

The logo for Fondasol, featuring the word "fondasol" in a bold, orange, sans-serif font. To the right of the text is a stylized circular emblem composed of three curved segments: an orange top segment, a blue middle segment, and a grey bottom segment. The blue segment contains a photograph of a construction site with two yellow cranes and a building under construction against a blue sky. The grey segment contains a photograph of a green golf course with a few people in the distance and a line of trees in the background.

**fondasol**

## **TOULOUSE (31) – A620 – Périphérique Ouest Etude de Projet G2PRO**

---

**Rapport n° PR.GPCO.23.0004 - 003 – Indice 0 – 13/02/2025**

**DIRSO (Direction Interdépartementale des Routes du Sud-ouest)**

**Cavité de Bordelongue  
Assistance à Maîtrise d'œuvre**



**MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES**

Direction Interdépartementale des Routes du Sud-Ouest

**GPCO / AGENCE DE L'UNION**

7, route de Bessières  
CS90016  
31241 L'UNION Cedex

☎ **05.62.75.10.79**

✉ [toulouse@fondasol.fr](mailto:toulouse@fondasol.fr)

# SUIVI DES MODIFICATIONS ET MISES A JOUR

FTQ.261-B

Rév.	Date	Nb pages	Modifications	Rédacteur	Contrôleur
-	13/02/2025	32	1 <sup>ère</sup> diffusion	A. LORICHER	E. PARDO
A					
B					
C					

REV PAGE	-	A	B	C	REV PAGE	-	A	B	C	REV PAGE	-	A	B	C
1	X				41					81				
2	X				42					82				
3	X				43					83				
4	X				44					84				
5	X				45					85				
6	X				46					86				
7	X				47					87				
8	X				48					88				
9	X				49					89				
10	X				50					90				
11	X				51					91				
12	X				52					92				
13	X				53					93				
14	X				54					94				
15	X				55					95				
16	X				56					96				
17	X				57					97				
18	X				58					98				
19	X				59					99				
20	X				60					100				
21	X				61					101				
22	X				62					102				
23	X				63					103				
24	X				64					104				
25					65					105				
26					66					106				
27					67					107				
28					68					108				
29					69					109				
30					70					110				
31					71					111				
32					72					112				
33					73					113				
34					74					114				
35					75					115				
36					76					116				
37					77					117				
38					78					118				
39					79					119				
40					80					120				

# SOMMAIRE

<b>A.</b>	<b>PRESENTATION DE NOTRE MISSION</b>	<b>4</b>
A.1.	Éléments du contrat	4
A.2.	Missions selon la norme NF P94-500	4
A.3.	Documents à notre disposition pour cette étude	5
<b>B.</b>	<b>RAPPEL DU CONTEXTE DE L'OPERATION</b>	<b>7</b>
B.1.	Description du site	7
B.2.	Contexte géologique général	8
B.3.	Rappel des résultats des investigations	10
B.4.	Rappel du diagnostic géotechnique	12
<b>C.</b>	<b>APPLICATION AU PROJET</b>	<b>14</b>
C.1.	Zone d'Influence Géotechnique	14
C.2.	Données sismiques	15
C.3.	Modèle géologique, géotechnique et hydrogéologique	15
C.4.	Choix de la solution de confortement	16
C.5.	Principes de confortement	16
<b>D.</b>	<b>CONCEPTION DE LA SOLUTION DE CONFORTEMENT</b>	<b>18</b>
D.1.	Principes de confortement	18
D.2.	Hypothèses et dimensionnement de la solution	18
D.3.	Dispositions constructives	21
<b>E.</b>	<b>CONCLUSIONS – SUITES A DONNER</b>	<b>24</b>
E.1.	Synthèse de la mission G2PRO	24
E.2.	Données d'entrée manquantes	24
E.3.	Enchaînement des missions normalisées	24

## ANNEXES

1. Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (NF P94-500) – 1 page
2. Missions types d'ingénierie géotechnique (Norme NF P94-500) – 1 page
3. Plans de compilation des données réseaux & anomalies

# A. PRESENTATION DE NOTRE MISSION

## A.1. Éléments du contrat

Maître d'Ouvrage : DIRSO (SMEE/DEE/EPR)

Maître d'œuvre : DIRSO (SIR/DPO/UPR)

Offre : SQ.GPCO.23.01.002 du 18/01/2023 en réponse à l'AO n° 22-147195

Notification : le 01/03/2023 par courrier du marché n°1511780215 et prolongation de délai en date du 22/07/2024

## A.2. Missions selon la norme NF P94-500

Missions : Assistance à maîtrise d'œuvre comprenant les phases de Diagnostic (mission G5), d'Avant-Projet (G2 AVP), de Projet (G2 PRO), de Consultation des Entreprises et Contrats de Travaux (G2 DCE/ACT) et de supervision en phase travaux VISA & DET (mission G4) selon la norme NF P94-500 (Missions d'Ingénierie Géotechnique Types – Révision de novembre 2013).

Ces missions interviennent dans le cadre de la gestion de la « cavité de Bordelongue » qui est un désordre survenu subitement sur une voie de la rocade intérieure au niveau de la jonction A620/A64 en Mars 2017.

Les enjeux majeurs de ce projet indiqués dans notre mémoire technique sont les suivants :

- Rechercher parmi les solutions techniques de réparation envisageables, celle permettant de sécuriser de manière pérenne les voies à grande circulation de la rocade de Toulouse ; en effet, il est important que la solution de confortement n'implique pas de maintenance ou d'interventions ultérieures lourdes ;
- Limiter l'impact des travaux à la fois vis-à-vis des usagers et de la structure de chaussée existante ; les travaux devront être réalisés impérativement de nuit et nécessitent donc une préparation minutieuse afin que les horaires de réouverture de la rocade soient respectés après chaque nuit d'intervention ; de plus, la durée des travaux devra être la plus courte possible compte tenu des fortes contraintes liées à l'usage de la rocade (horaires, mobilisation du personnel de la DIRSO, sécurité, etc...) ; de même, la rocade étant une voie à grande circulation, la conservation en l'état de la structure de chaussée existante est un point crucial dans le choix de la technique de réparation.

Pour répondre à ces objectifs dans le cadre de l'assistance au maître d'œuvre, la mission de projet comprend :

- Le rappel du contexte de l'opération et des résultats du diagnostic géotechnique ;
- Le rappel des conclusions de la mission d'avant-projet G2AVP dans laquelle le choix de la solution de confortement a été présenté ;
- Les principes et le dimensionnement de la solution de confortement retenue ;
- Les dispositions constructives et sujétions liées à cette solution de confortement et au contexte particulier du site.

Notre mission ne comprend pas :

- Le diagnostic structurel des couches de chaussées,
- La détection d'une éventuelle contamination des sols par des matières polluantes,
- L'étude hydrogéologique et hydraulique du site.

### A.3. Documents à notre disposition pour cette étude

#### A.3.1. Documents transmis à l'appel d'offres

Nous avons disposé pour cette étude des documents suivants :

	Document	Émetteur	Référence	Date
[1]	CCTP (annexe du DSCE)	DIRSO	-	18/11/22
[2]	DSCE (Dossier Simplifié de Consultation des Entreprises)	DIRSO	-	18/11/22
[3]	Historique Aléa	DIRSO	-	18/11/22
[4]	Etude géotechnique fonçage	TECNISOL	AVP ind A	23/04/14
[5]	Dossier Travaux de fonçage	JAMME KLEBER	Pièces 4 à 7 & 8.1	2014
[6]	Investigations et état des lieux	TECNISOL	Fontis sous A620 & pièce 8.2	16/03/17
[7]	Investigations géophysiques multiméthodes – Rapport final	BRGM	BRGM_RP-66829-FR	21/04/17
[8]	PV constat, inspection EU & recherche fuite AEP	VEOLIA	Pièces 9.1 – 9.2 & 10	2017
[9]	Sondages pour expertise judiciaire 17/01506	TERREFORT	D18/TER0877-01A	11/04/19
[10]	Plans DESC	DIRSO	2-7_DESC_A620_-PE_PUR-BOR_IND1-2 2-18_DESC_A620_-PI BOR-PUR_IND1-2	15/02/16

Ultérieurement à la notification, les documents suivants nous ont été transmis :

- Plans DWG de la rocade [11]
- Plan DESC 2-17 DESC A620 - PI BOR-CEP\_IND1-2\_compressed [12]
- Photo aérienne de localisation du désordre [13]
- Note technique n°1 CIBLEXPERTS du 15/12/2017 (dans l'intérêt de VEOLIA) [14]
- Plans anciens réseaux VEOLIA (DT 4987383 - 2019) ; DT n°2023070400442POA [15]
- Rapports COLAS et TECNISOL de mars 2017 concernant les travaux de réfection [16].
- Rapport d'investigations ind A [15] et Plan des réseaux ind C [16] GENIMAP (2405-132-DIRSO Ind A) de juin 2024 et Septembre 2024.

#### A.3.2. Documents de référence

Les principaux textes de référence utilisés pour la rédaction de ce rapport sont les suivants :

- NF EN 1997-1 : EUROCODE 7 – Calcul géotechnique – Partie 1 : Règles générales ;
- NF EN 1997-2 : EUROCODE 7 – Calcul géotechnique – Partie 2 : Reconnaissance des terrains et essais.
- NF EN 12715 exécution des travaux géotechniques spéciaux – injections
- Guide AMSOL Tome 2 « Amélioration et renforcement des sols » par L. Briançon, P. Liausu, C. Plumelle et B. Simon – Editions du Moniteur – 2018.

### A.3.3. Données manquantes

Les éléments suivants et qui pourraient être nécessaires à la compréhension du problème survenu, ne nous ont pas été fournis :

- Plan topographique de la rocade (le plan transmis ne comporte pas de relevé altimétrique),
- Plans des anciens réseaux ; suite à la réunion du 9/06/2023, les plans VEOLIA de 2019 (DT 4987383), nous ont été transmis mais il subsiste des inconnues ;
- Intégralité des documents de l'expertise judiciaire ; des documents techniques relatifs aux travaux d'urgence nous ont été transmis mi-juin 2023.

### A.3.4. Catégorie d'importance vis-à-vis du risque sismique

La catégorie d'importance d'ouvrage considérée par hypothèse dans la suite du rapport (hypothèse restant à confirmer par le maître d'ouvrage) est : I

### A.3.5. Catégories géotechnique et de durée d'utilisation de l'ouvrage

En l'absence d'indication, nous avons considéré, conformément à l'EC7, les hypothèses suivantes à confirmer par le Maître d'ouvrage :

- Catégorie géotechnique du projet : 2
- Classe de conséquence des ouvrages : CC2
- Catégorie de durée d'utilisation de l'ouvrage définitif : 4 (50 ans)

La classe de conséquence CC de la ruine ou de l'endommagement des ouvrages à créer est issue du tableau B.1 - norme NF EN 1990 ci-dessous :

Classe de conséquences	Description	Exemples de bâtiments et de travaux de génie civil
CC3	Conséquence <b>élevée</b> en termes de perte de vie humaine, <i>ou</i> conséquences économiques, sociales ou d'environnement <b>très importantes</b>	Tribunes, bâtiments publics où les conséquences de la défaillance seraient élevées (par exemple salle de concert)
CC2	Conséquence <b>moyenne</b> en termes de perte de vie humaine, conséquences économiques, sociales ou d'environnement <b>considérables</b>	Bâtiments résidentiels et de bureaux, bâtiments publics où les conséquences de la défaillance seraient moyennes (par exemple bâtiment de bureaux)
CC1	Conséquence <b>faible</b> en termes de perte de vie humaine, <i>et</i> conséquences économiques, sociales ou d'environnement <b>faibles ou négligeables</b>	Bâtiments agricoles normalement inoccupés (par exemple, bâtiments de stockage), serres

Tableau I : selon § B.3.1 de la norme NF EN 1990 (EC-0)

Compte-tenu des conditions de site simples, le projet est en catégorie géotechnique 2 (cf. tableau P.3.1. ci-après).

