Dossier Consultation des Entreprises (DCE) alors que les travaux de GC sont bien entamés. Il s'agit de mettre à jour le PRO en fonction de l'avancement réel du projet. Pendant cette période l'AMO doit programmer des ateliers à la demande du MOEI et analyser les différentes pièces au fur et à mesure. Elle renvoie alors ses commentaires au MOEI qui ajuste ses documents pour les insérer au DCE.

Dès la réception des pièces du livrable DCE le MOA et l'AMOG mènent leur analyse. Pendant une durée d'environ 9 semaines, le DCE est analysé et puis il est repris par le MOE avant d'être envoyé aux candidats. Pendant la consultation des entreprises, à la suite des différentes questions que celles-ci sont amenées à poser, le DCE sera de nouveau ajusté.

Quand la consultation est terminée les études d'exécution (EXE) démarrent pour une durée de 9 mois. Elles permettent la réalisation de l'ouvrage en établissant tous les plans d'exécution et spécifications à l'usage du chantier. Durant cette phase les entreprises établissent leur calendriers d'EXE ainsi que leur devis. Le titulaire regroupe les différents plans des intervenants pour effectuer une mission de synthèse. Cette phase est primordiale, notamment pour les marchés CEA-CET, car la multiplicité des acteurs induit de nombreuses interfaces et un besoin important d'arbitrage. Le MOE délivre son visa si à la suite de la synthèse, il constate que les documents respectent les dispositions du projet.

De plus, trois mois après la fin de la consultation, les entreprises CEA-CET peuvent prendre possession du site et six mois après la mise à disposition du site par les entreprises GC, les travaux peuvent démarrer. Ainsi pour optimiser le planning l'enjeu est de faire correspondre la fin des EXE avec la mise à disposition par les entreprises de GC.

2. Le risque d'incohérence

Les DCE des marchés CEA-CET de la Ligne 15 Sud sont les premiers à être établis (en parallèle de ceux de la Ligne 16), on ne peut donc se reposer sur aucun retour d'expérience d'autres lignes. Il aurait été intéressant d'en disposer car la complexité du projet va être décuplée entre les phases GC et CEA-CET. En effet, les marchés sont beaucoup plus nombreux avec 15 lots CEA-CET, qui cohabitent avec les Systèmes et les différents marchés de fournitures non inclus au périmètre CEA-CET.

L'allotissement des marchés TCE actuel est constitué de 12 lots gares et 3 lots d'ouvrages annexes (1 lot pour le tronçon 3 et 2 pour le tronçon 2). Cela permet un pilotage opérationnel des marchés des gares par les chefs de projet des secteurs et des marchés des ouvrages annexes à l'échelle d'un tronçon, en cohérence avec l'organisation de la DP15 Sud. Les consultations et travaux sont échelonnés afin d'éviter une saturation du marché et un surcoût lié à un manque de concurrence. De plus cela permet de lisser la charge de travail des MOEI, entreprises, MOA et AMOG.

Lors des ajustements du DCE, de nombreuses pièces sont reprises ce qui pose un gros problème de gestion et suivi des versions. En effet les premiers marchés sont passés avec une première version des pièces, mais elles peuvent par la suite être modifiées pour un marché ultérieur. Ainsi, les pièces n'auront pas de version homogène sur l'ensemble des marchés ce qui peut créer des confusions. On a donc un risque d'incohérence entre les différents lots, car le MOA modifie les exigences et les pièces communes aux différents lots. Il est nécessaire de limiter ces incohérences en suivant les modifications des différentes pièces des DCE et d'établir des retours d'expérience au sein de la 15 Sud.

3. Le travail de pilotage et d'homogénéisation

Pilotage du planning

Une de mes premières tâches lorsque j'ai commencé à travailler sur la question des marchés CEA-CET fut de regrouper les informations déjà existantes pour établir un calendrier de pilotage des marchés. C'est un outil essentiel car il permet de répartir les charges de travail dans le temps entre les différents acteurs et réduire les difficultés aux interfaces.

