

Optimisation d'un suivi de chantier d'excavation de terres polluées du Grand Paris Express

Rapport de MASTER PROFESSIONNEL

Mention : Chimie

Spécialité : SCIENCES ET INGÉNIERIE DE L'ENVIRONNEMENT

Présenté et soutenu publiquement
Le 19 Septembre 2018
A l'Université d'Angers

Par Clément LELIÈVRE

Lieu de stage : Suez RR IWS Remédiation, 15 route de bassin n°5 92230 GENNEVILLIERS
Maître de stage : Julie ABADIE, Ingénierie travaux
Tuteur universitaire : Tony BRETON, Enseignant chercheur

Optimisation d'un suivi de chantier d'excavation de terres polluées du Grand Paris Express

Rapport de MASTER PROFESSIONNEL

Mention : Chimie

Spécialité : SCIENCES ET INGÉNIERIE DE L'ENVIRONNEMENT

Présenté et soutenu publiquement
Le 19 Septembre 2018
A l'Université d'Angers

Par Clément LELIÈVRE

Lieu de stage : Suez RR IWS Remédiation, 15 route de bassin n°5 92230 GENNEVILLIERS
Maître de stage : Julie ABADIE, Ingénierie travaux
Tuteur universitaire : Tony BRETON, Enseignant chercheur

Engagement de non-plagiat

Je, soussigné(e) , déclare être pleinement conscient(e) que le plagiat de documents ou d'une partie d'un document publiés sur toutes formes de support, y compris l'internet, constitue une violation des droits d'auteur ainsi qu'une fraude caractérisée. En conséquence, je m'engage à citer toutes les sources que j'ai utilisées pour écrire ce rapport ou mémoire.

Signature :

MASTER PROFESSIONNEL	
<i>Mention : Chimie</i>	
<i>Spécialité : Sciences et Ingénierie de l'Environnement</i>	
PROMOTION : 2017-2018	DATE DE SOUTENANCE : 19 Septembre 2018
AUTEUR : Clément LELIÈVRE	LIEU DE STAGE : Suez Remédiation, 15 route du bassin n°5 92230 GENNEVILLIERS
MAÎTRE DE STAGE ENSEIGNANT : Tony BRETON	MAÎTRE DE STAGE PROFESSIONNEL : Julie ABADIE
TITRE : Optimisation d'un suivi de chantier d'excavation de terres polluées du Grand Paris Express	
MOTS CLÉS : Grand Paris Express, Métro, Sols pollués, Evacuation, Suivi, Optimisation	
<p>RÉSUMÉ : Suez Remédiation, appartenant au groupe Suez qui est leader dans la gestion des ressources, est spécialisé et certifié dans la réhabilitation des sites et sols pollués. Dans ce cadre, l'entreprise intervient comme sous-traitant auprès de Bouygues Travaux Publics pour le diagnostic et l'évacuation de terres polluées au droit d'une future gare de métro pour le Grand Paris Express. Le Grand Paris Express est un grand projet urbain consistant en la création de quatre nouvelles lignes et l'extension de deux lignes déjà existantes. Cela représente un tracé de 200 km de métro et la création de 68 nouvelles gares. C'est ainsi que pour la construction de la future gare de métro Fort d'Issy-Vanves-Clamart, Suez Remédiation est intervenu dans un premier temps pour le diagnostic de l'ensemble du volume de terre à évacuer. Cette phase de diagnostic a permis d'effectuer un plan de maillage en fonction de la qualité des terres. Suez intervient dans un deuxième temps pour l'évacuation des terres en filières adaptées. Pour ces évacuations de terres, la Société du Grand Paris, maître d'ouvrage du Grand Paris Express, impose une grande traçabilité des déblais. Ce stage a pour but d'assurer une optimisation du suivi quotidien des évacuations afin d'améliorer la saisie de différentes données et l'exploitation de ces données. L'optimisation d'un chantier passe également par l'anticipation des déclassements de mailles par l'analyse des sondages et les observations de terrain.</p>	
<p>ABSTRACT: Suez Remédiation, belonging to the Suez group, which is a leader in resource management, is specialized and certified in the rehabilitation of polluted sites and soils. In this context, the company takes part as a subcontractor with Bouygues Travaux Publics for the diagnosis and evacuation of polluted land for a future subway station for the Grand Paris Express. The Grand Paris Express is a major urban project consisting of the creation of four new lines and the extension of two existing lines. This represents 200 km of subway and the creation of 68 new stations. Thus, for the construction of the future Fort d'Issy-Vanves-Clamart subway station, Suez Remédiation intervened initially to diagnose the entire volume of land to be evacuated. This diagnostic phase allows for a grid plan based on the quality of the land. Suez takes parts in a second time for the evacuation of lands in sectors. For these evacuations of land, the Société du Grand Paris, owner of the Grand Paris Express, imposes a great traceability of the excavations. The purpose of this internship is to optimize the daily monitoring of evacuations in order to improve the capture of various data and the exploitation of this data. The optimization of a site also involves anticipating the decommissioning of meshes by the analysis of soundings and field observations.</p>	
Je soussigné(e)..... Maître de stage professionnel de	
.....	
AUTORISE ou N'AUTORISE PAS (1) : la publication des sources bibliographiques, des résumés français, anglais	
AUTORISE ou N'AUTORISE PAS (1) : le dépôt du mémoire dans une bibliothèque	
Date :	Signature du Maître de stage :

(1) Rayer la mention inutile

UNIVERSITÉ D'ANGERS – UFR Sciences – 2 Bd Lavoisier – 49045 ANGERS Cedex 01

Remerciements

Mes remerciements s'adressent dans un premier temps au directeur Michel BRUN pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein de l'agence de Gennevilliers de Suez Remédiation.

Je tiens tout particulièrement à remercier Julie Abadie, ma maître de stage, pour son suivi, sa patience, pour ses conseils et son intérêt pour mon travail.

Enfin, je tiens à remercier tous les membres du bureau pour leur accueil chaleureux, leur patience, leur gentillesse et leur bonne humeur générale.

Sommaire

Remerciements	VI
Sommaire	VII
Liste des figures	IX
Liste des tableaux	IX
Liste des abréviations par ordre alphabétique	X
Glossaire	XI
Introduction	1
1. Présentation de l'entreprise	2
1.1. Le groupe SUEZ	2
1.2. Industrial Waste Specialties	3
1.3. Suez Remédiation	4
1.3.1. Établissement de Gennevilliers	5
1.3.2. Les certifications de Suez	5
2. Le Grand Paris Express	6
2.1. Présentation du projet	6
2.2. Les enjeux liés à l'évacuation des terres	7
2.2.1. Volumes générés	7
2.2.2. Qualité des terres	8
2.2.3. Traçabilité	9
2.2.4. Valorisation	11
2.2.4.1. Valorisation matière	11
2.2.4.2. Valorisation volume	12
2.2.4.3. Un exemple de valorisation : le biocentre	12
3. La gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart	12
3.1. Description du projet	12
3.2. Les acteurs	13
3.3. La « boîte » gare	14
4. Optimisation du suivi de chantier	18
4.1. Création d'une application	18
4.2. Anticipation des dérives	20

4.2.1. Fiche de sondage.....	21
4.2.2. L'analyse des fiches de sondage	21
Conclusion.....	24
Bibliographie	25
Annexes.....	26

Liste des figures

Figure 1 : Le groupe Suez (source : document interne)	2
Figure 2 : Chiffres clés de 2016 (source : document interne).....	3
Figure 3 : Branche Recyclage & Valorisation (source : document interne).....	3
Figure 4 : Business Unit IWS (source : document interne)	4
Figure 5 : Implantation de Suez Remédiation en France (source : document interne).....	4
Figure 6 : Tracé du Grand Paris Express (source : SGP).....	7
Figure 7 : Représentation de la quantité de déblais (source : SGP).....	8
Figure 8 : Volume et qualité des déblais pour chaque ligne (source : SGP).....	8
Figure 9 : Qualité prévisionnelle des déblais (source : SGP).....	9
Figure 10 : Exemple de visuels d'écran de l'outil de traçabilité des déblais de la Société du Grand Paris – SGP (2016)	11
Figure 11 : Projection de la gare FIVC (source : Philippe Gazeau Architecte)	13
Figure 12 : Image satellite de la future gare FIVC (source : Google Maps)	15
Figure 13 : Plan de maillage (source : document interne)	16
Figure 14 : Schéma de la lithologie de la boîte gare	18
Figure 15 : Interface de saisie de l'outil (source : document interne)	19
Figure 16 : Interface de l'application web (source : document interne)	20
Figure 17 : Liste des expéditions sur l'application web (source : document interne)	20
Figure 18 : Procédure de déclassement d'une maille Biocentre en ISDI	23

Liste des tableaux

Tableau I : Seuils d'acceptation sur éluat en ISDI (source : legifrance).....	17
Tableau II : Seuils d'acceptation sur brut en ISDI (source : legifrance).....	17
Tableau III : Coût de traitement des terres pour chaque filière (hors TGAP).....	22

Liste des abréviations par ordre alphabétique

Bio : Biocentre

COV : Composés Organiques Volatils

ISDD : Installations de Stockage de Déchets Dangereux

ISDI SA : Installations de Stockage de Déchets Inerte à Seuils Augmentés

ISDI : Installations de Stockage de Déchets Inertes

ISDND : Installations de Stockage de Déchets Non Dangereux

SGP : Société du Grand Paris

GPE : Grand Paris Express

FIVC : Fort d'Issy-Vanves-Clamart

IWS : Industrial Waste Specialties

PID : DéTECTeur par Photo-Ionisation

TGAP : Taxe Généralisée sur les activités polluantes

Glossaire

Déblais : Les déblais sont des matériaux naturels (ensemble des terres et gravats) issus de terrassements et d'excavations de tranchées. Un déblai est considéré comme un déchet lorsqu'il n'est pas réutilisé sur le lieu où il a été produit et qu'il sort donc de l'emprise du chantier [Circulaire du 24/12/2010].

Excavation : Action de creuser un terrain

Exutoire : Site d'accueil définitif des déblais.

Valorisation : Toute opération dont le résultat principal est que des déchets servent à des fins utiles en substitution à d'autres substances, matières ou produits qui auraient été utilisés à une fin particulière, ou que des déchets soient préparés pour être utilisés à cette fin, y compris par le producteur de déchets

Introduction

Suez Remédiation est une entreprise du groupe Suez qui est l'un des leaders mondiaux dans la gestion des ressources. L'entreprise est spécialisée dans la réhabilitation des sites et sols pollués depuis plus de 25 ans. Elle dispose d'un ensemble de solution permettant de répondre aux attentes de ses différents clients. Dans ce cadre, Suez Remédiation a été mandaté par Bouygues Travaux Publics afin d'assurer le suivi, le transport et le traitement de terres excavées polluées sur l'emprise d'une future gare de métro entrant dans le projet du Grand Paris Express.

Le Grand Paris Express est le plus grand projet urbain en Europe et est considéré comme le chantier du XXI^e siècle par beaucoup d'acteur. Il consiste en la création de quatre nouvelles lignes de métro et la prolongation de lignes déjà existantes. Essentiellement souterrain, le nouveau métro traversera les territoires du Grand Paris pour les relier entre eux et à la capitale. Grâce à lui, il sera plus simple de se rendre d'un point à l'autre de l'Île-de-France sans passer par Paris, mais aussi de rejoindre plus rapidement le cœur de la capitale depuis sa périphérie. Nouvelle alternative à la voiture, le Grand Paris Express réduira la pollution, les embouteillages et contribuera à créer une métropole plus respectueuse de l'environnement.

