



LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DE POLYNÉSIE

S.A.E.M au capital de 120 000 000 FCP – SIEGE SOCIAL : 261 VALLEE DE TIPAERUI – PAPEETE
RCS TPI 02 6 B – N° TAHITI 616292
BP 404 – 98713 PAPEETE TAHITI
TEL (689) 40 42 02 09 – FAX (689) 40 42 45 10
EMAIL : secretariat@labotp.pf – SITE INTERNET : <http://www.labotp.pf>

1964 – 2023
59 ans d'expertise au Fenua
qui font la différence

Papeete, le 27 avril 2023

N/Réf : CB-ER-VB*tyf

Dossier : 072b3

Chargées d'Affaires : *Charlie BROYER, Emmanuelle RAUZY-
LAITAME, Virginie BOURGEOIS*

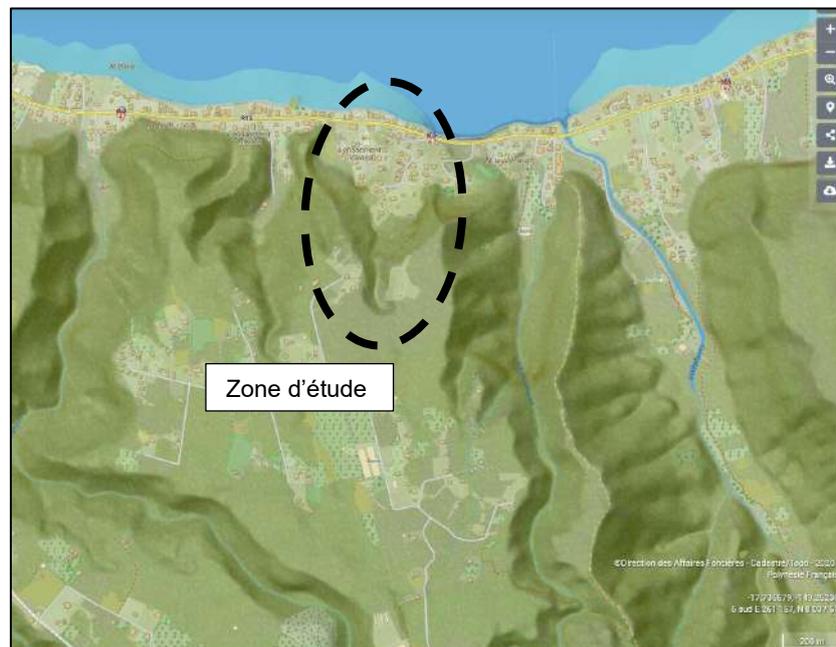
**DIRECTION DE LA CONSTRUCTION ET
DE L'AMÉNAGEMENT (DCA)**

B.P. 866

98 713 – PAPEETE

RAPPORT N° 23/0509

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DU GLISSEMENT DE QUARTIER RAIMATEA – PK 6, Afaahiti



COMMUNE DE TAIARAPU EST

Étude géotechnique préalable et diagnostic géotechnique
Mission G1 phase ES et G5 – Norme NF P94-500 (nov.2013)

RAP 23/0509 .D072b3.Nb pages : 87

Sondages effectués à la demande de : **DIRECTION DE LA CONSTRUCTION ET DE L'AMÉNAGEMENT (DCA)**
Lettre de commande N° LC.002.23/VP/DCA du 17/02/2023
suivant proposition financière N° G001.N.0037 du 30/01/2023

Étude géotechnique préalable et diagnostic géotechnique

Mission : **G1 phase** Étude de Site (ES) et **G5** (diagnostic géotechnique) selon la synthèse de la norme NF P94-500 version de novembre 2013 en **annexe 5** du présent rapport

Coordonnées planes : X = 260 300 m
(WGS84/RGPF, UTM zone 6K Sud) Y = 8 036 960 m

Nature des sondages :

- ⇒ **9** sondages pénétrométriques lourds notés **PDL1** à **PDL9** descendus à 8.0 m de profondeur ou au refus préalable

- ⇒ **1** sondage pénétrométrique léger noté **PL10 / PL10BIS** descendu à 8.0 m de profondeur ou au refus préalable

Date de la visite : 06/03/2023

Date de l'intervention : 07 et 08/03/2023

S O M M A I R E

1	INTRODUCTION	4
1.1	GÉNÉRALITÉS	4
1.2	MISSION.....	4
1.2.1	<i>Objectif de la mission</i>	4
1.2.2	<i>Déroulement de l'intervention</i>	4
1.3	DOCUMENTS COMMUNIQUÉS	5
1.4	ÉTUDE DU SITE.....	5
1.1.1	<i>Géomorphologie et contexte de site.....</i>	5
1.1.2	<i>Contexte géologique</i>	7
1.4.1	<i>Contexte hydrogéologique.....</i>	8
1.4.2	<i>Carte des instabilités.....</i>	9
1.4.3	<i>Plan de Prévention des Risques (PPR)</i>	10
1.4.4	<i>Base de données MVT de la DCA</i>	10
1.4.5	<i>Archives</i>	11
1.4.6	<i>Photographies aériennes historiques</i>	25
2	DEFINITION DES ALEAS, ENJEUX ET RISQUES.....	28
2.1	DÉFINITION	28
2.1.1	<i>Définition d'un aléa</i>	28
2.1.2	<i>Classification des enjeux.....</i>	28
2.1.3	<i>Définition d'un risque</i>	29
2.2	ALÉAS GEOTECHNIQUES ET LIMITES DE LA PRESTATION	29
3	EXAMEN VISUEL DU SITE.....	30
3.1	EXAMEN VISUEL GÉOTECHNIQUE	30
3.2	EXAMEN VISUEL DE LA CHAUSSÉE.....	37
3.3	EXAMEN VISUEL HYDROGÉOLOGIQUE	43
4	INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES.....	45
5	RESULTATS DES INVESTIGATIONS	47
5.1	PRINCIPE DE L'ESSAI PÉNÉTROMÉTRIQUE	47
5.2	RÉSULTATS DES SONDAGES PÉNÉTROMÉTRIQUES	47
5.3	NIVEAU D'EAU	49
6	CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS	50
6.1	POINTS RESSORTANT DE LA VISITE ET AVIS.....	50
6.2	CONTINUITÉ DE LA MISSION	51

1 INTRODUCTION

1.1 GÉNÉRALITÉS

À la demande et pour le compte de la **Direction de la Construction et de l'Aménagement (DCA)**, le Laboratoire des Travaux Publics de Polynésie (LABO TP) est intervenu sur le quartier Raimatea PK 6 à Afaahiti, sur la commune de Tairapu-Est, pour l'étude d'un glissement de terrain potentiel de type fluage du quartier, en grande masse.

Le présent rapport rend compte des résultats de cette étude et honore la lettre de commande n° **LC.002.23/VP/DCA du 17/02/2023**, approuvant la proposition financière n° G001.N.0037 du 30/01/2023

1.2 MISSION

1.2.1 Objectif de la mission

D'après les informations transmises par la DCA, des désordres (fissures, majoritairement) se produisent sur les ouvrages (maisons, route, etc.) du quartier Raimatea, en amont duquel des glissements de terrain se sont produits par le passé (en 1998 et 2001 notamment). Il est à ce stade nécessaire de déterminer si un glissement du quartier est en cours et si les désordres constatés peuvent y être liés ou non.

Le Laboratoire des Travaux Publics de Polynésie a ainsi reçu comme mission de :

- Réaliser un état des lieux géotechnique, hydrogéologique et de la chaussée (premier examen du site pour définition des aléas),
- Procéder à une campagne de reconnaissance des sols (mission d'investigations géotechniques) selon un programme établi,
- Définir le modèle d'ensemble géologique, hydrogéologique et les principales caractéristiques géotechniques du site,
- Établir une synthèse géotechnique, hydrogéologique et de la chaussée
- Étudier un ou plusieurs élément(s) géotechnique(s) spécifique(s) : étude d'un glissement de terrain potentiel de type fluage du quartier, en grande masse.
- Préconiser le complément d'investigations et/ou d'études complémentaires si nécessaire.

Il s'agit d'une mission de type G1 Phase ES et G5 selon la synthèse de la norme NF P94-500, version de novembre 2013, en **annexe 5**.

Il convient de rappeler que les aspects suivants ne font pas partie de la mission :

- L'étude des ouvrages subissant des désordres au cas par cas,
- L'étude d'autres mouvements de terrain que celui précité,
- La reconnaissance des anomalies géotechniques situées en dehors de l'emprise des investigations,
- L'évolution dans le temps de l'hydrogéologie locale.
- L'étude de la stabilité au grand glissement.

1.2.2 Déroulement de l'intervention

La visite de site (résidence privée) s'est faite à pied, en présence du président du quartier M. Yohann PENI, des chargées prévention en risques naturels de la DCA Mmes Dominique TARDY et Émilie NOWAK CHAPELIER et d'un ingénieur spécialisé en risques naturels du BRGM M. Christophe GARNIER, en cheminant sur la parcelle et ses pentes dans la mesure de l'accessibilité en contexte météorologique ensoleillé.

1.3 DOCUMENTS COMMUNIQUÉS

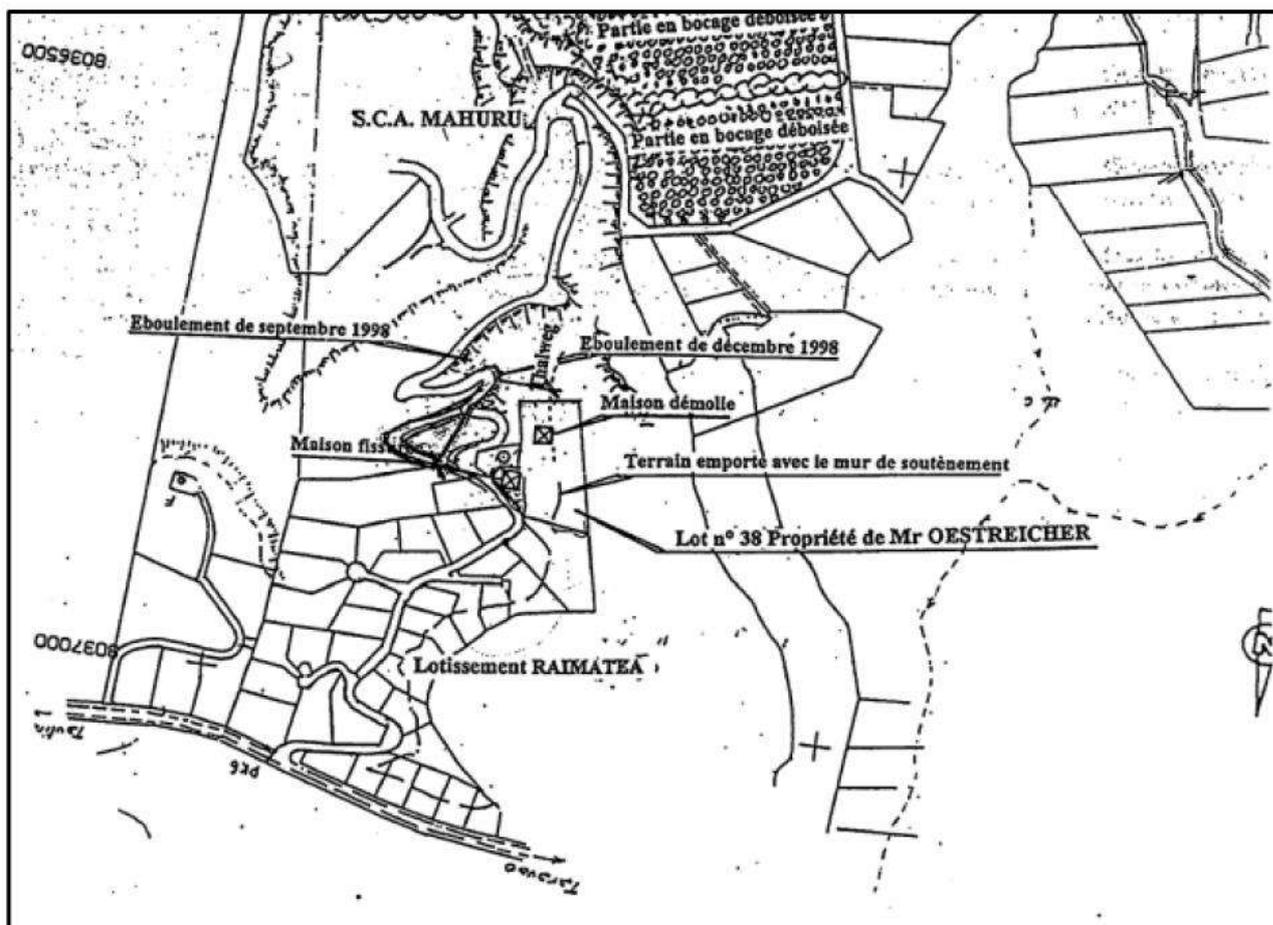
Il nous a été communiqué par la DCA les documents suivants pour la présente mission :

- Précision des aléas mouvements de terrain, fiche analytique réf. FA_Axx, A18 et A19, visites des 23/03, 25/03 et 09/06/2022 – Lotissement Raimatea réf. Nuutae – PK6 – Géolithe

Les localisations GPS des points de la note ont également été transmises.

Cette note présente notamment une liste de points d'observations. Ces points, lorsqu'ils pouvaient l'être, ont été traités dans le rendu Google Earth présenté ci-après au chapitre 3.

Ci-dessous un extrait d'une fiche évoquant le mouvement de 1998 (décrit plus loin au § 1.4.7 Archives) :



BD MVT – 357 – Plan extrait du rapport d'expertise de 1999

- Photographies des observations de la DCA sur le quartier.

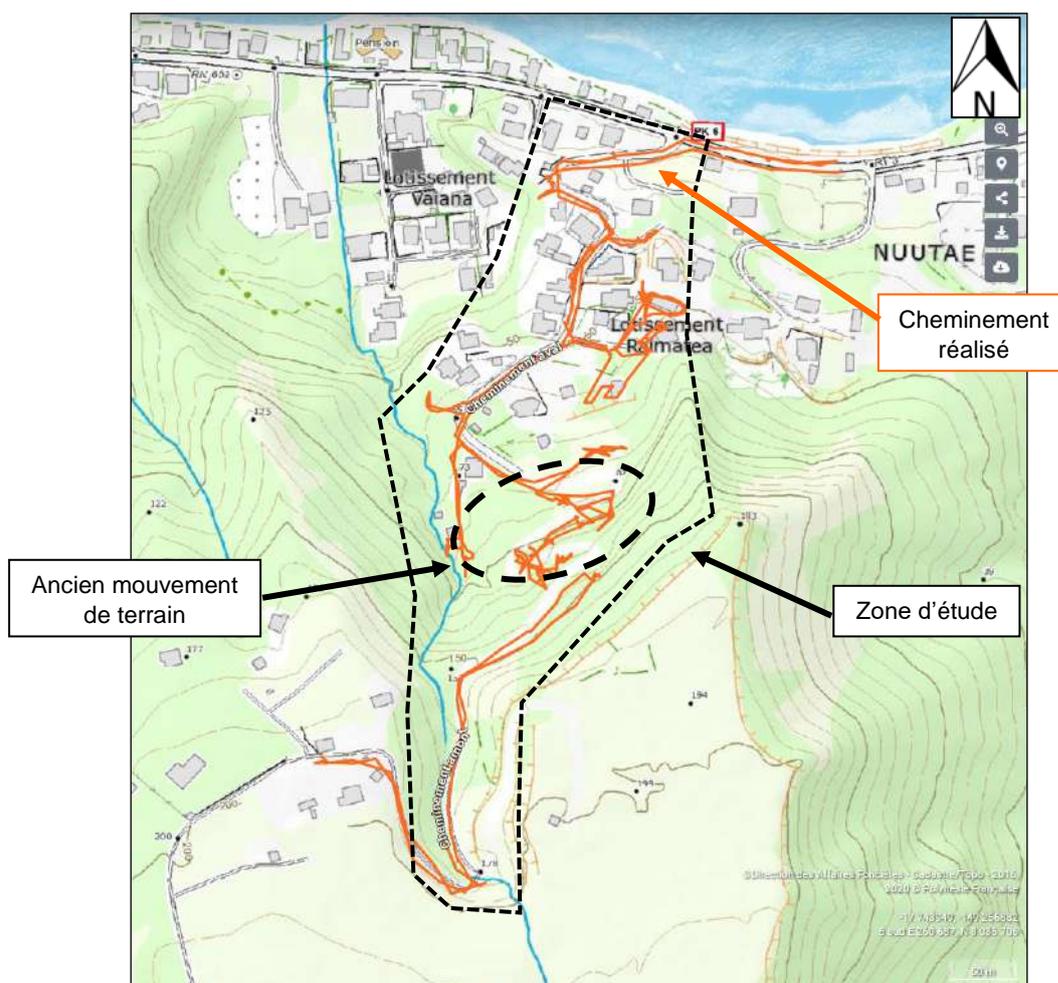
1.4 ÉTUDE DU SITE

1.4.1 Géomorphologie et contexte de site

Le lotissement Raimatea se trouve au PK 6 à Afaahiti, sur les hauteurs d'un versant généralement orienté vers le nord et entouré d'une rivière à l'ouest et d'une crête avec forte pente sur le versant à l'est. En amont, se trouve le plateau de Marumarutua dont la crête est à environ 180 m NGPF. Ce plateau fait partie du plateau de Taravao.

Géomorphologiquement, le quartier semble construit sur une langue en pente douce (inférieure à 1V/3H dans son axe, davantage en périphérie) à une altimétrie comprise entre 5 m NGPF au droit de la route de ceinture et 75 m NGPF environ en amont., Il est entouré :

- au sud-ouest et à l'est par des pentes élevées dont les crêtes atteignent 100 à 200 m NGPF, d'où partent des plateaux vers le sud ;
- au nord-ouest par l'embouchure du cours d'eau où se trouve le lotissement Vaiana, dont il est séparé par une pente plutôt raide ;
- au nord par la route de ceinture puis le littoral.



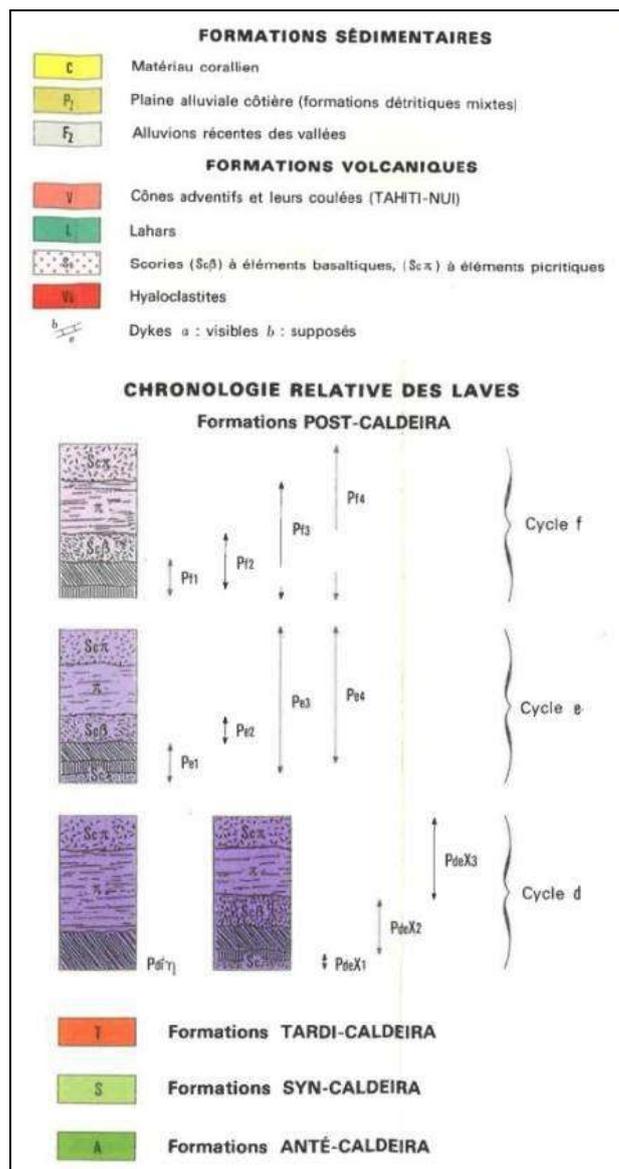
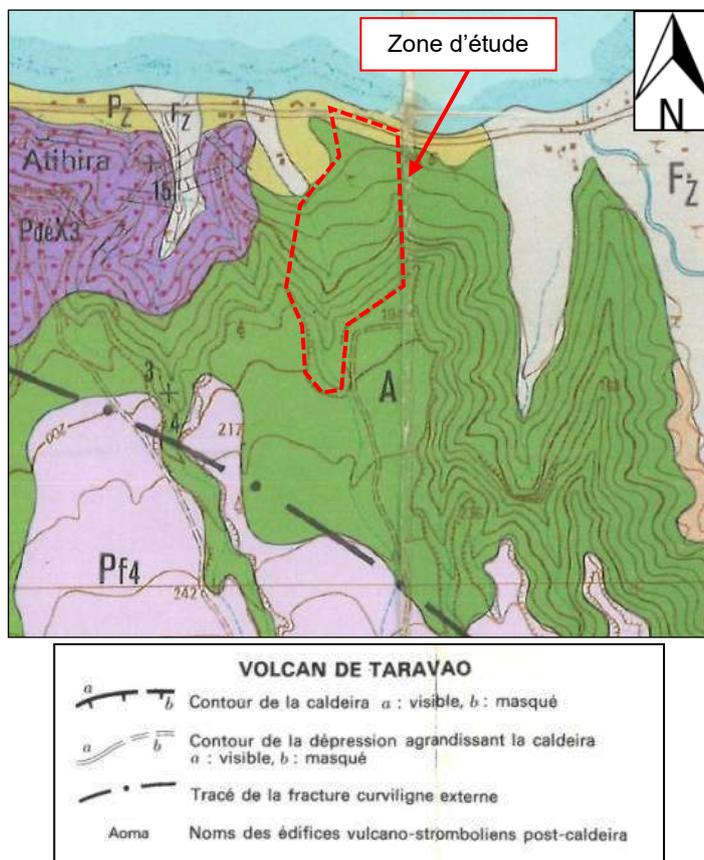
Plan topographique annoté du secteur d'étude sur fond cartographique TeFenua

Le quartier se trouve en contexte d'habitat diffus, sur des plateformes le plus souvent terrassées, vraisemblablement en déblai-remblai.

Au sud-ouest, en amont, la continuité de la servitude correspond à une ancienne route qui rejoignait le plateau, aujourd'hui fermée en raison de mouvements de terrain survenus il y a plusieurs années (en 1998 et 2001 d'après les archives et photographies aériennes disponibles (cf. § 1.4.7 Archives et 1.4.8 Photographies aériennes historiques)).

Le quartier est longé du sud au nord (jusqu'à sa mi-hauteur environ) par un cours d'eau pérenne qui rejoint le lotissement Vaiana.

1.4.2 Contexte géologique



Extrait de la carte géologique de Tahiti au droit du secteur d'étude (réf. : Brousse et al, 1990)

Selon la carte géologique de Tahiti (Brousse et al, 1990), feuille de Papara – Teva I Uta – Taravao, le substratum du site est constitué de **formations anté-caldeira (A)**, ensemble lithologique de coulées massives porphyriques, fluides ou indifférenciées.

Les coulées de lave présentent en tête un profil d'altération de type « mamu », de la roche fracturée aux limons d'altération basaltique.