En effet si on connaît l'impact du décalage actuel sur l'interface GC/TCE, on va pouvoir limiter les surcoûts de gardiennage des ouvrages après la fin des travaux GC en faisant le transfert de gestion des emprises et des installations de chantier d'un lot à un autre de manière optimale. De plus il faut lisser la charge des marchés de travaux et fournitures de Systèmes, notamment les lots HT/BT et Traction.

Jouer sur le calendrier nous permet de prioriser l'aménagement et l'équipement des ouvrages critiques pour la mise en service de la ligne, on détermine alors le besoin travaux au plus tard en tenant compte de la durée prévisionnelle des travaux de chaque ouvrage.

La recherche d'optimisation

Lorsque l'on a réceptionné le DCE V0 d'une gare, nous effectuons en parallèle de la MOA notre analyse des différentes pièces. Il s'agit de vérifier la cohérence et le respect des exigences au sein du DCE. Lorsque cette phase d'analyse se termine, l'AMO regroupe les avis pour envoi au MOEI.

Commence alors l'ajustement du DCE V0. Pendant cette période, j'ai pu participer à différents ateliers d'échange avec le MOEI afin de trouver des pistes d'optimisation. A la fin de cette série d'échanges, l'AMOG rédige conjointement avec la MOA une note de cadrage rappelant au MOEI les différentes modifications à apporter au DCE.

Ainsi le DCE V1 est publié et démarre alors la consultation avec les entreprises.

Lors de mon stage j'ai participé à différentes phases de l'ACT CEA-CET mais cela sur plusieurs lots. Cela m'a permis de comprendre les enjeux propres à chaque étape assez rapidement. Cependant travailler en simultané sur plusieurs lots peut être complexe car les périodes intenses peuvent s'accumuler.

Task Force

Étant donné la nature transverse des questions d'optimisation CEA-CET à travers les lignes du GPE, une «Task-Force» a été constituée pour une action «coup de poing» sur deux mois afin de lever les difficultés rencontrées durant les premiers appels d'offres (L15S, L16) concernant les corps d'état secondaires et proposer des mesures à adapter par les directions de projet avec leur(s) maître(s) d'œuvre(s) en fonction de leurs objectifs et des spécificités sectorielles.

Cette «Task-force» constituée par la DPMO, DMPC et DP du MOA et l'AMOG recherche notamment les simplifications possibles sur les exigences techniques et sur les sur-spécifications des CEA-CET qui pourrait être à l'origine d'un surcoût.

Ainsi, à la suite des conclusions de la Task-Force, les pièces du DCE ont été simplifiées et on a établi des pièces dites de référence, applicables aux différents lots.

Conclusion

Je voulais que ce stage me permette de comprendre le déroulement d'un projet d'infrastructure et les métiers qui s'y développent. Le fait qu'Artémis œuvre sur un projet aussi exceptionnel que le GPE a rendu l'apprentissage d'autant plus enrichissant que plus ardu.

En effet prendre le train en marche s'est avéré difficile. Il m'a fallu comprendre qui étaient les différents acteurs du projet et quels étaient leurs rôles. Le GPE est un projet hors norme et l'organisation nécessaire pour piloter un tel projet est tout aussi complexe. Mais j'ai pu au sein de l'équipe transverse de la L15 Sud prendre le temps de m'immerger dans le projet, à chaque étape accompagnée par la bienveillance de mes collègues.

J'ai donc pris mes marques, en travaillant d'abord sur la gestion des risques. L'apprentissage de la méthodologie et la mise à jour des registres m'a permis d'échanger avec de nombreux membres de l'équipe. La démarche risque m'a permis d'appréhender le pilotage du projet.

Par la suite, j'ai pu mener indépendamment un projet visant à simplifier les échanges au sein du projet. Le développement du BIM 4D pour la 15 Sud a été riche d'apprentissage à la fois en ce qui concerne l'outil, avec Revit et Navisworks, mais aussi en pour comprendre les besoins d'amélioration de pilotage du projet.