Ce projet entraînera la production d'une énorme quantité de déblais. La Société du Grand Paris, maîtrise d'ouvrage du projet, s'engage à atteindre un objectif de revalorisation de 70 % des terres excavées pour la construction du Grand Paris Express. Cela passe par des solutions de valorisation des volumes (réutilisation dans le cadre de projets d'aménagement ou de réaménagement de carrières) et des matières (réutilisation dans l'industrie du BTP). Dans ce cadre et en tant que producteur de déchets, la Société du Grand Paris doit pouvoir suivre l'ensemble des déblais évacués à partir des chantiers, et avoir une visibilité sur les sites recevant ces déblais. La traçabilité des déblais est donc un point essentiel du Grand Paris Express.

L'objectif de ce stage est d'apporter des solutions pour optimiser le suivi d'un chantier d'excavation de terres polluées au droit d'une future gare de métro afin d'être plus précis, simple et de limiter ou mieux repérer les erreurs éventuelles. Dans un premier temps, une présentation du groupe Suez permettra d'y exposer les différents métiers. Dans un second temps, une description du Grand Paris Express mettra en lumière les différents enjeux du projet. Cette description sera suivie par la présentation de la gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart pour laquelle Suez Remédiation intervient comme sous-traitant dans le suivi des excavations. Pour finir, les solutions d'optimisation du suivi de chantier seront exposées.

1. Présentation de l'entreprise

1.1. Le groupe SUEZ

Suez est l'un des leaders mondiaux face à l'enjeu de la gestion de la ressource. Le groupe est présent dans 70 pays avec plus de 90 000 collaborateurs. Il opère à travers les 4 branches qui le composent dans la figure 1.

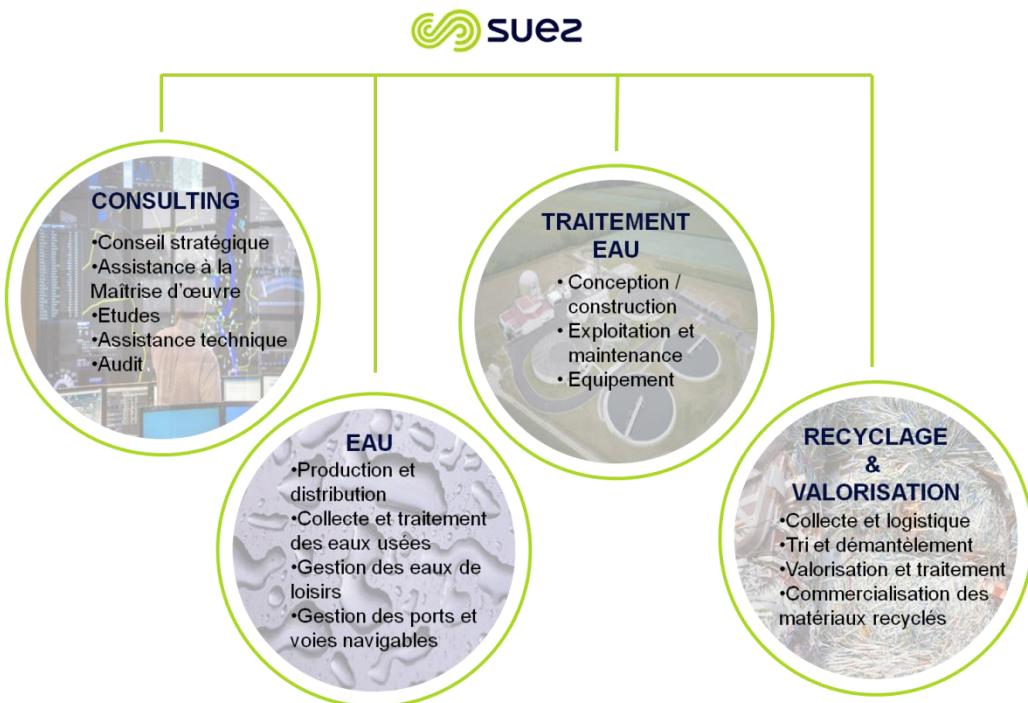


Figure 1 : Le groupe Suez (source : document interne)

L'entreprise aide les villes et les entreprises à optimiser la gestion de l'eau, le recyclage et la valorisation des déchets. La figure 2 présente les différents résultats obtenus dans les principaux domaines d'activités qui sont :

- La gestion intelligente et durable du grand cycle de l'eau,
- Le recyclage et la valorisation des déchets pour produire de nouvelles ressources,
- L'ingénierie, la conception et la fabrication d'infrastructures de traitement,
- Des solutions smart, source de performance opérationnelle et économique, pour des « villes ressources ».

eau potable produite (dans le monde)* 5,3 milliards de m³	eau potable distribuée (dans le monde)* 3 162 millions de m³	eaux usées réutilisées (dans le monde)* 882 millions de m³	eaux usées dépolluées (dans le monde)* 92%
personnes bénéficiant de services de collecte de déchets* 34 millions	déchets traités* 41 millions de tonnes	déchets dangereux traités* 2,9 millions de tonnes	matières valorisées sortant des centres de tri* 10,4 millions de tonnes

Figure 2 : Chiffres clés de 2016 (source : document interne)

La branche Recyclage & Valorisation est divisée en 3 branches différentes dans lesquelles on retrouve notamment la Business Unit Industrial Waste Specialties.

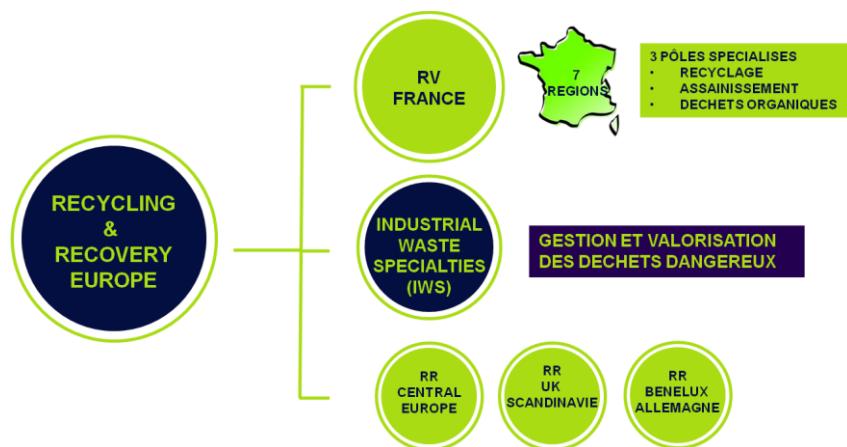


Figure 3 : Branche Recyclage & Valorisation (source : document interne)

1.2. Industrial Waste Specialties

Au sein de SUEZ, SUEZ RR IWS et ses filiales (SUEZ RR IWS Minerals, SUEZ RR IWS Chemicals) est le pôle d'activité spécialisé dans la valorisation et le traitement des déchets dangereux et des sites et sols pollués. SUEZ RR IWS propose des solutions de traitement telles que la dépollution, la réhabilitation des sols, les services et la logistique associés comme indiqué sur la figure 4.

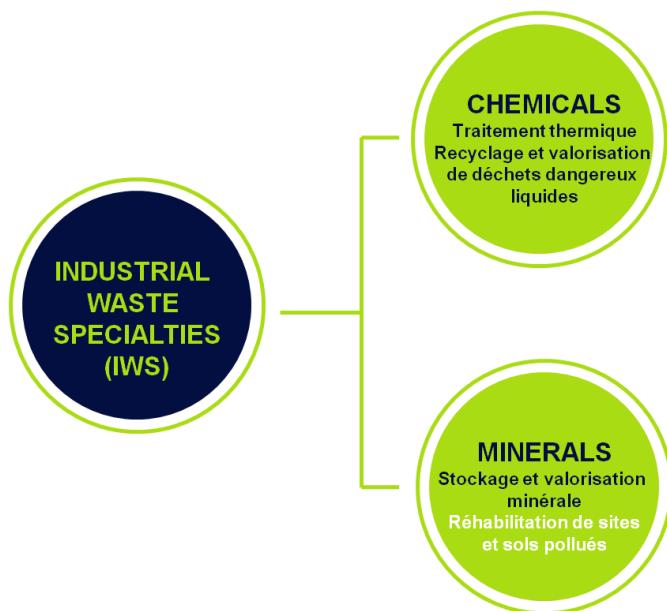


Figure 4 : Business Unit IWS (source : document interne)

1.3. Suez Remédiation

Suez Remédiation est l'entité du groupe Suez spécialisé dans la réhabilitation des sites et sols pollués. Elle dispose d'une expérience de plus de 25 ans dans le domaine, synonyme de savoir-faire auprès des clients. L'entreprise a réalisé un chiffre d'affaire de 55 millions d'euros dans toute la France avec près de 250 collaborateurs répartis en six zones ayant chacune une agence comme représentée sur la figure 5.

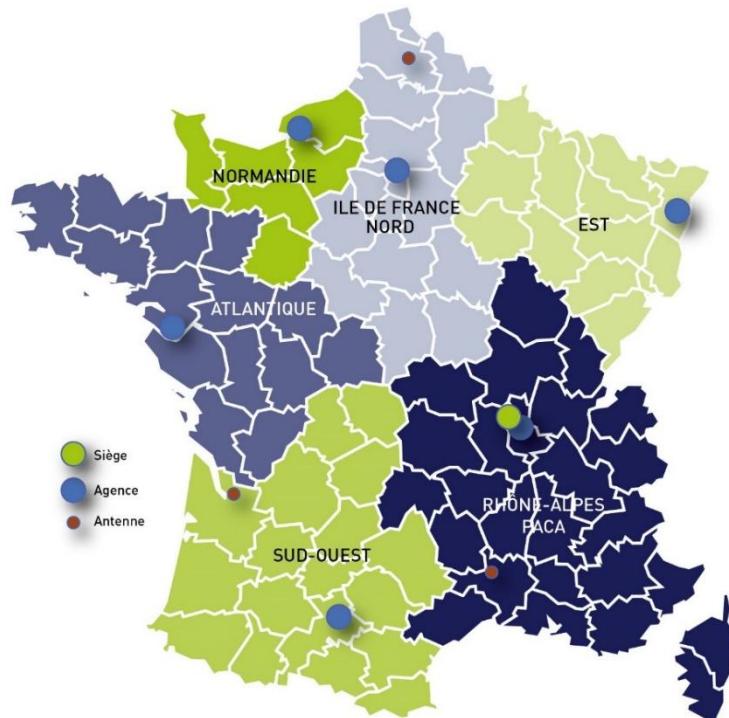


Figure 5 : Implantation de Suez Remédiation en France (source : document interne)

1.3.1. Établissement de Gennevilliers

L'établissement de Gennevilliers est l'établissement principal du secteur Ile-de-France – Nord. Les effectifs sont répartis en 4 pôles différents :

- Le pôle Etude : il réalise toutes les expertises nécessaires (diagnostics, plan de gestion, modélisations) et un accompagnement client avant les travaux de réhabilitation,
- Le pôle In Situ : il s'occupe de tous les chantiers ne nécessitant pas d'excavation des terres et propose des solutions adaptées aux problématiques rencontrées,
- Le pôle Hors Site/On site : Il a en charge tous les chantiers nécessitant une excavation des terres,
- Le pôle Grand Paris est un pôle spécifique crée pour les chantiers du Grand Paris Express. Il permet de mutualiser l'ensemble des compétences du pôle étude, du hors site et du in situ en un seul pôle afin de pouvoir répondre aux différentes caractéristiques des chantiers.

1.3.2. Les certifications de Suez

La certification LNE Sites et Sols Pollués (SSP) est destiné aux entreprises réalisant des prestations dans le domaine des sites et sols pollués selon la norme NFX 31-620. L'obtention de cette certification garantit des prestations conformes à la norme.

Il existe trois domaines dans la norme NFX 31-620, nommés A, B et C. Le domaine A présente les exigences pour des prestations d'étude, d'assistance et de contrôle. Il comprend des offres de prestations globales qui correspondent aux besoins des clients, aux contextes de gestion considérés tel que l'assistance à la maîtrise d'ouvrage, des plans de gestion, l'interprétation de l'état des milieux. Il comprend également des offres de prestations élémentaires telles que des visites de site, des études historiques.