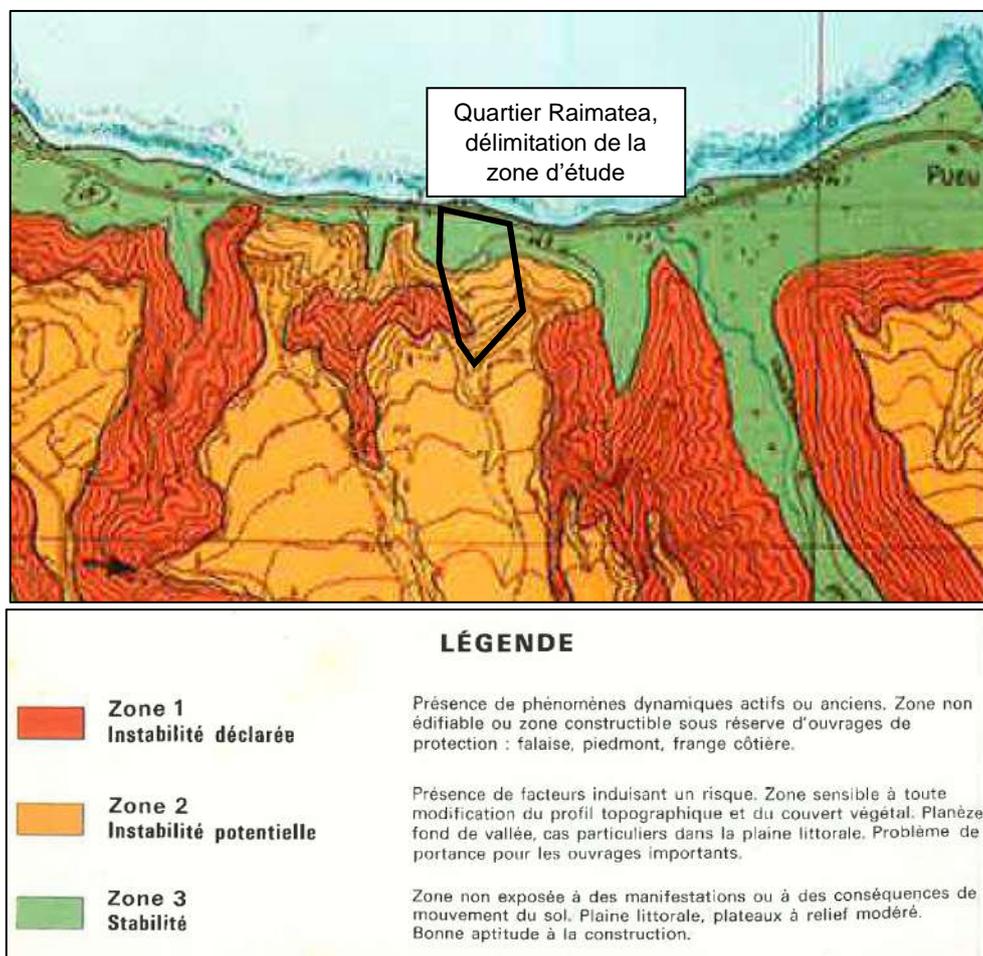
Côté mer sont cartographiés, de haut en bas :

- Des formations de type **alluvions récentes des vallées (Fz)**. Il s'agit d'une formation détritique de remplissage de fond de vallée composée par des matériaux hétérogènes allant des limons et sables jusqu'aux blocs (\varnothing 0/500 mm).
- Des **formations détritiques mixtes de la plaine alluviale côtière (Pz), lotissement Vaiana**. Ces formations ne sont pas attendues au droit du lotissement même. Il s'agit d'un mélange entre des formations alluviales et des colluvions issues des fortes pentes. Elles peuvent être hétérogènes du point de vue de leur constitution (dépôts allant des limons jusqu'aux blocs de taille importante) et les variations latérales de faciès y sont rapides.

Des remblais sont attendus au droit du site, liés à l'aménagement des parcelles et de la voirie.

1.4.4 Carte des instabilités

Selon la carte des instabilités et risques naturels de Tahiti (Brousse et al, 1990), feuille de Papara – Teva I Uta – Taravao, le site étudié se trouve en zone 2 : Instabilité potentielle (cf. légende ci-dessous), voire en zone 1 : instabilité déclarée sur la rive gauche du cours d'eau à l'ouest du quartier.

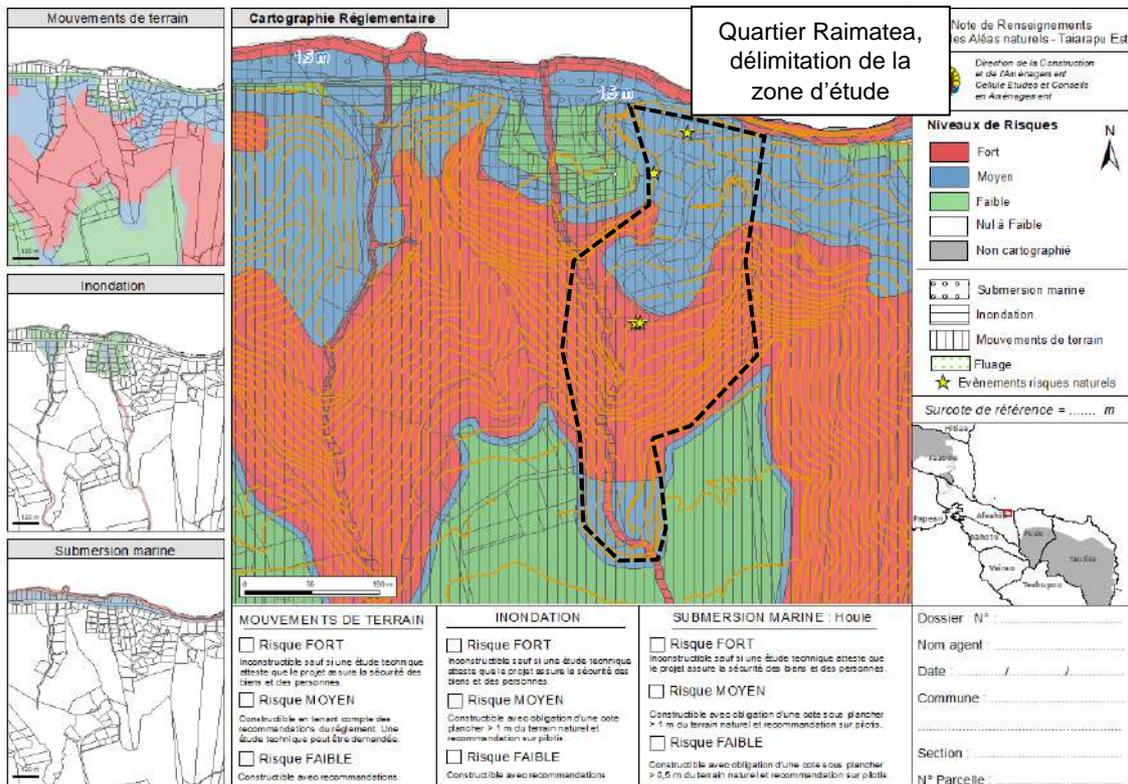


Extrait de la carte des instabilités au droit du secteur d'étude (réf. : Brousse et al, 1990)

1.4.5 Plan de Prévention des Risques (PPR)

Suivant le projet de Plan de Prévention des Risques de la commune de Tairapu-Est, la zone d'étude se trouve en zone de risque :

- moyen à fort vis-à-vis de l'aléa mouvement de terrain,
- et nul à faible vis-à-vis de l'aléa inondation, hormis au droit du cours d'eau où il est fort :



Extrait du projet de PPR de Tairapu Est centré sur la zone d'étude

Pour le fonds cartographique :



Fonds cartographique
du service de l'Urbanisme
autorisé par CONVENTION N° 3 / 2014

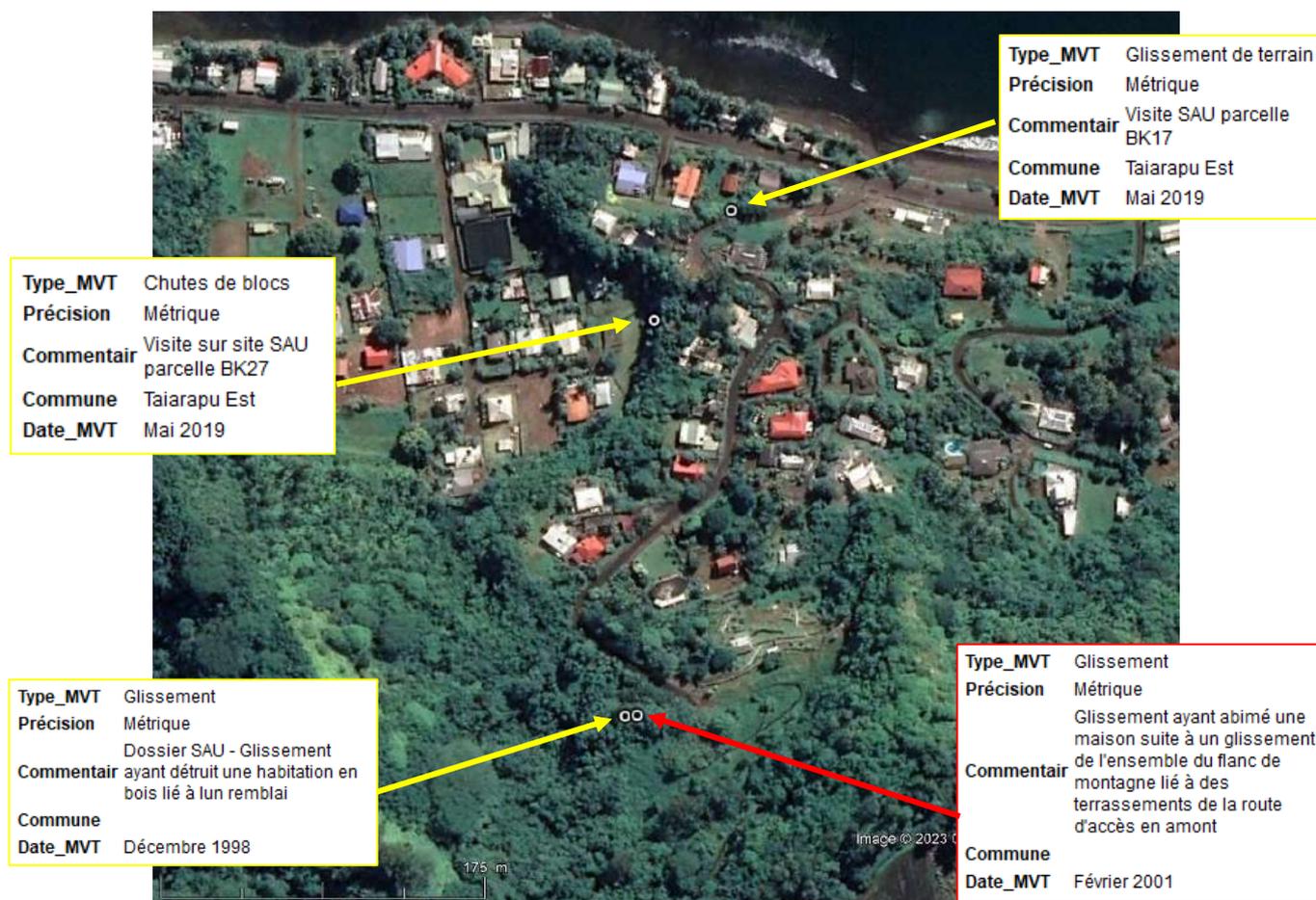
1.4.6 Base de données MVT de la DCA

D'après la base de données de localisation de mouvements de terrain historiques recensés par la Direction de la Construction et de l'Aménagement (BD MVT) dont nous disposons, seul l'événement de 2001, en rouge sur la figure ci-après, est potentiellement relié à un glissement de masse au droit du quartier :

- Février 2001 - Glissement ayant abîmé une maison suite à un glissement de l'ensemble du flanc de montagne lié à des terrassements de la route d'accès en amont

Pour les autres événements ci-dessous, en jaune sur la figure ci-après, il n'a pas été mis en évidence de lien significatif entre ces événements et un potentiel fluage du quartier, à ce stade et à la lumière des données dont nous disposons (développement ci-après dans le rapport) :

- Décembre 1998 - Glissement ayant endommagé une habitation en bois lié à un remblai.
- Mai 2019 - Chutes de blocs parcelle BK27
- Mai 2019 - Glissement de terrain parcelle BK17



Événements de la BD MVT dans le secteur d'étude, sur photographie aérienne Google Earth

1.4.7 Archives

Les archives connues du LABO TP sur la zone d'étude sont synthétisées ci-après, par ordre chronologique, pour les informations intéressant la problématique de la présente mission.

Note : pour l'ensemble des archives, les données et conclusions de ces rapports restent la propriété des clients respectifs et ne peuvent être diffusées sans accord.

Les points significatifs issus des archives sont localisés ci-dessous :



Localisation de points d'archives sur photographie aérienne Google Earth. Les interprétations (en jaune et en vert) sont liées aux réflexions décrites plus loin dans le rapport.

❖ Avis sur assise de mur de soutènement n° 97/093 du 12/02/1997 - Dossier 97022

Le rapport porte sur un mur de soutènement prévu à l'extrémité nord-ouest du lotissement, en bordure de la route de ceinture.

Il a notamment révélé la coupe géotechnique suivante :

- Des remblais limoneux sur 0.4 à 0.6 m de profondeur, de très faibles caractéristiques mécaniques,
- Sur un horizon de caractéristiques mécaniques faibles jusqu'à 2.6 à 2.8 m de profondeur,
- Puis un horizon de caractéristiques mécaniques moyennes jusqu'en fin de sondage à 4.4 m (refus) à 4.8 m (arrêt) de profondeur.

❖ **Évaluation de l'aptitude à l'épandage souterrain – n° 97/397 du 23/06/1997 – Dossier 97187**

Il s'agit d'une évaluation de la perméabilité du sol par 6 tests de percolation sur une zone au nord-est du lotissement.

L'étude a notamment révélé les points suivants :

- La roche peu altérée est à faible profondeur et a causé le refus à la tarière à main entre 0.5 et 1.3 m de profondeur.
- Le site présente deux résurgences se jetant vers la mer
- Les résultats montrent une forte perméabilité sur deux essais traduisant un niveau scoriacé, graveleux ou fissuré, mais également des niveaux limoneux et des niveaux détritiques hétérogènes peu perméables.

❖ **Diagnostic et documents de suivi de la sécurisation des glissements de terrain sur la route d'accès au lotissement Marutea – Dossiers 21033 et 21222**

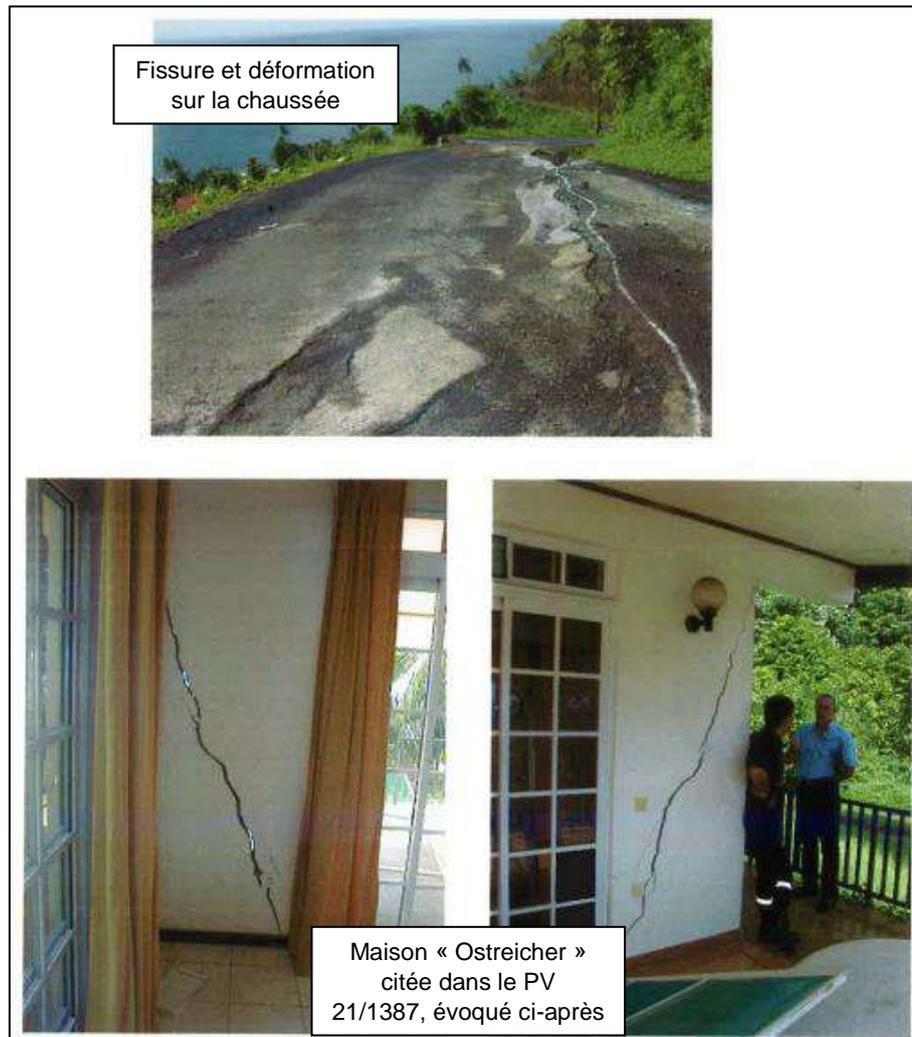
○ **Diagnostic des glissements de terrain – PV n° 21/467 du 14/05/2001 - Dossier 21222**

Le PV fait état de désordres sur les deux principaux remblais de la route d'accès (cf. localisation Google Earth ci-avant et photographies aériennes historiques au paragraphe 1.4.8), principalement lorsque ces remblais avaient atteint les cotes définitives.

Il est identifié un mouvement d'ampleur (60 à 120 cm de déplacements, volumes de plusieurs milliers de mètres cube) affectant l'ensemble du remblai supérieur et son assise (plusieurs milliers de mètres cube) et conduisant à l'apparition de fissures dans une maison située en contrebas.

D'après le PV et un arrêt de la cour d'appel de Papeete de 2014, cette maison (maison 2) appartient avec d'autres à la « propriété Ostreicher », parcelle BK51 (et BK54 vraisemblablement) dont :

- Une entièrement détruite en 1998 (maison 1) suite à de fortes précipitations, par le déversement de l'eau et des débris provenant des terres en amont : « selon les experts [de l'époque], le premier éboulement résulte d'un glissement, aggravé par les fortes pluies, de débris de bois coupé et de remblais mis en dépôt en amont de la propriété de Jean-François Ostreicher pendant le chantier du lotissement Marutea. » Le lotissement Marutea se trouve en amont, sur le plateau.
- La seconde (maison 2 ?), en dur, a été détruite par un nouveau sinistre en février 2001 : « Le second sinistre résulte d'un glissement d'un flanc de montagne lié à la réalisation des terrassements en vue de la création de la route d'accès en amont, aggravé par des défauts dans la mise en œuvre des remblais (drainage, compactage, nature des matériaux, respect des pentes). » Ces travaux « ont déstabilisé la zone de décembre 2000 à février 2001 ».
- Une maison – également « propriété Ostreicher » – a subi une fissuration importante, faisant l'objet d'un suivi en mai et décembre 2001 en particulier, dans les dossiers ci-après. Il semble qu'il s'agisse de la seconde maison citée ci-dessus (maison 2 ?).



Extrait du PV n° 21/467 du 14/05/2001

Un suivi topographique a montré une évolution constante du mouvement avec accélération au dernier relevé connu au moment du PV. Un suivi piézométrique a révélé des circulations importantes dans le corps du remblai supérieur, favorisant des poussées hydrostatiques très défavorables à la stabilité.

De plus, des résurgences ont été constatées au voisinage du réservoir d'eau, participant à la saturation des sols en aval du remblai et à l'affaiblissement de leurs caractéristiques mécaniques. Des circulations ont également été mises en évidence en amont du remblai.

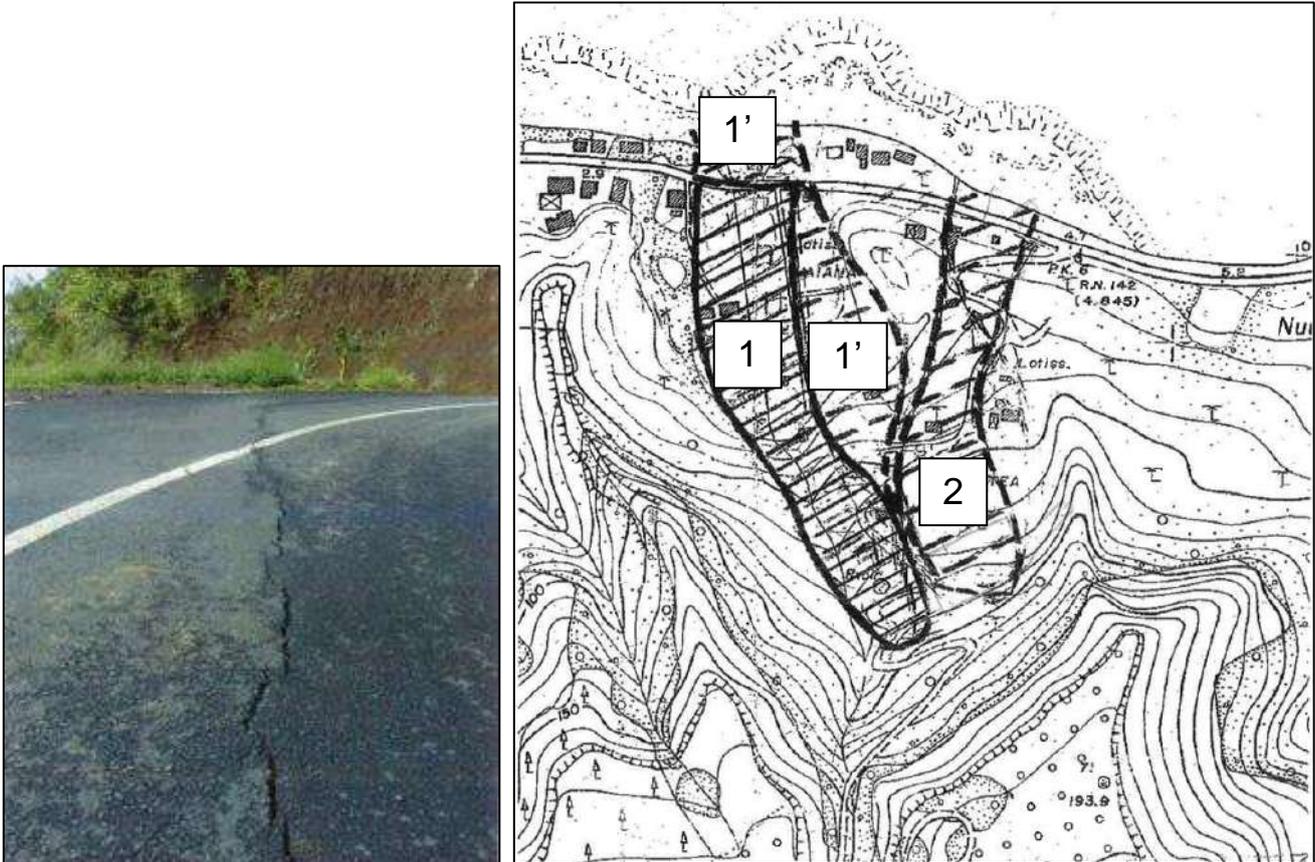
La géométrie des remblais était en défaveur de la stabilité et il a été proposé leur reprise avec allègement des ouvrages en remblais par des terrassements en déblais.

À noter qu'une étude de sol préliminaire avait été réalisée auparavant (PV n° 99/1164 du 30/11/1999) et que le PV n° 21/467 du 14/05/2001 insiste sur le respect des préconisations qui y figurent, avec suivi géotechnique d'exécution.

Le PV conclut à un risque significatif de glissement d'ampleur pouvant se transformer en coulée de boue pouvant atteindre la route de ceinture, avec pour exemple une coulée de boue survenue en décembre 98 lors de laquelle le niveau de la boue a atteint environ 70-80 cm dans le lotissement. Trois zones de niveaux de risques sont alors délimitées :

- La zone 1 à haut risque pour les personnes, qu'il était préconisé d'évacuer le temps de la sécurisation.
- La zone 1' « pouvant être atteinte par le glissement et la coulée mais à priori avec une énergie plus faible », semblant « présenter un risque plus faible pour les personnes ».
- La zone 2 se trouve sous le remblai inférieur mentionné ci-dessous, dont il est estimé dans le PV un aléa « pouvant devenir fort si une évolution rapide de l'ouverture des fissures est constatée ».

Pour le remblai inférieur, il a été constaté une fissure longitudinale parallèle au sommet du talus de remblai :



À gauche, fissuration au droit du remblai inférieur. À droite, zones de préconisations 1, 1' et 2.

Comme pour le remblai supérieur :

- La géométrie de l'ouvrage en remblais était légèrement plus penchée qu'usuellement recommandé.
- Des résurgences d'eau ont été observées en milieu de talus au niveau du redan, témoignant de l'insuffisance du drainage interne et des poussées hydrostatiques défavorables à la stabilité du talus.

Ces observations ont conduit à préconiser une surveillance journalière de la fissuration et la réalisation des travaux de déblaiement.

Suite à ce PV et d'après le PV n° 21/480 du 29/05/2001 cité plus loin : « La décision d'évacuer les logements menacés des trois zones a été prise par la commune ». Il a immédiatement été « entamé des travaux de déblaiement du remblai menaçant les zones 1 et 1' sous le contrôle [...] du LTTP ».

- **Compte-rendu de visite du 18/05/2001 et analyse de stabilité du remblai R2 (remblai supérieur), route d'accès au lotissement Marutea – PV n° 21/482 du 21/05/2001 - Dossier 21033**

Le PV rend compte d'une visite des travaux de mise en sécurité des talus et notamment le remblai R2 (supérieur) sur la route reliant le quartier Raimatea en objet au lotissement Marutea sur le plateau en amont, relativement aux profils de principe auparavant proposés via des analyses de stabilité.

Les travaux consistaient à décharger les remblais pour leur conférer une meilleure stabilité.