CLASSE DE CONSEQUENCE	CONDITIONS DE SITE	CATEGORIE GEOTECHNIQUE <sup>a</sup>	BASE DES JUSTIFICATIONS
CC1	Simple et connues	1	Expérience et reconnaissance géotechnique qualitative admises
	Complexes	2	Reconnaissance géotechnique et calculs nécessaires
CC2	Simple	2	
	Complexes	3	Reconnaissance géotechnique et calculs approfondis
CC3	Simple ou complexes	3	

<sup>a</sup> Il n'y a pas de règles établies pour le choix de la catégorie géotechnique. En pratique toutefois, on considère qu'un ouvrage fondé sur pieux relève au moins de la catégorie 2, et on classe en catégorie géotechnique 3 les ouvrages établis dans un site instable, ou dans des conditions de risques sismiques importants, ou dans des sols évolutifs ou sensibles, les ouvrages nucléaires, de stockage GNL, etc.

Tableau 2 : selon annexe P de la norme NF P 94-262



## B. RAPPEL DU CONTEXTE DE L'OPERATION

### B.1. Description du site

La portion du périphérique Ouest (A620) étudiée se situe sur la commune de TOULOUSE au niveau de l'échangeur de Bordelongue (jonction A64/A620) dans un contexte urbain dense et relativement plat au droit des voies de la Rocade et des extérieurs. Notre zone d'étude se limite aux voies de la Rocade y compris terre-plein central et BAU ; toutefois, nous avons intégré les zones enherbées de part et d'autre de la rocade et des murs anti-bruits afin de mieux cerner le contexte global de cette zone.

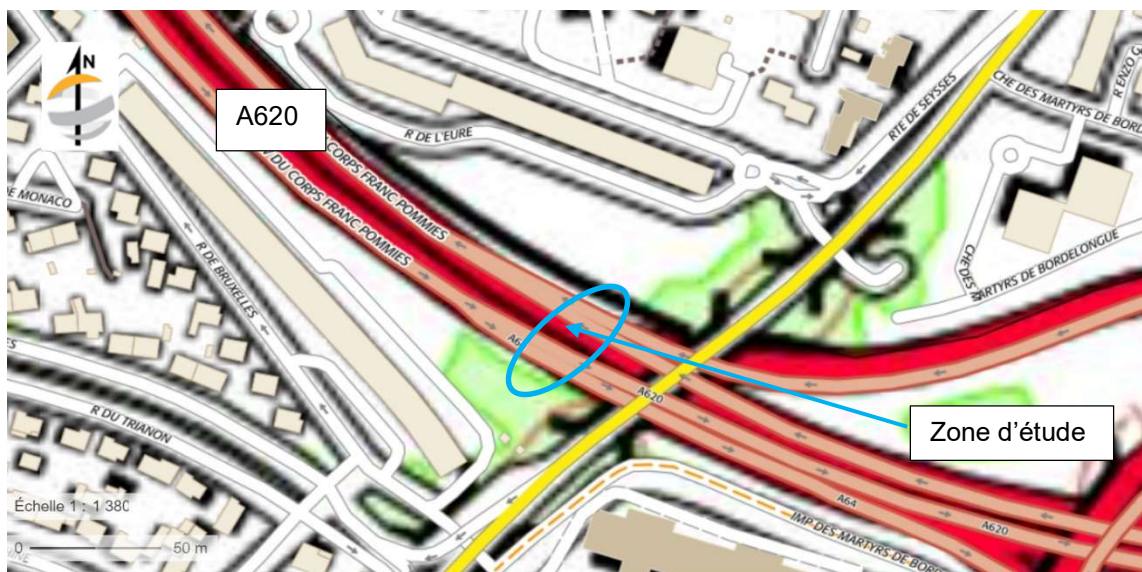


Figure 1 : Extrait Carte IGN [www.géoportail.gouv.fr]

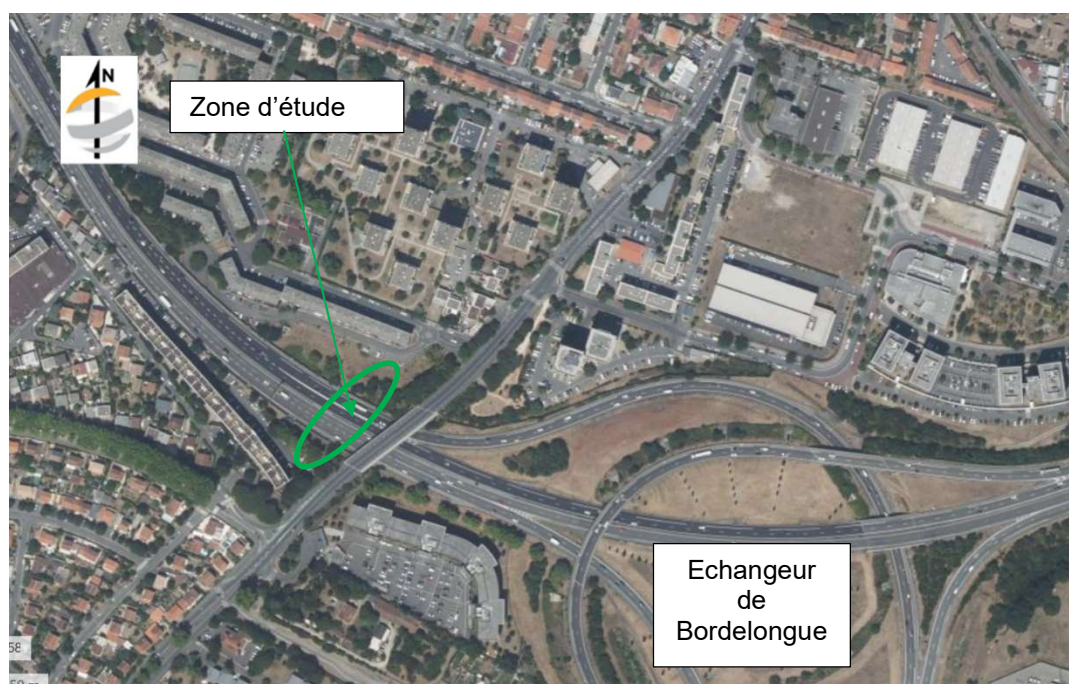


Figure 2 : Extrait vue aérienne [www.géoportail.gouv.fr]

Les désordres anciens survenus (aux environs du PR10+590) sur la rocade et pour lesquels nous intervenons aujourd'hui ne sont plus visibles. Seule la photo aérienne ci-après (pas de date, extrait google earth), permet de localiser la zone de réfection des enrobés au droit des désordres :

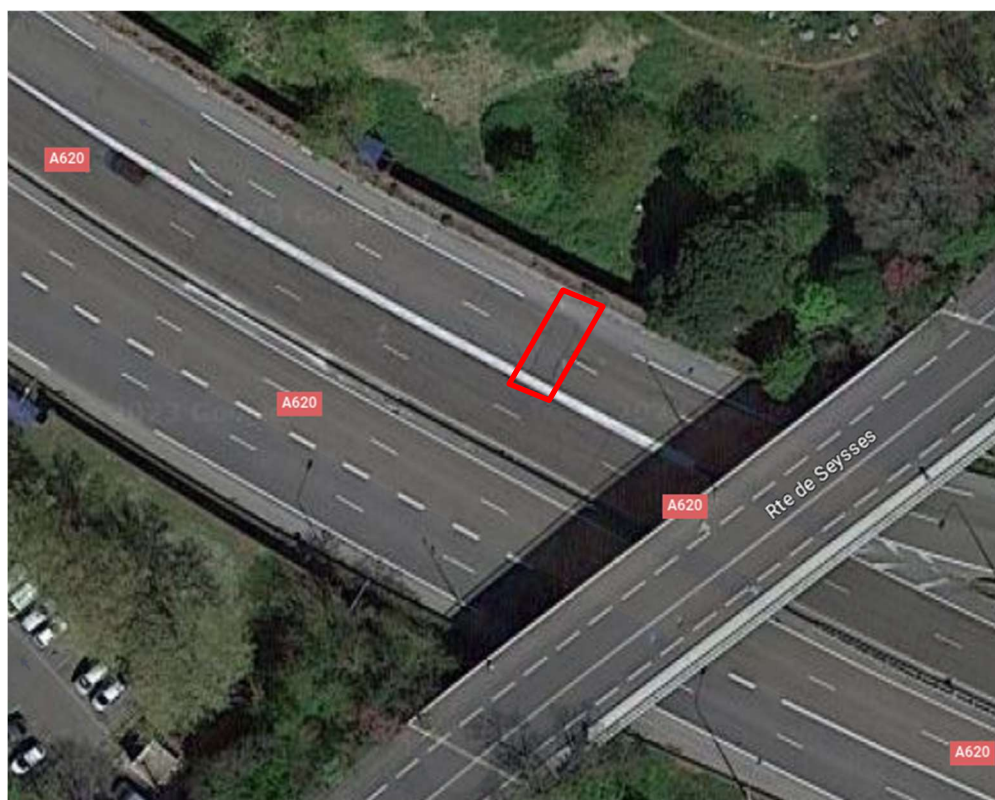


Figure 3 : Extrait photo aérienne Google Earth sans date

D'un point de vue topographique, le terrain est quasiment plat ; d'après le site Géoportail, l'altitude varierait de 143.5 NGF côté sud à 143 NGF côté Nord.