Le domaine B expose les exigences pour des prestations d'ingénierie et de conception des travaux de réhabilitation. Cela couvre entre autres les études de faisabilité et de dimensionnement des travaux.

Le domaine C développe les exigences pour des prestations d'exécution des travaux de réhabilitation et de valorisation des terres. Il encadre toutes les étapes d'un chantier de dépollution, de la préparation jusqu'à la réception des travaux. Il répertorie toutes les techniques de dépollution des sols et des eaux souterraines.

Une entreprise peut être certifiée pour un, deux ou les trois domaines de la norme. En 2012, Suez Remédiation est la première entreprise à obtenir les certifications pour les trois domaines couverts par la norme.

Suez Remédiation détient également la certification MASE (Manuel d'Assurance Sécurité des Entreprises). C'est un système de management de la Sécurité, de l'Hygiène industrielle et de l'Environnement qui vise à améliorer de façon continue les performances des entreprises dans ces domaines. Ce système de management tend vers l'objectif du 0 accident.

Enfin, la certification ISO 9001 assure aux clients une qualité de service et une capacité à satisfaire aux exigences.

2. Le Grand Paris Express

2.1. Présentation du projet

Le Grand Paris Express (GPE) est un projet d'aménagement à l'échelle de la métropole parisienne réalisé par la Société du Grand Paris (SGP) dans le cadre d'un accord avec Ile-de-France Mobilités qui est l'autorité organisatrice des transports dans la région Ile-de-France. Ce projet a pour vocation d'améliorer le cadre de vie des habitants, de corriger les inégalités territoriales et de construire une ville durable. C'est à la fois un défi technique et un enjeu économique, social et culturel qui devrait permettre à des milliers d'utilisateurs de réduire considérablement les temps de trajet.

Le GPE¹ vise à relier entre eux les grands pôles stratégiques de la région Ile-de-France tout en les connectant avec le centre de l'agglomération parisienne. Ainsi, les nouvelles lignes de métro permettront aux trois aéroports de Paris (Roissy-Charles De Gaulle, Orly et Le Bourget) d'être reliés aux différentes gares SNCF grâce à l'interconnexion avec les lignes de métro déjà existantes facilitant ainsi l'usage des transports collectifs. Les banlieues seront désormais reliées permettant des liaisons rapides entre celles-ci en évitant de transiter par le centre de Paris.

Pour cela, le GPE sera composé de l'extension des lignes 11 et 14 et de quatre nouvelles lignes de métro (15, 16, 17 et 18) pour un total de 200 km de tracé majoritairement souterrain, avec la création de 68 gares ainsi que des ouvrages annexes tels que des puits d'aération ou des centres techniques. La figure 6 présente le tracé prévu pour la Grand Paris Express.

¹ GPE : Grand Paris Express

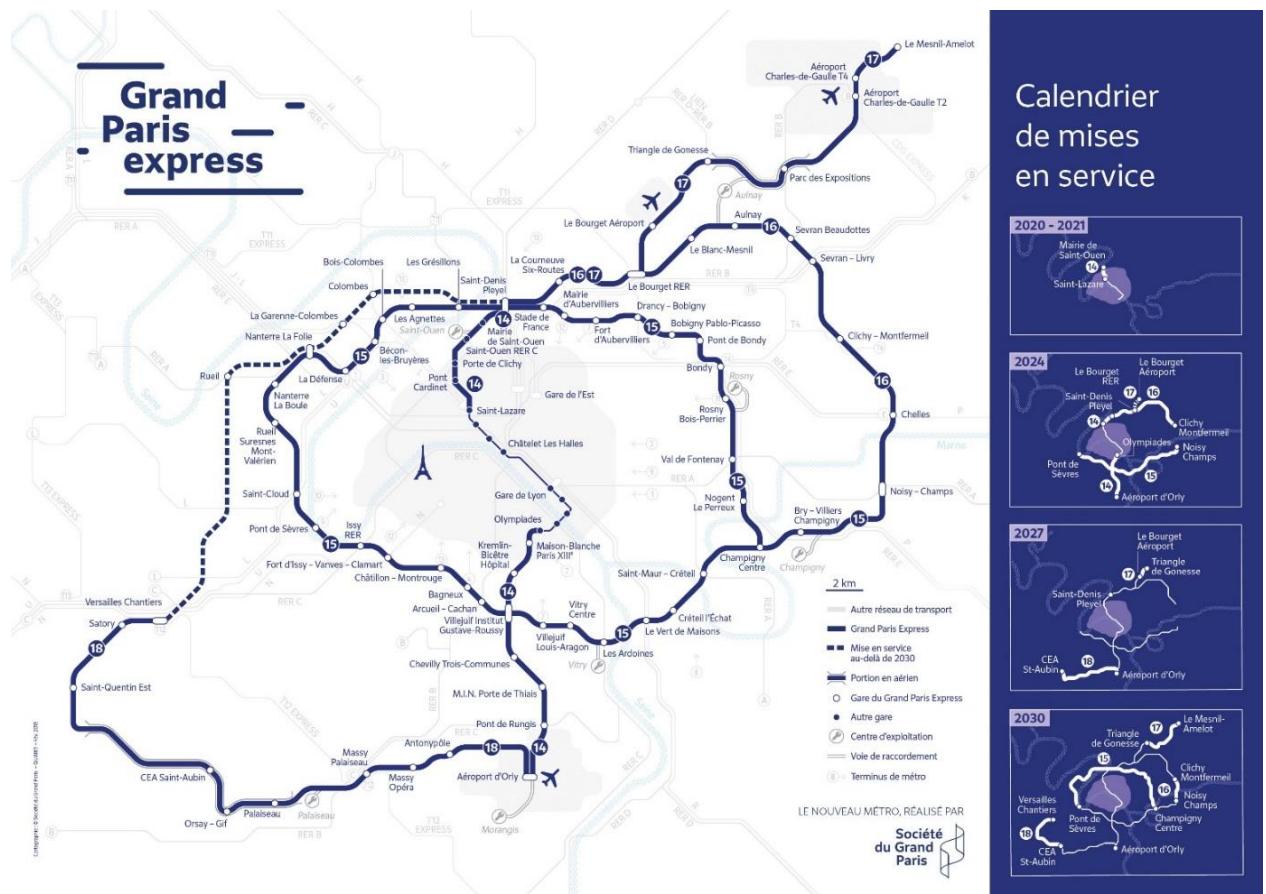


Figure 6 : Tracé du Grand Paris Express (source : SGP)

Plusieurs étapes de mises en service auront lieu au cours de la réalisation des travaux du GPE avec pour but une mise en service complète pour 2030.

2.2. Les enjeux liés à l'évacuation des terres

2.2.1. Volumes générés

Les enjeux de la gestion des déblais pour les travaux du Grand Paris Express sont multiples : économiques, environnementaux et réglementaires. Le volume des déblais généré par la construction des tunnels et des gares sous maîtrise d'ouvrage de la Société du Grand Paris, ainsi que de l'ensemble des autres ouvrages indispensables au fonctionnement du réseau de métro (ouvrages annexes, centre d'exploitation...), est estimé à environ 45 millions de tonnes (sur la base de 2 tonnes pour un m^3).



Figure 7 : Représentation de la quantité de déblais (source : SGP)

Ce volume de déblais est à lisser sur une période d'une dizaine d'années à partir de 2016. En comparaison, le secteur du bâtiment et travaux publics (BTP) produit environ chaque année 30 millions de tonnes de déchets en Ile-de-France. Les déblais du GPE vont représenter l'équivalent de 1,5 années de déchet produit en Ile-de-France sur l'ensemble de la période des travaux. Cela représente une augmentation moyenne des déchets du BTP de 10 à 20 % selon les années. La figure 8 indique les volumes de déblais générés pour chaque ligne.

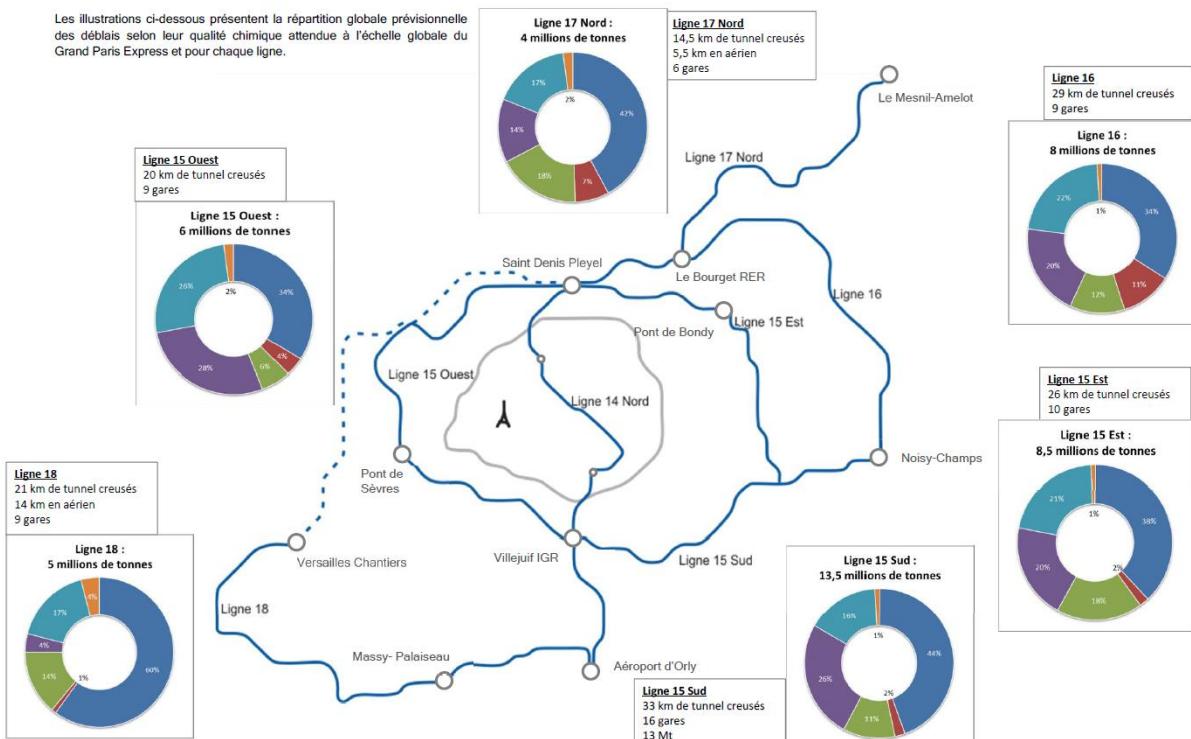


Figure 8 : Volume et qualité des déblais pour chaque ligne (source : SGP)

2.2.2. Qualité des terres

Dès 2014, la SGP a lancé des études et analyses sur les futurs matériaux excavés afin d'évaluer et d'anticiper leur volume et leur qualité. Ces analyses ont mis au jour que seul 40 % des déblais présentent un caractère inerte. Les 60 % restants présentent un caractère non inerte lié à une pollution naturelle ou anthropique. Cependant, comme nous l'indique la

figure 9 ci-dessous, la pollution anthropique ne représente que 2 % des déblais en raison de l'importance de la profondeur d'excavation des terres (de l'ordre de 20 – 30 m voire jusqu'à 50 m).