Le PV affirme que :

- *Les travaux de première urgence permettant le retour à un aléa faible vis-à-vis du risque « stabilité au grand glissement du talus de remblai » sont terminés.*

À noter que des départs de lentilles superficielles ne sont pas exclues dans le PV.

- *Toutefois, d'autres travaux tels que le reprofilage des plateformes créées, le captage et l'évacuation des eaux de ruissellements, fuites constatées sur le réservoir d'eau, restent à réaliser. En particulier, les eaux de chaussées captées par le caniveau amont devront être descendues jusqu'en bas du talus en fond de talweg par l'intermédiaire d'une canalisation PVC par exemple et les fuites ou trop plein du réservoir, conduites au caniveau par dispositif étanche.*

Nous ne connaissons pas à ce stade l'état de réalisation ou non de ces préconisations.

- *La stabilisation des mouvements du remblai n'est vraisemblablement pas encore atteinte.*
- *Un suivi topographique hebdomadaire, avec mise en place de nouveaux repères et particulièrement vers le talus descendant dans le talweg et dont la pente est forte ($\geq 45^\circ$) devra être poursuivi avec communication immédiate des résultats du LTPP pour constater la stabilisation et préconiser si nécessaire des travaux complémentaires.*
- *Cet avis ne concerne que la stabilité du remblai récemment mis en place. **Il ne peut être donné un avis sur l'ensemble du versant et sur les masses de sol mises en mouvement en amont et en aval pour lesquelles une étude de sol reste nécessaire.***
- *Les travaux R1 [inférieur] peuvent commencer ce jour.*

- **Rapport provisoire sur le suivi du remblai supérieur, route d'accès au lotissement Marutea – n° 21/480 du 18/05/2001 - Dossier 21222**

Sur la base du PV précédent, le rapport affirme qu'il est possible d'envisager une occupation normale des zones 1 et 1' situées en aval du remblai supérieur (hors zones concernées par les travaux toujours en cours).

- **Note technique sur le suivi du remblai inférieur, route d'accès au lotissement Marutea – PV n° 21/483 du 21/05/2001 - Dossier 21222**

Suivi des travaux de déblaiement pour allègement de l'ouvrage en remblais, en cours.

- **Rapport provisoire sur le suivi du remblai inférieur, route d'accès au lotissement Marutea – PV n° 21/492 du 22/05/2001 (archive incomplète) - Dossier 21222**

Sur la base d'une visite et de calculs, le rapport affirme qu'il est possible d'envisager une occupation normale des zones 1' et 2 situées en aval du remblai inférieur.

- **Rapport définitif sur le suivi du remblai supérieur, route d'accès au lotissement Marutea – n° 21/480 du 29/05/2001 (archive incomplète) - Dossier 21222**

Sur la base du PV précédent, le rapport affirme qu'il est possible d'envisager une occupation normale des zones 1 et 1' situées en aval du remblai supérieur (hors zones concernées par les travaux toujours en cours).

Le rapport précise que les PV de visite et calculs n° 21/492 du 22/05/2001 et n° 21/495 du 23/05/2001 (PV dont le LABO TP ne possède plus les archives complètes) ont permis de valider : « le retour à une situation normale vis-à-vis du risque lié à ce remblai, à l'exclusion de la maison Ostreicher ».

- **PV de visite du 13/12/2001 sur le remblai supérieur, route d'accès au lotissement Marutea – PV n° 21/1387 du 14/12/2001 - Dossier 21033**

Le PV rend compte d'une visite de site sur le remblai supérieur pour évaluer l'aléa glissement de terrain et les risques pour les habitations situées en aval (notamment propriété Ostreicher).

Il n'a pas été constaté d'indice significatif de mouvement de terrain sur les remblais. Des résurgences étaient toutefois présentes au sein de remblais.

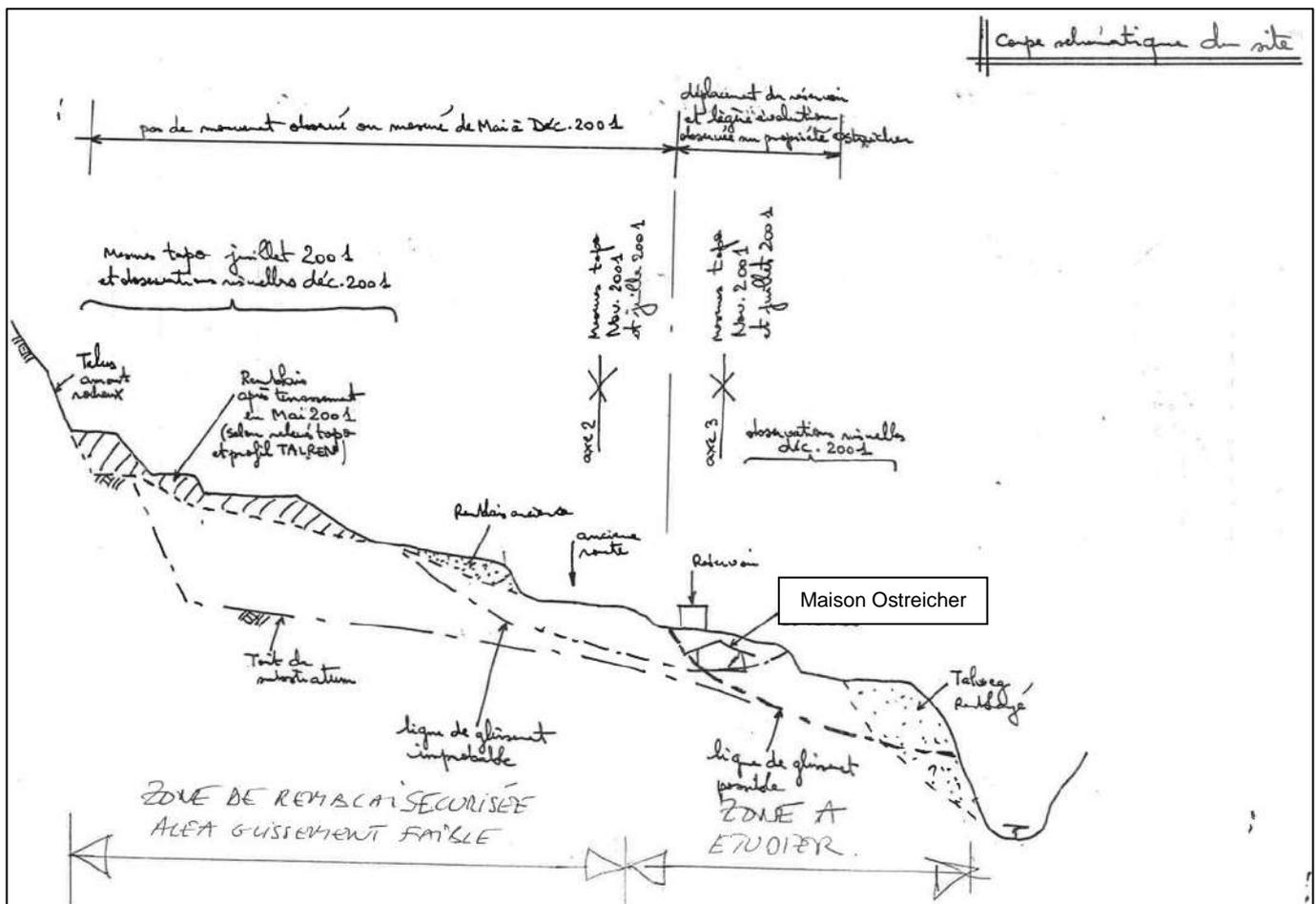
Sur la propriété Ostreicher (propriété mentionnée dans le PV n° 21/467 et le rapport n° 21/480 cités ci-avant) :

- De nouvelles fissurations (sur les structures extérieures) ont toutefois été constatées tandis que les fissurations sur la maison semblaient similaires aux observations de mai 2001.
- Il n'a pas été mesuré de mouvement sensible de ces remblais sur les relevés topographiques alors communiqués depuis les travaux de déchargement des remblais routiers.

Pour le réservoir situé au-dessus de la propriété Ostreicher, les déplacements mesurés ont été jugés significatifs.

En conséquence, le PV confirme la conclusion du rapport définitif n° 21/480 du 29/05/01, c'est-à-dire le retour « à une situation normale vis-à-vis du risque de l'aléa glissement de terrain lié à ces remblais, à l'exclusion de la maison Ostreicher ». Le PV précise que : « Les mouvements qui se poursuivent au niveau du réservoir et de la propriété Ostreicher pourraient être liés à des lignes de glissement plus en aval qui n'affectent pas les remblais considérés. »

En conséquence, la poursuite du suivi topographique est préconisée ainsi qu'une étude de sol spécifique avec étude de stabilité des terrains en aval du réservoir et de la maison, ainsi que la réalisation de « tous systèmes de drainage nécessaires pour éviter toute mise en pression hydrostatique défavorable à la stabilité ».



Coupe schématique du site extraite du PV n° 21/1387 du 14/12/2001

Actuellement, en mars 2023, la propriété est détruite.

❖ **Avis géotechnique G51 partielle (NF P 94-500 de juin 2000) sur projet de construction en zone d'aléa fort mouvement de terrain selon le projet de PPR de la commune – parcelle BK49 – rapport n° 13/0415 du 08/04/2013 - Dossier 13140**

La parcelle BK49 se trouve côté sud du lotissement, c'est-à-dire côté amont, sous le remblai inférieur évoqué ci-avant.

L'étude de site a notamment révélé que :

- *La zone se trouve en amont d'un versant entre les cotes +70 et +80 m NGT environ, en pied d'un versant terrassé selon plusieurs talus présentant une pente de l'ordre de 5H/1V avec redans intermédiaires d'une largeur inférieure à 1 m.*
- *Il semblerait que des travaux de terrassements en remblai aient été réalisés sur la parcelle prévue pour la construction principale.*
- *Le rapport mentionne la « mitoyenneté ouest d'une zone sinistrée ayant subi d'importants mouvements de terrain au niveau de l'ancienne route d'accès au lotissement Marutea entre les cotes +55 m et +95 m NGT. », mouvement de terrain faisant l'objet du diagnostic géotechnique du PV n° 21/467 du 14/05/2001 cité ci-avant.*

Une zone de remblai inférieur avait été identifiée au niveau de l'épaulement de la route vers la cote +80 m, affectant une partie de la parcelle BK49 étudiée. Dans cette zone nommée zone 2, une fissure longitudinale pluri-centimétrique avait été constatée.

Dans la zone 2, il avait été estimé qu'une surveillance de l'évolution des fissures était nécessaire, et qu'une évolution rapide de l'ouverture des fissures devrait conduire à l'évacuation des habitants de cette zone.

La visite a notamment révélé les points suivants :

- *Une route entièrement affaissée, non carrossable, entre les cotes +80 m et +120 m NGT environ avec des remblais estimés en équilibre très précaire,*
- *Des circulations importantes et des résurgences traversant toute la zone de remblais et/ou colluvions, créant des pressions hydrostatiques néfastes à la stabilité de cette zone, [notamment la] circulation d'eau superficielle au sein des remblais instables de la route en amont de la parcelle*
- *L'épaulement de la route d'accès situé juste en amont de la parcelle et réalisé en remblai (zone 2) non purgé, servant actuellement à accéder à la parcelle BK49,*
- *Des résurgences en aval du lotissement RAIMATEA, le long de la route de ceinture témoignant de circulations d'eau provenant de l'amont et vraisemblablement de la parcelle étudiée.*

Compte tenu des observations faites avec la présence de remblais instables au niveau de l'ancienne route d'accès au lotissement MARUTEA et en particulier au niveau de l'épaulement de la route à la cote +80 m en amont de la parcelle, et des circulations d'eau en aval il est considéré que l'aléa mouvement de terrain demeure à un niveau fort conformément au PPR et non compatible avec un projet de construction d'habitation.

❖ **Avis géotechnique sur la réalisation des fondations et du site lot n° 9 au lotissement Raimatea à Afaahiti – Parcelle BK21 – rapport n° 16/0320 du 21/03/16 – Dossier 16097**

Il s'agit d'une visite de constat des fondations dans le cadre d'une conformité de construction.

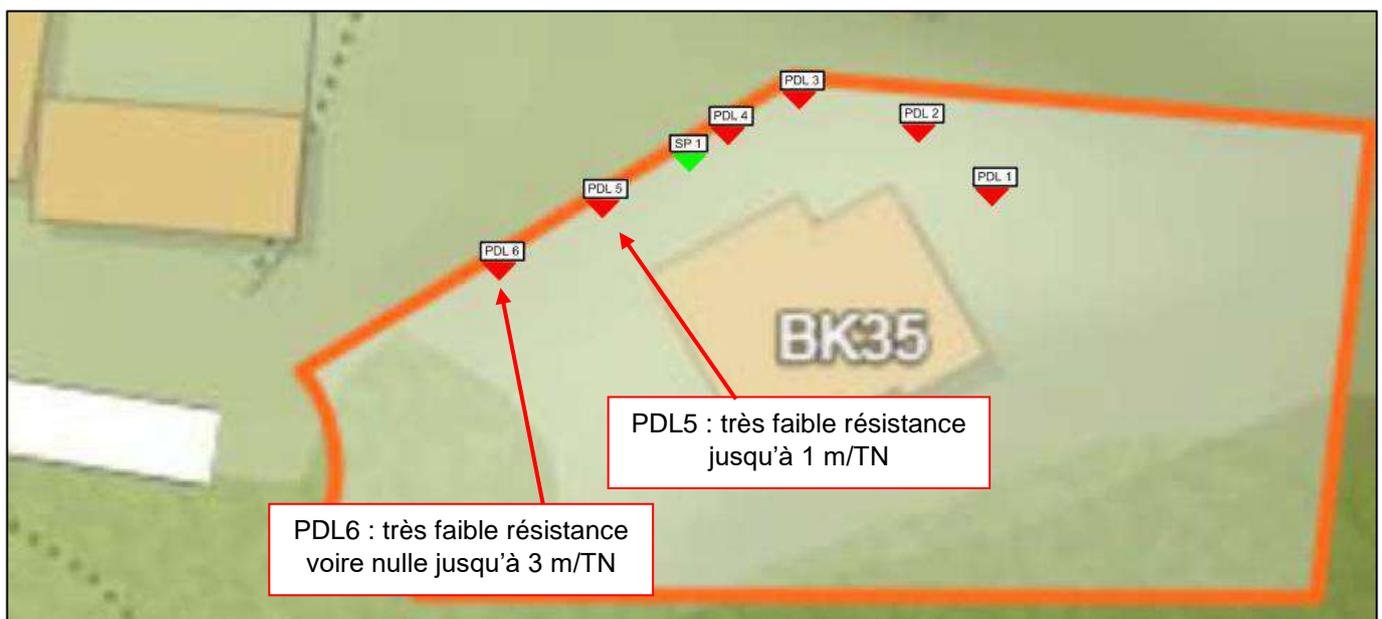
La visite a constaté la nécessité de canaliser les eaux pluviales provenant de l'amont. Il était prévu qu'une rigole soit créée puis reliée aux regards avals. Nous n'avons pas connaissance de la réalisation ou non de cette disposition.

❖ **Étude d'un risque potentiel d'instabilité d'un talus à Afaahiti – lotissement Raimatea – lot 22 – parcelle BK35 – rapport n° 18/0719 du 28/06/2018 – Dossier 18126**

Il s'agit de l'étude du talus aval de la parcelle, côté nord, suite au constat de fissures sur le béton de parement et sur la terrasse amont jusqu'à proximité de la maison. En effet, peu avant la visite, ce talus avait été recouvert d'un parement de béton avec barbacanes afin de le protéger de l'érosion.

La hauteur du talus est estimée à environ 6 à 10 m selon une pente de $5^V/1^H$ ou $5^V/2^H$, sans redan.

Il a été réalisé 1 sondage pressiométrique à 10 m de profondeur et 6 sondages pénétrométriques lourds à 8 m de profondeur ou au refus préalable :



Extrait du plan d'implantation du rapport n° 18/0719 du 28/06/2018

Il ressortait les points principaux ci-après :

- Les sondages pénétrométriques PDL5 et PDL6 mettent en évidence 1.0 à 3.0 m de terrains meubles et très décomprimés, voire de vide franc.
- Il n'est pas exclu la présence potentielle de remblais sous la terrasse ou de mamu stade III à IV (dégradé).
- Les autres sondages géotechniques montrent des propriétés mécaniques moyennes à très fortes dans l'ensemble. Il semble que l'on soit sur un faciès basaltique rocheux au droit de ces essais.
- Il n'a pas été observé de venue d'eau sur site le jour de la visite, bien que des circulations préférentielles puissent avoir lieu d'après les informations orales du propriétaire.

En pied de ce « parement », il est constaté une forte humidité et des traces de mousses sur le béton, signe d'une forte présence d'eau dans ou sur le talus, mais sous le parement.

Suite à notre intervention, le client a refait son système d'alimentation d'eau douce depuis la servitude, qui aurait pût engendrer des fuites et donc des venues d'eau dans le talus.

- *La gestion des eaux du talus et météoriques doit être intégrée dans le confortement du talus.*
- *Le talus est recouvert d'un « parement » béton qui ne permet pas de voir la nature du sol. Ce parement par endroit fissure, craquèle, montre des zones de vides. Il semble constitué de béton et d'une nappe de treillis soudés et par endroit d'un simple grillage à poules. À noter également la présence de « pneusol » derrière le parement actuel.*

Il conviendra de le purger car il n'est pas adapté au talus. Il est mal réalisé (ancrage, Ø armature, absence de drains). Son rôle de protection imperméabilisante n'est pas probant. D'autre part il cache la structure du talus et contraint les circulations et favorise sous le parement l'érosion.

Selon les sondages géotechniques et le diagnostic visuel du site, il a finalement été préconisé :

- *de purger tout le talus de son parement béton, inadapté, fissuré et vétuste,*
- *de refaire passer un géotechnicien après le nettoyage du talus pour confirmer ou infirmer les premières hypothèses. Cette contre-visite est primordiale,*
- *de sécuriser le talus à l'aide d'un grillage double torsion sur la totalité du talus Ouest. Il est conseillé de traiter le talus Nord également,*
- *de poser des drains dans toutes les zones humides,*
- *de prévoir de traiter tout le talus à l'aide d'un gunitage renforcé ou d'un grillage DT + végétalisation,*
- *de créer un caniveau en pied de talus.*

La zone a été visitée lors de la visite du 06/03/2023 (cf. § 3.2). Les préconisations ne semblent pas avoir été réalisées. Elles doivent l'être.

❖ **Diagnostic géotechnique G5 (NF P 94-500 de nov. 2013) – parcelles BK123 et BK41 – rapport n° 18/1434 du 04/12/2018 - Dossier 18543 et PV complémentaire n° 19/0665 du 11/06/2019 - Dossier 19232**

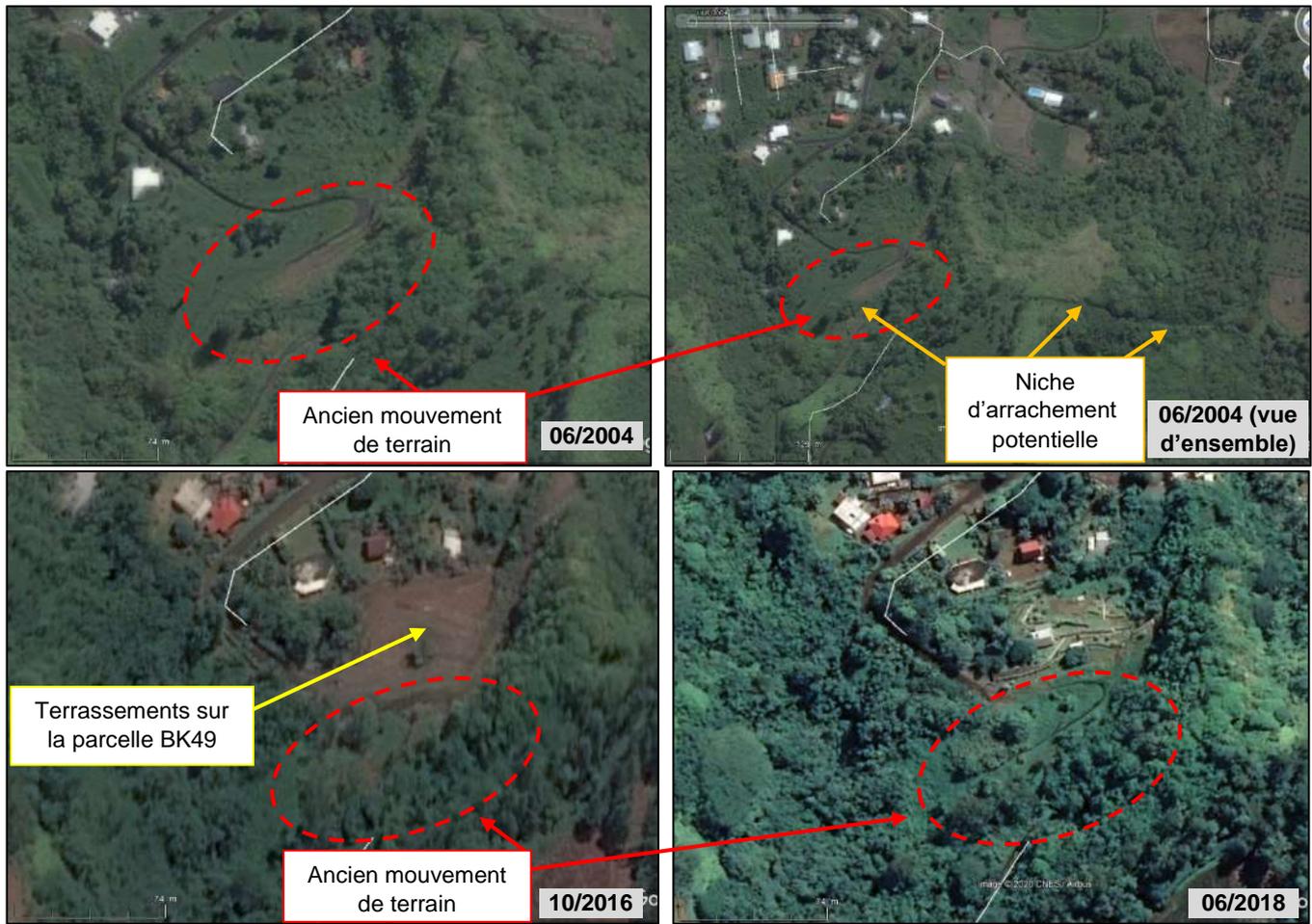
Il s'agit d'un diagnostic géotechnique localisé entre les deux parcelles et côté talweg. Il donne des informations sur la nature des terrains visibles (terrains meubles côté sud et est de la parcelle BK123, faciès rocheux au niveau du talweg).

Le PV complémentaire complète le diagnostic par des descentes sur cordes.

❖ **Étude géotechnique préalable G1PGC et diagnostic géotechnique G5 (NF P 94-500 de nov. 2013) pour un projet de construction de deux bungalows – parcelle BK49 – rapport n° 20/0253 du 24/02/2020 - Dossier 19591**

Il s'agit d'un nouveau diagnostic géotechnique sur la parcelle BK49, avec étude de sol pour la construction de deux bungalows. Des figures et photographies sont ajoutées ci-après.

Tout d'abord, les vues historiques de Google Earth disponibles à l'époque montrent le mouvement de terrain de 2001 mais aussi que des terrassements ont été réalisés sur la parcelle BK49 en 2016. Une ligne Est-Ouest a également été remarquée dans le rapport. Il avait été émis l'hypothèse d'une niche d'arrachement potentielle. Cette ligne a été recherchée sur les photographies aériennes de la Direction des Affaires Foncières (DAF) paragraphe 1.4.8.



Vues aériennes historiques du secteur d'étude, de 2004 à 2018 (source : Google Earth) avec annotations issues du rapport

Il a été réalisé 7 sondages pénétrométriques légers descendus à 6.0 m de profondeur (ou au refus préalable), au centre de la parcelle, zone du projet. Les résultats sont les suivants :

- Les terrains montrent des propriétés mécaniques particulièrement hétérogènes, avec :
 - des propriétés très faibles jusqu'à 0.8 à 2.4 m/N puis fortes (PL1 et PL4-2),
 - un sondage aux propriétés moyennes (PL2)
 - et des sondages avec refus à 0.4 m/TN (autres sondages).
- Au vu du contexte géomorphologique du site, des refus prématurés aux sondages au pénétromètre léger (PL3 et PL4-1) sans répartition géographique significative des résultats, il est suspecté la présence d'éboulis et de colluvions de pente, constitués de blocs et terrains meubles sur plusieurs mètres d'épaisseur (attendu 2 à 3 m au centre de la parcelle).

La visite géotechnique a révélé une zone (à minima) d'écoulement préférentiel, sans système de gestion des eaux pluviales sur la parcelle de ce qui a pu être observé.