## B.2. Contexte géologique général

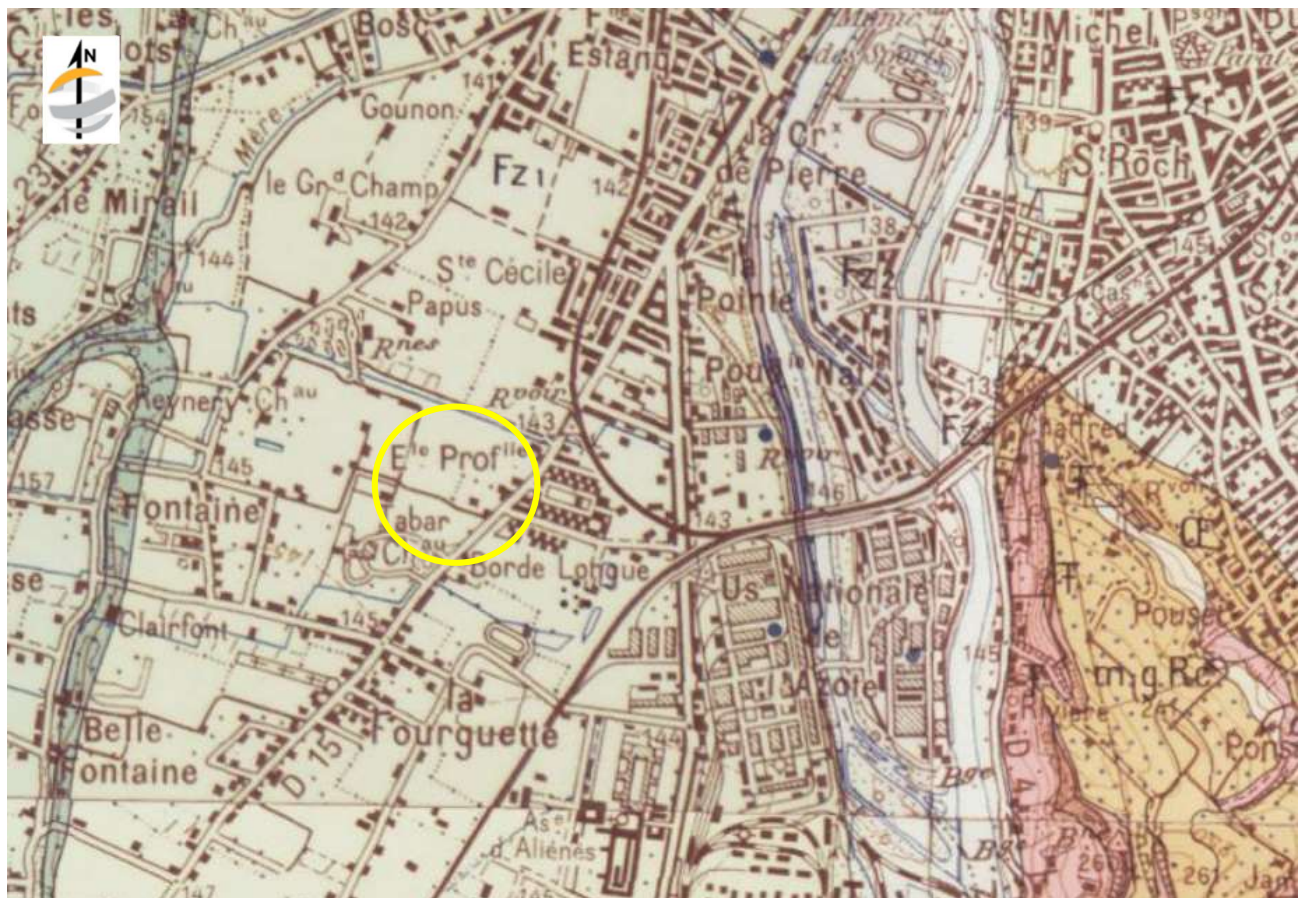
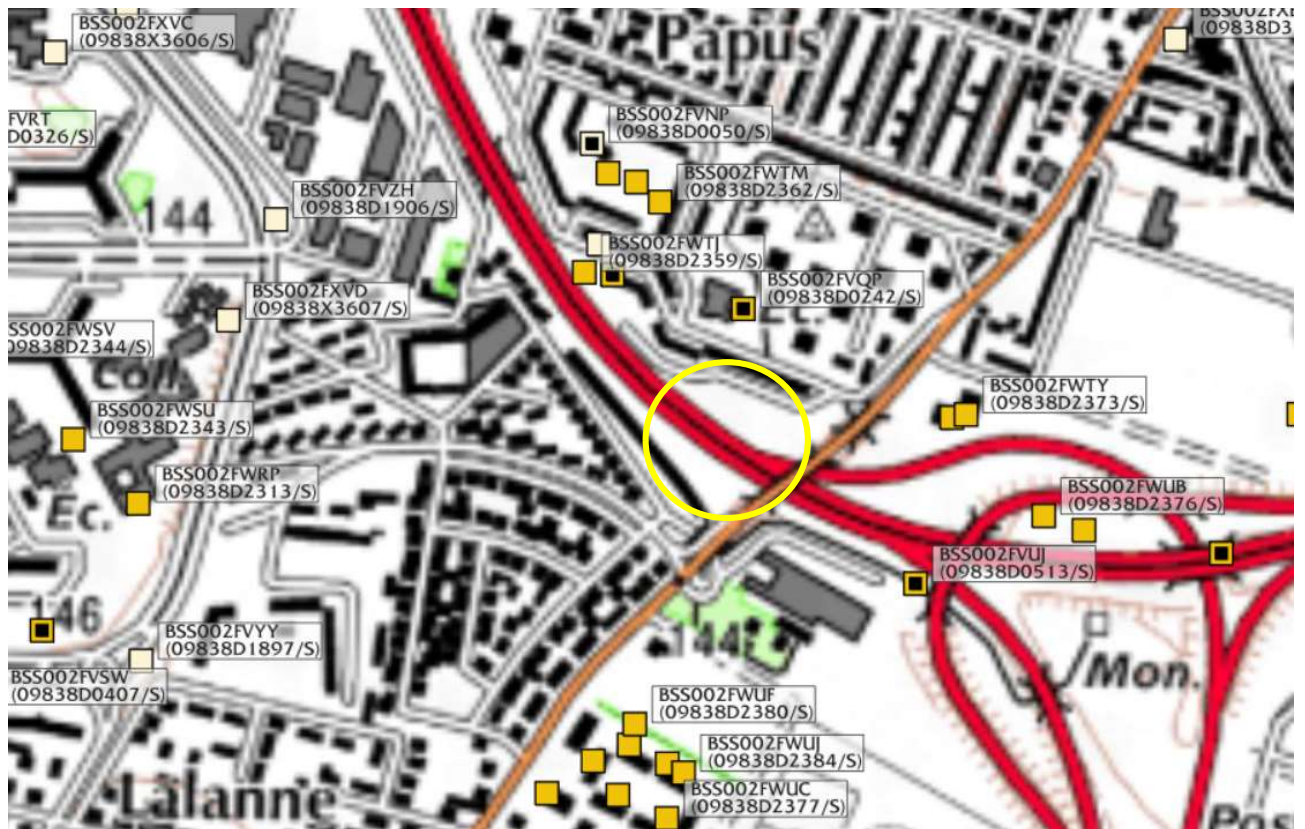
D'après la carte géologique de TOULOUSE-OUEST (BRGM n° 983) et notre connaissance de ce secteur, la géologie attendue est la suivante :

- Alluvions quaternaires et modernes de la basse plaine de la Garonne (Fz1) ; elles sont composées en surface de limons voire de sables limoneux puis de graves pouvant atteindre 4 à 6 m d'épaisseur ; du fait de leur mode de dépôt lenticulaire, elles peuvent présenter des variations latérales de faciès ;
- Substratum molassique régional daté de l'Aquitaniens-Stampien (g2-3) constitué de marnes, d'argiles et de molasses datées de l'Oligocène ; Le toit du substratum peut présenter des surprofondeurs locales.

D'autre part, compte tenu de l'occupation ancienne du site, il est vraisemblable de rencontrer des remblais qui seront, de par nature, hétérogènes ; ils sont généralement présents dès la surface mais peuvent également se substituer aux limons de surface. Ils peuvent également contenir des vestiges de construction (fondation, éléments béton, anciens réseaux...) notamment du fait de la démolition de bâtiments anciens en limite nord du site.

D'un point de vue hydrogéologique, les alluvions de la Garonne renferment une nappe dont le niveau varie de manière saisonnière en s'écoulant au toit du substratum, réputé imperméable, en direction de la Garonne à l'Est.







### B.3. Rappel des résultats des investigations

Les mesures de 2023 (Arkogéos) couplées à celles de 2024 (Genimap) ont mis en évidence 4 réseaux transversaux : 1 réseau électrique et/ou EP correspondant avec le plan de la DICT, 1 réseau en correspondance avec les regards du réseau EU foncé en 2014 (on note toutefois un léger décalage potentiel côté nord par rapport au plan de la DICT) et 2 réseaux ne correspondant pas avec les plans des DICT de 2023 ; l'un est le réseau AEP et l'autre le réseau Télécom.

D'autre part, ces mesures (ARKOGEOS) ont mis en évidence 2 anomalies étendues mais peu profondes ou débutant à faible profondeur ; d'autres anomalies très ponctuelles ont été mises en évidence à proximité des réseaux existants et en correspondance avec certaines anomalies distinguées par le BRGM.

La carte ci-dessous présente notamment les anomalies observées en 2023 par ARKOGÉOS :

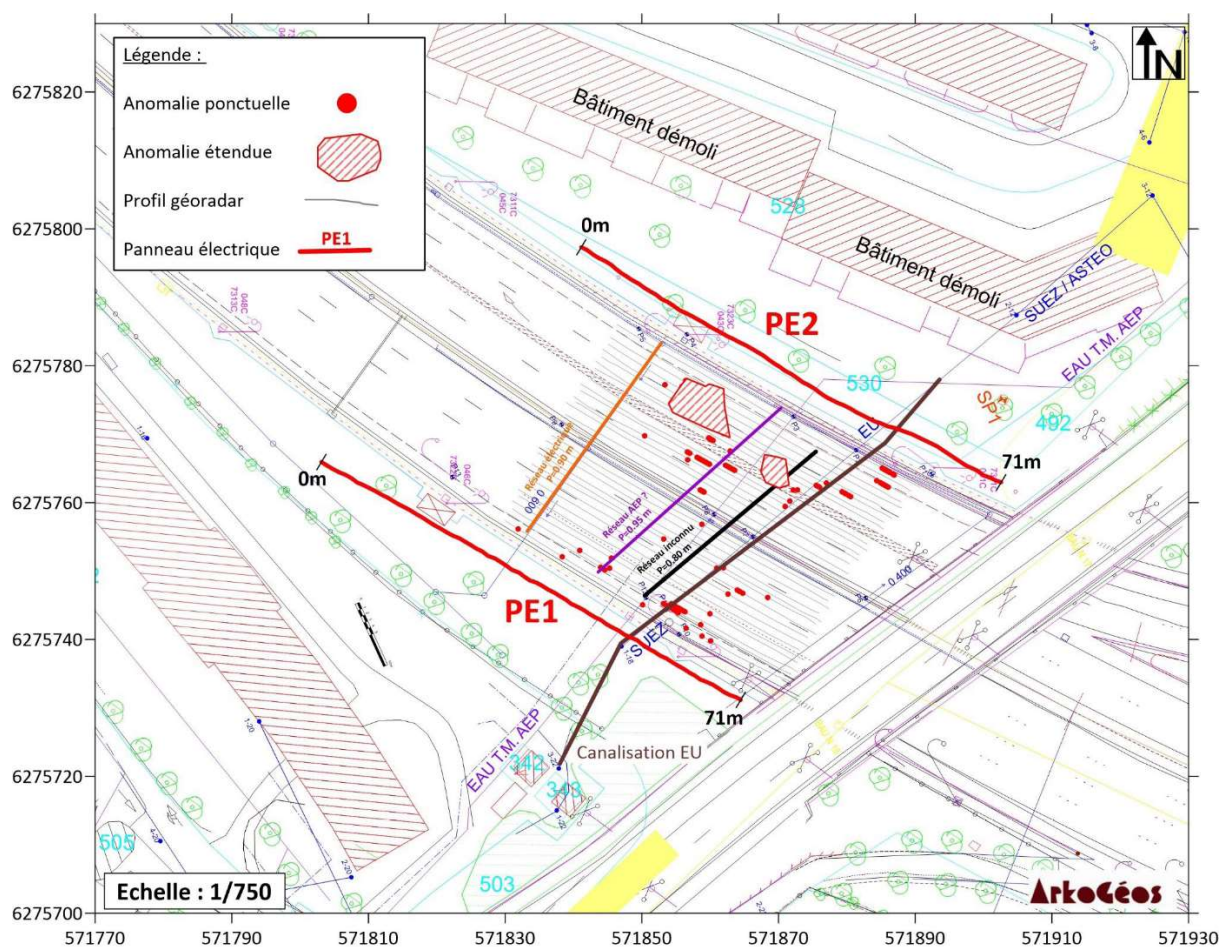


Figure 6 : Extrait rapport ARKOGÉOS 2023 – Carte de synthèse des résultats géophysiques

Sur la carte du BRGM présentée ci-après, on observe donc 2 anomalies principales (G1 et G2) à proximité de la zone effondrée ; les autres anomalies sont plus ponctuelles. Sur la base de ces résultats, des sondages de vérification ont été proposés par le BRGM (présentés sur la même carte du BRGM) qui ont été réalisés en 2019 par Terrefort dans le cadre de l'expertise judiciaire. On notera que l'un de ces sondages a rencontré a priori un vide franc qui n'a pas fait l'objet d'une injection comme les 5 autres forages lors de leur rebouchage. L'anomalie relevée dans le sondage SD6 (côté sud de la rocade) semble persister en 2023.