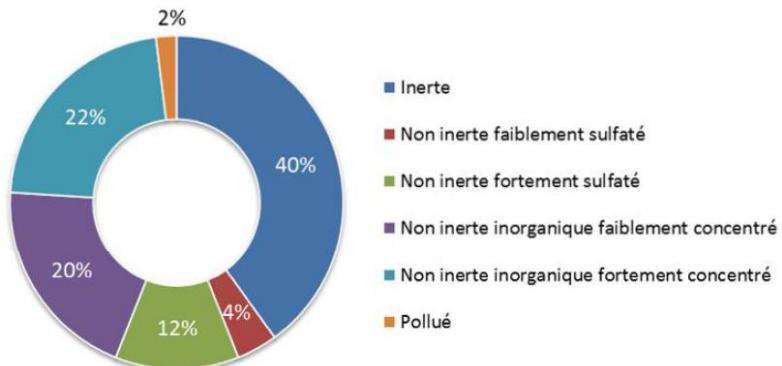


Figure 9 : Qualité prévisionnelle des déblais (source : SGP)

Le caractère non inerte des déblais est donc principalement dû aux caractéristiques naturelles du terrain. En effet, on y retrouve des terrains gypsifères naturellement concentrés en sulfates ou des formations géologiques naturellement riches en métaux et fluorures.

Au regard de la quantité de déblais polluée naturellement en métaux ou en sulfates pour le GPE, les autorités ont posé de nouvelles réflexions quant à la gestion de ces terres. En effet, peut-on vraiment considérer ces terres comme étant polluées ? Cette question supporte un fort enjeu économique du point de vue du choix des exutoires qui peut en découler.

2.2.3. Traçabilité

La responsabilité de la Société du Grand Paris est forte et assumée en tant que producteur de déchets. Les déblais sont, du point de vue réglementaire, des déchets dès qu'ils sortent du site d'excavation. Bien que cela peut être perçue comme une contrainte, la traçabilité est un levier sur lequel la Société du Grand Paris s'appuie, comme gage de la maîtrise des déblais mais aussi comme un atout prépondérant pour l'optimisation de la valorisation. La connaissance de l'origine et de la qualité des déblais sécurise les destinataires des déblais (aménageurs, industriels...) et favorise la valorisation.

La traçabilité des déblais correspond à l'enregistrement de l'ensemble des étapes relatives à la gestion d'un lot de déblais. Cela comprend :

- la caractérisation chimique, géotechnique et environnementale,
- les quantités,
- les méthodes de tri, entreposage, transport et traitement,

- les lieux précis de chargement, transbordement (route/fer/fluvial), traitement ou tri ou de préparation à la valorisation, d'élimination finale ou valorisation,
- les dates de chaque étape (chargement, déchargement),
- les opérateurs impliqués à chaque étape et leur statut dans la chaîne de gestion,
- les lieux de destination finale, qu'ils correspondent à de la valorisation ou à de l'élimination,
- l'enregistrement des contrôles de diverses natures exercés par la Société du Grand Paris ou par tout acteur du projet sur le sujet des déblais (entreprises, co ou sous-traitantes, exutoires, maîtres d'œuvre, etc.).

Seule une traçabilité rigoureuse permet de s'assurer que les déblais sont gérés dans le respect de la réglementation. Le respect de la traçabilité des matériaux excavés constitue un des principaux engagements de la Société du Grand Paris en matière de gestion des déblais. Ainsi, la Société du Grand Paris impose à chaque groupement titulaire d'un marché de génie civil que ces principes de traçabilité s'appliquent à l'ensemble des déblais générés, quelle que soit la quantité, la qualité et la technique de creusement.

Il a été estimé à un minimum de 1 500 000 le nombre de bordereaux de transport à éditer, contrôler, traiter et archiver dans le cadre du présent projet. Ce nombre de bordereaux à traiter, la diversité des formats potentiels et la durée de traitement ont conduit la Société du Grand Paris au constat qu'il fallait disposer d'un format unique pour tous les acteurs des chantiers (200 chantiers environ) et d'un dispositif informatisé et mutualisé. Pour cela, la Société du Grand Paris a mis au point un outil de suivi de la traçabilité pour les chantiers du Grand Paris Express.

Il s'agit d'une application internet qui a pour objectif d'assurer un suivi des terres échangées entre les différents sites et de contrôler le respect de la réglementation. Les utilisateurs de cette application sont les différents acteurs intervenant dans la chaîne de gestion des déblais : les entreprises de génie civil, les exploitants de sites intermédiaires, les gestionnaires d'exutoires, ainsi que les maîtres d'œuvre et le maître d'ouvrage.

Cet outil repose sur la pesée des terres et l'informatisation du processus. Il comporte une saisie immédiate à l'émission et à la réception de chaque lot de déblais. La figure 10 est un exemple de visuel que peut rencontrer l'utilisateur du logiciel. Il permet de tracer de manière précise les informations et étapes successives concernant les déblais et leur devenir :

- qualité des déblais et filières envisagées (en valorisation ou élimination) pour chaque maille définie sur le chantier,
- établissement des bordereaux de transport pour chaque lot de déblais (émetteur, maille d'origine, quantités, date et heure de prise en charge, transporteur, installation de destination),
- validation de la réception des lots de déblais par les gestionnaires d'exutoires ou de plateformes par simple saisie dans l'outil (date et heure d'arrivée, quantité, acceptation ou refus du lot).

The screenshot shows a web-based application for managing transport manifests (Bordereaux) in the Grand Paris area. The interface includes a header with the logo 'Société du Grand Paris', navigation tabs for 'DONNÉES D'ENTRÉES', 'BORDEREAX', 'INDICATEURS', 'ADMINISTRATION', and 'outil.tractabilite.admin@L_SGP'. Below the header, a search bar allows filtering by 'RECHERCHE PAR CHANTIER, MAILLE, AP, BT ET NOM DU CRÉATEUR'. The main content area displays a list of 5 transport manifests (Bordereaux) currently in transit, each with a unique identifier (BT 00000337, BT 00000324, BT 00000322, BT 00000321, BT 00000316), the 'MAILLE' (grid) and 'DESTINATION' (location), and a status indicator. To the right of the list are three vertical colored bars: purple for 'A VALIDER', orange for 'A ARCHIVER', and brown for 'ARCHIVÉ'.

Figure 10 : Exemple de visuels d'écran de l'outil de traçabilité des déblais de la Société du Grand Paris – SGP (2016)

2.2.4. Valorisation

Consciente des enjeux économiques et environnementaux liés aux volumes de déblais générés par le Grand Paris Express, la Société du Grand Paris s'est engagée à en valoriser 70 % à l'échelle globale du projet, tout en développant au maximum le principe d'économie circulaire au plus proche des chantiers. A l'échelle du projet, la Société du Grand Paris a défini la valorisation, comme tout mode de gestion des matériaux excavés dont la destination n'est pas une filière définitive de stockage. L'utilisation des matériaux excavés du Grand Paris Express doit répondre à un besoin technique, environnemental, ou plus généralement de projet d'aménagement pour être considérée comme la valorisation. Sont considérés comme déblais valorisés, les déblais.

2.2.4.1. Valorisation matière

La valorisation dite « matière » correspond à l'utilisation des déblais, éventuellement après traitement en tant que matériau, dans l'industrie du BTP notamment. Un certain nombre d'utilisations potentielles ont été identifiées à ce jour :

- Briqueterie,
- remblais courants,
- grave,
- couche d'étanchéité,
- cru de cimenterie,
- construction en terre crue,
- sables de béton,
- plâtre.

2.2.4.2. *Valorisation volume*

Le réaménagement de carrières et les projets d'aménagement nécessitent souvent de grands volumes de terres, c'est pourquoi la Société du Grand Paris s'est intéressée à ce type de valorisation :

- Réaménagement de carrières,
- Projet d'aménagement.

2.2.4.3. *Un exemple de valorisation : le biocentre*

Le biocentre est un exemple de valorisation des terres polluées. Cette méthode est un traitement biologique naturel des terres basées sur la dégradation accélérée des substances polluantes par des micro-organismes. Cette méthode est particulièrement adaptée pour des polluants de type hydrocarbures. Les terres polluées vont subir plusieurs étapes avant de pouvoir être valorisées. La première étape est une préparation des terres où celles-ci seront criblées, concassées et homogénéisées. Ensuite, les terres sont mises en place sous forme d'une biopile dans laquelle on installe des drains qui vont servir à l'injection d'un bouillon bactérien et de dioxygène. Le dioxygène injecté permet de maintenir le processus de dégradation des micro-organismes. Lorsque le processus de dégradation est terminé et après analyse de contrôle, les terres peuvent être valorisées sous forme de matériaux techniques pour les travaux publics.

3. La gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart

3.1. Description du projet

La ligne 15 Sud fait partie des lignes de métro qui seront mise en service en 2024. Comme l'indique la figure 6, elle reliera la station Pont de Sèvre à la station Noisy-Champs. Elle correspond à :

- 33 km en souterrain,
- 16 gares, toutes en correspondance avec un RER, un métro ou un tramway,
- 1 090 000 habitants concernés et 455 000 emplois,
- 22 communes desservies dans 4 départements : le Val-de-Marne, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et la Seine-et-Marne,
- 300 000 trajets quotidiens.

Au sein de cette ligne, on retrouve la gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart à la jonction de 4 communes : Issy-les-Moulineaux, Clamart, Vanves et Malakoff. Cette future gare se trouve à l'emplacement de la gare SNCF de Clamart déjà existante et en service depuis 1840. Cette gare SNCF fait partie de la ligne ferroviaire permettant de relier la gare Paris-Montparnasse à

l'ouest de la France. Elle est desservie par la ligne N du Transilien qui sont les trains de banlieue de la région Ile-de-France.

Les travaux de la gare de métro FIVC² sont lancés depuis Juin 2016. Il s'agit du premier chantier du programme de construction des 68 nouvelles gares du Grand Paris Express. C'est un projet complexe, car il s'agit de concevoir la gare du nouveau métro sous les voies du Transilien, tout en maintenant celles-ci opérationnelles. Cette gare impactera directement 32 000 habitants avec plus de 50 000 voyages prévus par jour. Elle assurera une correspondance entre la ligne 15 et la ligne N du transilien.

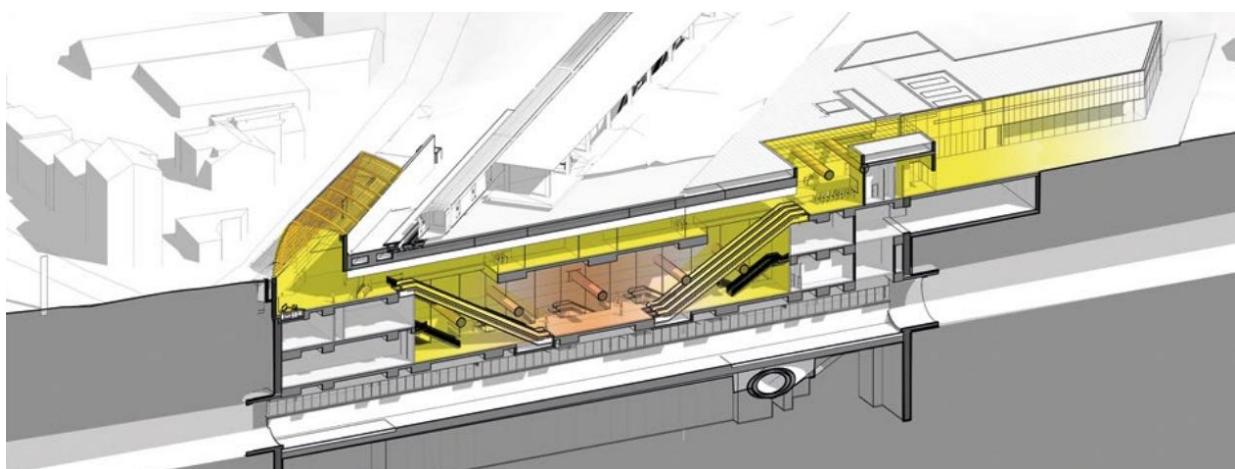


Figure 11 : Projection de la gare FIVC (source : Philippe Gazeau Architecte)

3.2. Les acteurs

Plusieurs acteurs ont été sélectionnés par la Société du Grand Paris, dans son rôle de maître d'ouvrage, afin de construire cette gare. L'assistance à la maîtrise d'ouvrage est assurée par le groupement Artemis pour l'ensemble des chantiers de la SGP³. Il s'agit d'un groupement de bureaux d'études (Artelia, BG et Arcadis) multidisciplinaires de conseil, d'ingénierie et de management de projet qui interviennent dans les secteurs du bâtiment, des infrastructures, de l'eau, de l'industrie et de l'environnement.