En juin, on m'a proposé de continuer l'expérience Artemis en prenant le poste de coordinatrice CEA-CET. Riche des enseignements précédents de mon stage, je me suis appropriée les problématiques de ces marchés en participant à leur pilotage.

Tout ce que j'ai entrepris en six mois n'a pas forcément été directement utilisé par le projet, certaines idées n'ayant pas été à ce stade retenues, d'autres n'étaient simplement pas applicables. Cependant rien n'a été vain car je pense avoir tiré des enseignements de tout ce que j'ai entrepris.

Glossaire

ACT	Assistance pour la passation des contrats de travaux
AMOG	Assistance à maîtrise d'ouvrage générale
AVP	Avant-Projet
BIM	Building Information Modeling
CEA-CET	Corps d'états architecturaux-Corps d'états techniques
CFO	Courants Forts
CFA	Courants Faibles
COP	Conducteur d'Opération
CVC	Chauffage Ventilation Climatisation
DCE	Dossier de Consultation des Entreprises
DET	Direction de l'Exécution des Contrats de Travaux
DP	Direction de Projet
DSTE	Direction des Systèmes de Transport et de l'Exploitation
ERP	Etablissement Recevant du Public
EXE	Etudes d'exécution
GC	Génie Civil
GPE	Grand Paris Express
HTBT	Haute Tension / Basse Tension
MCO	Maintien en Condition Opérationnel
MOA	Maître d'Ouvrage
MOE	Maître d'Œuvre
MR	Matériel Roulant
RCC	Référent coût-contrat
SGP	Société du Grand Paris
SSI	Système de Sécurité Incendie
VRD	Voirie et Réseau Divers

Bibliographie

Le Grand Paris Express en résumé. (2019, Juillet). Récupéré sur <https://www.societedugrandparis.fr/>

Magdelénat, E. (2015). *Synthèse sur les gains d'accessibilité permis par la mise en service de la ligne 15 Sud.*
Service de la connaissance des Etudes et de la Prospective.

Ministère de la cohésion des territoires. (s.d.). *Le Nouveau Grand Paris : un projet par et pour les Franciliens.*
Récupéré sur : http://www.cohesion-territoires.gouv.fr/spip.php?page=article-sous-site&id_article=40&sommaire=20

Ministère de l'Ecologie, du développement durable, des transports et du logement; Ministère , de l'économie des finances et de l'industrie (2012). *Cahier des clauses techniques générales applicables aux marchés publics de travaux.*

SGP. (2013). *Dossier d'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique.*