En revanche, les traces sur la carte du BRGM correspondant aux réseaux ne sont pas cohérentes ni avec les plans des réseaux (DICT) ni avec les anomalies longitudinales que nous avons mises en évidence par Géoradar en 2023 (Arkogéos).

La carte du BRGM (2022) montre différentes anomalies (Gx) au droit desquelles ont été réalisés les sondages destructifs (SDx)

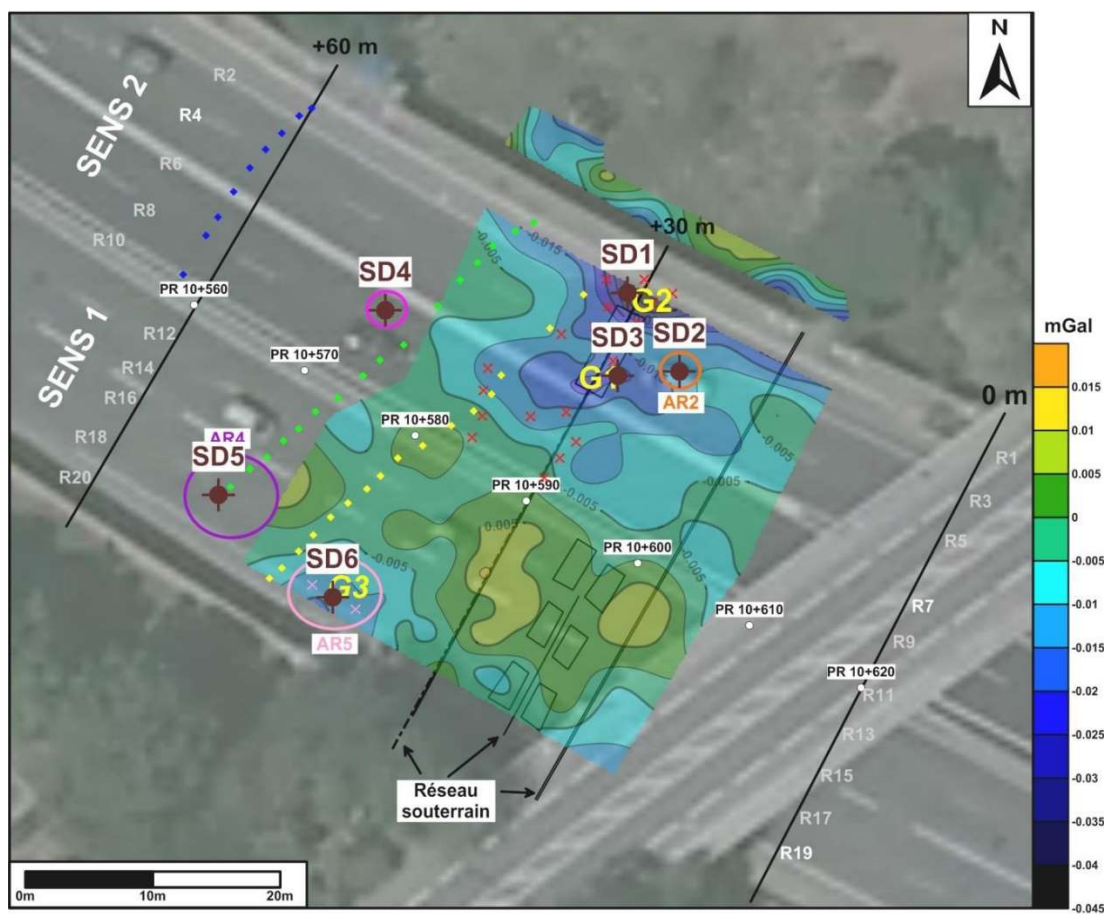


Figure 7 : Extrait rapport BRGM – Carte de synthèse des résultats géophysiques

Les différentes investigations de GENIMAP de 2024 ont permis d'établir la synthèse des réseaux détectés au droit du secteur d'étude :

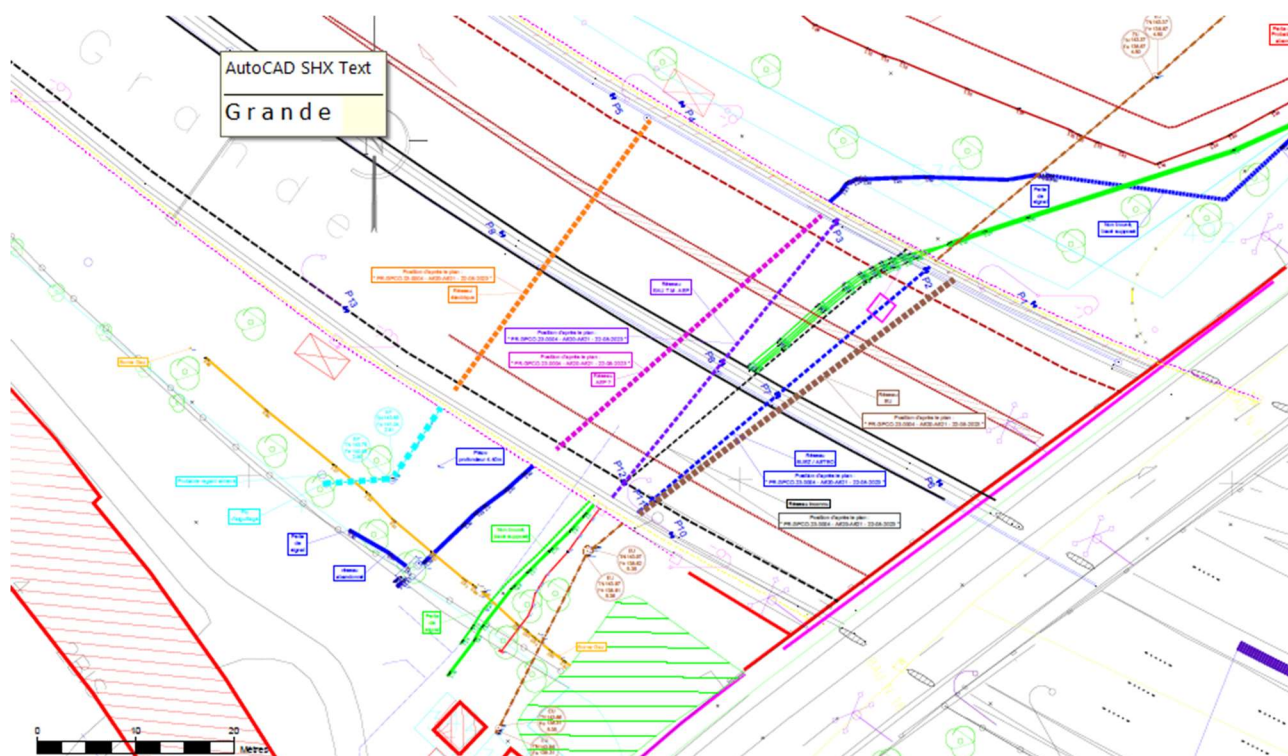


Figure 8 : Extrait rapport GENIMAP – Carte de synthèse des détections



On se reportera également aux plans globaux (cf. annexe 4) que nous avons établis où sont reportés les réseaux à partir des plans des DICT y compris les plans de la DT Veolia de 2019 et de la DT de Août 2023, les résultats des investigations géophysiques de 2023, les sondages existants (2014 et 2019) ainsi que les résultats des investigations géophysiques multi-méthodes du BRGM. Nous avons également ajouté les résultats des investigations de GENIMAP de 2024.

A partir des sondages géotechniques existants, nous avons établi le modèle géotechnique suivant :

Base des couches		SP01 (143.3 NGF)	SP02 (143.6 NGF)	SM01 (?)
N°	Nature de la formation	Prof (m/TA) / cote NGF		
1	Remblais	-	-	0.5
3	Alluvions fines (limons et limons graveleux)	1.5 / 141.8	1.5 / 142.1	1.1
3	Alluvions grossières (graves argilo-sableuses)	6.3 / 137.0	6.3 / 137.3	> 3.0
4	Substratum molassique	> 7.5 / < 135.8	> 7.5 / < 136.1	-

Valeurs pressiométriques		Pression limite nette $p_{LM}^*$ (MPa)			Module pressiométrique $E_M$ (MPa)			Nb valeurs
N°	Formation	Min	Max	Moy. géo.	Min	Max	Moy. harm.	-
1	Remblais	-			-			0
2	Alluvions fines	-			-			0
3	Alluvions grossières	1.63	2.20	1.90	13.2	64.1	21.2	6
4	Substratum molassique	-			-			0

Moy. Géo. : moyenne géométrique / Moy. Harm. : moyenne harmonique

Les alluvions grossières présentent donc des caractéristiques pressiométriques moyennes à élevées, cohérentes avec les valeurs habituellement rencontrées sur la région toulousaine dans ce type de matériau. Il n'y a pas d'éléments dans ces sondages concernant les alluvions fines ni le substratum.

Les niveaux d'eau relevés en 2014 par Tecnisol lors de leur intervention sont de 139 à 139.1 NGF ; l'un des sondages a été équipé en piézomètre mais le suivi de cet équipement n'est pas fourni avec le rapport. Cette étude demande la réalisation d'un essai de pompage pour pouvoir effectuer un rabattement de la nappe le temps des travaux de fonçage ; aucun élément n'est disponible concernant cet essai.

D'après les données disponibles sur le site Infoterre (base de données du BRGM) dans le secteur d'étude, les niveaux d'eau varieraient selon les périodes entre 139 et 141 mNGF.

## B.4. Rappel du diagnostic géotechnique

Compte tenu des différents éléments mis à notre disposition et de leur analyse globale a posteriori, il est vraisemblable que l'origine du fontis de 2017 soit à rechercher dans la dégradation de réseaux et/ou autres ouvrages anciens, potentiellement abandonnés, présents sous la rocade actuelle. Pour rappel, dès 1961, une voie à grande circulation était déjà construite sur cette zone et le réseau AEP daterait de 1976 laissant présager de l'ancienneté des autres réseaux présents. Pour rappel, les travaux de réfection de la chaussée suite à l'effondrement de 2017, ont bien mis en évidence un phénomène de renard ainsi que des ouvrages anciens en béton dont un réseau.