La maîtrise d'œuvre est assurée par la société Setec TPI appartenant au groupe Setec. Elle réalise plusieurs missions telles que concevoir le projet, déterminer la faisabilité technique et financière, réaliser les études détaillées, diriger les travaux.

La gare FIVC est conçue par l'architecte et urbaniste Philippe Gazeau. Son activité est reconnue dans la conception de projets de très grande échelle architecturale et urbaine comme la restructuration et reconstruction de l'hôpital Necker, la requalification du site

² FIVC : Fort d'Issy-Vanves-Clamart

³ SGP : Société du Grand Paris

Saupin à Nantes, ou le projet urbain EuroRennes. Sa conception de la gare est caractérisée par une architecture jouant sur le contraste entre surface et souterrain, se présentant ainsi comme un nouvel espace urbain.

En mars 2016, la SPG a désigné les entreprises en charge de la réalisation des travaux de génie civil pour la gare FIVC. Le groupement Horizon composé de Bouygues Travaux Publics, filiale de Bouygues Construction, ainsi que trois filiales partenaires du groupe Soletanche Bachy (Soletanche Bachy France, Soletanche Bachy Pieux et Soletanche Bachy Tunnels) était alors désigné attributaire.

Suez Remédiation intervient en tant que sous-traitant pour Bouygues Travaux Publics pour deux marchés différents : le diagnostic et l'évacuation des terres. Son rôle est :

- D'opérer une campagne de sondage
- D'assurer le suivi de terrassement conduit par le personnels Bouygues Travaux Publics
- De gérer les filières de destination suivant le plan de terrassement préétabli, au regard de la campagne de sondages préalables

Son rôle est également assurer le transport et l'élimination des déblais excavés comprenant :

- Un suivi du chargement,
- L'émission des bordereaux de suivi de déchet,
- La validation des destinations de transport,
- Le traitement des déblais.

3.3. La « boîte » gare

La future gare (en vert sur la figure 12) se situe à proximité d'un ancien dépôt de fioul domestique (en rouge sur la figure 12). Elle peut s'assimiler à une boîte de 110 mètres de long sur 20 mètres de large sur une hauteur d'environ 25 m. Cela représente ainsi un volume de 65 000 m³ de terres à excaver pour la réalisation de la gare.



Figure 12 : Image satellite de la future gare FIVC (source : Google Maps)

La Société du Grand Paris impose dans le cahier des charges des travaux de génie civil une caractérisation des déblais tous les 200 m³ pour les gares, ouvrages annexes et ouvrages spéciaux. Ce critère permet d'avoir une caractérisation très fine des déblais. Pour cela, Suez Remédiation a effectué une campagne de sondage à l'été 2017. Cette campagne a été réalisée par sondage sonique, technique utilisant la vibration à haute fréquence. Ainsi, 45 sondages ont été réalisés selon le plan de maillage défini par la figure 13. Un exemple de fiche de sondage est disponible en annexe 1. Chaque sondage a fait l'objet de plusieurs analyses afin d'être conforme aux exigences de la SGP. Près de 450 analyses en laboratoire accrédité COFRAC ont donc été réalisées permettant d'avoir une caractérisation la plus fine possible de la boîte gare.

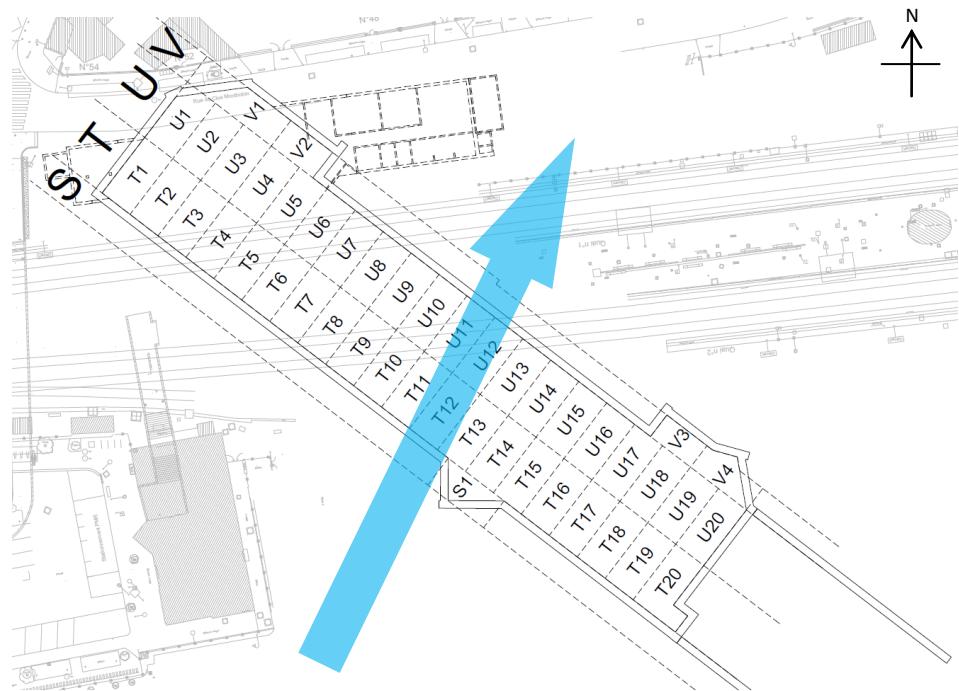


Figure 13 : Plan de maillage (source : document interne)

Les analyses effectuées relèvent d'un pack ISDI permettant d'obtenir les différents résultats liés à l'arrêté du 12 Décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées pour l'environnement. Les tableaux 1 et 2 définissent les seuils d'acceptation pour les installations de stockage de déchet inerte (ISDI).

Tableau I : Seuils d'acceptation sur éluat en ISDI (source : legifrance)

Paramètres sur éluats	Seuils d'acceptation (mg/kg de MS)
Arsenic	0,5
Baryum	20
Cadmium	0,04
Chrome total	0,5
Cuivre	2
Mercure	0,01
Molybdène	0,5
Nickel	0,4
Plomb	0,5
Antimoine	0,06
Sélénium	0,1
Zinc	4
Chlorure	800
Fluorures	10
Sulfates	1000
Indice Phénols	1
Carbone Organique Total	500
Fraction soluble	4000

Tableau II : Seuils d'acceptation sur brut en ISDI (source : legifrance)

Paramètres sur bruts	Seuils d'acceptation (mg/kg de MS)
COT	30 000
HCT	500
HAP	50
BTEX	6
PCB	1

L'ensemble des résultats obtenus a permis de déterminer la filière appropriée pour chaque maille en fonction de différents seuils d'admission disponibles en annexe 2. Une extraction de quelques résultats d'analyses est disponible en annexe 3.

Les analyses ont permis de constater que les terres sur l'emprise de la future gare étaient en partie impactées par des hydrocarbures. Cette pollution résulte de fuite de cuve(s) de l'ancien dépôt situé à l'ouest de la future gare (cf Figure 12). Selon la lithologie rencontrée dans le sous-sol (Figure 14), la nappe a diffusé les hydrocarbures au droit de la future gare selon le sens d'écoulement (nord-est) représenté sur la figure 13. Les hydrocarbures ont ainsi pollué les terres en fonction des fluctuations saisonnières de la nappe. Les analyses montrent également que les argiles et les marnes du sous-sol sont naturellement riches en sélénium et fluorures mais ne sont pas impactés par les hydrocarbures car ces matériaux sont imperméables.

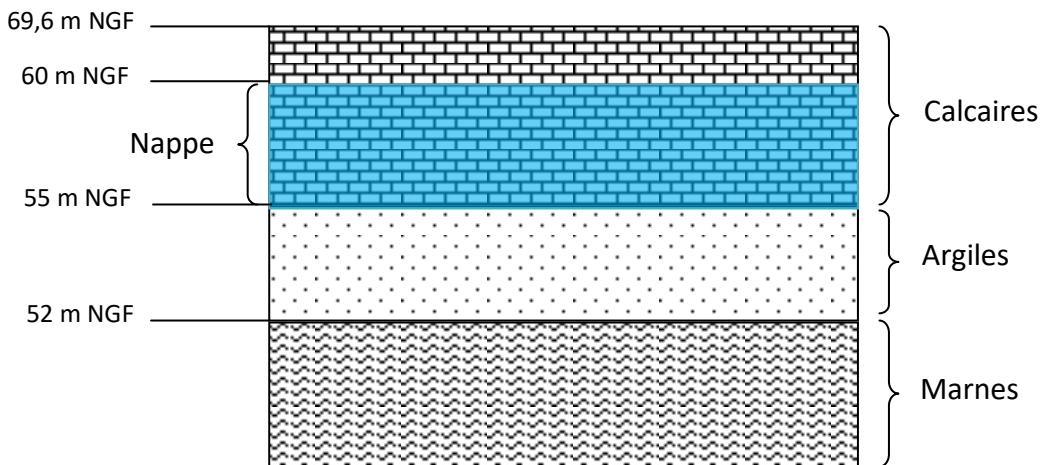


Figure 14 : Schéma de la lithologie de la boîte gare

4. Optimisation du suivi de chantier

4.1. Création d'une application

De par l'expérience de Suez Remédiation dans le domaine des sites et sols pollués, des outils permettant un suivi de chantier existaient déjà. Cependant, de par les caractéristiques, l'ampleur et la durée d'un chantier du Grand Paris Express, les outils existant ne sont pas suffisamment adaptés pour assurer le suivi de chantier.

Il a donc fallu créer un outil, utilisable facilement sur le terrain et permettant une exploitation simple et rapide par la suite des données afin d'assurer un bon suivi de chantier. Cette application vient en complément de l'outil de traçabilité créé par la SGP car SUEZ a ses propres impératifs économiques de pilotage du dossier (cadencement, suivi des volumes « consommés », ...).

Pour cela, il fallait dans un premier temps définir les besoins nécessaires au bon suivi de chantier. Les informations que l'on doit retrouver dans l'outil sont :

- La date d'évacuation,
- La phase de terrassement,
- La destination des terres excavées,
- Le transporteur ainsi que son immatriculation,
- Les horaires d'arrivée, de mise au chargement et de départ,
- La maille pointée,
- La filière retenue,
- Le numéro du bon de transport,
- La zone de chargement.

Une fois tous les besoins identifiés, la création d'une base de données sur Excel était nécessaire afin de regrouper l'ensemble des informations disponibles en amont des phases de terrassement (phases de terrassement, les différentes destinations, l'ensemble des transporteurs, le nom des mailles, toutes les filières possibles). Ensuite, pour simplifier l'utilisation du fichier sur le terrain, la création de liste de choix était la solution afin de faciliter la saisie des données sur l'interface (figure 15) à l'aide de liste déroulante. Cette solution permet également de restreindre la sélection d'une donnée en fonction d'une première donnée déjà saisie. Par exemple, lorsque le numéro de la phase de terrassement est saisi, le choix des mailles à sélectionner correspondra uniquement aux mailles terrassées lors de cette phase afin de limiter les erreurs de saisie.

DATE	PHASE	NUMERO DE PHASE	ZONE DE CHARGEMENT	TRANSPORTEUR	IMMATRICULATION*	COMMENTAIRES	MAILLE	FILIERE ESTIMEE	FILIERE RETENUE	DESTINATION	BT
0											

Figure 15 : Interface de saisie de l'outil (source : document interne)

Ce fichier permet également un suivi du pointage des mailles. En effet, chaque maille représente un volume de terre à évacuer, ce volume correspond à un certain nombre de camions à pointer. Ainsi, une fonction de recherche dans la colonne maille va permettre d'additionner le nombre de fois où le nom d'une maille apparaît pour comptabiliser le nombre de tours effectués pour cette maille.