SGP. (2013). *Etude d'impact de la ligne 15 Sud.*

SGP. (2016). *Plan de management de projet Ligne 15Sud-16-17.*

SGP. (2016). *Plan de Management des Risques.*

Annexes

Annexe 1: Les Chantiers du GPE au 31 Mars 2019

Annexe 2: Registre des risques

Annexe 3: Echelle criticité des risques

Annexe 4: Maquette Obeya

Annexe 5: Algorithme Dynamo

Registre des risques

Rattachement du risque				Identification du risque							
Famille de Macro-risques	Macro-risques	Numéro du risque	Lot concerné	Risque (Description de l'événement redouté)	Contexte (Description des sources/ causes du risque)	Conséquences (Description des conséquences en terme de coûts, délais, image, sécurité)	Période d'exposition Phase du projet	Période d'exposition (Année)	Statut	Type de risque contractuel (1,2,3) (le cas échéant)	Code RRT contractuel (le cas échéant)
Risques_de_Lot_GC_Sy systèmes_TCE_SMR_L	CONT_Gestion contractuelle des marchés travaux (Achat, gestion contractuelle, Primes /Pénalités...)	1	XX	Demandes complémentaires et extra- contractuelles de la SGP	Contexte évoluit au sein de la SGP Les événements passés sur la première année de contrat donnent des réclamations sensibles de l'entreprise.	Réclamations et droits à délais (cf retard multidimensionnel sur TSM)	Fin chantier		Actif	NA	NA
Risques_de_Lot_GC_Sy systèmes_TCE_SMR_L	INT_ Interface interne (entre Iot)	2	XX	Maîtrise insuffisante de la co-activité entre Iot systèmes et Iot GC: - puits d'entrée, - interfaces avec dalles mezzanine dans les gares (non achevées alors que les systèmes interviennent)	Utilisation d'une seule terminie pour 3 Iots	Dérive des délais, sécurité des ouvriers sur chantier	Fin chantier		Actif	NA	NA
Risques_de_Lot_GC_Sy systèmes_TCE_SMR_L	CONT_Gestion contractuelle des marchés travaux (Achat, gestion contractuelle, Primes /Pénalités...)	5	XX	Débits de hauteur plus importants que prévu	Estimation réalisée par le MOE non fiable	Réclamation entreprise et surcoût Dégradation de la relation avec l'exploitant du réseau	Phase Travaux	2018-2022	Actif	NA	NA
Risques_de_Lot_GC_Sy systèmes_TCE_SMR_L	TEC_Technique	6	XX	Réclamations carème	Incertitudes sur les conditions géotechniques du marché	Réclamations de l'entreprise et impact délais sur le Iot. Interfaces avec autres marchés à travailler	Phase Travaux	2018-2022	Actif	3	NA

Annexe 2 : Registre des risques

Criticité initiale						Criticité à date						Suivi des actions					
Occurrence	Impact coûts	Impact délais	Autres impacts Gravité (valeur la plus élevée des impacts)	Criticité	Evolution de la criticité	Propriétaire du risque	Actions de prévention	Avancement de la réalisation des actions de Prévention	Date de fin prévue	Porteur du risque	Actions de traitement en cas d'occurrence du risque						
3	#	#	3	9	→	DPA	Limiter les évolutions du programme et mesurer leurs impacts. Respecter le processus de gestion des évolutions	Mise en place actions de traitement	40%	DP 15 Sud							
4	#	#	3	12	→	DPA	Partage du planning et du passage avec les systèmes (LT tunnel)	Réalisation des actions de traitement	60%	DPA et RCC							
2	#	#	1	2	↕	DPA	Faire analyser les demandes de l'entreprise par le MOE	Mise en place actions de traitement	40%	MOE RCC							
4	#	#	3	12	→	DPA	Suivi du sujet en CTS Suivi quotidien des travaux par le MOE	Mise en place actions de traitement	40%	MOE RCC							

Annexe 3 : Echelle criticité des risques

Probabilité d'occurrence :

Niveau	Qualification	Echelle	A préciser	Justification (indicatif)
4	Très probable	>75%	Période d'exposition du risque identifié (période de référence pour le pourcentage d'occurrence)	<ul style="list-style-type: none"> Retours d'expérience sur projets présentant des similitudes Occurrence des facteurs déclenchant avec argumentation concrète Dires d'expert avec exemples Sources associées aux justifications
3	Probable	<50 à 75% inclus		
2	Assez probable	<10 à 50% inclus		
1	Peu probable	≤ 10%		

Gravité – impact coûts :

Niveau	Qualification	Echelle	Justification (indicatif)
4	Majeur	> 20 M€	<ul style="list-style-type: none"> Evaluation des actions préventives envisagées pour minorer l'impact ou l'occurrence du risques Evaluation des actions correctives envisagées en cas de survenance du risque pour retour en situation nominale Présentation des plans d'actions Sources associées aux justifications
3	Fort	5 M€ à 20 M€	
2	Moyen	1 M€ à 5 M€	
1	Faible	< 1 M€	