Il tout aussi probable que les travaux de fonçage de 2014 aient quelque peu remaniés les sols autour du fonçage voire perturbés les écoulements d'eau sur un plus large secteur ; du fait d'une situation précaire et évolutive (réseaux ou ouvrages anciens détériorés), ces modifications ont pu conduire quelques années plus tard à l'apparition du fontis par lessivage des fines dus à des écoulements et/ou entraînement des matériaux vers des vides ou zones fortement décomprimées.

Compte tenu des écarts observés dans la position des réseaux entre les plans des DICT et les anomalies longitudinales identifiées par les mesures au géoradar de 2023, la position du fontis reste approximative par rapport à ces réseaux ; l'affirmation que le fontis soit positionné au-dessus de la conduite EU mise en place par fonçage en 2014 doit être modulée par ces écarts relevés a posteriori.

Nous notons qu'aucun autre désordre n'est survenu depuis mars 2017 soulignant le fait qu'un équilibre s'est reconstitué depuis plus de 5 ans. Les mesures géoradar ont mis en évidence des anomalies (surfaciques et ponctuelles) concomitantes avec celles du BRGM et que l'on peut donc considérer comme persistantes après traitement du fontis et injection de la zone par l'intermédiaire des forages destructifs.

D'autre part, nous rappelons que le sondage destructif SDI a mis en évidence un vide ou une zone fortement décomprimée sur 2 m d'épaisseur entre 1.1 et 3.1 m de profondeur ; bien que cette anomalie ne soit pas particulièrement mise en évidence lors des investigations de 2023 (anomalie ponctuelle mais profonde), elle reste problématique en l'absence d'identification claire de sa nature et/ou de son origine.

# C. APPLICATION AU PROJET

## C.I. Zone d'Influence Géotechnique

L'ouvrage étudié ici est la rocade A620 ; la ZIG par rapport à cet ouvrage intéresse donc :

- L'ensemble des ouvrages de la Rocade A620 (2 x 3 voies, bretelles, terre-pleins...) ;
- Les ouvrages annexes de la rocade (fossés, glissières, panneaux, réseaux, murs anti-bruit, etc...) ;
- Les réseaux enterrés en travers de la rocade objet de la présente étude et ceux présents sous les terre-pleins et BAU.



Figure 9 : Extrait google earth – Echelle graphique – matérialisation de la ZIG en rouge



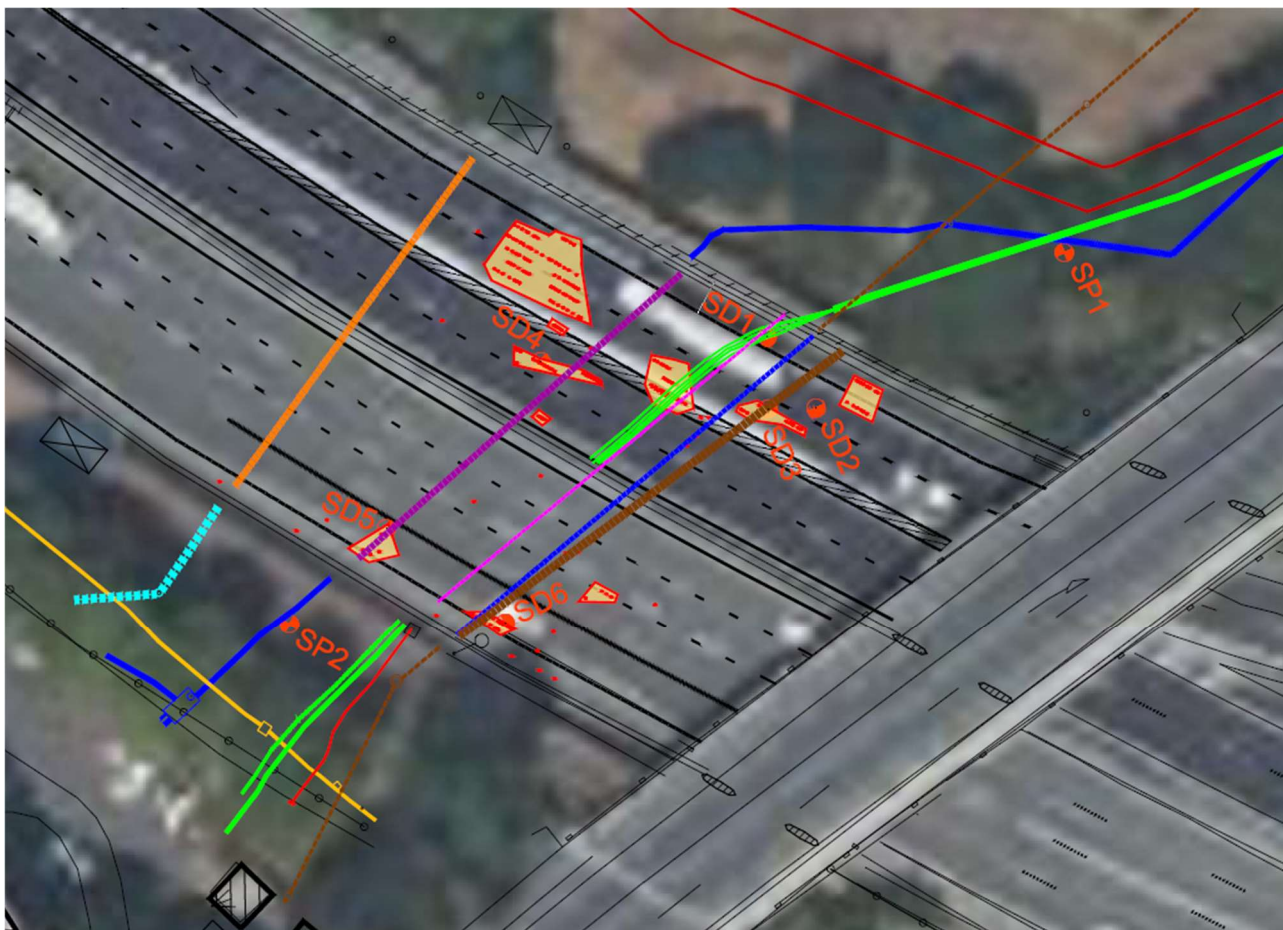


Figure 10 : Extrait google earth – Echelle graphique – report des réseaux et anomalies

## C.2. Données sismiques

En application de l'Eurocode 8 et des décrets d'application relatifs à la prévention du risque sismique, le site étant dans une zone de sismicité I :

- la justification de l'ouvrage sinistré vis-à-vis du risque sismique n'est en principe pas requise. Rappelons néanmoins que la définition de la catégorie d'importance de l'ouvrage reste une prérogative du MOA ;
- l'analyse de la liquéfaction des sols n'est pas requise.

## C.3. Modèle géologique, géotechnique et hydrogéologique

Les valeurs caractéristiques mécaniques retenues sont issues d'une estimation prudente basée sur une approche statistique des résultats et notre expérience locale.

Valeurs pressiométriques		Pression limite nette $p_{LM}^*$ (MPa)			Module pressiométrique $E_M$ (MPa)			Nb valeurs
N°	Formation	Min	Max	Moy. géo.	Min	Max	Moy. harm.	-
1	Remblais	-			-			0
2	Alluvions fines	-			-			0
3	Alluvions grossières	1.63	2.20	1.90	13.2	64.1	21.2	6
4	Substratum molassique	-			-			0

## C.4. Choix de la solution de confortement

### C.4.1. Contraintes du site

Le mode d'exécution des travaux dépend étroitement des conditions du site et en particulier :

- de la sensibilité des mitoyens pouvant nécessiter une surveillance particulière : murs anti-bruit, structure de chaussée ;
- de la présence des voiries circulées et des possibilités de neutralisation partielle ou totale de celles-ci ;
- de l'espace libre disponible pour réaliser les travaux et de l'éventuelle co-activité.

De nombreux autres facteurs peuvent être déterminants pour le choix du mode d'exécution des travaux (présence de réseaux sous chaussée, d'ouvrages enterrés, etc...).

Dans le cas d'ouvrages considérés comme sensibles ici, il est recommandé :

- avant tout démarrage des travaux, de faire réaliser un diagnostic de la (des) structure(s) de l'existant et des avoisinants par un bureau d'études structures ; il définira le cas échéant les confortements ou précautions à prendre, nécessaires à la réalisation des travaux ainsi que les déformations à ne pas dépasser ;
- un référé préventif sera établi avant le début des travaux. Il permettra de relever tous les désordres éventuels des constructions existantes.

Les travaux de confortement seront réalisés depuis les voies de la rocade neutralisées, à proximité des réseaux existants dont il conviendra de déterminer la sensibilité vis-à-vis d'éventuelles déformations. La surface d'intervention sera limitée aux anomalies mises en évidence par les méthodes d'investigations géophysiques et géotechniques sur l'ensemble des voies circulées.

Concernant le contexte hydrogéologique, les reconnaissances ont mis en évidence la présence d'une nappe au sein des alluvions subissant des variations saisonnières.

Considérant la nécessité de remettre en service les voies de la rocade dans les plus brefs délais notamment après réalisation des travaux, les produits d'injection seront de préférence de type gel de silicate ou coulis de ciment à prise rapide.

Concernant les voies de la rocade, ouvrage particulièrement sensible, aucune déformation supérieure à cinq (5) mm ne sera tolérée afin de ne pas modifier le profil en travers qui assure l'écoulement des eaux de ruissellement. Les forages d'injection seront rebouchés après chaque nuit d'intervention en utilisant des produits qui assureront la tenue dans le temps des chaussées sans aucune dégradation.

## C.5. Principes de confortement

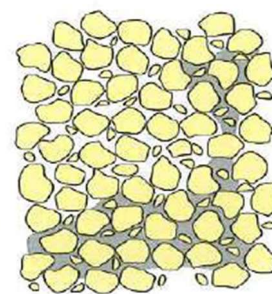
Les investigations géophysiques menées ont montré la présence de 2 anomalies étendues à partir de moins de 1 m de profondeur sur des surfaces de 15 et 45 m<sup>2</sup> au niveau des voies d'insertion de l'A64 donc côté droit de la rocade intérieure. Elles ont montré des zones d'anomalies ponctuelles à proximité du réseau EU de 2014 aux 2 extrémités. Quelques anomalies ponctuelles sont relevées à proximité du réseau AEP.

Les sondages destructifs suite aux investigations du BRGM ont montré la présence d'un vide en SD1 et d'une zone décomprimée en SD6 ; cette dernière a fait l'objet d'une injection à partir du forage SD6, ce qui n'est pas le cas du vide relevé en SD1, qui reste toujours non identifié à ce jour.



Concernant le vide relevé dans le sondage SDI entre 1.1 et 3.1 m de profondeur et n'ayant pas fait l'objet d'une injection à cette époque, il conviendra d'identifier la position et la nature de ce vide (potentiellement un ancien ouvrage béton type chambre ou regard) afin de le consolider et/ou combler définitivement. Ce volume pourrait représenter entre 2 et 5 m<sup>3</sup>.

Compte tenu du contexte de l'intervention (rocade toulousaine très circulée, sols potentiellement décomprimés et/ou présence de vides, réseaux plus ou moins sensibles), la solution par injection des sols peut être envisagée afin de traiter les anomalies ; il s'agira d'une « imprégnation » puisqu'il ne sera pas recherché d'amélioration des caractéristiques des sols mais seulement un comblement des anomalies. Compte tenu de l'objectif de cette injection, nous ne retenons pas la solution « résine » en première approche car elle ne peut assurer une imprégnation des sols sans leur mise en pression.