Ce fichier s'avère simple d'utilisation sur un ordinateur et sur une tablette, cette dernière étant le principal support utilisé sur le terrain. Cependant, il ne permet pas la saisie des différents horaires nécessaire au suivi. En effet, l'utilisation d'Excel sur une tablette n'autorise pas l'utilisation de macro qui aurait simplifié la saisie des heures et la saisie des heures à la main n'est pas aisée. Ce suivi des horaires s'effectue donc toujours sur papier qu'il faut ensuite retranscrire dans un fichier informatique afin de pouvoir exploiter ses données.

Cependant, l'utilisation du fichier Excel sur une tablette n'est pas toujours aisée lorsqu'on est sur le terrain. C'est pour cela qu'une application web a été créée permettant un usage plus clair et rapide. Au démarrage du chantier de la gare FIVC, une première application web avait été créée par un collaborateur de Suez Remédiation en 2016 afin de pouvoir suivre les expéditions de camion. Mais cette version était devenue obsolète car le chantier est entré dans une phase différente de terrassement. Après plusieurs échanges avec le collaborateur

afin de définir les attentes et la faisabilité du projet, une application web a été créée sur la base du fichier excel précédent. Comme le montre les figure 16 et 17, on retrouve ainsi les mêmes informations que précédemment. L'interface de l'application est simple d'utilisation en reprenant des menus déroulants et les mêmes restrictions de choix.

Figure 16 : Interface de l'application web (source : document interne)

Date d'évacuation	Tranche	Phase	Zone de Chargement	Transporteur	Immatriculation	Commentaires	Maille	Filière Estimée	Filière Retenue	Destination	Bon de transport	Tonnage
2018-05-15 08:32:52	PHN-3	T_7i	OUEST Montholon	Roussel	EL-185-MM		T12 60,8 - 57,8	BIO_ISDND	ISDND	Sita IDF Liancourt Saint Pierre	94072	
2018-05-15 08:29:03	PHN-3	T_7i	OUEST Montholon	Premat	EW-356-MY		T11 60,8 - 57,8	BIOCENTRE	BIOCENTRE	Sita FD VILLEPARISIS	94052	
2018-05-15 08:23:15	PHN-3	T_7i	OUEST Montholon	Roussel	EL-703-LP		T11 60,8 - 57,8	BIOCENTRE	BIOCENTRE	Sita FD VILLEPARISIS	94045	
2018-05-03 16:32:10	PHN-3	T_7	OUEST Montholon	Premat	CP-807-ZW		U1 59,91 - 57,755	ISDI	ISDI	Lafarge GUERVILLE	BT91988	
2018-05-03 16:24:06	Radier	T_7i	EST Vigouroux	CEMEX	ZZ-856-TT		S1 57,8 - 57,35	BIOCENTRE	ISDI	Cemex Beauvilliers		

Figure 17 : Liste des expéditions sur l'application web (source : document interne)

L'outil crée à l'occasion du chantier de la gare FIVC a permis d'optimiser le suivi de chantier en permettant une saisie simple et rapide des données nécessaires et en facilitant l'exploitation des données. Cet outil pourra servir de base pour de futurs chantiers.

4.2. Anticipation des dérives

L'optimisation d'un chantier passe également par l'anticipation des dérives que l'on peut rencontrer lors de l'exploitation. On entend par dérive la présence d'une poche de pollution qui n'est pas ressortie lors de l'analyse d'une maille nécessitant un surclassement de filière ou au contraire l'absence de pollution qui entraînera un déclassement des terres excavées.

4.2.1. Fiche de sondage

Lors de la campagne de sondage réalisé à l'été 2017, chaque maille a fait l'objet d'une fiche de sondage (annexe 1). Cette fiche de sondage permet de regrouper les informations suivantes :

- La date du sondage
- La méthode employée
- La lithologie rencontrée en fonction de l'altimétrie
- La présence d'eau ou non
- Les indices organoleptiques (couleur, odeur)
- Les résultats au PID

Les indices organoleptiques correspondent aux observations liées à l'odorat et à la vue d'une personne. La présence d'une odeur d'hydrocarbure et/ou d'une terre de couleur noire sont des indices sur la présence de pollution aux hydrocarbures dans les terres. Ceci est une première approche afin de déterminer la possibilité de déclasser les terres d'une maille.

Le PID est un type d'analyse de terrain permettant d'évaluer le niveau de pollution des terres. Le PID est un détecteur par photo-ionisation permettant de mesurer les composés organiques volatils (COV) présent dans le gaz. Il permet d'avoir une analyse rapide de la teneur en COV dans un prélèvement.

Le kit de détection PetroFLAG est également une méthode d'analyse de terrain. Il s'agit d'un test rapide sur site permettant un dosage des hydrocarbures totaux dans les sols. Le principe du test repose sur une mesure turbidimétrique. Ce test est particulièrement approprié au tri des terres lors de travaux d'excavation.

4.2.2. L'analyse des fiches de sondage

Ainsi, toutes les informations regroupées dans une fiche de sondage permettent d'anticiper les éventuelles dérives que l'on peut rencontrer lors du terrassement. En effet, la présence d'une couleur noire ou d'une odeur peut signifier une pollution des terres aux hydrocarbures bien que l'analyse effectuée en laboratoire ne fasse pas ressortir de pollution particulière.

Ce travail d'anticipation peut s'avérer intéressant sur le plan économique car il permet d'être plus vigilant à la pollution rencontrée lors du terrassement et d'ainsi de modifier la filière initialement prévue qui ne présente pas le même coût à l'arrivée. En effet, au regard des coûts présentés dans le tableau 3, le choix de la filière d'évacuation finale peut représenter un gain ou un surcoût par rapport au coût estimé avant les travaux avec la filière

initialement choisie. Les prix présentés ne prennent pas en compte le transport ainsi que la TGAP⁴. En cas de valorisation des terres, la TGAP ne s'applique pas.

Tableau III : Coût de traitement des terres pour chaque filière (hors TGAP)

Filière	Coût (€/tonne)
ISDI	5 – 10
ISDND	35 – 45
Biocentre	60 – 70
ISDD	80 – 100

Cependant, il faut bien veiller à apporter une justification lors de tout déclassement d'une maille afin de garantir une bonne traçabilité des déblais. La figure 18 détaille ainsi les différentes étapes à suivre lors du déclassement d'une maille destinée en filière biocentre en filière ISDI.

⁴ TGAP : Taxe Généralisée sur les activités polluantes

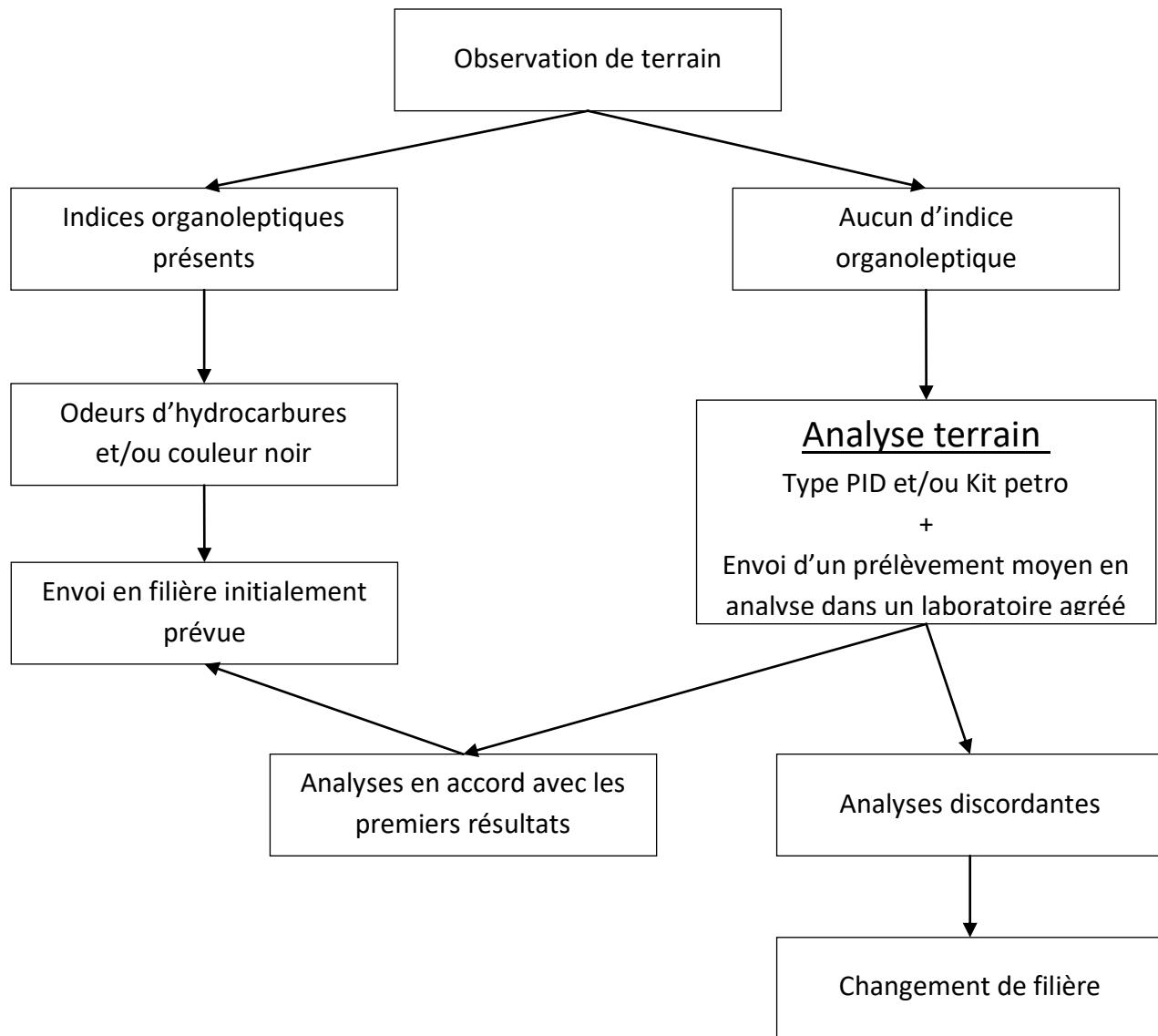


Figure 18 : Procédure de déclassement d'une maille Biocentre en ISDI

Conclusion

Suez possède au sein de son groupe une Business Unit spécialisée dans les activités de valorisation et de traitement des déchets dangereux et des sites et sols pollués. Dans cette Business Unit, Suez Remédiation est l'entreprise experte dans la gestion des terres polluées et possède 6 agences pour couvrir l'ensemble du territoire français.

Le Grand Paris Express se présente comme la création de 200 nouveaux kilomètres de métro, dans la majorité souterraine, à travers 4 nouvelles lignes et la construction de 68 nouvelles gares. Il desservira les grands pôles d'activité et les territoires métropolitains difficiles d'accès. Il va générer en quelques dizaines d'années près de 45 millions de tonnes de déblais. Pour réduire l'impact environnemental du projet, la Société du Grand Paris s'engage à valoriser 70 % de déblais produits. La création d'un outil informatique permet la mise en place d'une traçabilité uniformisée pour l'ensemble des chantiers du GPE.

La gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart est l'une des 68 nouvelles gares du GPE. Il s'agit de la première gare du programme de construction du projet. Avec une mise en service prévu pour 2024, elle assurera une correspondance entre la ligne 15 et la ligne N du transilien. Sa construction entraîne l'excavation d'environ 65 000 m³ de terres. La campagne de caractérisation a mis en lumière une pollution d'origine anthropique en raison de fuites d'hydrocarbures d'un ancien dépôt de fioul situé à proximité. Les argiles situées en profondeur sont naturellement polluées en métaux et fluorures.