La visite a également révélé les faits suivants :

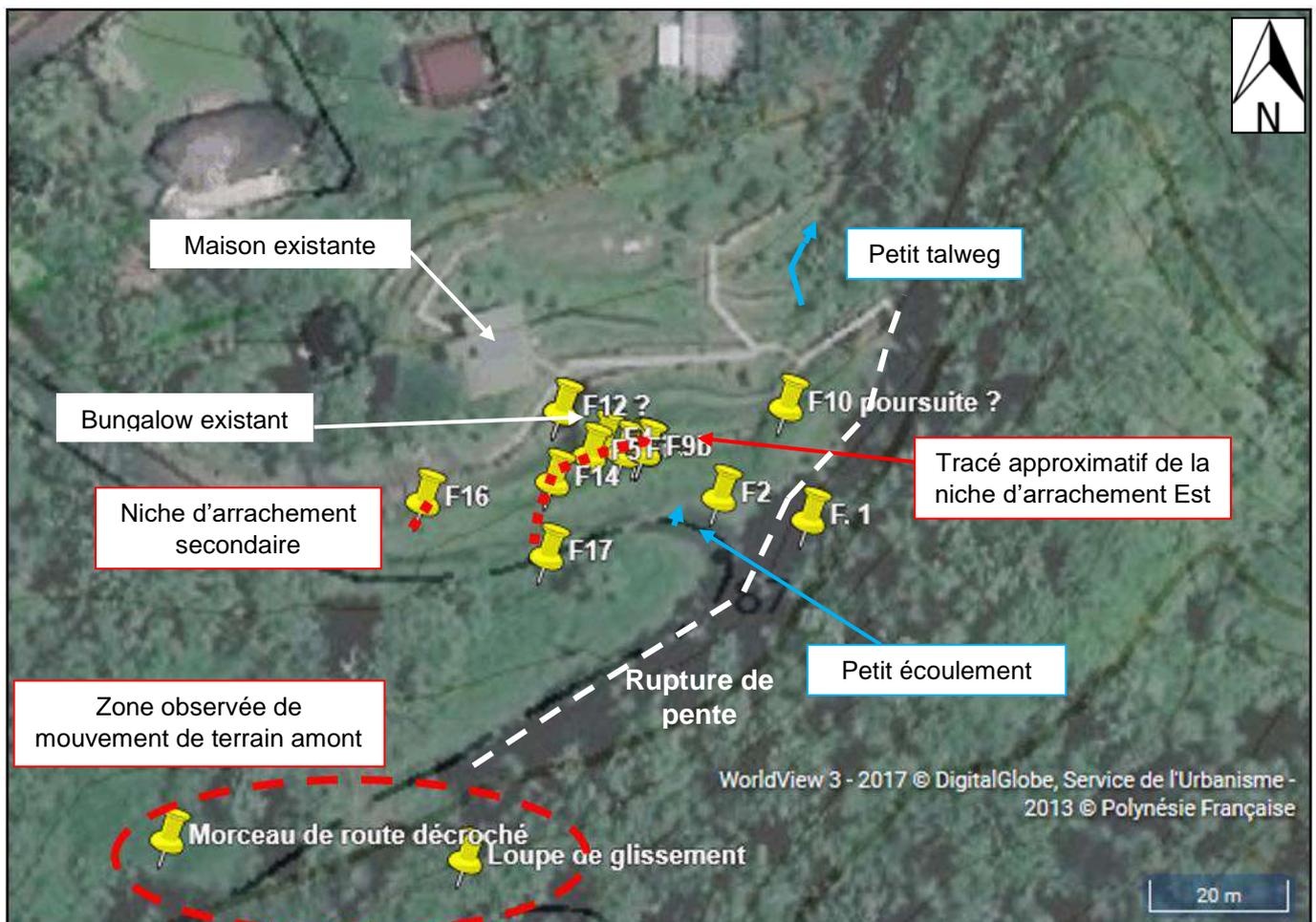
- Vers le centre de la parcelle et en aval, des colluvions de pente (ou des remblais) sont constatées : limons bruns de type « mamu » remaniés plus ou moins sableux à cailloutis et blocs. La présence de colluvions est cohérente avec la rupture de pente en amont de la parcelle et le glissement de terrain plus en amont.
- En pied de la rupture de pente Est, *il est possible qu'en plus de terrassements, la configuration topographique soit liée à d'anciens mouvements de terrain des formations superficielles citées ci-dessus.*
- Au-dessus de la zone des bungalows, il a été observé :

- Bungalow 1 : une plateforme et une pente douce de colluvions.
- Bungalow 2 : la même configuration avec des colluvions à blocs de 40 cm de diamètre au maximum puis, au-dessus, des éléments rocheux atteignant 1.3 m de plus grand diamètre (blocs ou banc sous les marches). Un banc rocheux est enfin constaté [...]. Il peut s'agir du substratum mis à l'affleurement lors d'un glissement des formations meubles sus-jacentes.

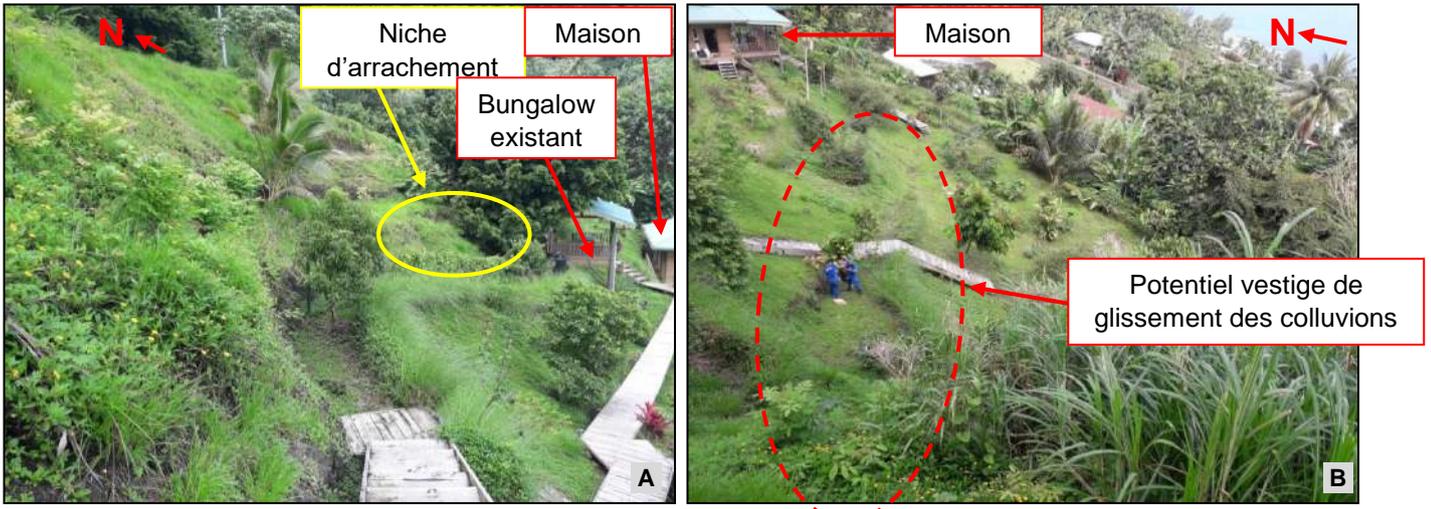
Dans les deux cas, l'épaisseur des colluvions n'est pas connue. Elle est variable avec des épaisseurs potentiellement plurimétriques (2 à 3 m sont attendus) au droit des zones des projets [au centre de la parcelle].

La zone du projet est surmontée d'une succession de talus de 5V/1H à 5V/2H de pente et d'apparence rocheuse fracturée à altéré. Leur hauteur est de 6 à 8/10 m et la largeur de l'ancienne piste est de 5 à 6 m.

- Sur la parcelle, il a été constaté deux niches d'arrachement côté amont :
 - Ces décrochements se sont produits au sein de formations identifiées comme des colluvions de pente, voire des remblais (en fonction des terrassements antérieurs).
 - La longueur du décrochement Est, le plus important [cf. plan et photographies ci-après], a été constatée sur une trentaine de mètres. Son ouverture horizontale est comprise entre 10 à 15 cm et 30 à 35 cm, atteignant 80 cm sur sa partie Est, néanmoins cette partie a pu s'affaisser ou s'éroder au cours du temps. Le décalage vertical est d'environ 15 à 25 cm et atteint 90 cm au niveau de la partie Est.



Extrait des observations du rapport n° 20/0253 du 24/02/2020 sur photographie aérienne et topographie (source : Tefenua)



Vues générales de la parcelle avec observations



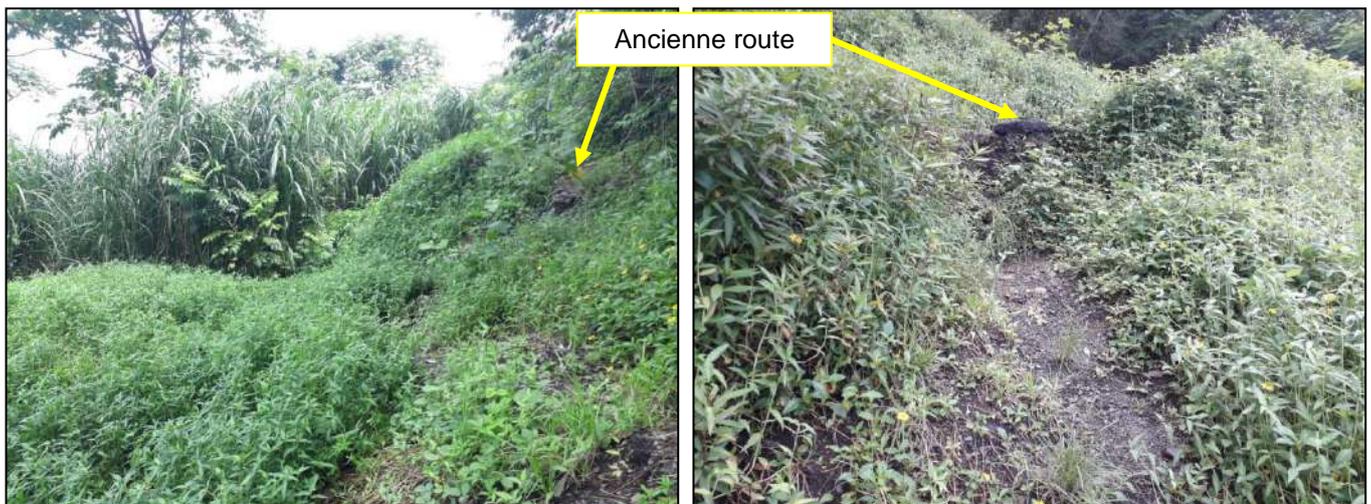
Vues des niches d'arrachement

- Enfin, il a été constaté une fissure sur le perré maçonné avoisinant à l'ouest de la zone des niches d'arrachement, de l'autre côté de la route :



Fissure sur le perré maçonné avoisinant à l'ouest

- ***En amont de la parcelle, au Sud-ouest (cf. localisation ci-avant), se trouvent les vestiges d'un mouvement de terrain survenu [en 2001, d'après les éléments à ce jour à notre disposition]. Il est probable que les niches d'arrachement en bordure de la parcelle soient liées à ce glissement amont, dans un contexte de formations superficielles meubles instables sur un substratum rocheux.***



Arrachement / décrochement de l'ancienne route



Vues d'une loupe de glissement au niveau de l'ancienne route



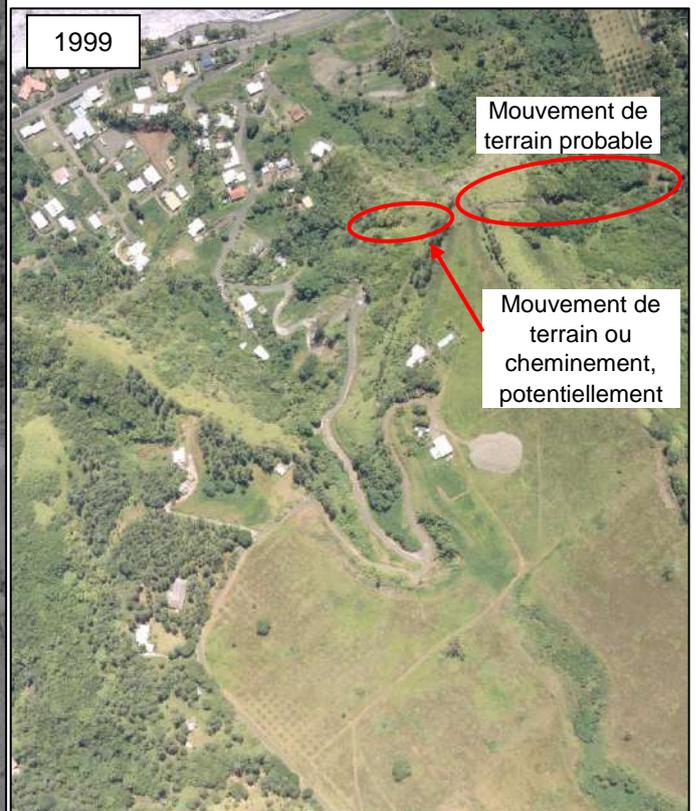
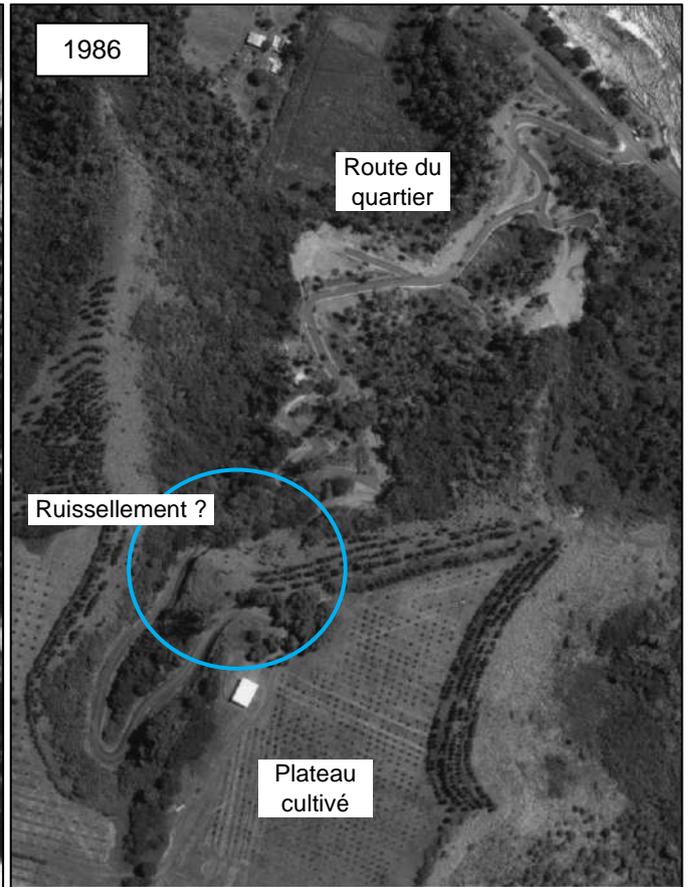
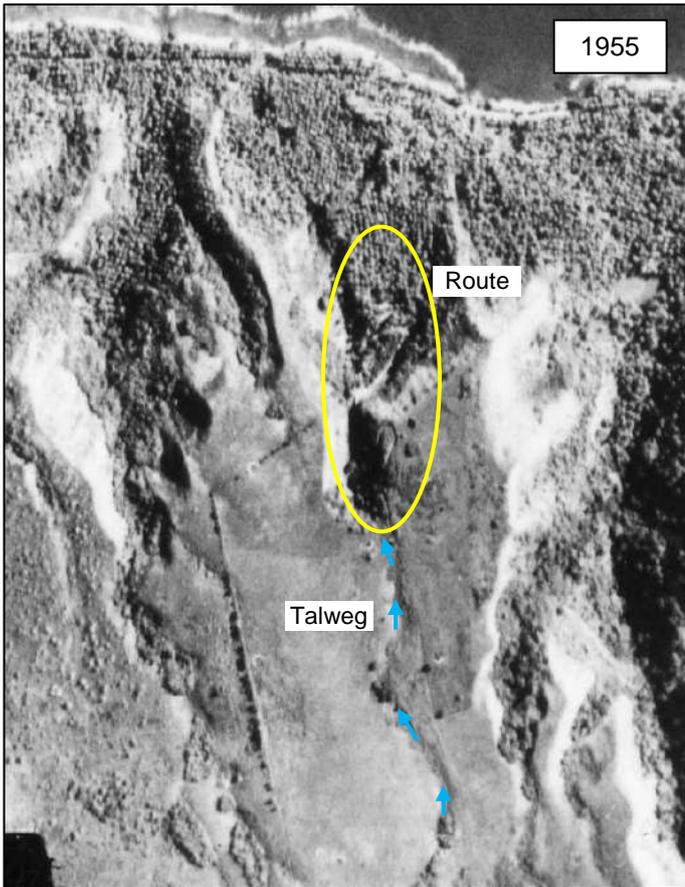
À gauche, loupe de glissement et à droite, vue de l'ancienne route coupée par le glissement, depuis l'amont

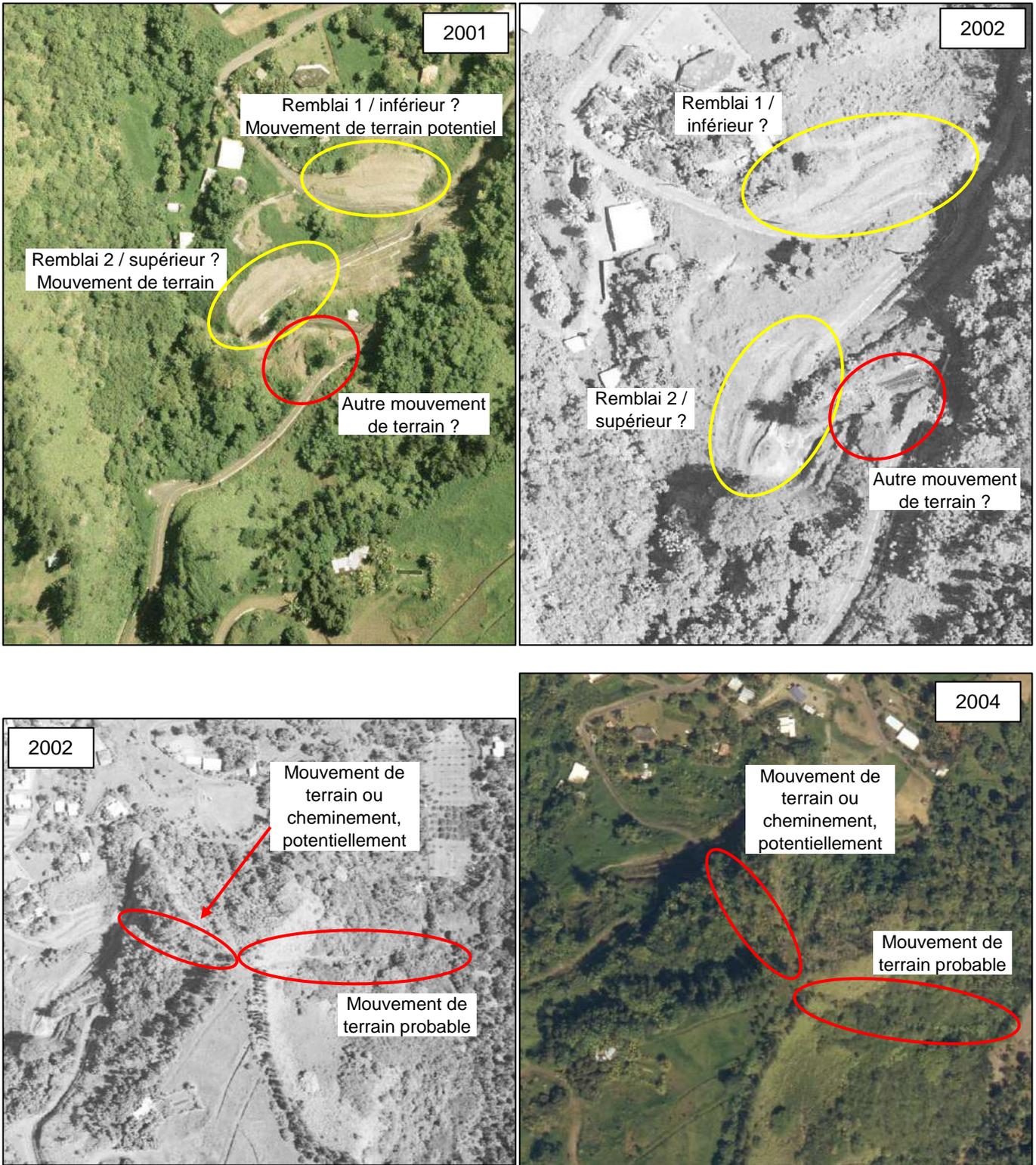
- De nouvelles occurrences de glissements peuvent survenir à terme, notamment au sein des terrains meubles de type colluvions de pente observée sur la quasi-totalité du terrain, [...] favorisés par d'éventuelles circulations de versant à l'interface entre substrat rocheux et colluvions sus-jacentes.
- **Sur la parcelle, les niches d'arrachement impliquent une surveillance régulière du site dans le temps. Il était alors notamment préconisé de nettoyer et reprofiler la zone et de purger les matériaux mobilisés.**

1.4.8 Photographies aériennes historiques

Les photographies aériennes historiques fournies par la Direction des Affaires Foncières (DAF) - cellule topographie - sur les années 1955 à 2004 au droit du secteur montrent que :

- Une forme de talweg est visible depuis les premières photos disponibles, en 1955, sur le plateau en amont et se dirigeant dans la vallée du lotissement (cours d'eau indispensable au creusement de la vallée qui surmonte le quartier) ;
- En 1955, une voie (piste probablement) existait déjà entre le plateau et le futur quartier Raimatea. Le secteur était planté d'arbres sur la « plaine » littorale et notamment sur le quartier. La géomorphologie du quartier est bien visible : une surface intermédiaire, en aval d'un versant en forte pente, entourée de chaque côté de creusements de vallées ;
- Que la première piste entre le littoral et le plateau en amont du quartier a été réalisée en 1986. Il s'agissait vraisemblablement d'une desserte pour Raimatea et d'une piste pour le plateau, cultivé. Sur la partie amont vers le plateau, elle semblait déjà montrer des signes de ruissellement ;
- Sur la vue de 1988, le talweg est bien délimité et les premières maisons du quartier apparaissent ;
- Le glissement de 1998 n'est pas discerné sur les photographies aériennes ;
- Sur les clichés de 1999 et 2001, apparaît la ligne Est-Ouest mentionnée dans le dossier 19591 du paragraphe Archives ci-avant. Il semble plutôt s'agir d'un mouvement de terrain localisé sur le flanc est de la crête. Sur le flanc ouest, la ligne est plus ténue et peu interprétable. Ces interprétations restent hypothétiques.
- Deux zones de travaux en remblais sont bien visibles en 2001 et 2002, avec des désordres atteignant la route visibles sur le remblai supérieur, notamment en 2002. Il s'agit à priori des zones évoquées dans les archives. À noter toutefois que la localisation des remblais dénommés R1 / remblai inférieur et R2 / supérieur dans les archives n'est pas totalement certaine aujourd'hui. Il est probable qu'il s'agisse des remblais localisés sur les extraits de photographies de 2001 et 2002 ci-dessous.



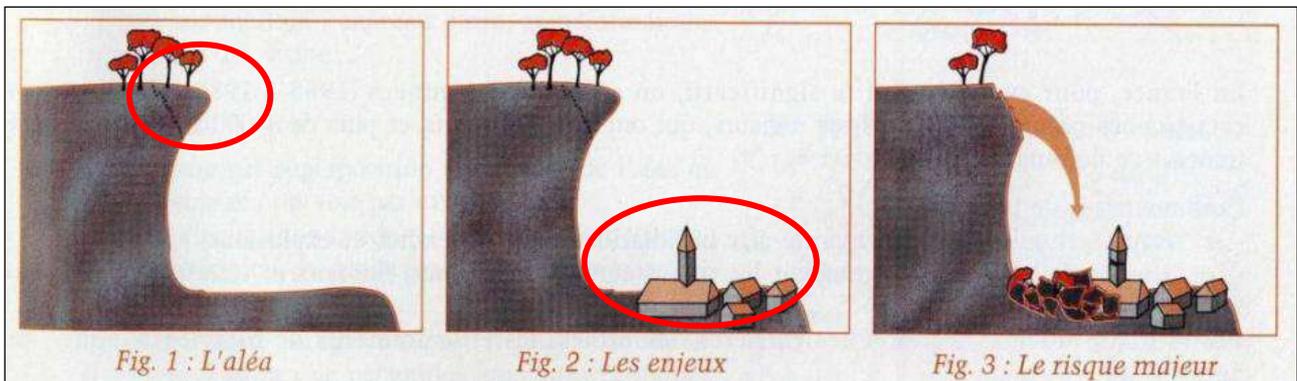


Photographies aériennes historiques fournies par la Direction des Affaires Foncières (DAF), annotées

2 DEFINITION DES ALEAS, ENJEUX ET RISQUES

2.1 DÉFINITION

Un évènement potentiellement dangereux (**aléa**) n'est un **risque** que s'il s'applique à une zone où des **enjeux** humains, économiques ou environnementaux sont en présence.