Coulis fluide  
Pression réduite

Injection  
par imprégnation

Les critères dimensionnants à respecter seront :

- la pression d'injection et le volume injecté, la profondeur à atteindre,
- la non-déformation de l'ouvrage que constitue la rocade.

Cette imprégnation intéresserait la surface d'environ 45 m<sup>2</sup> correspondant à l'anomalie étendue (pour une profondeur d'environ 1 m) à laquelle s'ajoutera le traitement de la seconde anomalie étendue de 15 m<sup>2</sup> mais vraisemblablement plus épaisse (jusqu'à 2 m de profondeur) ainsi que des anomalies ponctuelles dont la surface peut être estimée entre 10 et 20 m<sup>2</sup>. Le comblement du vide sur SDI viendra en complément de ces volumes.

Le diamètre et le maillage des forages d'injection seront fonction des spécificités de la méthode employée et de la nature du terrain. Par exemple pour le type de terrain en place, le maillage serait compris entre 0.8 x 0.8 m et 1.2 x 1.2 m au maximum.

# D. CONCEPTION DE LA SOLUTION DE CONFORTEMENT

## D.1. Principes de confortement

Dans ce qui suit, on se réfère au guide «AMSOL Tome 2 de 2018 – Amélioration et renforcement des sols » établi par un groupe d'expert, qui traite notamment du procédé d'injection.

Compte tenu du contexte de l'intervention (rocade toulousaine très circulée, réseaux enterrés sensibles, sols +/- décomprimés), la solution d'injection des sols permettra de « combler » ces anomalies ; on parle d'une « imprégnation » puisqu'il ne sera pas recherché d'amélioration des caractéristiques des sols.

A ce stade PRO, seule une solution par gel de silicate ou coulis fluide à prise rapide est étudiée. Des variantes pourront être proposées par les entreprises spécialisées et leur pertinence sera étudiée en phase DCE/ACT. Toutefois, une solution par injection de résine devra apporter toutes les garanties nécessaires vis-à-vis de la sensibilité des ouvrages existants (réseaux, voies de circulation) notamment en ce qui concerne la pression maximale exercée lors de la réaction chimique des produits.

Le principe général est d'injecter, à partir de forages de petit diamètre équipés de tubes à manchettes, un produit en colonnes de faible diamètre régulièrement réparties au sein de la couche de sol à traiter afin de combler les vides et zones décomprimées sans rechercher une amélioration des caractéristiques mécaniques des sols en place. L'augmentation de la densité relative des sols correspond à une réduction de leur indice des vides.

Cette imprégnation intéressera une surface d'environ 75 m<sup>2</sup> au droit de la et atteindra une profondeur maximale de 2.5 m en fonction des anomalies et des réseaux présents.

Le diamètre et le maillage des forages d'injection est fonction des spécificités de la méthode employée et de la nature du terrain. Les hypothèses retenues sont présentées dans le § suivant.

Les critères dimensionnants à respecter seront :

- la pression maximale de l'injection,
- la réduction de l'indice des vides,
- la préservation des réseaux,
- la non-déformation de l'ouvrage que constitue la rocade.

On se reportera à l'annexe 3 qui présente le plan des anomalies à traiter.

## D.2. Hypothèses et dimensionnement de la solution

### D.2.1. Maillage des forages et rayon d'action

Selon le Guide « amélioration et renforcement de sols », le maillage des forages d'injection est fonction de la nature et de la perméabilité des sols en place selon les 2 tableaux ci-après extraits de ce guide :

Nature du sol	Perméabilité (m/s)	Espacement (m)
Galets	$10^{-2}$	2,5 à 3,5
Sable et gravier	$10^{-2}$ à $10^{-3}$	1,5 à 1,7
Sable moyen	$10^{-3}$ à $10^{-4}$	1,2 à 1,5
Sable fin	$10^{-4}$ à $10^{-5}$	1 à 1,2
Sable limoneux	$10^{-5}$ (1)	0,8 à 1
(1) $10^{-5}$ : limite d'injectabilité.		

Type d'ouvrage	Nature de terrain	Disposition des forages
Voile	Alluvions	2 à 3 lignes de forages Espacement entre forages de 1 à 3 m
Massif	Alluvions	Maille : 1 × 1 à 3 × 3 m
Radier	Alluvions	Maille : 1,5 × 1,5 à 7 × 7 m
	Craie	Maille : 2,5 × 2,5 m
	Sable fin	Maille : 0,8 × 0,8 à 1,3 × 1,3 m
	Sable et gravier	Maille : 1 × 1 à 2 × 2 m
Profondeur < 25 m	Gravier	Maille : 2 × 2 à 4 × 4 m

Pour le type de terrain en place (alluvions fines et alluvions graveleuses à matrice +/- sablo-argileuse) et selon la perméabilité estimée ( $10^{-5}$  m/s dans les alluvions fines et  $10^{-4}$  m/s dans les alluvions grossières), le maillage sera compris entre 0,8 × 0,8 m et 1,2 × 1,2 m au maximum.

De même, le rayon d'influence des injections est défini selon la nature des sols à partir du tableau suivant :

Désignation sol	Rayon d'influence $R_i$ (m)
Argiles	0,2 à 0,3
Limons	0,5 à 1,0
Sables ou graviers	1,0 à 1,50

On retiendra donc un rayon d'influence  $R_i$  moyen de 0,5 à 1 m considérant que les sols en place comportent une matrice fine.

## D.2.2. Paramètres dimensionnants

Le débit d'injection limite pour éviter le claquage du terrain s'exprime par :

$$Q_{\text{lim}} \leq \frac{2 \pi k l \eta_v}{D_c \times \eta_c \times \ln\left(\frac{R}{r}\right)} \gamma h (1 + \sin \phi) \times v$$

avec :

$Q$  : débit en  $\text{m}^3/\text{s}$  ;  
 $D_c$  : poids volumique du coulis en  $\text{kN}/\text{m}^3$  ;  
 $\eta_c$  : viscosité cinématique du coulis en  $\text{mPa.s}$  ;  
 $k$  : perméabilité du milieu alluvionnaire en  $\text{m/s}$  ;  
 $\eta_w$  : viscosité cinématique de l'eau en  $\text{mPa.s}$  (env.  $1 \text{ mPa.s}$  à  $20^\circ\text{C}$ ) ;  
 $l$  : épaisseur de la couche concernée en  $\text{m}$  (prise à  $0,33 \text{ m}$  en général) ;  
 $R$  : rayon d'action de Dupuit en  $\text{m}$  ;  
 $r$  : rayon du forage en  $\text{m}$  ( $0,05 \text{ m}$  en général) ;  
 $\gamma$  : poids volumique en  $\text{kN}/\text{m}^3$  du terrain au-dessus de la zone traitée ;  
 $h$  : hauteur de terrain au-dessus de la zone traitée ;  
 $\varphi$  : angle de frottement du terrain ;  
 $\nu$  : coefficient de Poisson du terrain.

Le dimensionnement de la solution consiste à définir le taux de produit à injecter  $T_{\text{inc}}$  par rapport au volume total de sol à traiter, en fonction de l'indice des vides initial  $e_0$  et final  $e_f$ . Un fois ce taux défini, le maillage d'injection adapté est choisi en fonction des lithologies à traiter, auxquelles est associé le rayon d'influence des bulbes de produit injecté tel que présenté ci-avant.

Pour pré-dimensionner la solution de traitement par injection et préciser l'étendue des travaux de reprise et les aléas associés, nous avons également utilisé la méthode décrite dans le guide AMSOL pour déterminer le taux d'incorporation  $T_{\text{inc}}$  :

$$T_{\text{inc}} = \frac{e_0 - e_f}{(1 + e_0) \cdot (1 + e_f)}$$

En l'absence d'essais de laboratoire, nous avons retenu les hypothèses suivantes pour l'indice des vides à partir de  $S_r$  (degré de saturation),  $\gamma_h$  (poids volumique humide) et  $\gamma_s$  (poids volumique des grains).

Les valeurs de ces hypothèses sont les suivantes :

- Degré de saturation  $S_r$  # 50 à 75% (base des alluvions grossières sous eau, sols superficiels essentiellement secs, pas d'eau de ruissellement (surface de la rocade imperméabilisée)).
- Poids volumique des grains  $\gamma_s$  #  $27 \text{ kN}/\text{m}^3$  (valeur usuelle)
- Poids volumique humide  $\gamma_h$  de l'ordre de  $18 \text{ kN}/\text{m}^3$  (valeurs habituelles dans ces types de sols)

A partir de la relation :

$$\gamma_h = \frac{\gamma_s + e \cdot S_r \cdot \gamma_w}{1 + e}$$

On obtiendrait les valeurs suivantes pour  $\gamma_h = 18 \text{ kN}/\text{m}^3$ :

- Pour  $S_r$  # 50 %,  $e = 0.69 \pm 0.05$
- Pour  $S_r$  # 75 %,  $e = 0.86 \pm 0.05$

On peut considérer que l'ordre de grandeur connu pour des sables et limons est  $e = 0.4$  à  $1$ , en cohérence avec les valeurs calculées. Donc, l'indice des vides minimal que l'on peut rechercher dans ce type de sol serait de l'ordre de  $0.4$ . L'indice des vides final  $e_f$  recherché devrait donc approcher les valeurs de  $0.4$  à  $0.5$ .

Ainsi, le taux d'injection  $T_{\text{inc}}$  à prévoir s'inscrit dans la plage de valeur :  $10$  à  $20$  %.



### D.2.3. Nombre et diamètre de forages

Pour une surface de 75 m<sup>2</sup>, le nombre de forages d'injection serait de 75 (maillage de 1 x 1 m) intéressant un volume de sols de l'ordre de 150 m<sup>3</sup> maximum pour des profondeurs variant entre 1 à 2.5 m y compris comblement du vide sur SDI.

Le volume de produit à injecter (qui devra être suivi et consigné) n'est pas un critère de contrôle (il pourra être compris entre 25 et 50 m<sup>3</sup> à +/- 10%. On retiendra pour ce type de sol de préférence un maillage de 0.8 x 0.8 m soit un linéaire de forage d'injection de 350 à 400 ml pour un rayon d'action de l'ordre de 0.5 m. Le diamètre des forages est laissé à l'appréciation de l'entreprise en fonction de son matériel et des objectifs recherchés.

## D.3. Dispositions constructives

Le choix du matériel (type d'outil de forage, diamètre, etc...) est de la responsabilité de l'entreprise en fonction de son expérience locale. Le phasage des travaux devra prendre en compte les contraintes du site au moment de leur réalisation (fermeture de la rocade, réseaux existants...). Toutes les précautions nécessaires devront être prises pour que ces travaux ne créent aucun désordre aux ouvrages.

Les critères d'exécution seront le volume de sol à traiter (~ 150 m<sup>3</sup>), les profondeurs à atteindre (2.5 m prévisionnel), la pression maximale à respecter (0.3 MPa) et la non-déformation des ouvrages notamment la rocade (< 5 mm).

Le suivi permanent des déformations des voies de la rocade sera obligatoire pendant les travaux d'injection au moyen de repères. Les observations issues de ce suivi au cours des travaux permettront d'adapter éventuellement les méthodes.

Pour rappel, le but des injections dites « d'imprégnation » est de combler les zones décomprimées sans rechercher une amélioration des caractéristiques des sols.