Suez Remédiation doit assurer le suivi des excavations des terres de la gare FIVC. Des solutions ont été apportées afin d'optimiser, en complément des outils développés par la SGP, le suivi d'un chantier d'une telle ampleur. Elles ont notamment abouti à la création d'une application web permettant une saisie simple et rapide sur tablette des données nécessaire. L'optimisation d'un chantier passe également par l'anticipation des dérives que l'on peut rencontrer lors du terrassement.

Bibliographie

- Documentation interne au groupe Suez
- Société du Grand Paris (Juillet 2017), *Schéma de gestion et de valorisation des déblais*
- Société du Grand Paris, Ligne 15 Sud disponible sur :
[<https://www.societedugrandparis.fr/gpe/ligne/ligne-15-sud>](https://www.societedugrandparis.fr/gpe/ligne/ligne-15-sud)
- Société du Grand Paris, Gare Fort d'Issy-Vanves-Clamart, disponible sur :
[<https://www.societedugrandparis.fr/gpe/gare/fort-dissy-vanves-clamart>](https://www.societedugrandparis.fr/gpe/gare/fort-dissy-vanves-clamart)
- Philippe Gazeau Architecte, projection de la futur gare, disponible sur :
<http://www.philippegazeau.com/>
- Arrêté préfectoral du 12 Décembre 2014 relatif aux conditions d'admission des déchets dans les installations relevant des rubriques 2515, 2516, 2517 et dans les installations de stockage de déchets inertes relevant de la rubrique 2760 de la nomenclature des installations classées. Disponible sur :
[<https://aida.ineris.fr/consultation_document/33657>](https://aida.ineris.fr/consultation_document/33657)

Annexes

Table des annexes

Annexe 1 : Exemple de fiche de sondage.....	2
Annexe 2 : Critères d'admission dans les différentes filières.....	3
Annexe 3 : Résultats d'analyses des sondages.....	4
Annexe 4 : Plan de maillage avec représentation des filières.....	5

Annexe 1 : Exemple de fiche de sondage

SUEZ		FICHE SONDAGE				Code chantier : U2 16 1070 Nom du chef de projet : P. BLANCHET Date : 31/07/17	
		BOUYGUES - GARE FIVC					
Identification du sondage : U9		Service : G. Paris	Préteur : MPE / JAB				
Conditionnement des échantillons en glacière réfrigérée sur le terrain : date d'envoi des échantillons sélectionnés : / / LABORATOIRE : ALCONTROL				Mode de frage : SONDEUR			
Profondeur (m)	Profondeur (m)	Measures pris : <input checked="" type="checkbox"/> PTD <input type="checkbox"/> autre : Cuttings : <input checked="" type="checkbox"/> échantis en rebouchage <input type="checkbox"/> échantis sur robe	Heure de début forage : 11h 41 → 15h (4h,20)	Échantillons	Measures pris (ENR) : 0	Observations organique	Observations organique
0	49,60	date biton 2 20cm					
2,8		Calque altéré parage bleu et calcaire limoneux - Gres iliac calcaire → 5,8		0	∅		
5,8							
8,8		nappe					
10		Parage noir odeur ttt calcaire limoneux et humide			PTD ≈ 14,11		
11,8							
14,8		Argiles grises 12-14m 14m → 19m Argiles multi. colorés		0	∅		
17,2		19m → 21,5m Argiles Bougues / miettes ac parages marnes et argileuses à 21,5m				fin bentonite ≈ 19,5m	
19,6							
20							
22,52		21,5m → Marnes / marne argileuses		∅			
23,68							

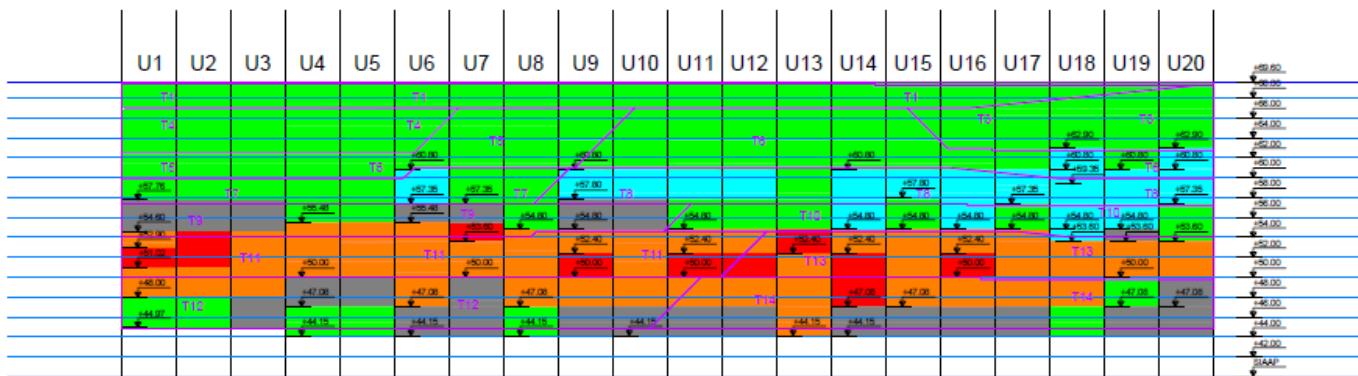
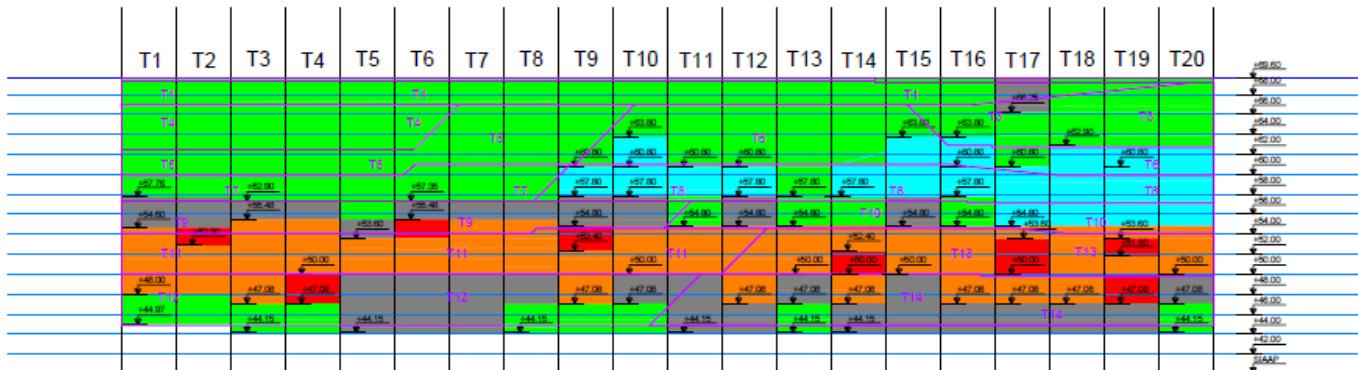
Annexe 2 : Critères d'admission dans les différentes filières

SUR BRUT (mg/kg de MS)								SUR LIXIVIAT (mg/kg de MS)																		
CRITERES D'ORIENTATION	Hg Mercure	COT Carbone Organique total	HCT	HAP	BTEX	COHV	PCB	Benzène	COT Carbone Organique total	As Arsenic	Cd Cadmium	Cr total Chrome	Cu Cuivre	Hg Mercure	Ni Nickel	Pb Plomb	Zn Zinc	Ba baryum	Mo Molybden	Sb Antimoine	Se Selenium	Chlorure	Fluorures	Sulfate	FS Fraction soluble	Indice phénols
ISDI		30 000	500	50	6	(2)	1		500*	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,4	0,5	4	20	0,5	0,06	0,1	800*	10	1000*	4000*	1
ISDI CEMEX		30 000	500	50	6	(2)	1		500*	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,4	0,5	4	20	0,5	0,06	0,1	800*	10	1000*	4000*	1
ISDI FULCHIRON		30 000	500	50	6	(2)	1		500*	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,4	0,5	4	20	0,5	0,06	0,1	800*	10	1000*	4000*	1
CC SULF		30 000	500	50	6	2	1		500*	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,4	0,5	4	20	0,5	0,06	0,1	800	10			1
ISDI SA		30 000	500	50	6		1		500	1,5	0,12	1,5	6	0,03	1,2	1,5	12	60	1,5	0,18	0,3	2400	30	3000	12 000	3
BIOGENIE		200 000	100 000	5000	100 000	100 000	50		50000	2	1	10	50	0,2	10	10	50	100	10	0,7	0,5		150		100 000	100
BIOCENTRE SUEZ			30 000	1000	2 000			50	500	0,5	0,04	0,5	2	0,01	0,4	0,5	4	20	0,5	0,25	0,1	800	10	1000	4 000	5 000
ISDND SUEZ			2000	100	20	10	10	6	800	4	2	10	50	0,6	10	10	50	100	10	2,1	1,5	15 000	150	20 000	60 000	50
ISDD SUEZ	100		50 000 (indicatif)	5000 (indicatif)			50		1000	25	5	70	100	2	40	50	200	300	30	5	7		500		100 000	