Le risque est donc la confrontation d'un aléa avec des enjeux.

2.1.1 Définition d'un aléa

L'aléa ou menace, définit l'occurrence d'un phénomène donné, d'intensité donnée et en un lieu donné. Il est retenu principalement trois niveaux d'aléas : **faible, moyen, fort**.

La démarche consiste à définir le niveau d'aléa vis-à-vis de la stabilité générale du versant d'une part et des phénomènes naturels localisés d'autre part.

Ce classement est représentatif de l'état du talus au moment de la visite.

Compte tenu du caractère évolutif potentiellement rapide des phénomènes d'érosion en climat tropical humide, un état des lieux reste à prévoir régulièrement (à échéance de 1 ou 2 saison(s) des pluies ou de phénomène climatique à caractère exceptionnel).

2.1.2 Classification des enjeux

L'enjeu est l'ensemble des personnes et des biens susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel (aléa).

Les enjeux ont été classés en fonction d'un critère arbitrairement retenu qui est la densité de population.

Les enjeux peuvent être classés soit **faibles** (circulation diffuse de piéton, véhicule), soit **importants** (route, parking, habitation).

2.1.3 Définition d'un risque

Le risque est la conséquence d'un aléa (d'origine naturelle ou humaine) dont les effets peuvent mettre en jeu des personnes, provoquer des dégâts (importants) et pouvant dépasser les capacités de réaction des instances directement concernées.

La notion de risque intègre trois composantes :

- **l'aléa** (défini plus haut),
- **la vulnérabilité/les enjeux** : correspond au pourcentage de dommage généré par un phénomène donné d'intensité donnée,
- **le coût** : correspond à la valeur des pertes directes et indirectes consécutives aux dommages. Dans la mesure où les enjeux exposés correspondent non seulement à des biens matériels mais également humains, il est difficile de traduire ce coût en terme financier. Cet aspect n'est pas pris en compte dans la présente étude.

Il est retenu principalement trois niveaux de risque : **faible, moyen et fort**.

2.2 ALÉAS GEOTECHNIQUES ET LIMITES DE LA PRESTATION

La présente mission ne constitue pas une étude stabilité au grand glissement.

Les reconnaissances de sol procèdent par sondages ponctuels, les résultats ne sont pas rigoureusement extrapolables à l'ensemble du site. Il persiste des aléas (exemple : hétérogénéités locales) qui peuvent entraîner des adaptations qui ne sauraient être à la charge du géotechnicien.

La visite a été réalisée au droit de zones accessibles du site. La visibilité - en particulier au droit des glissements anciens - a été limitée en tête par le couvert végétal et par des pentes fortes.

Des modifications dans la délimitation de l'emprise du site à l'étude ainsi que dans les hypothèses prises en compte et en particulier dans les indications de la partie « *Introduction* » du présent rapport peuvent conduire à des remises en cause des prescriptions. Une nouvelle mission devra alors être confiée au LABO TP afin de réadapter ces conclusions ou de valider par écrit le nouveau projet.

De même, des éléments nouveaux mis en évidence lors des travaux et sondages ultérieurs et n'ayant pu être détectés lors de la présente mission (exemple : cavité, hétérogénéité localisée, venues d'eau, etc.) peuvent rendre caduques certaines des conclusions et recommandations figurant dans le rapport.

Il convient de rappeler que le site est en perpétuelle évolution du fait de sa nature géologique et de l'érodabilité marquée des matériaux en place en contexte tropical humide.

Le présent rapport et ses annexes constituent un tout indissociable. La mauvaise utilisation qui pourrait être faite suite à une communication ou reproduction partielle ne saurait engager le LABO TP.

Les conclusions du rapport concluant la mission géotechnique G5 confiée ne sont valables que sous réserve du respect des conditions générales d'utilisation des missions géotechniques rappelées plus loin.

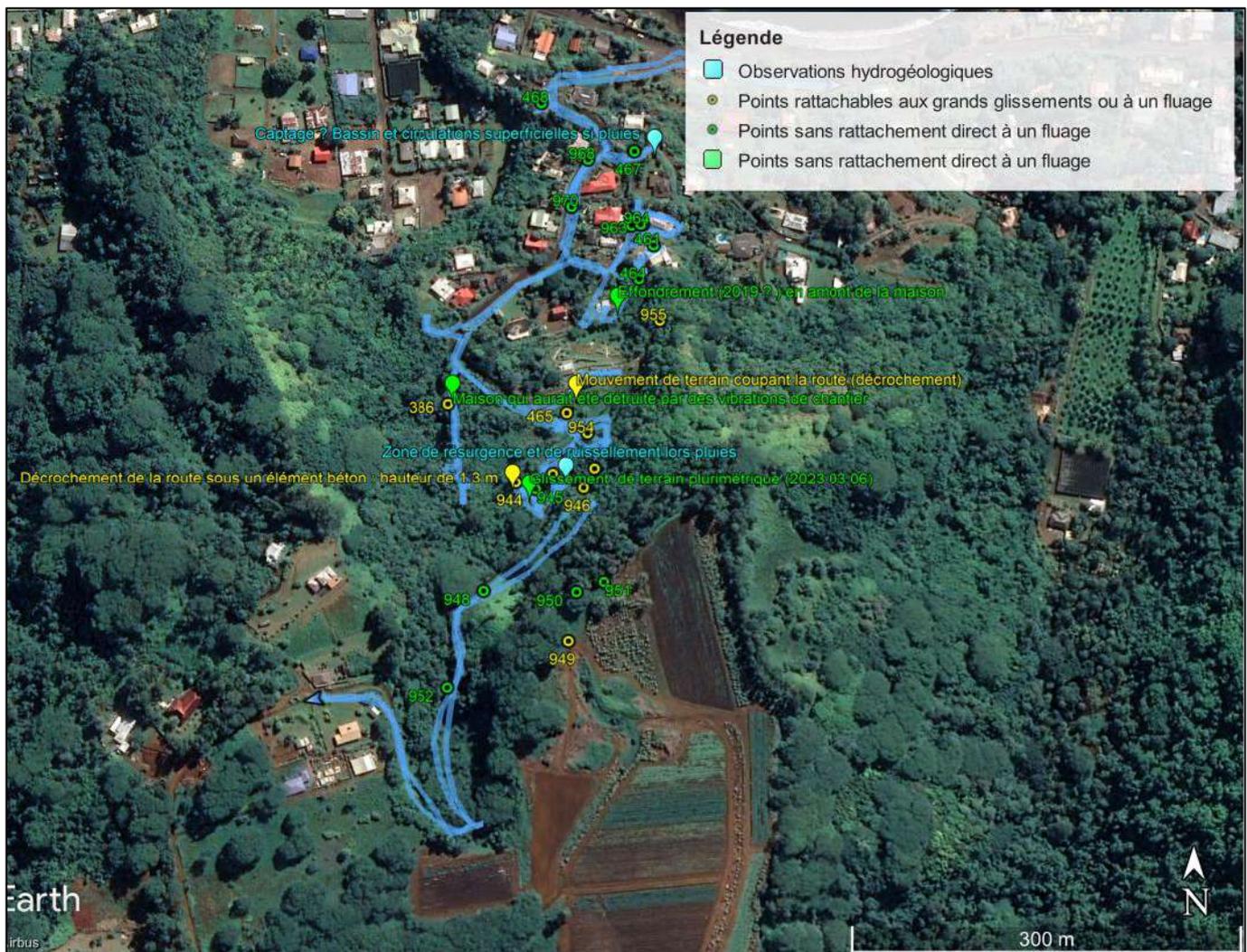
Le présent rapport est considéré accepté en l'état par la cliente s'il n'est l'objet d'aucune observation par cette dernière dans un délai de 15 jours à compter de la date de transmission de ce document au client.

3 EXAMEN VISUEL DU SITE

La visite a été réalisée le 06/03/2023. Elle a consisté à parcourir le quartier ainsi que les zones d'anciens glissements et enfin la route du lotissement Marutea depuis le plateau en amont. Le parcours réalisé lors de la visite est matérialisé en bleu sur la figure ci-dessous.

À noter que la petite fourmi de feu a été constatée sur la partie amont du site.

3.1 EXAMEN VISUEL GÉOTECHNIQUE



Vue aérienne Google Earth avec lignes topographiques de la DCA, points de la visite géotechnique du 06/03/2023 et points d'observation de la DCA et de Géolithe, interprétés en fonction. Le tracé bleu correspond au cheminement de la visite.

Il n'est pas repris ici l'intégralité des observations faites par le passé ou lors de la visite du 06/03/2023 point par point, mais plutôt les points significatifs à notre sens et les interprétations.

Géologiquement, le site est constitué du socle basaltique avec plutôt peu d'épaisseur d'altération, affleurant sur le pourtour du quartier, notamment au sud-ouest et sud-est. Le cœur du quartier et l'aval montrent des colluvions de pente à blocs et des remblais, sur des épaisseurs parfois plurimétriques. Les sondages développés ci-après investiguent cette épaisseur.

Il a été constaté les mêmes faits que ceux synthétisés dans les archives et les documents transmis par la DCA et en particulier :

- Une forte infiltration des eaux pluviales dans les formations du site d'après les constats sur place, les archives et documents, ainsi qu'un fort ruissellement en surface lors des épisodes de fortes pluies aux dires du président de quartier.
- De nombreux désordres sur les ouvrages du quartier : fissures, mouvements de terrain localisés, mais dont aucun ne comporte un lien qui soit attribuable avec certitude aux glissements de 1998 et 2001 (hormis les points en amont qui y sont directement liés (niches d'arrachement, soulèvement de la route, etc.) et/ou un fluage potentiel actuel.

Sur la route toutefois, des fissures sont corrélables à un mouvement de terrain passé ou en cours (cf. photographies ci-dessous et paragraphe 3.2 Examen visuel de la chaussée).



Mouvements de terrain côté aval : à priori des mouvements isolés

D'après le président de quartier, une source d'eau est présente en amont du point 467 relevé par la DCA (parcelle BK27 / BK28). Un captage est constaté au droit de la parcelle BK27, remplissant un bassin.

Un affaissement de la voirie est présent au droit du même point 467, où de fortes venues d'eau se produisent lors des pluies d'après le président du quartier.

La localisation de ce mouvement dans le prolongement de la rupture de pente du versant le rend corrélable à un fluage, sans certitude car il peut également s'agir d'un mouvement isolé potentiellement favorisé par les infiltrations.



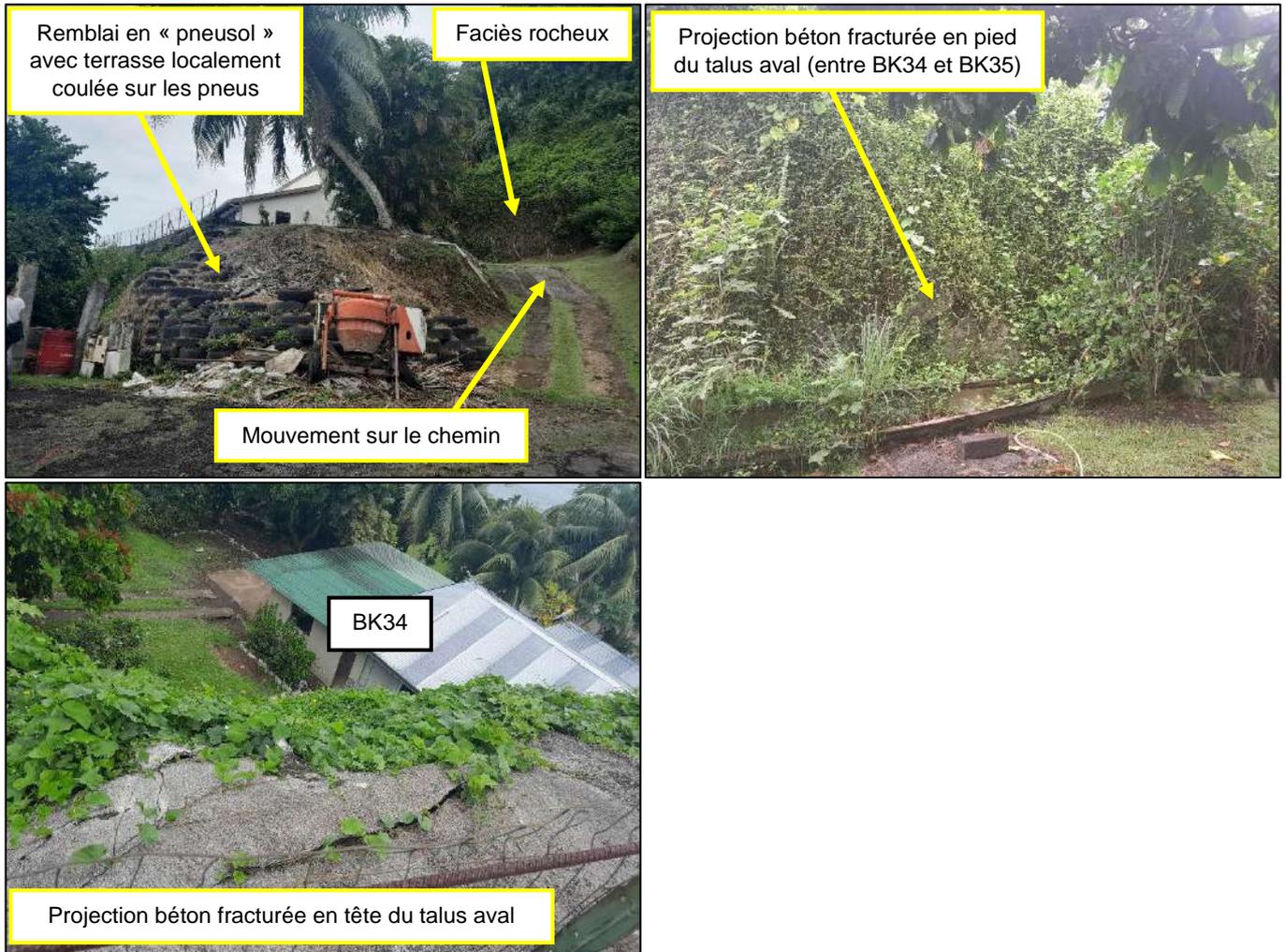
Bande en pied – zones A à C

La parcelle BK34 plus en amont (points 963 et 964) montre des fissures sur la terrasse côté nord-ouest. Ces désordres peuvent être liés à un mouvement d'ensemble potentiel, en lien par exemple avec les autres désordres et parcelle BK35 notamment, mais une origine ponctuelle est tout aussi probable (défaut de réalisation des remblais et/ou de la terrasse), d'autant plus que la rangée de blocs agglomérés en aval servant de « coffrage » au remblai de la terrasse est complètement désorganisée.



Parcelle BK34, en aval de la BK35 (points 461 et 464)

La parcelle BK35 juste en amont (archive 18126 et points 461, 464) se trouve sur le rocher côté amont, au sud-est et sur du remblai (avec potentiellement des mamu de façon intermédiaire) côté aval, au nord-ouest. La terrasse construite sur remblai présente des fissures d'écartement et un affaissement. Le chemin d'accès à l'ouest présente également une déformation sans rupture indiquant un affaissement et/ou glissement de ce chemin. Ces déformations sont juste en amont de celles de la parcelle BK34 et peuvent être liées à un fluage général mais il est également possible qu'il ne s'agisse que d'un mouvement isolé lié à une exécution sans respect de l'état de l'art (remblai de type tout venant en « pneusol » visuellement sans respect des règles de l'art, lessivage en arrière de la projection béton d'après le dossier d'archive 18126, etc.).



Parcelle BK35 (points 461 et 464)

Les désordres parcelles BK34 et 35 se trouvent dans le prolongement de la ligne de rupture de pente du versant côté est, ce qui mérite un suivi. Toutefois, les désordres constatés se trouvent au droit d'ouvrages réalisés sans respect des règles de l'art et une interprétation de type fluage d'ensemble est certes possible mais doit être pondérée par ce caractère vétuste des ouvrages et leurs malfaçons.

Parcelle BK47, une ravine se dirige vers une maison ou une fissure est nette entre trottoir périphérique et murs de la maison. Les désordres seraient liés à une modification des eaux pluviales (EP) provenant du plateau, qui ont significativement augmenté depuis 2019 d'après le président du quartier.

L'absence de désordre constaté sur la maison au moment de la visite conduisent à une hypothèse d'un trottoir qui se désolidarise de la maison et se fissure par tassement différentiel des sols à forte teneur en eau. Cette hypothèse n'est toutefois pas absolue et un désordre et/ou un mouvement de terrain plus important n'est pas exclu.



Parcelle BK47 : effondrement de 2019 d'après le président du quartier

Les niches d'arrachement dans le remblai en amont de la parcelle BK49 n'ont pas été retrouvées, sous la végétation envahissante. Il serait utile de suivre leur évolution dans le cadre du suivi du fluage.

Le mouvement de terrain (décrochement) coupant la route au-dessus de la parcelle BK49 serait apparu en 2019 et aggravé en 2022, aux dires du président de quartier, en lien avec l'augmentation du débit des EP provenant du plateau. Il a à ce titre été réalisé un merlon de terre sur la route en amont de la parcelle BK49 afin d'éviter le déversement d'eau directement sur les parcelles habitées.

Toutefois, le rapport n° 13/0415 du 08/04/2013 (D13140) mentionnait en 2013 que : « Une route entièrement affaissée, non carrossable, entre les cotes +80 m et +120 m NGT environ avec des remblais estimés en équilibre très précaire ».

Parcelle BK51 (zone du sujet Ostreicher), une maison aurait été détruite par les vibrations d'engins de chantier, aux dires du président du quartier. Il peut s'agir de la maison 2 évoquée dans le PV n° 21/467 du 14/05/2001 (D21222). La maison en amont (au sud) a été détruite par le mouvement de terrain de 1998.

Sur la zone du cours d'eau (« propriété Ostreicher » notamment) où deux maisons ont été détruites, il a été constaté des plateformes vraisemblablement créées en déblais-remblais, avec des remblais constatés sur le talus intermédiaire entre les plateformes et en particulier sur le talus surmontant le cours d'eau, avec des éboulis anthropiques à priori liés aux mouvements de terrain. En rive gauche, partiellement terrassée, il est observé des colluvions sur le terrain en place, en forte pente et sujets à des glissements. Ces observations sont cohérentes avec les informations issues des archives.





Zone du cours d'eau où deux maisons ont antérieurement été détruites

Les répercussions des mouvements de terrain passés (1998, 2001 et potentielles aggravations ultérieures notamment l'amplification de rejet des eaux pluviales venant du plateau en amont depuis 2019 aux dires le président du quartier) sont plutôt visibles en amont, sur et au pied des mouvements : niches d'arrachements, maisons détruites à l'époque, etc.

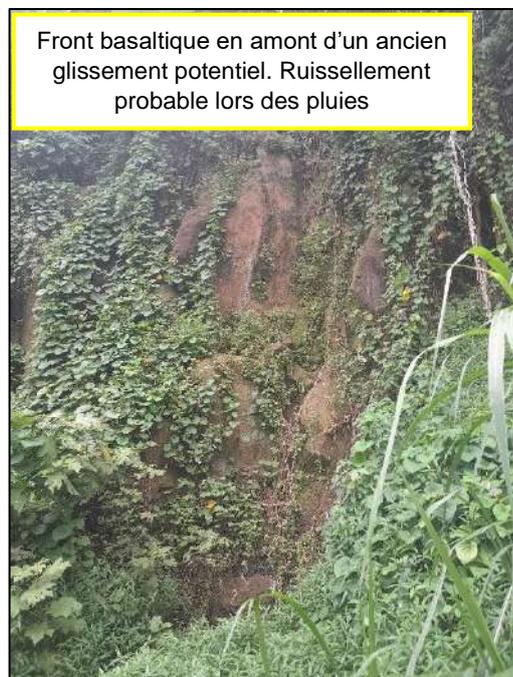
Les évolutions des déformations liées aux mouvements de terrains sur la route en amont du lotissement – en particulier depuis la visite du LABO TP de 2019 (cf. § 1.4.7 Archives) – sont difficiles à apprécier du fait de la végétation très couvrante et par exemple du merlon mis en œuvre en amont de la parcelle BK49. Néanmoins, de ce qui a pu être constaté, il n'a pas été vu d'évolution majeure.



Zone des mouvements de terrain antérieurs (2001 à priori), sur la route en amont du quartier Raimatea

Les niches d'arrachement constituent des zones de faiblesse. Elles sont des entrées d'infiltrations, à l'origine de circulations et potentiellement de circulations de versant : Il est fort probable que l'eau s'écoule préférentiellement à l'interface entre les colluvions et le substrat, fragilisant cette interface par une diminution de la cohésion des colluvions et augmentant ainsi le risque de glissement.

Des mouvements de terrain localisés sont présents en amont des vestiges des mouvements de terrain d'ampleur. Des blocs sur et sous ces vestiges témoignent d'instabilités localisées (à minima) sur les talus du secteur et les glissements localisés sont vraisemblablement majoritairement ou totalement attribuables à des fortes pluies et/ou infiltrations en contextes de fortes pentes, les vestiges des mouvements d'ampleur voire un fluage du quartier peuvent toutefois en être un facteur.



Amont : zones de glissement et blocs tombés côté amont des mouvements d'ampleur

Sur la portion de route, joignable par la route du ranch et située juste sous le plateau, l'arrivée d'eau du talweg est bien visible, avec arbres chutés sur le talus sur la zone. Un caniveau en pied de talus est constaté le long de la route. Il est, au moins localement, encombré d'éboulis, de fines, de banchages et de végétation. Il est à curer.



Amont : vue vers le plateau en amont

3.2 EXAMEN VISUEL DE LA CHAUSSÉE

La voirie du lotissement Raimatea est revêtue d'un enrobé bitumineux visuellement ancien. Selon le président de quartier nous ayant accompagnés lors de la visite sur site du 06/03/2023, ce dernier serait antérieur à 1992.

Le revêtement est affecté d'un désenrobage généralisé, en lien avec son ancienneté et de multiples désordres tels que faïençages de fatigue, zones de nids de poule rebouchées sommairement au béton, fissurations en tête de talus aval.



Fissurations de fatigue et création de nids de poule rebouchés au béton



Fissurations en tête de talus aval à la chaussée



Aspect très désenrobé du revêtement avec fissurations en bord de talus

Il est à noter que selon les dires du président de quartier, la chaussée aurait subi à plusieurs reprises au gré de fortes intempéries le passage d'une lame d'eau d'épaisseur pluridécimétrique, en provenance des terrains agricoles situés sur le plateau au-dessus du lotissement. L'état fortement dégradé de la chaussée, en lien avec l'ancienneté du revêtement, semble également lié à ces événements d'occurrence certes limitée dans le temps mais très dévastateurs pour les revêtement et structure de chaussée en place.

Les fissurations en tête de talus sont principalement constatées dans la première partie, aval, de la montée du lotissement où deux zones principales sont notées, avec notamment une ayant déjà fait l'objet d'un glissement :



Partie aval de la montée au lotissement – vue de la chaussée et du glissement depuis l'amont – Repère rose orangé noté « F » sur les vues aériennes ci-après



Partie aval de la montée au lotissement – vue du glissement depuis l'aval – Repère rose orangé noté « F » sur les vues aériennes ci-après

Un affaissement significatif avec création de bourrelet sur enrobé est constaté. Il est noté dans un repère rose orangé noté « A » sur les vues aériennes données ci-après. Selon les informations recueillies sur place, une aggravation des déformations serait intervenue courant 2021.



Zone d'affaissement vers l'aval avec fissuration de chaussée et création d'un bourrelet d'enrobé – Repère rose orangé noté A sur les vues aériennes ci-après

En marge de ces désordres apparents, les ouvrages annexes à la chaussée, tels qu'enrochements jointoyés au béton ne semblent pas présenter de fissuration ni avoir subi de mouvement significatif, qui aurait été décelé au travers de fissurations du jointoiment.

Le dernier point majeur affectant la chaussée en elle-même est un réseau de fissuration globalement perpendiculaire à l'axe de la chaussée et d'espacement d'ordre métrique à plurimétrique, situé en partie amont du lotissement. Il s'agit du repère rouge noté « F » sur les vues aériennes ci-après.

Si la fissuration parallèle à l'axe de chaussée en partie centrale (cf. photographies ci-après) est attribuable à un joint de chaussée effectué à la mise en œuvre du revêtement, les fissurations perpendiculaires à l'axe de la voirie ne sont, elles, ni attribuables à de la fatigue, ni à du retrait. Leur origine n'est à ce stade pas déterminée, mais elle pourrait s'inscrire dans une logique de tassement / décrochement entre amont et aval.



Réseau de fissuration perpendiculaires à l'axe de la voie
– Repère rouge noté « F »



Réseau de fissuration perpendiculaires à l'axe de la voie
– Repère rouge noté « F »

Au même niveau que ces fissurations, dans la zone du virage, un décalage d'un élément préfabriqué du caniveau béton est constaté, semblant témoigner d'un mouvement.