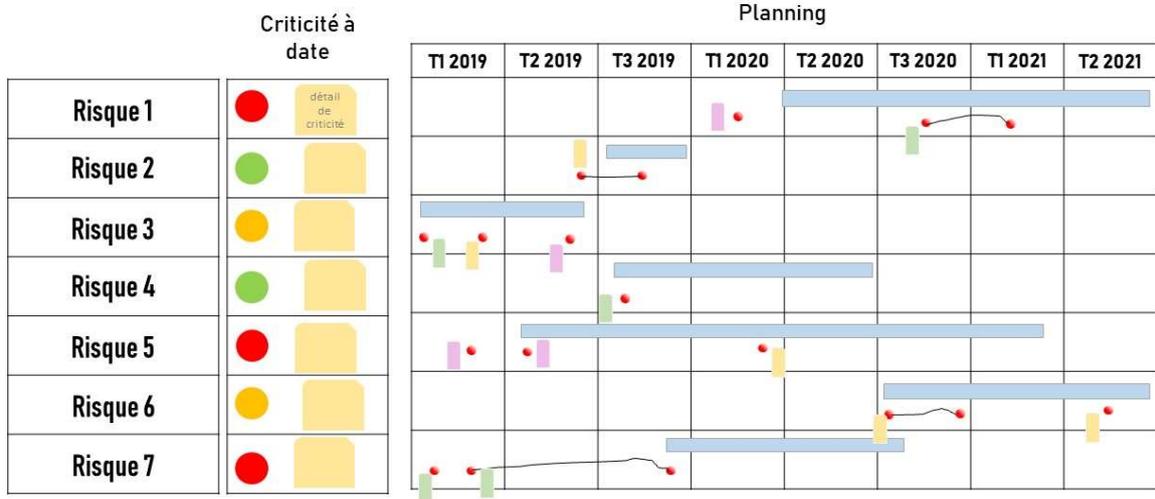
Gravité – impact délai :

Niveau	Qualification	Echelle en lien avec les jalons du planning référence (GT4)	A préciser	Justification (indicatif)
4	Majeur	Tout impact sur le jalon de mise en service d'une ligne Tout impact sur un jalon d'interface tiers critique	Impact en nombre de mois	<ul style="list-style-type: none"> Retours d'expérience sur projets présentant des similitudes Dires d'expert avec exemples de réalisation Présentation et évaluation des actions préventives ou correctives dans leur impact planning Sources associées aux justifications
3	Fort	Tout impact sur un jalon d'interface sur le chemin critique d'une ligne Tout impact sur un jalon d'interface transverse ou inter-ligne		
2	Moyen	Tout impact sur un jalon d'interface non critique (marchés propres à la ligne)		
1	Faible	Tout impact sur un jalon d'interface entre deux contrats d'un même prescripteur ou sur un jalon contractuel non critique		

Gravité – Autres impacts :

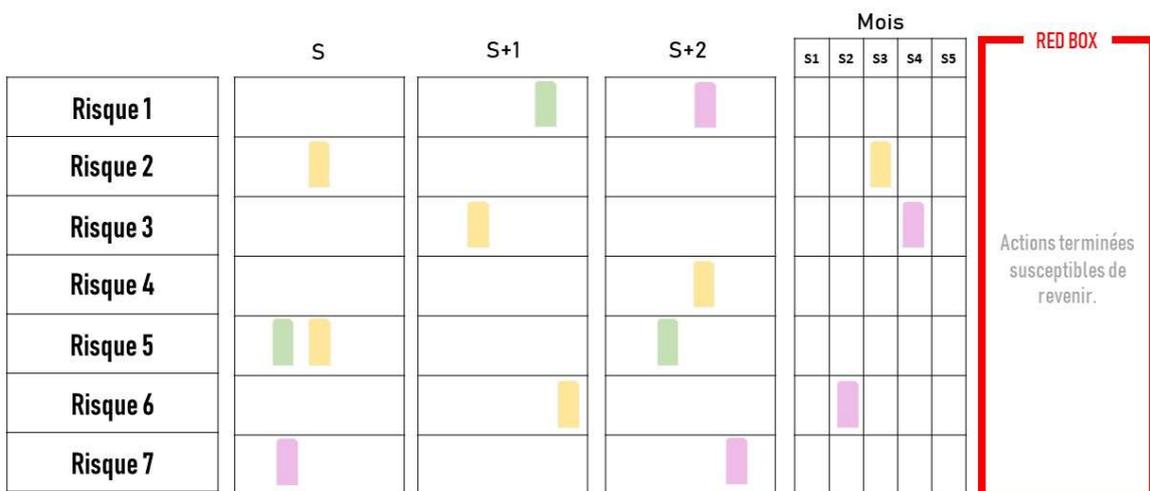
Niveau	Qualification	Echelle en lien avec les jalons du planning référence (GT4)	A préciser	Justification (indicatif)
4	Majeur	Tout impact sur le jalon de mise en service d'une ligne Tout impact sur un jalon d'interface tiers critique	Impact en nombre de mois	<ul style="list-style-type: none"> Retours d'expérience sur projets présentant des similitudes Dires d'expert avec exemples de réalisation Présentation et évaluation des actions préventives ou correctives dans leur impact planning Sources associées aux justifications
3	Fort	Tout impact sur un jalon d'interface sur le chemin critique d'une ligne Tout impact sur un jalon d'interface transverse ou inter-ligne		
2	Moyen	Tout impact sur un jalon d'interface non critique (marchés propres à la ligne)		
1	Faible	Tout impact sur un jalon d'interface entre deux contrats d'un même prescripteur ou sur un jalon contractuel non critique		