Annexe 3 : Résultats d'analyses des sondages

Maille		T5 55,48	T9 57,8	T11 57,8	T11 54,8	T18 57,35	T18 54,8	T19 57,35	T19 54,8	T19 53,6	T20 57,35	T20 54,8	T20 53,6	U11 57,8	U11 54,8	U13 57,8	U13 54,8	U20 57,35	U20 54,8	U20 53,6	
Volume	m3	111,95	175,64	178,641	142,913	151,845	71,156	145,745	171,456	107,185	174,999	82,525	123,529	178,641	142,913	178,641	142,913	178,641	142,913	178,641	
Lithologie		AP	AP	CG Alt Hult	AP	CG Alt Sec	AP	CG Alt Hult	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	AP	CG Alt Hult	AP	AP	
INDICE ORGANOLEPTIQUE		non	non	non	non	oui	non	oui	non	non	non	non	non	non	non	non	non	non	non	non	
SIGNIFICATIF D'UNE		ISDI SA	ISDI SA	ISDI	ISOND	BIO	ISOND	BIO	ISOND	ISDI	BIO	ISOND	ISDI	ISDI	ISOND	ISDI	ISDI	ISDI	ISDI	ISOND	
POLLUTION	matière sèche	%	78,8	73,5	76,4	77,1	76,3	76,9	81,5	76,7	75,6	79,3	78	75,8	77,2	76,6	75,7	78,8	71,6	79,5	76,5
COT	mg/kg de MS	<2000	<2000	<2000	<2000	3900	<2000	9000	<2000	<2000	13000	<2000	5500	<2000	<2000	<2000	<2000	<2000	<2000	<2000	
t pour mes, pH		22,6	22,4	22,5	22,5	22	22,5	22,2	22,7	22,7	22,1	22,3	22,5	21,3	22,7	22,1	22,1	22,7	22,5	22,3	
pH (KCl)		8	8	8	7,8	7,9	7,8	7,9	7,8	7,6	8	7,9	7,7	8,2	8	8,1	7,7	8	7,9	7,5	
METAUX																					
Hg sur brut	mg/kg de MS	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,12	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
BTEX total	mg/kg de MS	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	8,4	<0,10	14	<0,10	<0,10	36	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	
HAP =>																					
Somme des HAP (16) - EPA	mg/kg de MS	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	12	<0,16	17	<0,16	<0,16	52	0,34	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	<0,16	
COHV =>																					
tétrachloroéthylène	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
trichloroéthylène	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
1,1-dichloroéthène	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
cis-1,2-dichloroéthène	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
trans-1,2-dichloroéthène	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
chlorure de vinyle	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
1,1,1-trichloroéthane	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
1,2-dichloroéthane	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
tétrachlorométhane	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
chloroforme	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
dichlorométhane	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
1,2-dichloropropane	mg/kg de MS	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
trans-1,3-dichloropropane	mg/kg de MS	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
cis-1,3-dichloropropène	mg/kg de MS	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
bromoforme	mg/kg de MS	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
hexachlorbutadiène	mg/kg de MS	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
1,3-dichloropropène	mg/kg de MS	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	
PCB totaux (7)	μg/kg de MS	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	100	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	<7	
hydrocarbures totaux C10-C40	mg/kg de MS	<20	<20	<20	<20	3600	67	7900	42	<20	23000	200	33	<20	<20	240	<20	<20	26	<20	
LIxiviation																					
L/S		9,97	10	10	10	9,97	9,99	10	10,03	10	10	10,01	9,97	10,01	9,99	9,97	10	10	9,94	10,02	
pH final ap, lix,		8,18	8,03	8,24	8,32	7,86	8,23	8,34	8,13	7,8	8,34	8,13	7,94	9,07	8,04	8,34	7,7	8,47	8,47	8,2	
température pour mes,																					
pH		20,6	20,4	19,9	20,4	20,5	20,1	19,6	19,1	19	19,5	20,1	19,2	20,4	20,7	20,8	20,5	19,7	20	19,5	
conductivité ap, lix,																					
COT	mg/kg de MS	11	9,7	8	12	19	10	26	15	12	140	9,6	17	7,7	15	12	12	10	9,9	11	
METAUX																					
antimoine	mg/kg de MS	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	<0,039	
arsenic	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
baryum	mg/kg de MS	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	0,17	0,08	0,09	<0,05	0,05	0,14	0,08	<0,05	0,05	0,08	<0,05	0,05	0,07	0,06		
cadmium	mg/kg de MS	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	
chrome	mg/kg de MS	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	
cuivre	mg/kg de MS	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
mercure	mg/kg de MS	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	
plomb	mg/kg de MS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
molybdène	mg/kg de MS	<0,05	0,14	0,084	<0,05	0,061	0,086	0,12	<0,05	<0,05	0,083	0,055	<0,05	0,16	0,051	0,091	<0,05	0,071	0,093	<0,05	
nickel	mg/kg de MS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
sélénium	mg/kg de MS	0,11	0,26	<0,039	0,15	0,33	<0,039	0,66	2,4	<0,039	0,28	0,36	<0,039	0,64	<0,039	0,22	<0,039	0,06	0,35		
zinc	mg/kg de MS	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,4	<0,2	<0,2	
fraction soluble	mg/kg de MS	99,7	1440	740	<500	1500	1500	840	682	900	960	1120	<500	921	659	818	860	520	636	942	
Indice phénol	mg/kg de MS	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	
fluorures	mg/kg de MS	30	17	7,5	35	6,4	20	5,6	34	32	8,9	34	30	8,6	29	7,5	28	4,3	8,5	29	
chlorures	mg/kg de MS	<10	25	24	<10	11	12	<10	11	<10	16	17	<10	26	<10	25	<10	15	10	18	
sulfates	mg/kg de MS	295	627	271	118	579	548	57	111	297	216	451	132	221	256	376	291	87,5	301	464	

Annexe 4 : Plan de maillage avec représentation des filières



█ ISDI
█ ISDI SA
█ ISDN
█ ISDD
█ BIO



Agence Ile-de-France / Nord
 15 route de la Garenne 5
 92230 GENNEVILLIERS
 Tel: 01.55.17.15.00
 Fax: 01.55.17.15.01

1, rue Mathieu
 62390 BOUC-BOCAGE
 Tel: 03.91.84.72.60
 Fax: 03.91.84.72.61

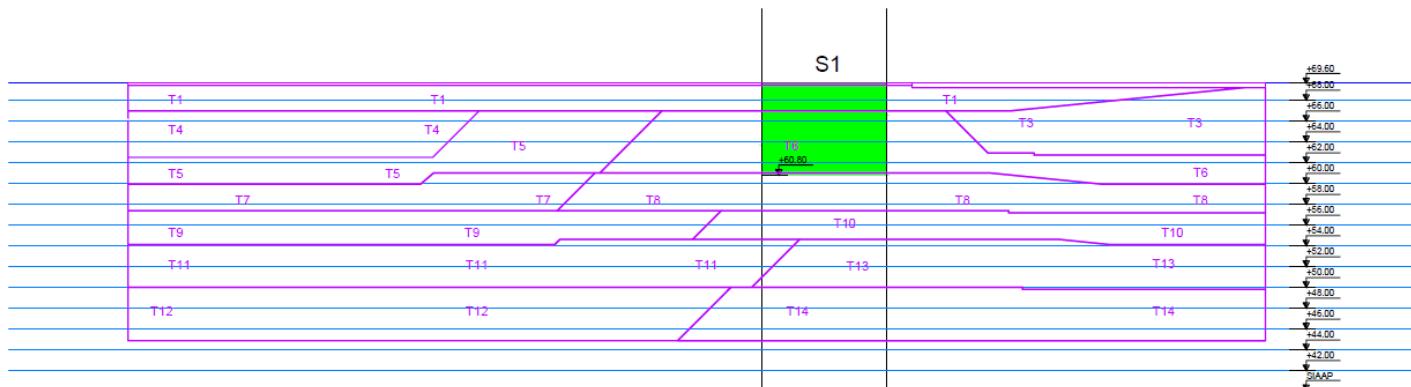
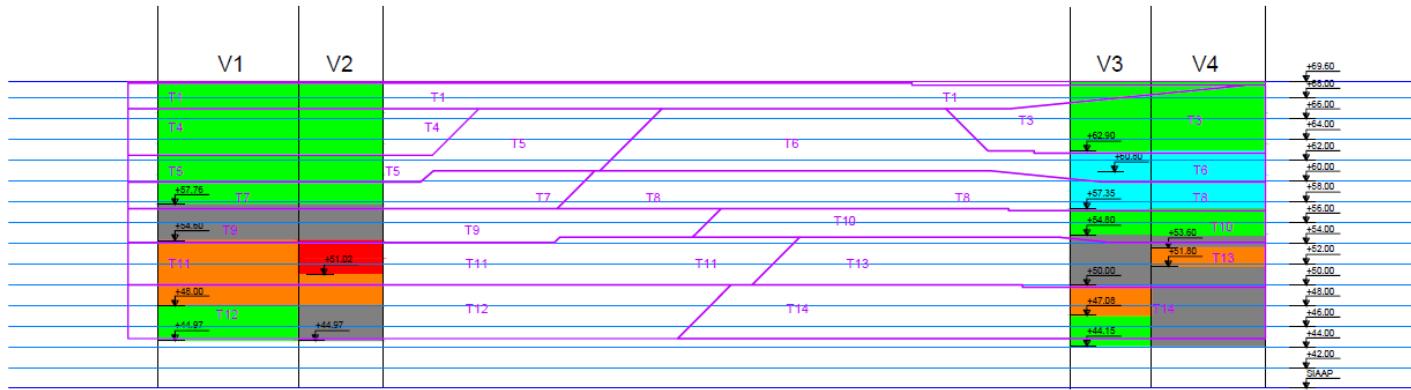
Vue en coupe du plan d'orientation des déblais
(T-U)

BOUYGUES - Gare de CLAMART (92)

Echelle
 Affaire
 Dessiné par
 Vérifié par
 Date
 Référence
 Version

cf.plan
 U2161070
 Dominique Montay
 J.Abadie / P.Blanchet
 15/12/17
 Plan de maillage
 4

ANNEXE
 -
 FIGURE
 -




 Agence Ile-de-France / Nord
 15 route du bassin numéro 5
 92230 GENNEVILLIERS
 Tel: 01.55.17.15.00
 Fax: 01.55.17.15.01

1, rue Maridano
 62950 NOYELLES-GODAULT
 Tel: 03.91.84.72.60
 Fax: 03.91.84.72.61

Vue en coupe du plan d'orientation des déblais
(S-V)

BOUYGUES - Gare de CLAMART (92)

Echelle
 Affaire
 Dessiné par
 Vérifié par
 Date
 Référence
 Version

cf.plan
 U2161070
 Dominique Montay
 J.Abadie / P.Blanchet
 15/12/17
 Plan de maillage
 4

ANNEXE
 -
 FIGURE
 -

MASTER PROFESSIONNEL	
<i>Mention : Chimie</i>	
<i>Spécialité : Sciences et Ingénierie de l'Environnement</i>	
PROMOTION : 2017-2018	DATE DE SOUTENANCE : 19 Septembre 2018
AUTEUR : Clément LELIÈVRE	LIEU DE STAGE : Suez Remédiation, 15 route du bassin n°5 92230 GENNEVILLIERS
MAÎTRE DE STAGE ENSEIGNANT : Tony BRETON	MAÎTRE DE STAGE PROFESSIONNEL : Julie ABADIE
TITRE : Optimisation d'un suivi de chantier d'excavation de terres polluées du Grand Paris Express	
MOTS CLÉS : Grand Paris Express, Métro, Sols pollués, Evacuation, Suivi, Optimisation	
<p>RÉSUMÉ : Suez Remédiation, appartenant au groupe Suez qui est leader dans la gestion des ressources, est spécialisé et certifié dans la réhabilitation des sites et sols pollués. Dans ce cadre, l'entreprise intervient comme sous-traitant auprès de Bouygues Travaux Publics pour le diagnostic et l'évacuation de terres polluées au droit d'une future gare de métro pour le Grand Paris Express. Le Grand Paris Express est un grand projet urbain consistant en la création de quatre nouvelles lignes et l'extension de deux lignes déjà existantes. Cela représente un tracé de 200 km de métro et la création de 68 nouvelles gares. C'est ainsi que pour la construction de la future gare de métro Fort d'Issy-Vanves-Clamart, Suez Remédiation est intervenu dans un premier temps pour le diagnostic de l'ensemble du volume de terre à évacuer. Cette phase de diagnostic a permis d'effectuer un plan de maillage en fonction de la qualité des terres. Suez intervient dans un deuxième temps pour l'évacuation des terres en filières adaptées. Pour ces évacuations de terres, la Société du Grand Paris, maître d'ouvrage du Grand Paris Express, impose une grande traçabilité des déblais. Ce stage a pour but d'assurer une optimisation du suivi quotidien des évacuations afin d'améliorer la saisie de différentes données et l'exploitation de ces données. L'optimisation d'un chantier passe également par l'anticipation des déclassements de mailles par l'analyse des sondages et les observations de terrain.</p>	
<p>ABSTRACT: Suez Remédiation, belonging to the Suez group, which is a leader in resource management, is specialized and certified in the rehabilitation of polluted sites and soils. In this context, the company takes part as a subcontractor with Bouygues Travaux Publics for the diagnosis and evacuation of polluted land for a future subway station for the Grand Paris Express. The Grand Paris Express is a major urban project consisting of the creation of four new lines and the extension of two existing lines. This represents 200 km of subway and the creation of 68 new stations. Thus, for the construction of the future Fort d'Issy-Vanves-Clamart subway station, Suez Remédiation intervened initially to diagnose the entire volume of land to be evacuated. This diagnostic phase allows for a grid plan based on the quality of the land. Suez takes parts in a second time for the evacuation of lands in sectors. For these evacuations of land, the Société du Grand Paris, owner of the Grand Paris Express, imposes a great traceability of the excavations. The purpose of this internship is to optimize the daily monitoring of evacuations in order to improve the capture of various data and the exploitation of this data. The optimization of a site also involves anticipating the decommissioning of meshes by the analysis of soundings and field observations.</p>	
<p>Je soussigné(e)..... Maître de stage professionnel de</p> <p>.....</p> <p>AUTORISE ou N'AUTORISE PAS (1) : la publication des sources bibliographiques, des résumés français, anglais</p> <p>AUTORISE ou N'AUTORISE PAS (1) : le dépôt du mémoire dans une bibliothèque</p> <p>Date : Signature du Maître de stage :</p>	

(1) Rayer la mention inutile

UNIVERSITÉ D'ANGERS – UFR Sciences – 2 Bd Lavoisier – 49045 ANGERS Cedex 01