Décalage d'un élément préfabriqué du caniveau, dans la même zone que les fissurations perpendiculaires à la chaussée – Repère rouge noté « F »

Un petit peu plus en amont, à hauteur de la parcelle BK49, un perré maçonné en bordure de chaussée est constaté fissuré verticalement, avec une ouverture pluri-centimétrique, semblant également témoigner d'un mouvement. Toutefois l'évolution de cette fissure déjà constatée dans le rapport du dossier 19591 (cf. § Archives ci-avant) ne semble pas avoir évolué, visuellement. Il serait intéressant de la suivre dans le temps dans le cadre du suivi du fluage.



Fissuration du perré-maçoné en bord de route – repère rouge noté « F » également

En termes de drainage, l'ensemble du linéaire de la voirie est longé par un caniveau béton.

Il est en état apparent évalué moyen, localement dégradé par des pousses d'arbres et leur système racinaire. Il semble dater de la réalisation de la chaussée et son état passable est donc en lien avec son ancienneté. Il semble remplir son rôle de drainage des eaux pluviales, excepté en période de très fortes précipitations et déversement des eaux amont en provenance du lotissement agricole et du plateau, tel qu'évoqué par le président de quartier.

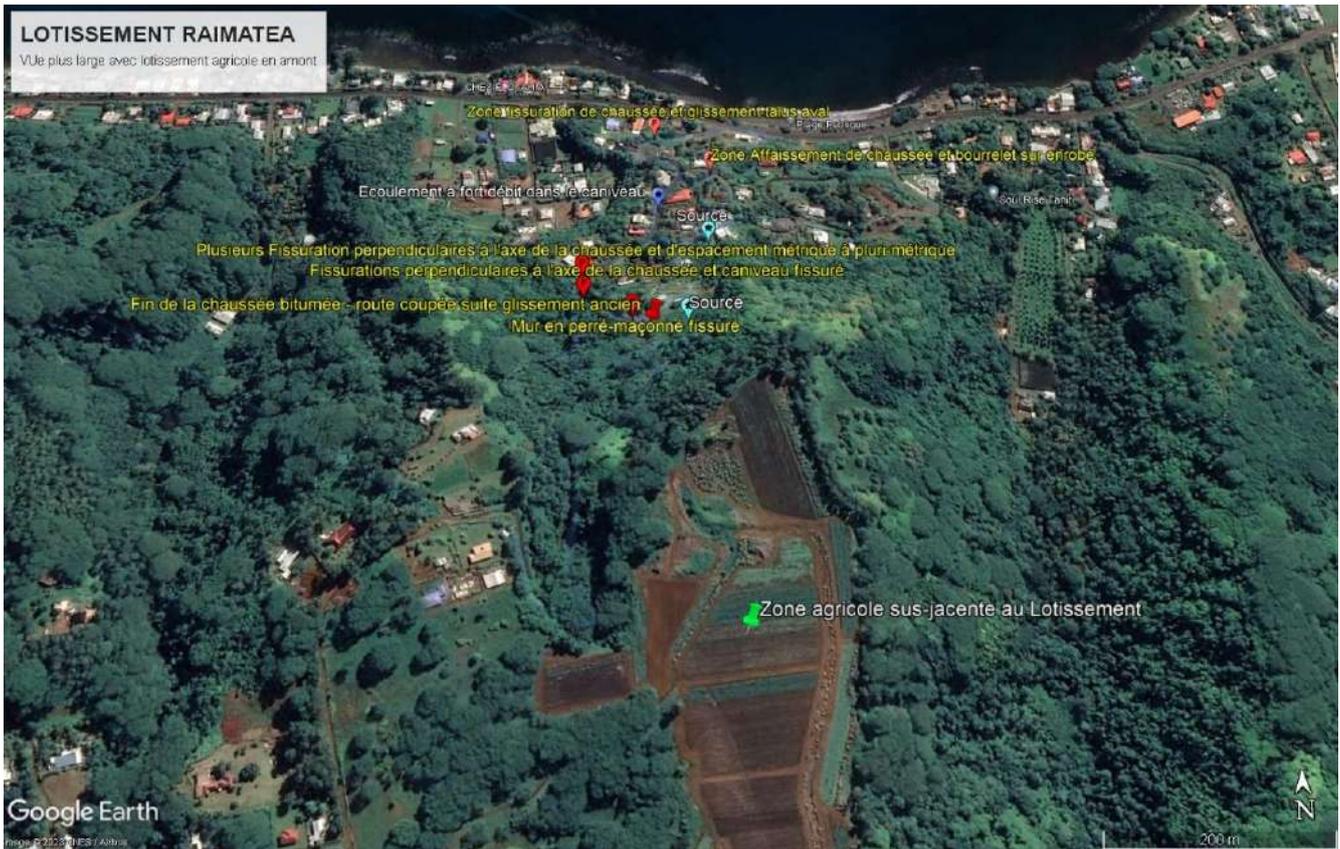
Des écoulements semblent effectifs, indépendamment de la météorologie, ce caniveau captant plusieurs sources affectant le lotissement. Quelques sources constatées sont par ailleurs notées au moyen d'un repère bleu turquoise sur les vues aériennes ci-après. Un écoulement fort dans le caniveau est repéré en bleu plus foncé.

Deux vues aériennes extraites de Google Earth sont données ci-après, illustrant :

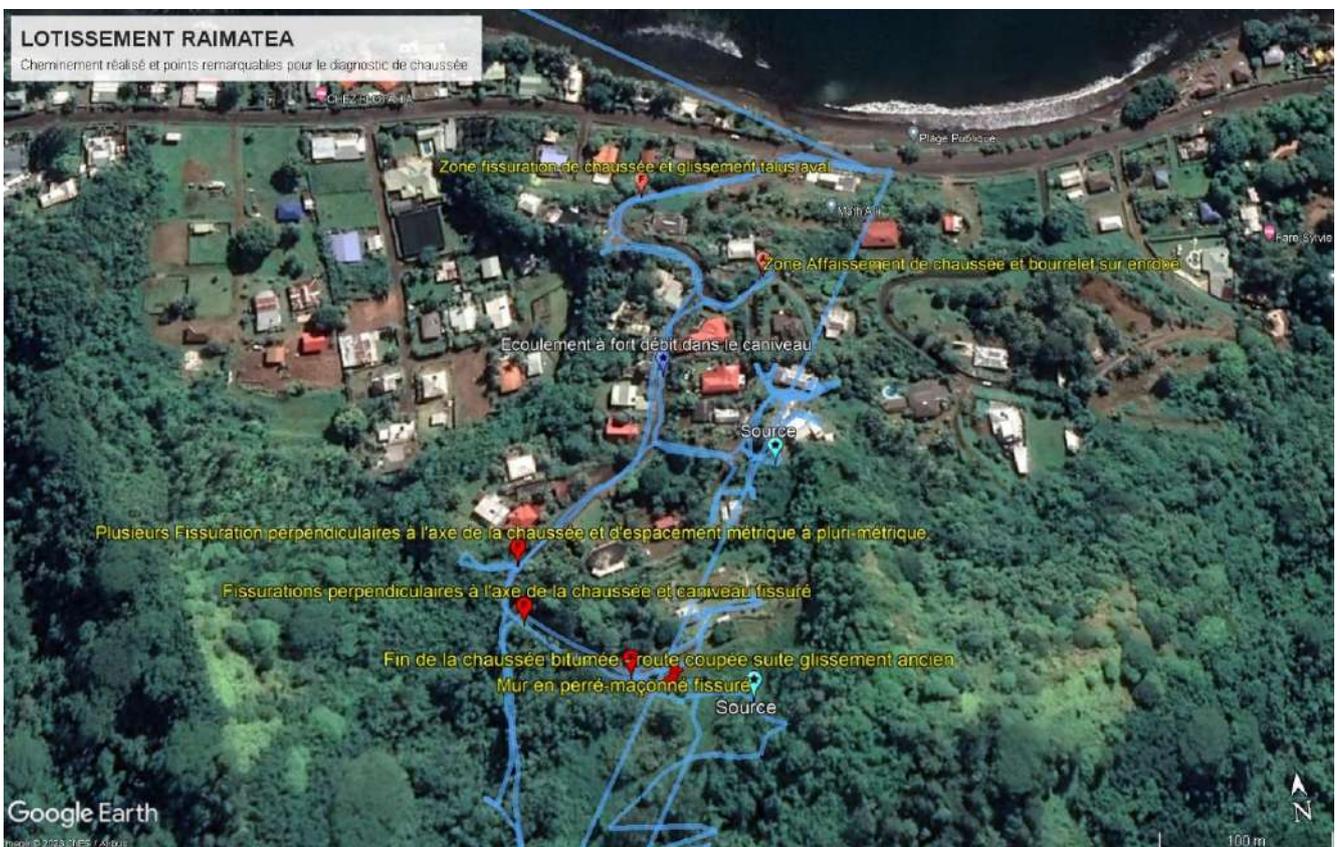
- la localisation du lotissement Raimatea et du lotissement agricole sur le plateau sus-évoqué,
- le cheminement réalisé (en bleu) et la localisation des désordres abordés dans le présent paragraphe.

Un récapitulatif plus complet des sources en présence est donné au paragraphe suivant (3.3).

De façon générale, la chaussée est marquée par l'ancienneté de son revêtement qui présente une multitude de désordres en lien avec sa vétusté. Il est toutefois constaté de petits désordres d'apparence isolée tels que fissuration de chaussée non attribuables à de la fatigue, fissuration de mur en bordure de chaussée, décalage d'éléments préfabriqués de caniveau, affaissement de la chaussée et création d'un bourrelet. En dehors de ce dernier point plutôt situé en partie aval du lotissement et qui ne semble par ailleurs pas accompagné de désordre sur des enrochements jointoyés, les autres points évoqués sont ceux affectés d'un repère rouge noté « F » et sont majoritairement positionnés en partie amont du lotissement.



Lotissement RAIMATEA – Vue élargie avec positionnement du lotissement agricole en amont

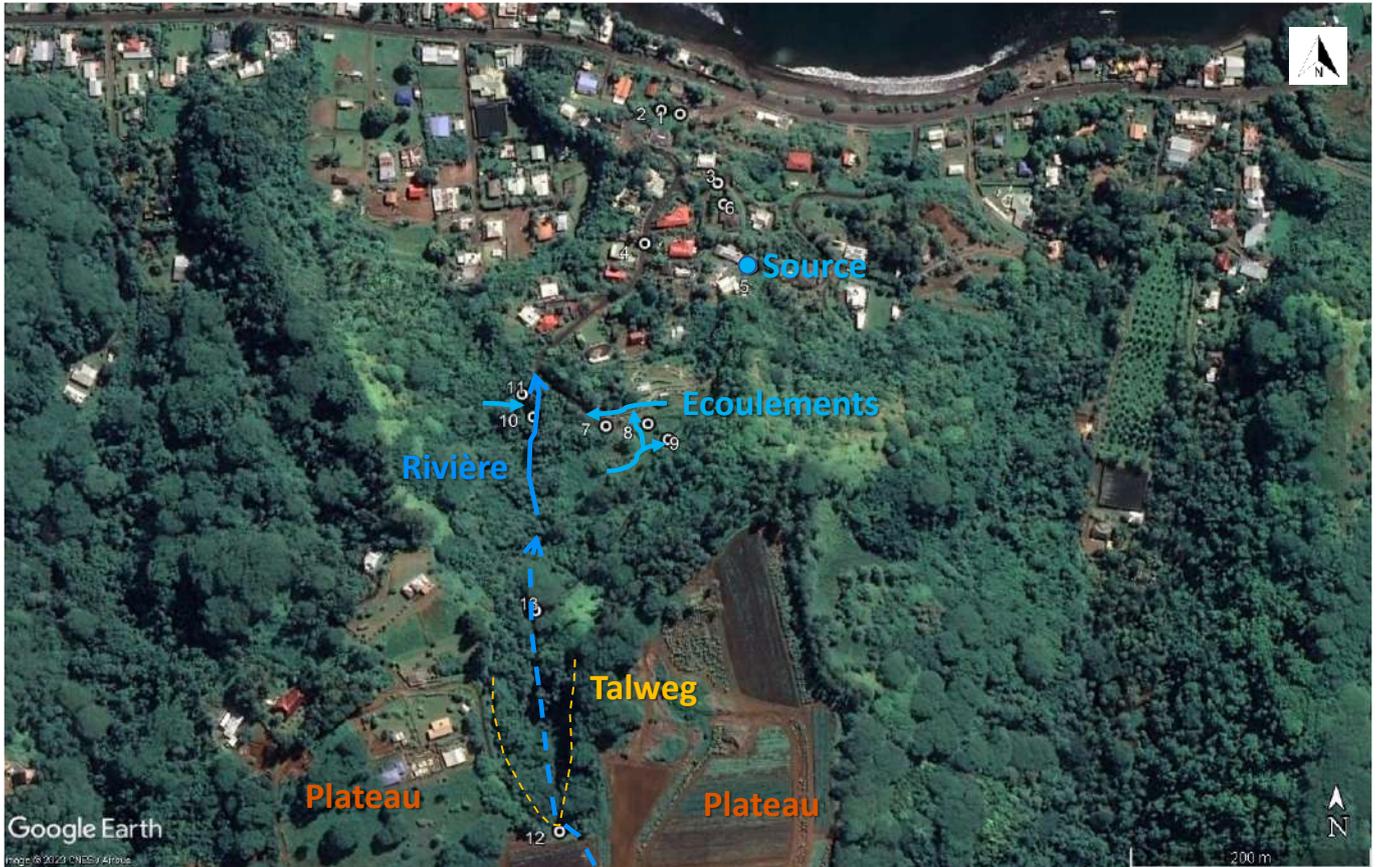


Lotissement RAIMATEA – Cheminement et positionnement des principaux désordres constatés sur la chaussée et aux abords immédiats

3.3 EXAMEN VISUEL HYDROGÉOLOGIQUE

Le compte-rendu détaillé de l'examen visuel hydrogéologique figure en annexe 4.

De manière synthétique, les observations de terrain sont présentées en figure suivante.



*se reporter au compte-rendu en annexe pour les photographies en relation avec les points numérotés indiqués en blanc sur la figure.

Synthèse visite de site - hydrogéologie

Les observations de terrain ont montré des circulations d'eau importantes dans le lotissement, à savoir une (ou plusieurs) sources canalisées (point 5), des écoulements de surface au niveau de l'ancienne route effondrée le long de son tracé et suintement par les talus, ainsi que l'écoulement de la rivière. À noter que la rivière ne traverse pas tout le quartier Raimatea mais rejoint celui de Vaiana plus à l'Ouest.

Les coteaux Est du quartier présentent de nombreux suintements d'eau, à priori pérennes.



Eau de source canalisée rejetée vers le fossé d'eau pluviale (point 5)



Suintements d'eau à travers les talus et écoulement le long de l'ancienne route effondrée

4 INVESTIGATIONS GÉOTECHNIQUES

Les sondages pénétrométriques ont été implantés sur place par nos soins, après réalisation des DICT. L'implantation des sondages pénétrométriques a été répartie sur la partie supérieure et moyenne du quartier, selon l'accessibilité des zones. Le plan d'implantation se trouve en annexe 1,

Le programme des sondages était initialement plus conséquent et comportait également des sondages pressiométriques, la mise en place de piézomètres avec suivi, sondages carottés avec essais de cisaillement et profils géophysiques électriques. Toutefois, le programme initial a été réduit pour raisons budgétaires du client, dans l'optique de relancer une étude complémentaire plus tard, lorsque le budget le permettra et à la lumière de ces premières investigations.

Les sondages sont récapitulés ci-dessous dans le tableau de présentation.

Remarques :

- ❖ Les profondeurs des sondages sont définies à partir de la surface au moment des sondages : terrain actuel (TA).
- ❖ Lorsque les sondages présentent des refus prématurés, ces sondages ont été réalisés à nouveau (PDL « bis »).

Sondages de reconnaissance	Référence	Profondeur sondages (m/TA)	Particularité
Sondage pénétrométrique lourd Norme NF EN ISO 22476-2	PDL1	6.8	Refus
	PDL2	2.4	Refus
	PDL3	8.0	Arrêt
	PDL4	2.2	Refus
	PDL5	4.2	Refus
	PDL6	6.2	Refus
	PDL7 / PDL7bis	1.0 / 4.4	Refus* / Refus
	PDL8	4.6	Refus
	PDL9	4.8	Refus
Sondage pénétrométrique léger Norme NF EN ISO 22476-2	PL10 / PL10bis	1.8 / 2.0	Refus / Refus

* Refus sur blocs

Les sondages pénétrométriques ont été réalisés à l'aide d'un pénétromètre dynamique lourd de type GEOTOOL dont les caractéristiques sont les suivantes :

- poids du mouton 63.5 kg
- hauteur de chute 0.75 m
- section de la pointe 19.6 cm²

Le pénétromètre léger, adapté à un travail sur des sites peu accessibles, a les caractéristiques suivantes :

- poids du mouton 10.2 kg
- hauteur de chute 0.50 m
- section de la pointe 8 cm²

Les sondages pénétrométriques permettent la mesure de la résistance dynamique de pointe (qd) des terrains traversés, calculée selon la formule des Hollandais.

Les résultats des sondages sont fournis en **annexe 2**.

5 RESULTATS DES INVESTIGATIONS

5.1 PRINCIPE DE L'ESSAI PÉNÉTROMÉTRIQUE

L'essai au pénétromètre dynamique consiste à faire pénétrer dans le sol par battage une pointe métallique portée par un train de tiges et à mesurer à intervalles d'enfoncement réguliers, l'énergie nécessaire correspondante. Il s'agit d'un essai dit « aveugle » ne permettant pas de reconnaître visuellement la nature des sols en place.

5.2 RÉSULTATS DES SONDAGES PÉNÉTROMÉTRIQUES

Le tableau suivant synthétise les résultats obtenus :

N° de sondage	Qualités mécaniques			
	Très faibles à faibles, terrains meubles (Qd moy. ≤ 2 MPa)	Moyennes (2 MPa < Qd moy. ≤ 5 MPa)	Moyennes à fortes (5 MPa < Qd moy. ≤ 10 MPa)	Fortes à très fortes (Qd moy. > 10 MPa)
PDL1	0.8 - 3.8 5.2 - 5.6	0.0 - 0.2 3.8 - 5.2	0.4 - 0.8 5.6 - 5.8	0.2 - 0.4 5.8 - 6.8 (Refus)
PDL2	–	0.0 - 0.2	–	0.2 - 2.4 (Refus)
PDL3	0.4 - 2.2 3.2 - 4.2	0.0 - 0.4 2.2 - 3.2 4.2 - 6.6	6.6 - 8.0 (Arrêt)	–
PDL4	–	–	0.8 - 1.0	0.0 - 0.8 1.0 - 2.2 (Refus)
PDL5	1.0 - 1.6	0.0 - 1.0 2.0 - 3.4	1.6 - 2.0	0.4 - 4.2 (Refus)
PDL6	1.0 - 2.8	0.0 - 1.0 2.8 - 3.6 4.4 - 5.0	3.6 - 4.4 5.0 - 5.4	5.4 - 6.2 (Refus)
PDL7	–	–	0.4 - 0.6	0.0 - 0.4 0.6 - 1.0 (Refus)
PDL7BIS	–	1.6 - 2.4 2.8 - 3.4	0.6 - 0.8 1.2 - 1.6 2.4 - 2.8 3.4 - 3.8	0.0 - 0.6 0.8 - 1.2 3.8 - 4.4 (Refus)
PDL8	0.2 - 0.4	0.6 - 2.8	0.0 - 0.2 0.4 - 0.6 2.8 - 4.0	4.0 - 4.6 (Refus)
PDL9	2.0 - 2.6	0.0 - 1.2 1.6 - 2.0 2.6 - 3.4	1.2 - 1.6 3.4 - 3.6 3.8 - 4.0	3.6 - 3.8 4.0 - 4.8 (Refus)
PDL10	0.0 - 1.0	1.0 - 1.4	1.4 - 1.8 (Refus)	–
PDL10BIS	0.0 - 1.4	1.4 - 1.8	1.8 - 2.0 (Refus)	–

Les pénétrogrammes révèlent trois profils types, résumés ci-dessous :

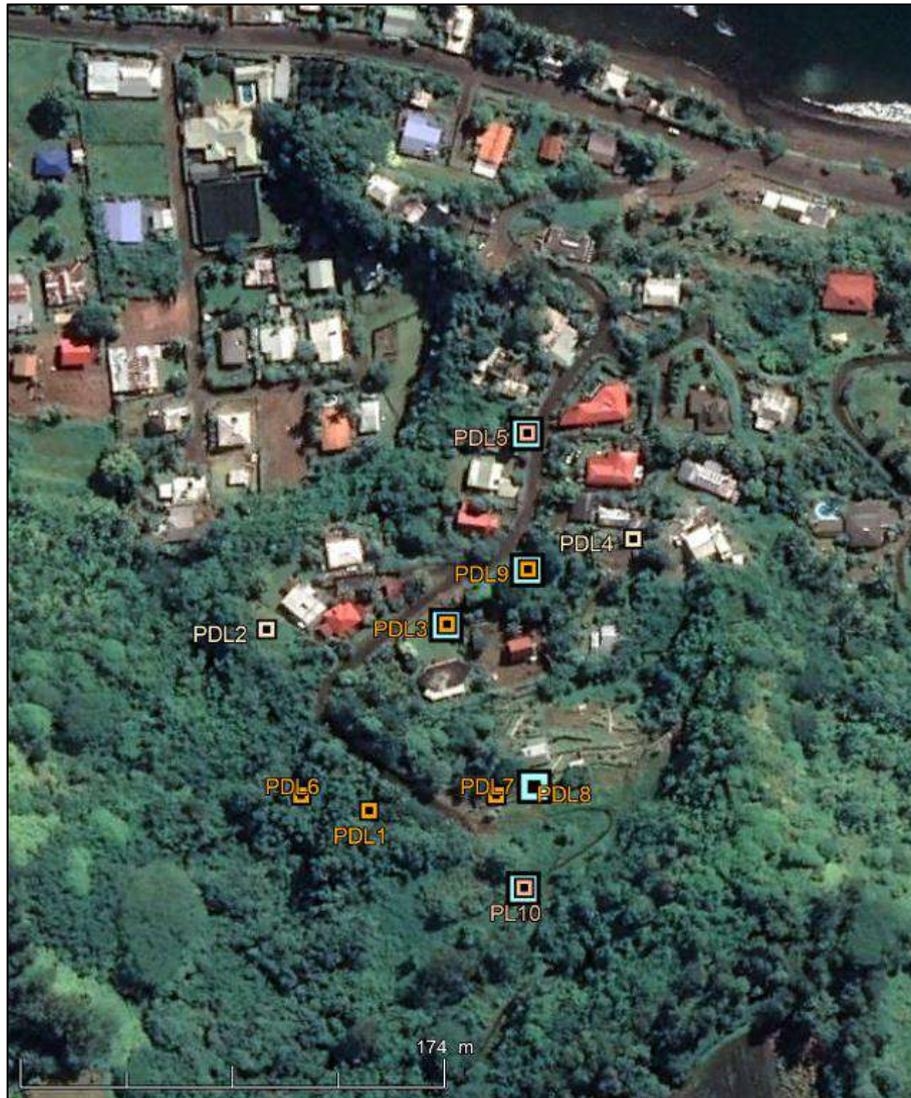
	Faciès rocheux à très faible profondeur
	Remblais probables jusqu'à 1.4 à 1.6 m/TA environ sur faciès d'altération des mamu
	Remblais probables et/ou dépôts de versant (voire mamu très altérés) sur 3.0 à 3.6 m/TA (voire 5.6 à 6.0 m/TA env. au droit de PDL1 et PDL3) sur mamu peu altérés ou substratum

D'après nos observations, les sondages PDL2 et PDL4 révèlent des propriétés mécaniques fortes à très fortes sur leur hauteur. Le sondage PDL2 pourrait correspondre à des remblais compactés d'après l'appréciation du sondeur. Il peut aussi s'agir de la partie en déblais d'une plateforme en déblais-remblais. Le sondage PDL4 est vraisemblablement réalisé sur le faciès rocheux.

Le reste des sondages révèle – sous une épaisseur variable de terrains remaniés – un horizon aux caractéristiques pénétrométriques très faibles à moyennes correspondant vraisemblablement à des dépôts de pente ou à des remblais peu compacts jusqu'à :

- 1.4 à 1.6 m/TA au droit de PDL5 et 10, sur des mamu moyennement altérés puis peu altérés en profondeur ;
- 3 à 4 m/TA au droit de PDL6 à 9, reposant sur le faciès moyennement à peu altéré du mamu ou directement sur le substratum (cas de PDL9, arrêté sur bloc ou substratum), d'après nos observations sur site, le sondages PDL7 et PDL8 sont réalisés sur des remblais à blocs ;
- 5.6 voire 6.0 m/TA au droit de PDL1 et PDL3, reposant sur le faciès moyennement à peu altéré du mamu ou directement sur le substratum ;

Ces types de profils pénétrométriques sont représentés via leurs couleurs sur Google Earth ci-dessous (en pourtour bleu : les sondages avec tiges humides à la remontée) :



Les interprétations lithologiques ci-dessus sont issues de nos observations et des données disponibles mais les sondages pénétrométriques ne permettant pas de reconnaître visuellement la nature des sols en place, ces interprétations restent des hypothèses. Des sondages type tarière ou carottés permettraient de compléter ces investigations.