PLANIFIER



RÉALISER

Planning de suivi des actions



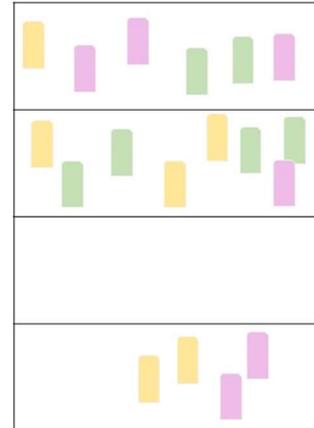
VÉRIFIER

DOING

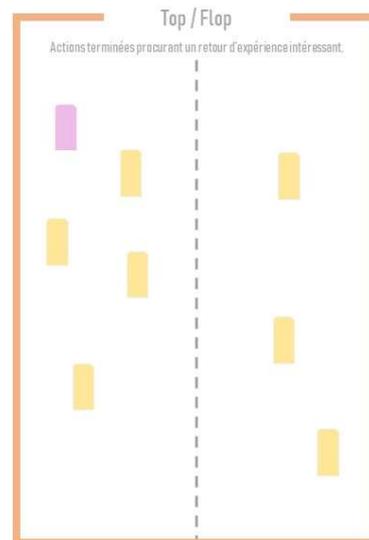
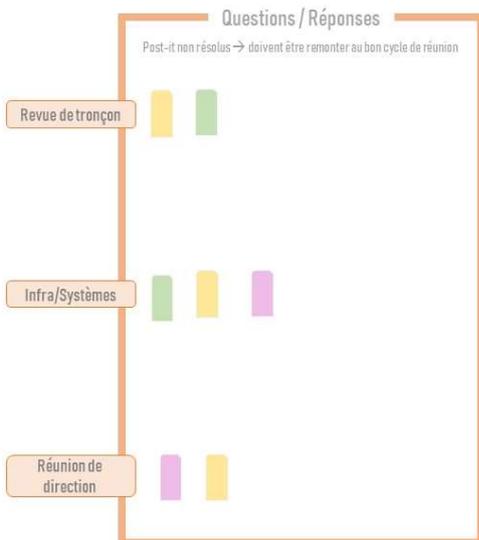
Risque 1
Risque 2
Risque 3
Risque 4

Actions	Avancement
Action 1.4	10%
Action 1.5	30%
Action 1.6	40%
Action 2.3	50%
Action 2.4	10%
Action 2.5	0%
Action 3.1	20%
Action 3.2	20%
Action 3.3	10%
Action 4.5	5%
Action 4.6	60%
Action 4.7	10%

DONE



AMÉLIORER



Annexe 5 : Algorithme Dynamo