Le produit injecté devra avoir la bonne consistance pour assurer une mise en œuvre optimale et répondre aux objectifs d'imprégnation des sols décomprimés.

Les incertitudes sur le taux d'injection à retenir compte tenu de l'absence de données sur les indices des vides et les perméabilités des sols peuvent être gérées en faisant varier le diamètre et le maillage des injections et en procédant par phases selon les recommandations en vigueur (injections primaires, injections secondaires, etc, selon le schéma ci-dessous).

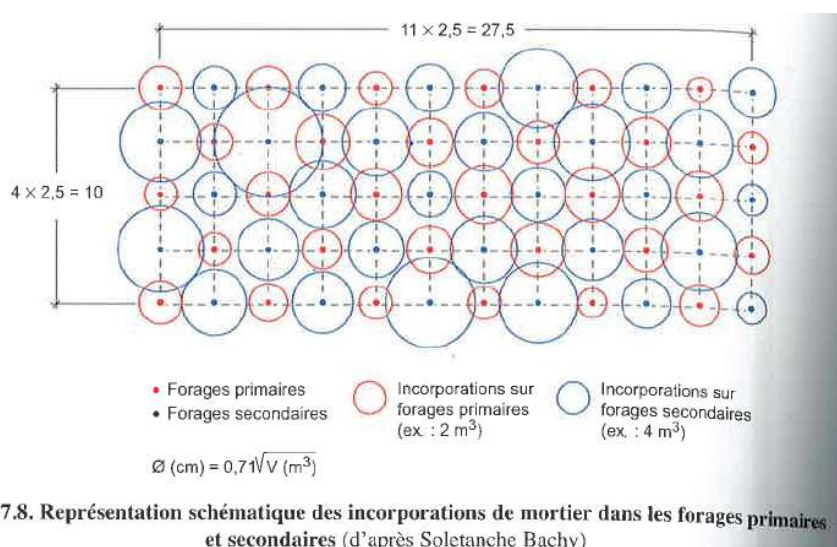


Fig. 17.8. Représentation schématique des incorporations de mortier dans les forages primaires et secondaires (d'après Soletanche Bachy)

Concernant le comblement du vide, une technique voire un coulis différents pourront être nécessaires.

Nous attirons l'attention sur le fait que la technique d'injection :

- Comporte des incertitudes liées à la nature des sols (présence d'argiles pouvant réduire son efficacité) ou aux hypothèses prises pour son dimensionnement ;
- Constitue une intervention complexe du fait de l'ouvrage (la rocade A620 étant un axe routier majeur) et de la nature des sols à traiter peu perméables et hétérogènes, imposant un maillage des forages serré ;
- Peut conduire à des désordres en cas de mauvaise maîtrise de l'injection, ce qui est incompatible avec la nature de l'ouvrage (axe routier majeur) ;
- Vise à imprégner les zones décomprimées, sans pour autant les éliminer totalement.

Le suivi du volume injecté permet de contrôler à l'avancement le diamètre réel des bulbes d'injection et d'ajuster en conséquence les injections secondaires par rapport aux injections primaires si nécessaire.

### D.3.1. Contrôles

Les contrôles porteront sur les critères d'exécution précités : profondeurs atteintes et pressions d'injection, débit d'injection, absence de déformation des voies et des ouvrages, respect du maillage dimensionné, qualité des produits... Les volumes injectés par phases ainsi que le phasage feront également l'objet de relevés et de contrôles.

Le contrôle de l'exécution des injections se fera à l'aide de forages pour vérifier l'imprégnation des sols en place et de mesures géophysiques permettant de montrer la réduction du nombre et de la surface des anomalies.

Pour valider les critères de dimensionnement, une planche d'essai devra être réalisée et des forages de contrôle pourront alors être menés.

Une procédure d'exécution détaillant les opérations d'injection, le phasage et les contrôles devra être établie au préalable de la planche d'essai ; les résultats de cette dernière permettront de valider aussi bien la procédure que les critères de dimensionnement et de réception.

### D.3.2. Missions géotechniques complémentaires

Cette mission G2PRO sera complétée par une mission DCE/ACT permettant de vérifier l'adéquation des offres des entreprises avec les critères d'exécution.

L'étude et le suivi d'exécution (mission G3) seront à la charge des entreprises retenues.

Une mission G4 Etude et Suivi sera également menée pour identifier les risques résiduels et s'assurer de la bonne exécution des travaux.

### D.3.3. Sujétions d'exécution

Les forages et les injections devront être réalisés selon les Règles de l'Art par une entreprise spécialisée et qualifiée en injections, conformément aux normes d'exécution en vigueur.

L'entreprise devra mettre en œuvre le matériel et les moyens adaptés au contexte géologique, géotechnique et hydrogéologique du site. Les méthodes et phasages des travaux devront assurer l'absence de désordres aux avoisinants (voiries, réseaux, ...).

L'entreprise devra tenir compte de :

- la présence de remblais et probablement d'ouvrages enterrés non reconnus,
- la compacité des sols plus ou moins bonne avec présence de niveaux graveleux,

- la mauvaise tenue de certains sols (remblais, passages graveleux, passages sableux, ...)
- la perméabilité non-connue des terrains et la présence d'une nappe au sein des alluvions soumise aux variations météorologiques,
- les variations de la profondeur des différentes formations,
- l'éventuelle agressivité des sols et des eaux,
- les avoisinants sensibles.

Des surconsommations de produit d'injection sont à prévoir dans les niveaux sablo-graveleux et/ou très décomprimés, voire dans des vides. En cas de surconsommation trop importante, il pourra s'avérer nécessaire de changer de produit et/ou de technique.

L'enregistrement en continu des paramètres de forages et des paramètres d'injection est obligatoire.

La présence d'une nappe soumise à un écoulement peut conduire à un lessivage des injections.

# E. CONCLUSIONS – SUITES A DONNER

## E.1. Synthèse de la mission G2PRO

Suite aux compléments d'investigations réalisés par GENIMAP, l'ensemble des réseaux précédemment localisés par Géoradar ont pu être identifiés. Les anomalies également relevées par Géoradar sont de différentes nature : étendues peu profondes ou ponctuelles et ne sont pas nécessairement positionnés au droit des réseaux existants.

Nous attirons l'attention sur les incertitudes qui subsistent à ce stade :

- Compacité et perméabilité des sols méconnues notamment sous la rocade en l'absence de sondages de reconnaissances spécifiques ; seuls les sondages réalisés pour le fonçage en 2014 et les sondages destructifs de 2019 permettent d'identifier la nature des sols et la compacité uniquement des alluvions grossières ;
- Nature et localisation du vide identifié en 2019 dans le sondage SD1 et non injecté compte tenu de son importance (2 m de hauteur). Ce vide pourra être traité de manière différente du reste des anomalies si nécessaire.

Ces incertitudes devront être levées au préalable ou au démarrage des travaux par la réalisation d'un plot d'essai dont la position reste à définir et par des investigations (fouilles ou forages) dans la zone du vide potentiel.

## E.2. Données d'entrée manquantes

- Catégories géotechniques suivant l'Eurocode 7 et catégories d'importance vis-à-vis du risque sismique,
- Seuils de déformations admissibles des ouvrages,
- Intégralité des documents de l'expertise judiciaire.

## E.3. Enchaînement des missions normalisées

**Le présent rapport conclut la phase PRO de la mission d'étude géotechnique de conception G2 confiée à Fondasol.**

Selon la norme NF P94-500, cette phase est insuffisante pour consulter les entreprises ; elle doit être suivie de la phase DCE/ACT visant notamment à vérifier avant l'envoi du DCE aux entreprises, que les préconisations de l'étude G2 sont bien prises en compte dans les paragraphes du CCTP relatifs aux ouvrages géotechniques. Elle permet ensuite une assistance à l'analyse technique des offres (base et variantes éventuelles) lors de la phase ACT.

Il conviendra également de missionner un géotechnicien pour la supervision d'exécution des travaux géotechniques dans le cadre d'une mission G4. L'étude et le suivi d'exécution de ces travaux est à confier à l'entreprise dans le cadre d'une mission G3.

A la date de rédaction du présent rapport la phase DCE/ACT de la mission G2, et la mission G4, ont été confiées à FONDASOL.





# ANNEXES

# I. ENCHAINEMENT DES MISSIONS D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NF P94-500) – I PAGE

Le Maître d'Ouvrage doit associer l'ingénierie géotechnique au même titre que les autres ingénieries à la Maîtrise d'Œuvre et ce, à toutes les étapes successives de conception, puis de réalisation de l'ouvrage. Le Maître d'Ouvrage, ou son mandataire, doit veiller à la synchronisation des missions d'ingénierie géotechnique avec les phases effectives à la Maîtrise d'Œuvre du projet.

L'enchaînement et la définition synthétique des missions d'ingénierie géotechnique sont donnés ci-après. Deux ingénieries géotechniques différentes doivent intervenir : la première pour le compte du Maître d'Ouvrage ou de son mandataire lors des étapes 1 à 3, la seconde pour le compte de l'entreprise lors de l'étape 3.

Enchaînement des missions GI à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique et Phase de la mission		Objectifs à atteindre pour les ouvrages géotechniques	Niveau de management des risques géotechniques attendu	Prestations d'investigations géotechniques à réaliser
<b>Étape 1 : Étude géotechnique préalable (G1)</b>		<b>Étude géotechnique préalable (G1) Phase Étude de Site (ES)</b>		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Étude préliminaire, Esquisse, APS	<b>Études géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)</b>		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonctions des données existantes et de la complexité géotechnique
<b>Étape 2 : Étude géotechnique de conception (G2)</b>	APD/AVP	<b>Étude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)</b>		Définition et comparaison des solutions envisageables pour le projet	Mesures préventives pour la réduction des risques identifiés, mesures correctives pour les risques résiduels avec détection au plus tôt de leur survenance	Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	PRO	<b>Études géotechniques de conception (G2) Phase Projet (PRO)</b>		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	<b>Étude géotechnique de conception (G2) Phase DCE/ACT</b>		Consultation sur le projet de base/choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
<b>Étape 3 : Études géotechniques de réalisation (G3/G4)</b>		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	<b>Étude de suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Étude (en interaction avec la phase suivi)</b>	<b>Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase supervision du suivi)</b>	Étude d'exécution conforme aux exigences du projet, avec maîtrise de la qualité, du délai et du coût	Identification des risques résiduels, mesures correctives, contrôle du management des risques résiduels (réalité des actions, vigilance, mémorisation, capitalisation des retours d'expérience)	Fonction des méthodes de construction et des adaptations proposées si des risques identifiés surviennent
	DET/AOR	<b>Étude et suivi géotechniques d'exécutions (G3) Phase Suivi (en interaction avec la Phase Étude)</b>	<b>Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)</b>	Exécution des travaux en toute sécurité et en conformité avec les attentes du maître d'ouvrage		Fonction du contexte géotechnique observé et du comportement de l'ouvrage et des avoisinants en cours de travaux
<b>À toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant</b>	Diagnostic	<b>Diagnostic géotechnique (G5)</b>		Influence d'un élément géotechnique spécifique sur le projet ou sur l'ouvrage existant	Influence de cet élément géotechnique sur les risques géotechniques identifiés	Fonction de l'élément géotechnique étudié

Classification des missions d'ingénierie géotechnique en page suivante

Février 2014

## 2. MISSIONS TYPES D'INGENIERIE GEOTECHNIQUE (NORME NF P94-500) – I PAGE

L'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étapes 1 à 3) doit suivre les étapes de conception et de réalisation de tout projet pour contribuer à la maîtrise des risques géotechniques. Le maître d'ouvrage ou son mandataire doit faire réaliser successivement chacune de ces missions par une ingénierie géotechnique. Chaque mission s'appuie sur des données géotechniques adaptées issues d'investigations géotechniques appropriées.