5.3 NIVEAU D'EAU

Il n'a pas été mesuré de niveau d'eau en fins de sondages. Les tiges des sondages PDL3, PDL5, PDL8, PDL9 et PL10 étaient toutefois humides passées ces profondeurs.

Ces niveaux d'eau subissent des fluctuations au gré des saisons et des aléas climatiques, notamment lors d'évènements pluvieux intenses et/ou prolongés, tels que pour des pluies ou crues voire les marées.

L'observation des fluctuations saisonnières de la nappe ne peut être réalisée que dans le cadre d'un suivi piézométrique particulier couvrant au minimum une année.

Les observations hydrogéologiques issues de la visite sur site sont présentées en annexe et synthétisées au paragraphe 3.3 ci-avant.

6 CONCLUSIONS ET PRÉCONISATIONS

6.1 POINTS RESSORTANT DE LA VISITE ET AVIS

L'analyse de l'ensemble des données et de l'examen visuel du site révèle que :

- Le quartier Raimatea se trouve sur les hauteurs d'un versant généralement orienté vers le nord et entouré d'une rivière à l'ouest et d'une crête avec forte pente sur le versant à l'est, surmonté du plateau de Marumarutua au sud. La géomorphologie du quartier est de manière générale une langue en pente plutôt douce dans son axe, hormis sur son pourtour.
- Au sud-ouest, en amont, la continuité de la servitude correspond à une ancienne route qui rejoignait le plateau, aujourd'hui fermée en raison de mouvements de terrain survenus il y a plusieurs années (en 1998 et 2001 à priori), à priori tous liés à des activités anthropiques.
- Géologiquement, le quartier repose sur des colluvions de pente à blocs et des remblais, sur des épaisseurs entre nulles à très faibles (sur des terrassements en déblais par exemple) et plurimétriques (le plus souvent 3 à 4 m, voire 5.5 à 6 m).
- Hydrogéologiquement, il est noté la présence de nombreuses sources ainsi qu'un fort ruissellement en surface en provenance du plateau amont lors des épisodes de fortes pluies aux dires du président de quartier. Les niches d'arrachement existantes sont des entrées d'infiltrations, à l'origine de circulations et potentiellement de circulations de versant, augmentant elles-mêmes le risque de glissement.
- De nombreux désordres sont présents sur les ouvrages du quartier. Ils affectent des ouvrages anciens (maisons, murs de clôture, chaussée, caniveau, etc.) et le plus souvent vétustes. Aucun de ces désordres n'est attribuable avec certitude aux glissements de 1998 et 2001 (hormis les points en amont qui y sont directement liés : niches d'arrachement, soulèvement de la route, etc.) et/ou un fluage potentiel actuel. Sur la route, en zone amont du lotissement des fissures sont corrélables à un mouvement de terrain passé ou en cours.
- Il n'a pas été constaté d'indices permettant de certifier le fluage du quartier, ni son caractère évolutif le cas échéant. Toutefois, la concentration géographique de tous ces désordres au sein du quartier interpelle et justifie un suivi, précisé ci-après.
- L'arrivée à priori soutenue en périodes d'intempéries d'eaux de ruissellement du plateau en amont semble par ailleurs entretenir voire potentiellement accélérer les désordres constatés et constitue un paramètre complémentaire occultant et amplifiant le phénomène potentiel de fluage de masse, rendant le diagnostic délicat et amenant des incertitudes aux conclusions. Pour rappel, d'après le président de quartier, les désordres du lotissement s'accélérent depuis 2019, année où la gestion des EP aurait été modifiée au niveau du plateau.

Deux annexes graphiques synthétisent les localisations des points sur Google Earth :

- L'une regroupe les points d'observations,
- L'autre regroupe les points liés à la géologie du site ainsi qu'à l'hydrogéologie, notamment les épaisseurs des formations superficielles de type colluvions.

6.2 CONTINUITÉ DE LA MISSION

En définitive, les incertitudes qui demeurent et qu'il convient d'investiguer sont :

- L'attribution ou non de la plupart des désordres constatés en partie aval et moyenne du lotissement à un fluage ou même aux grands glissements passés.
- La présence avérée ou non d'un fluage du quartier Raimatea, évolutif ou non et - le cas échéant - sa vitesse d'évolution ainsi que sa direction.
- La présence ou non d'un potentiel risque pour le lotissement Vaiana qui se trouve en contrebas du quartier Raimatea, au nord-ouest, et pour la zone de la route RT3 en aval.

Au vu des conclusions établies ci-avant, il apparaît nécessaire de poursuivre la présente étude par un suivi dans le temps du quartier avec démarrage le plus tôt possible, sur une saison humide et une saison sèche au minimum, ainsi que des investigations complémentaires pour affiner l'appréciation du site, de l'étendue des désordres dans le sol et du fluage potentiel. Il est ainsi préconisé :

- La pose et le suivi d'inclinomètres (en amont des niches d'arrachement et sur le quartier) ;
- La pose et le suivi de cibles topographiques. Il conviendrait de placer des cibles sur l'ensemble du quartier Raimatea jusqu'à la route de ceinture, sur toute la zone des niches d'arrachement et en amont, sur les crêtes et le plateau, sur la rive gauche du cours d'eau et sur le quartier Vaiana en contrebas.
- Un suivi photographique des fissures et désordres majeurs du terrain (par exemple, la fissure côté amont de la parcelle BK49, les fissures significatives sur la route, etc.), voire la pose de fissuromètres sur certaines structures (comme le perré maçonné cité ci-avant dans le rapport par exemple) ;
- La pose et le suivi de piézomètres ;
- Une étude hydraulique du versant par un bureau d'études en hydraulique afin de vérifier le bon dimensionnement des systèmes de gestion des eaux pluviales et de le dimensionner si nécessaire. Le facteur « eaux pluviales » provenant du plateau en amont et de manière générale doit être éliminé afin de pouvoir se prononcer ensuite sur l'origine des désordres ;
- Un suivi pluviométrique pendant la période des relevés ;
- Une enquête auprès des habitants du lotissement Vaiana à propos d'éventuels désordres ainsi qu'une visite géotechnique et hydrogéologique du lotissement.

Ensuite selon les résultats de la première phase de ce suivi, après un an par exemple, il pourra être réalisé si nécessaire une étude complémentaire avec une campagne de reconnaissances géotechniques (profils géophysiques, sondages pressiométriques et carottés avec essais de sols) pour étude de la géométrie (avec profils géologiques et hydrogéologiques) et réalisation d'une étude de stabilité, laquelle nécessite la réalisation d'un plan topographique de la zone d'étude.

En parallèle, il est préconisé le curage des caniveaux et l'inspection des réseaux d'eau.

Les chargées d'affaires,

Le contrôle interne,

V. BOURGEOIS, C. BROYER, E. LAITAME-RAUZY

S. DAIGNOT

ANNEXE 1

PLAN D'IMPLANTATION DES SONDAGES

SCHEMA D'IMPLANTATION DES SONDAGES

Dossier : 072/b3

Affaire : QUARTIER RAIMATEA

Lieu : PK 6 – AFAAHITI -TAIARAPU EST

Date d'intervention : 07-03- 2023



ANNEXE 2

COUPES DES SONDAGES PENETROMETRIQUES LOURDS & LEGERS



PDL1 A PDL9



PL10 / PL10BIS



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

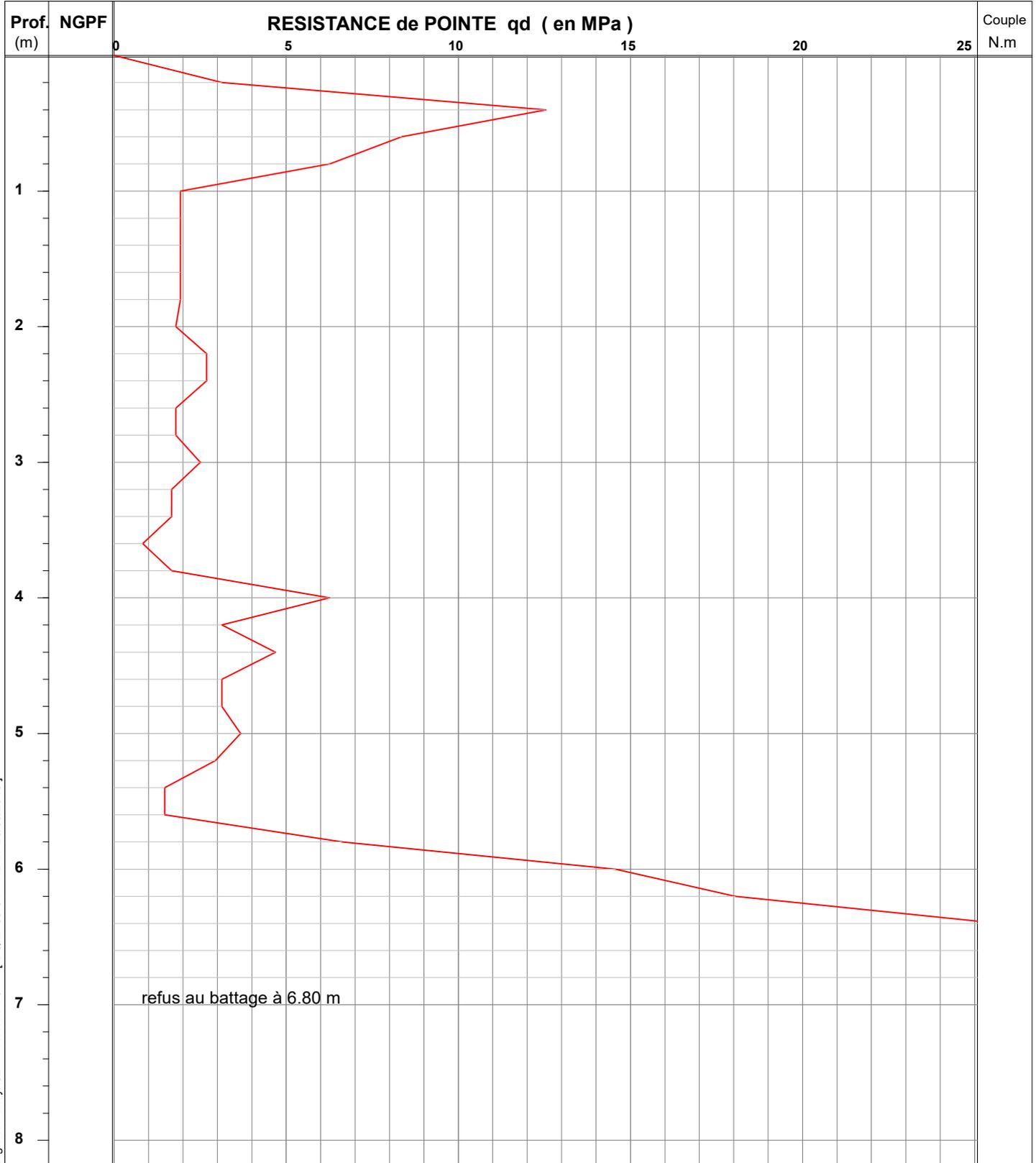
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

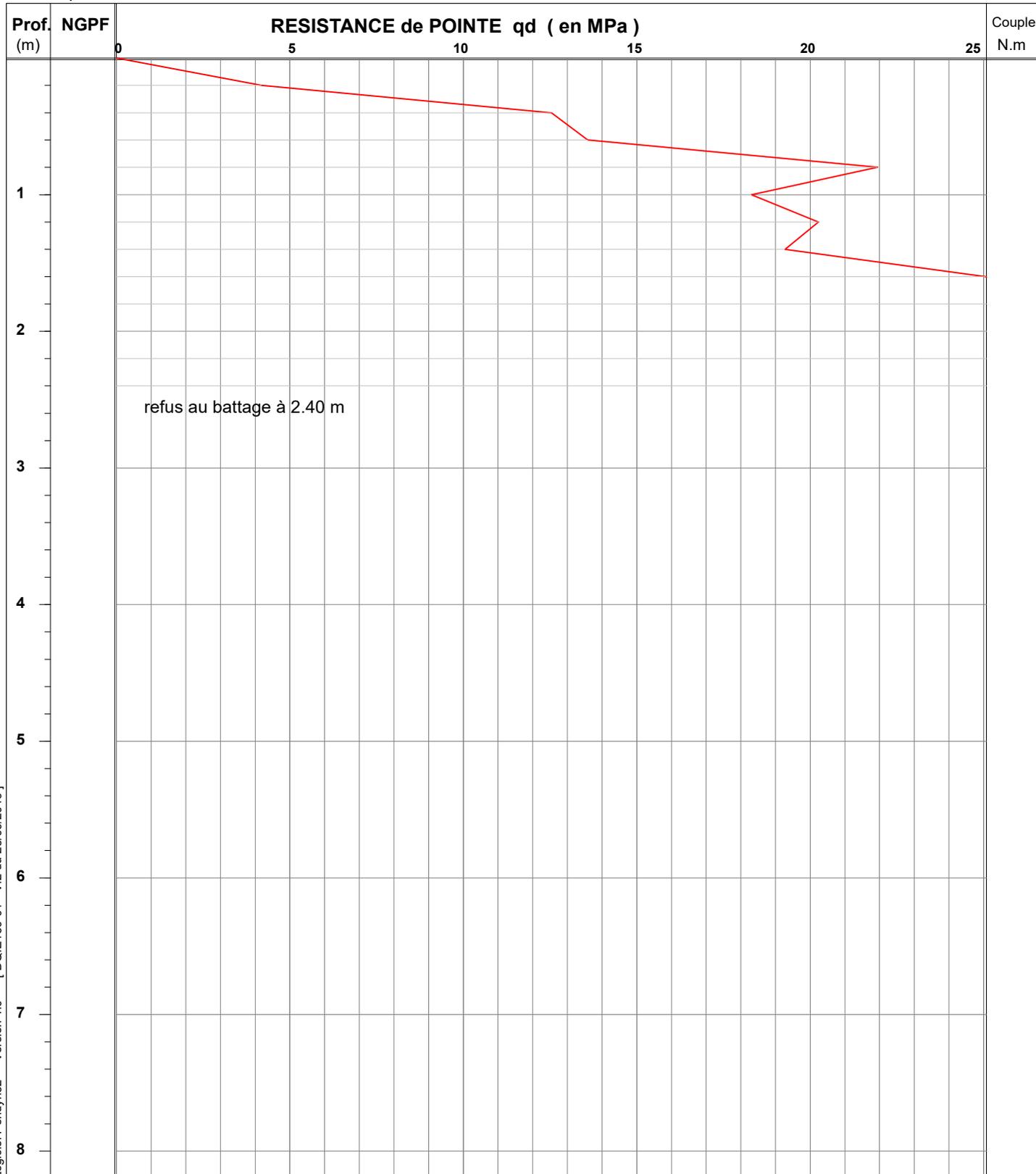
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

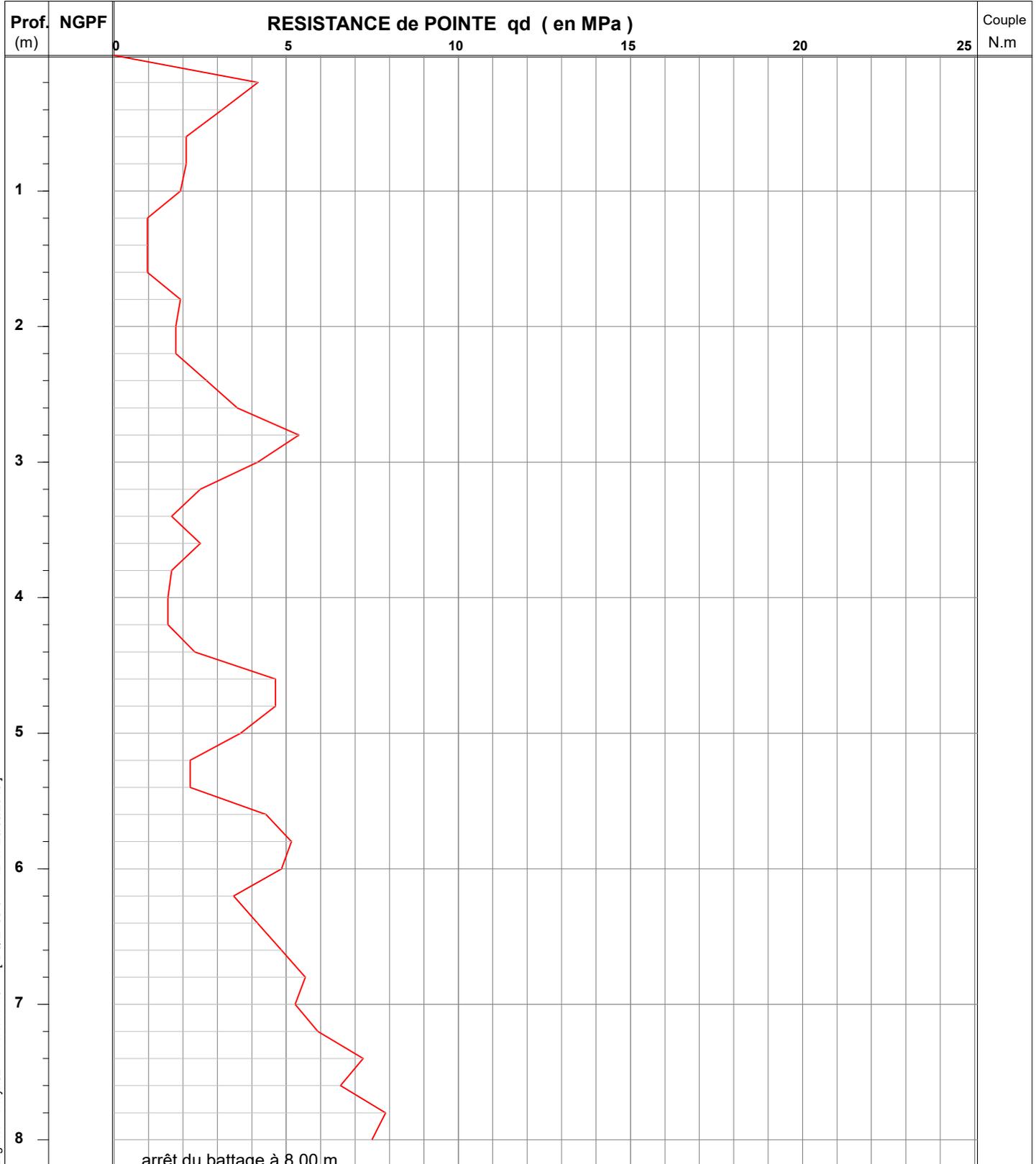
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 08/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : Tiges humides

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

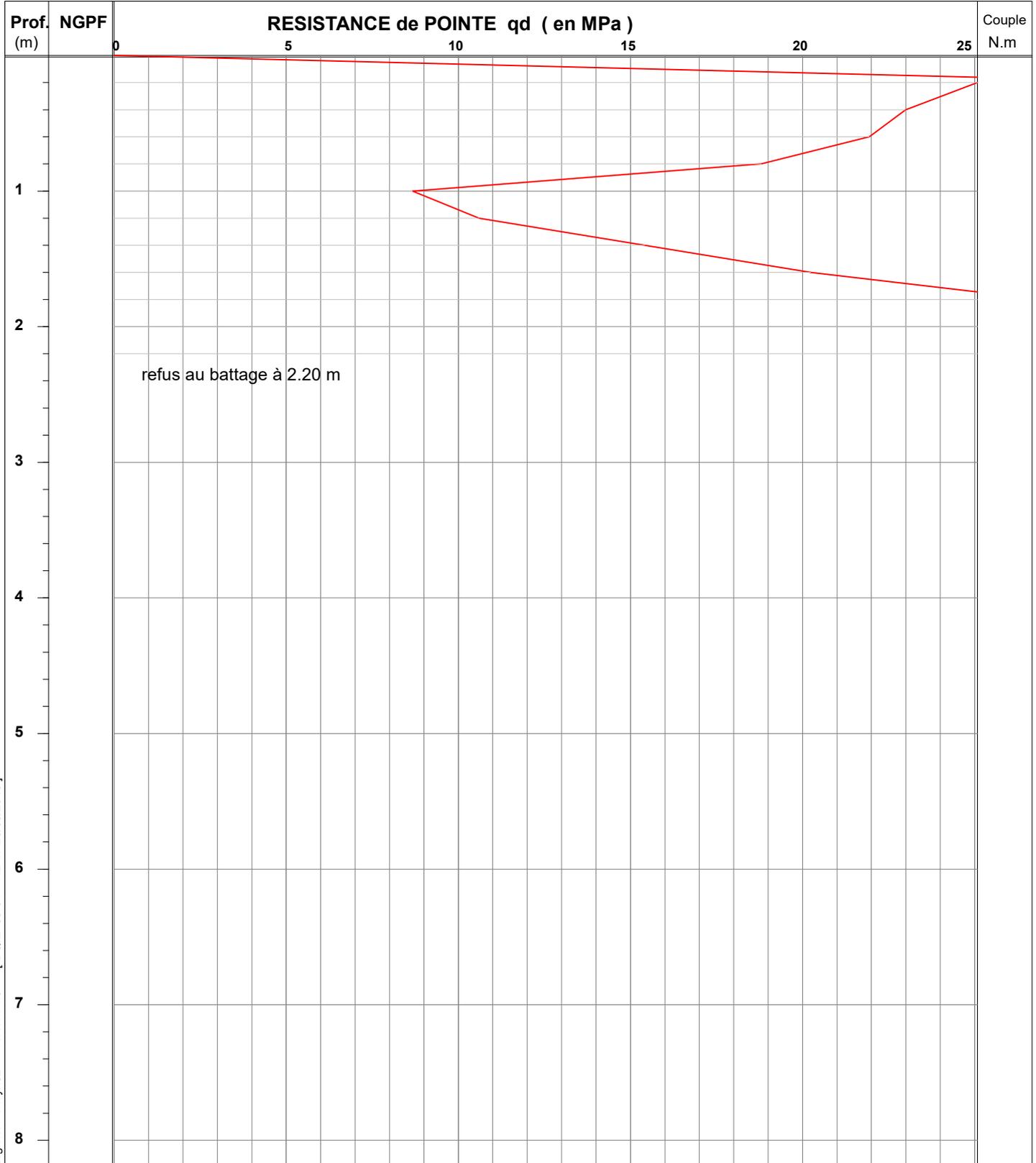
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

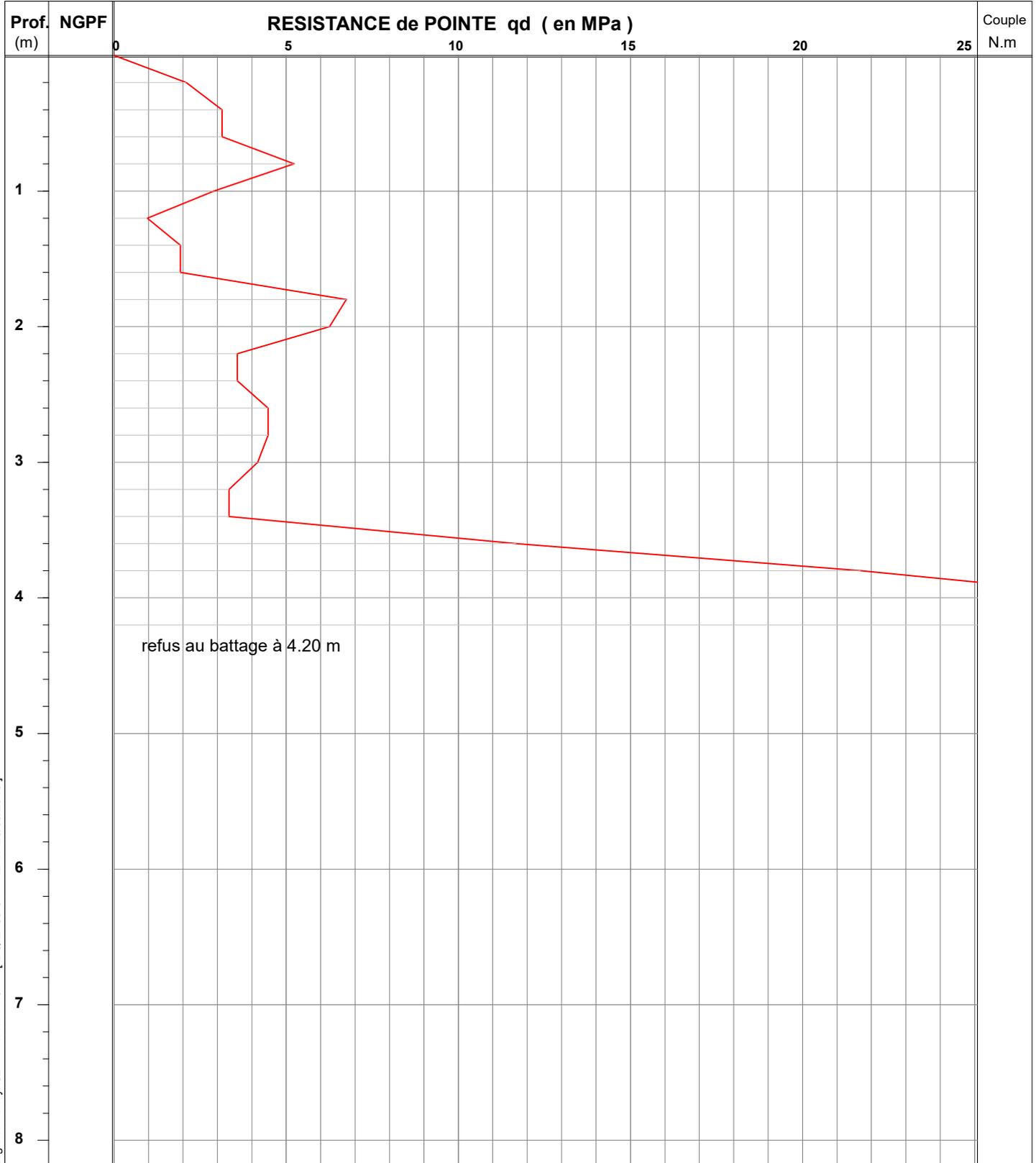
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