### ETAPE 1 : ETUDE GEOTECHNIQUE PRELABLE (G1)

Cette mission exclut toute approche des quantités, délais et coûts d'exécution des ouvrages géotechniques qui entre dans le cadre de la mission d'étude géotechnique de conception (étape 2). Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire. Elle comprend deux phases:

#### Phase Étude de Site (ES)

Elle est réalisée en amont d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour une première identification des risques géotechniques d'un site. - Faire une enquête documentaire sur le cadre géotechnique du site et l'existence d'avoisinants avec visite du site et des alentours.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant pour le site étudié un modèle géologique préliminaire, les principales caractéristiques géotechniques et une première identification des risques géotechniques majeurs.

#### Phase Principes Généraux de Construction (PGC)

Elle est réalisée au stade d'une étude préliminaire, d'esquisse ou d'APS pour réduire les conséquences des risques géotechniques majeurs identifiés. Elle s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport de synthèse des données géotechniques à ce stade d'étude (première approche de la ZIG, horizons porteurs potentiels, ainsi que certains principes généraux de construction envisageables (notamment fondations, terrassements, ouvrages enterrés, améliorations de sols).

### ETAPE 2 : ETUDE GEOTECHNIQUE DE CONCEPTION (G2)

Cette mission permet l'élaboration du projet des ouvrages géotechniques et réduit les conséquences des risques géotechniques importants identifiés. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend trois phases:

#### Phase Avant-projet (AVP)

Elle est réalisée au stade de l'avant-projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées.

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Fournir un rapport donnant les hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade de l'avant-projet, les principes de construction envisageables (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions générales vis-à-vis des nappes et des avoisinants), une ébauche dimensionnelle par type d'ouvrage géotechnique et la pertinence d'application de la méthode observationnelle pour une meilleure maîtrise des risques géotechniques.

#### Phase Projet (PRO)

Elle est réalisée au stade du projet de la maîtrise d'œuvre et s'appuie obligatoirement sur des données géotechniques adaptées suffisamment représentatives pour le site. - Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.

- Fournir un dossier de synthèse des hypothèses géotechniques à prendre en compte au stade du projet (valeurs caractéristiques des paramètres géotechniques en particulier), des notes techniques donnant les choix constructifs des ouvrages géotechniques (terrassements, soutènements, pentes et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisinants), des notes de calcul de dimensionnement, un avis sur les valeurs seuils et une approche des quantités.

#### Phase DCE / ACT

Elle est réalisée pour finaliser le Dossier de Consultation des Entreprises et assister le maître d'ouvrage pour l'établissement des Contrats de Travaux avec le ou les entrepreneurs retenus pour les ouvrages géotechniques.

- Établir ou participer à la rédaction des documents techniques nécessaires et suffisants à la consultation des entreprises pour leurs études de réalisation des ouvrages géotechniques (dossier de la phase Projet avec plans, notices techniques, cahier des charges particulières, cadre de bordereau des prix et d'estimatif, planning prévisionnel).
- Assister éventuellement le maître d'ouvrage pour la sélection des entreprises, analyser les offres techniques, participé à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.

### ETAPE 3 : ETUDES GEOTECHNIQUES DE REALISATION (G3 et G4, distinctes et simultanées)

#### ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUES D'EXECUTION (G3)

Cette mission permet de réduire les risques géotechniques résiduels par la mise en œuvre à temps de mesures correctives d'adaptation ou d'optimisation. Elle est confiée à l'entrepreneur sauf disposition contractuelle contraire, sur la base de la phase G2 DCE/ACT. Elle comprend deux phases interactives:

##### Phase Étude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier dans le détail les ouvrages géotechniques: notamment établissement d'une note d'hypothèses géotechniques sur la base des données fournies par le contrat de travaux ainsi que des résultats des éventuelles investigations complémentaires, définition et dimensionnement (calculs justificatifs) des ouvrages géotechniques, méthodes et conditions d'exécution (phasages généraux, suivis, auscultations et contrôles à prévoir, valeurs seuils, dispositions constructives complémentaires éventuelles).
- Élaborer le dossier géotechnique d'exécution des ouvrages géotechniques provisoires et définitifs: plans d'exécution, de phasage et de suivi.

##### Phase Suivi

- Suivre en continu les auscultations et l'exécution des ouvrages géotechniques, appliquer si nécessaire des dispositions constructives prédéfinies en phase Étude.
- Vérifier les données géotechniques par relevés lors des travaux et par un programme d'investigations géotechniques complémentaire si nécessaire (le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats).
- Établir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DOE) et fournir les documents nécessaires à l'établissement du dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage (DIUO).

#### SUPERVISION GEOTECHNIQUE D'EXECUTION (G4)

Cette mission permet de vérifier la conformité des hypothèses géotechniques prises en compte dans la mission d'étude et suivi géotechniques d'exécution. Elle est à la charge du maître d'ouvrage ou son mandataire et est réalisée en collaboration avec la maîtrise d'œuvre ou intégrée à cette dernière. Elle comprend deux phases interactives:

##### Phase Supervision de l'étude d'exécution

- Donner un avis sur la pertinence des hypothèses géotechniques de l'étude géotechnique d'exécution, des dimensionnements et méthodes d'exécution, des adaptations ou optimisations des ouvrages géotechniques proposées par l'entrepreneur, du plan de contrôle, du programme d'auscultation et des valeurs seuils.

##### Phase Supervision du suivi d'exécution

- Par interventions ponctuelles sur le chantier, donner un avis sur la pertinence du contexte géotechnique tel qu'observé par l'entrepreneur (G3), du comportement tel qu'observé par l'entrepreneur de l'ouvrage et des avoisinants concernés (G3), de l'adaptation ou de l'optimisation de l'ouvrage géotechnique proposée par l'entrepreneur (G3).
- Donner un avis sur la prestation géotechnique du DOE et sur les documents fournis pour le DIUO.

#### A TOUTES ETAPES : DIAGNOSTIC GEOTECHNIQUE (G5)

Pendant le déroulement d'un projet ou au cours de la vie d'un ouvrage, il peut être nécessaire de procéder, de façon strictement limitative, à l'étude d'un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques, dans le cadre d'une mission ponctuelle. Ce diagnostic géotechnique précise l'influence de cet ou ces éléments géotechniques sur les risques géotechniques identifiés ainsi que leurs conséquences possibles pour le projet ou l'ouvrage existant.

- Définir, après enquête documentaire, un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats.
- Étudier un ou plusieurs éléments géotechniques spécifiques (par exemple soutènement, causes géotechniques d'un désordre) dans le cadre de ce diagnostic, mais sans aucune implication dans la globalité du projet ou dans l'état de l'état général de l'ouvrage existant.

Si ce diagnostic conduit à modifier une partie du projet ou à réaliser des travaux sur l'ouvrage existant, des études géotechniques de conception et/ou d'exécution ainsi qu'un suivi et une supervision géotechniques seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).

Février 2014

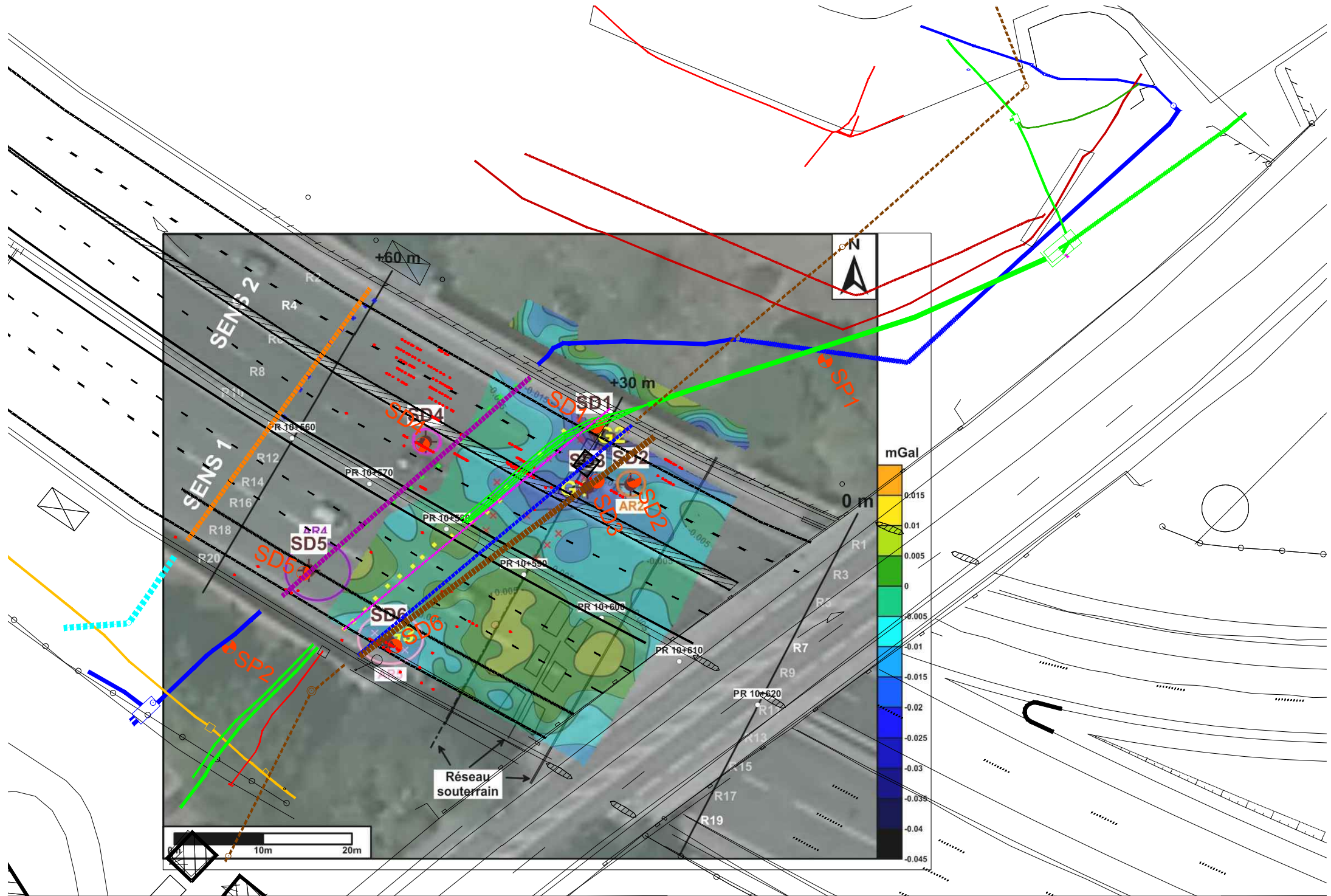


### **3. PLANS DE COMPILATION DES DONNEES RESEAUX & ANOMALIES**











[www.groupefondasol.com](http://www.groupefondasol.com)

**AGENCE DE L'UNION**

7, route de Bessières

CS 90016

31241 L'UNION Cedex

☎ 05.62.75.10.79

✉ [toulouse@fondasol.fr](mailto:toulouse@fondasol.fr)