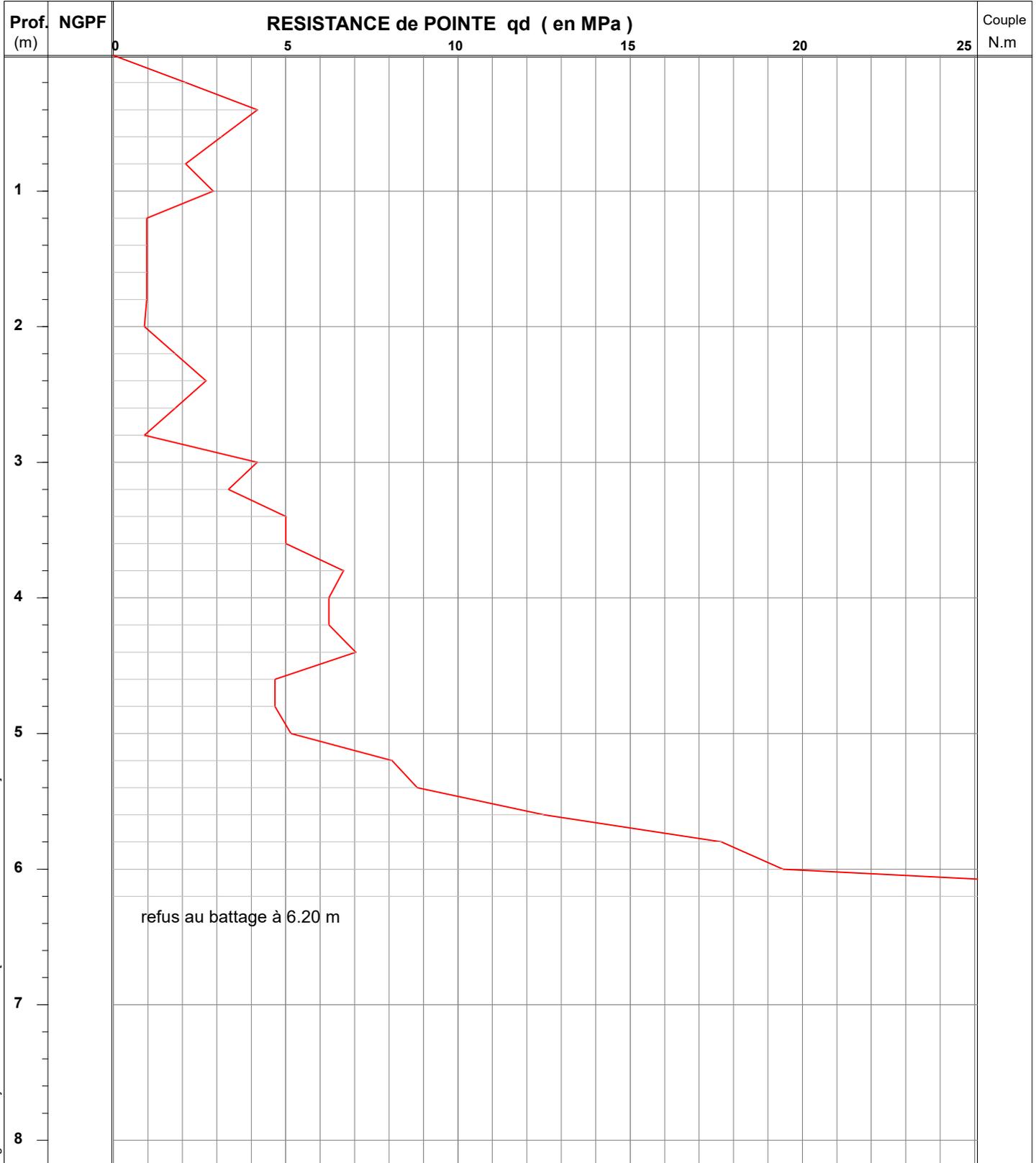
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : Tiges humides

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

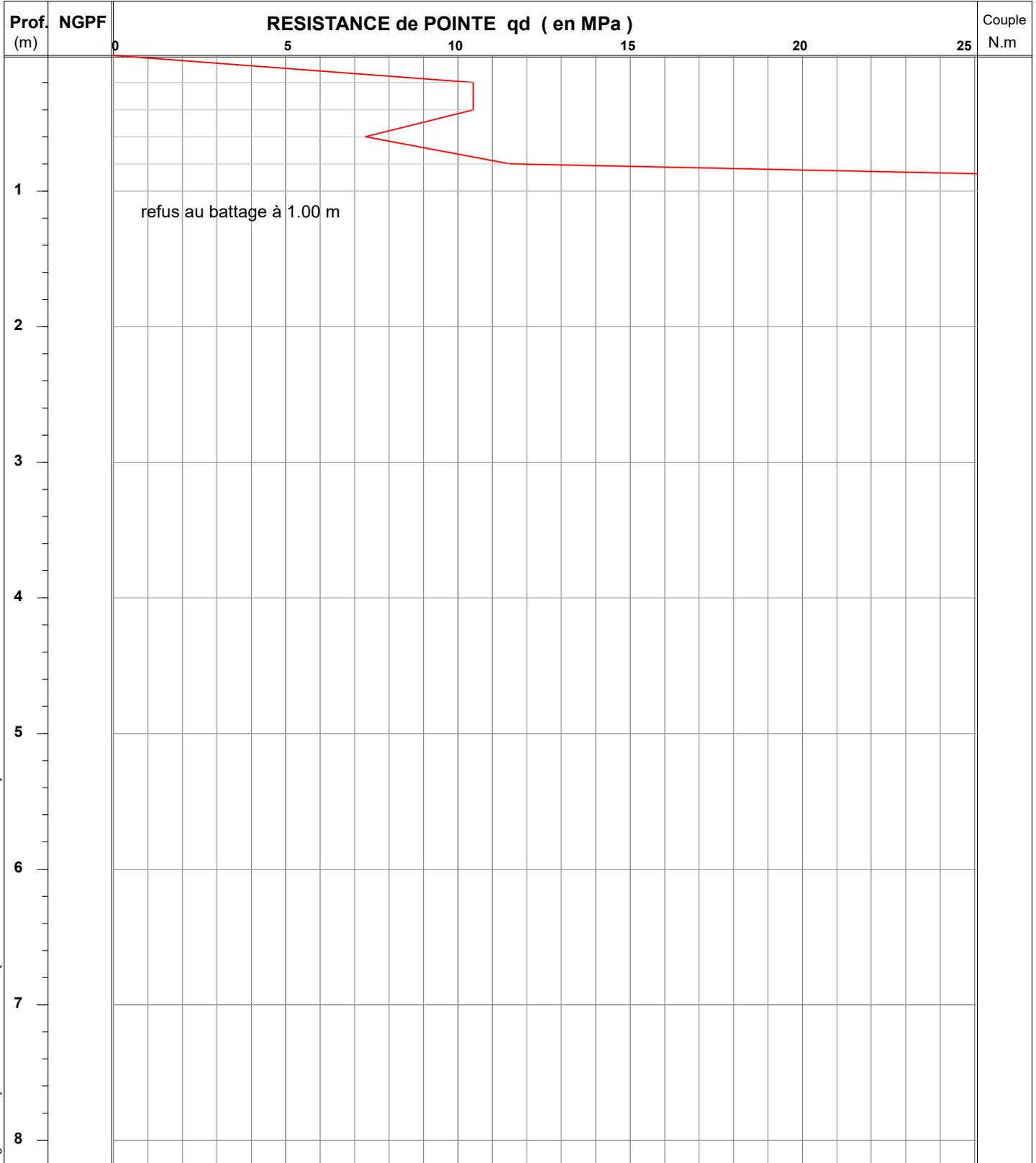
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

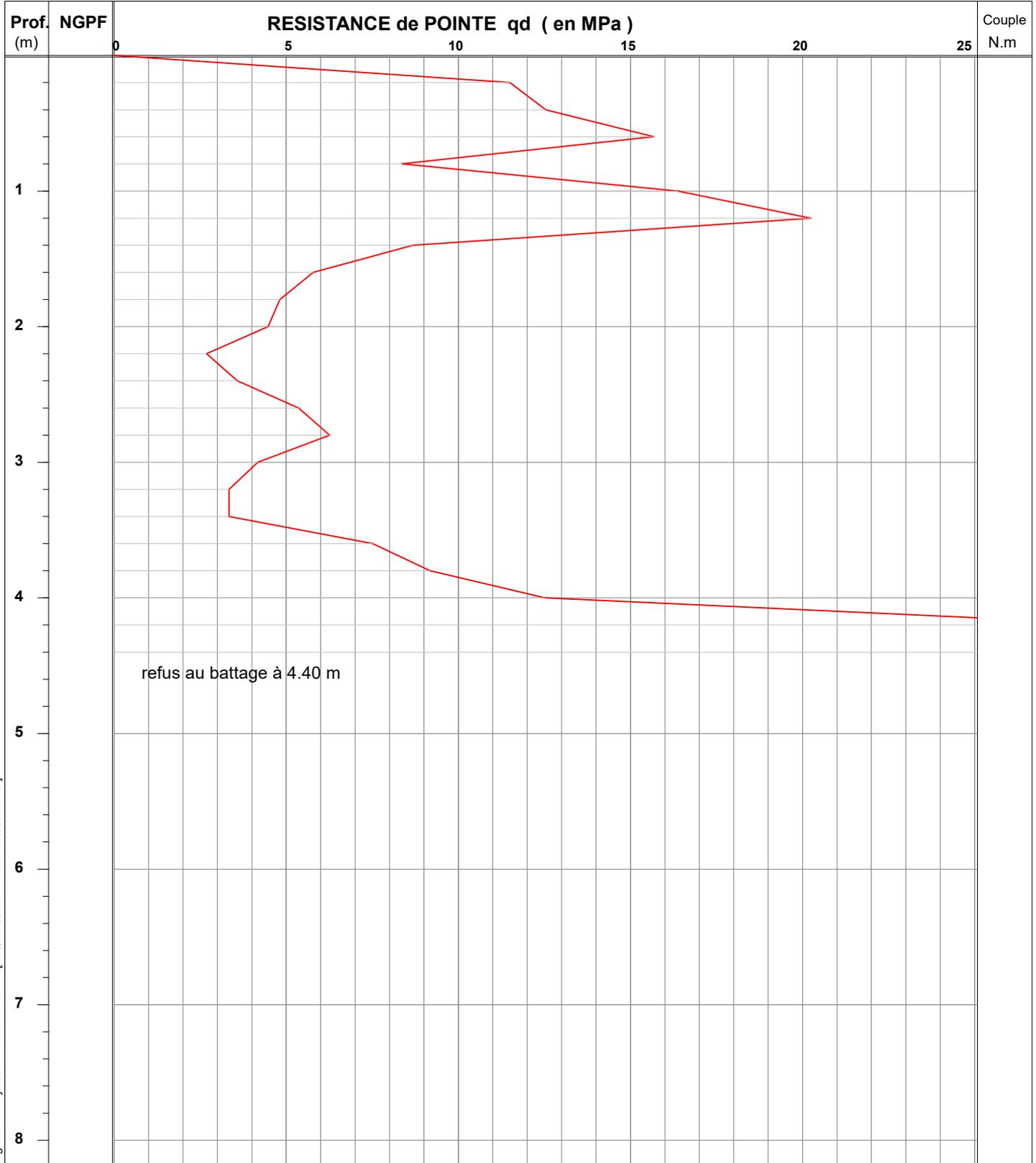
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 08/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

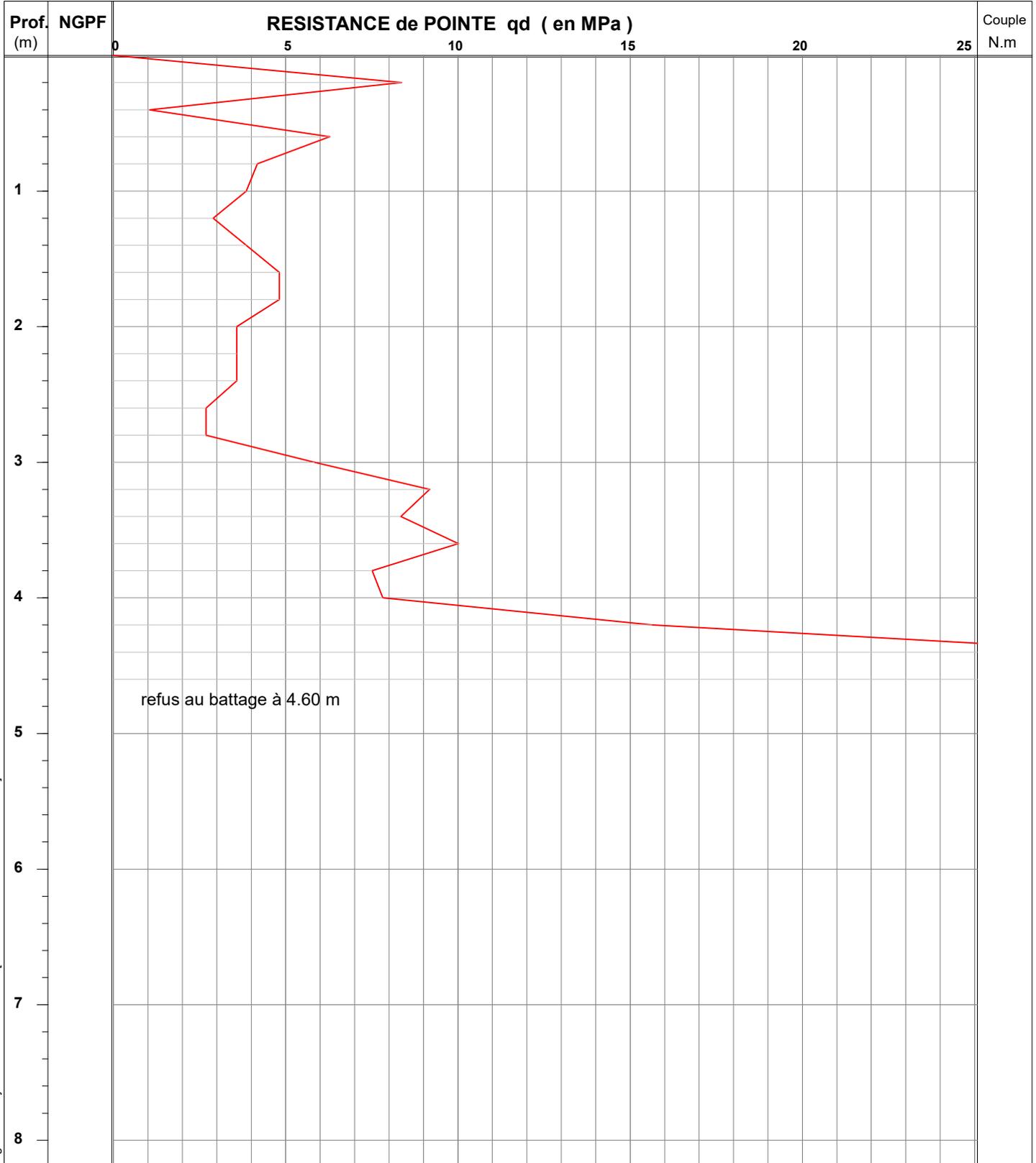
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : Tiges humides

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

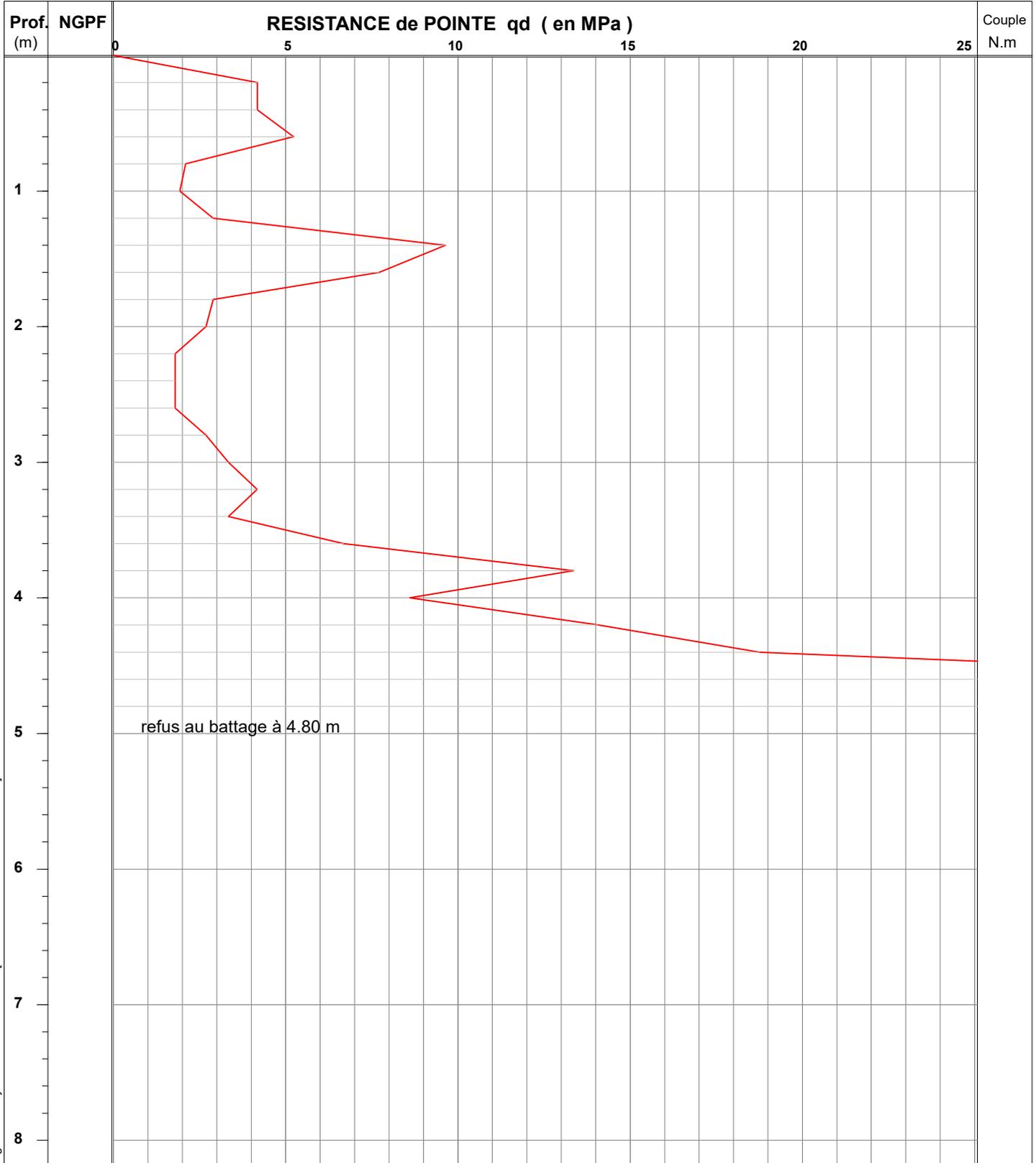
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 08/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : GEOTOOL CRT75

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 63.5 kg, H.chute 0.75 m - équipement mobile 3.9 kg - tiges de 1 m. et de 6.2 kg - section pointe de 19.6 cm²

OBSERVATIONS : Tiges humides

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

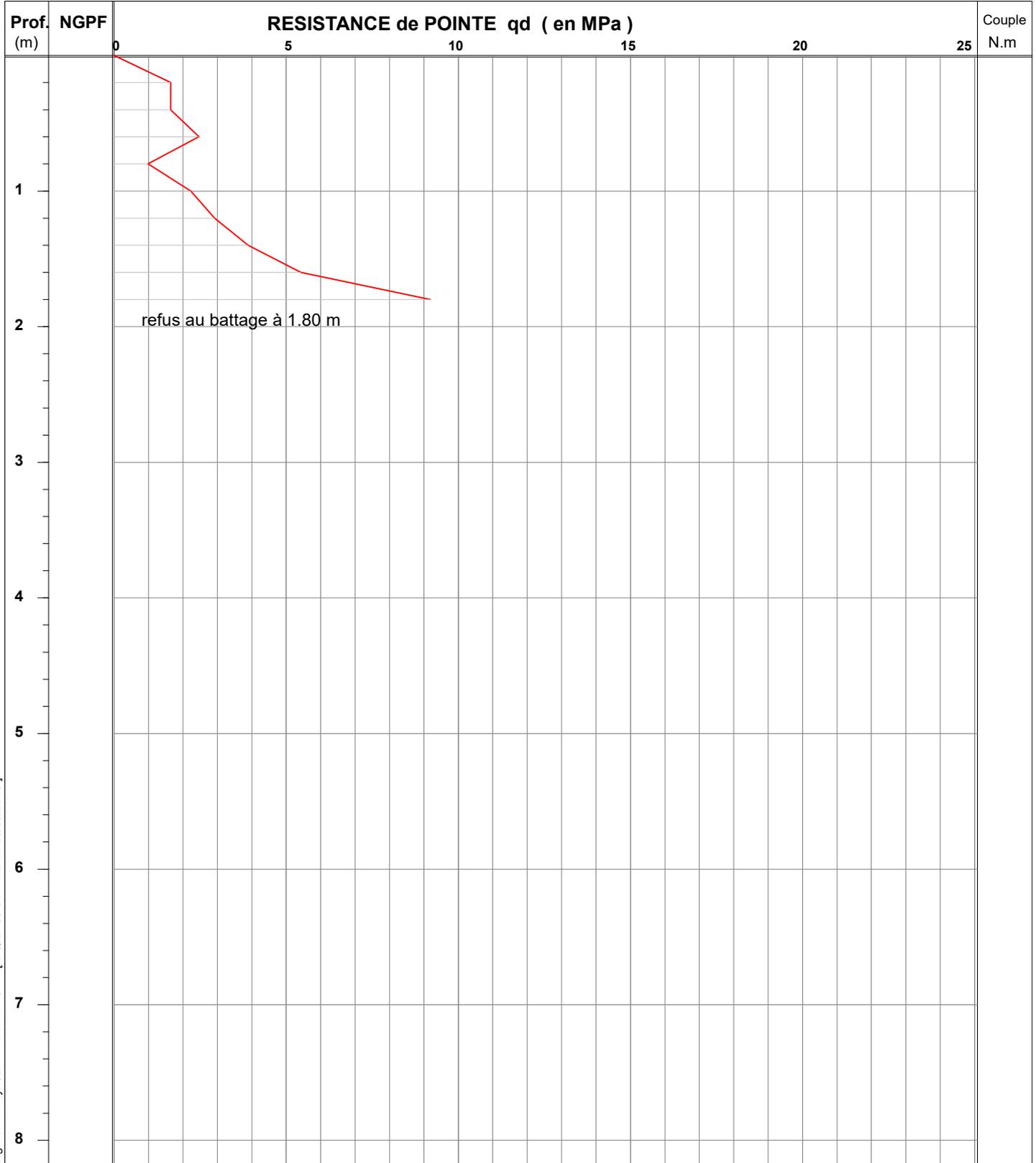
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : PENETRO LEGER

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 10.3 kg, H.chute 0.50 m - équipement mobile 2.9 kg - tiges de 1 m. et de 2.9 kg - section pointe de 10 cm²

OBSERVATIONS : Tiges humides

Edité le 24/03/2023



Chantier : QUARTIER RAIMATEA

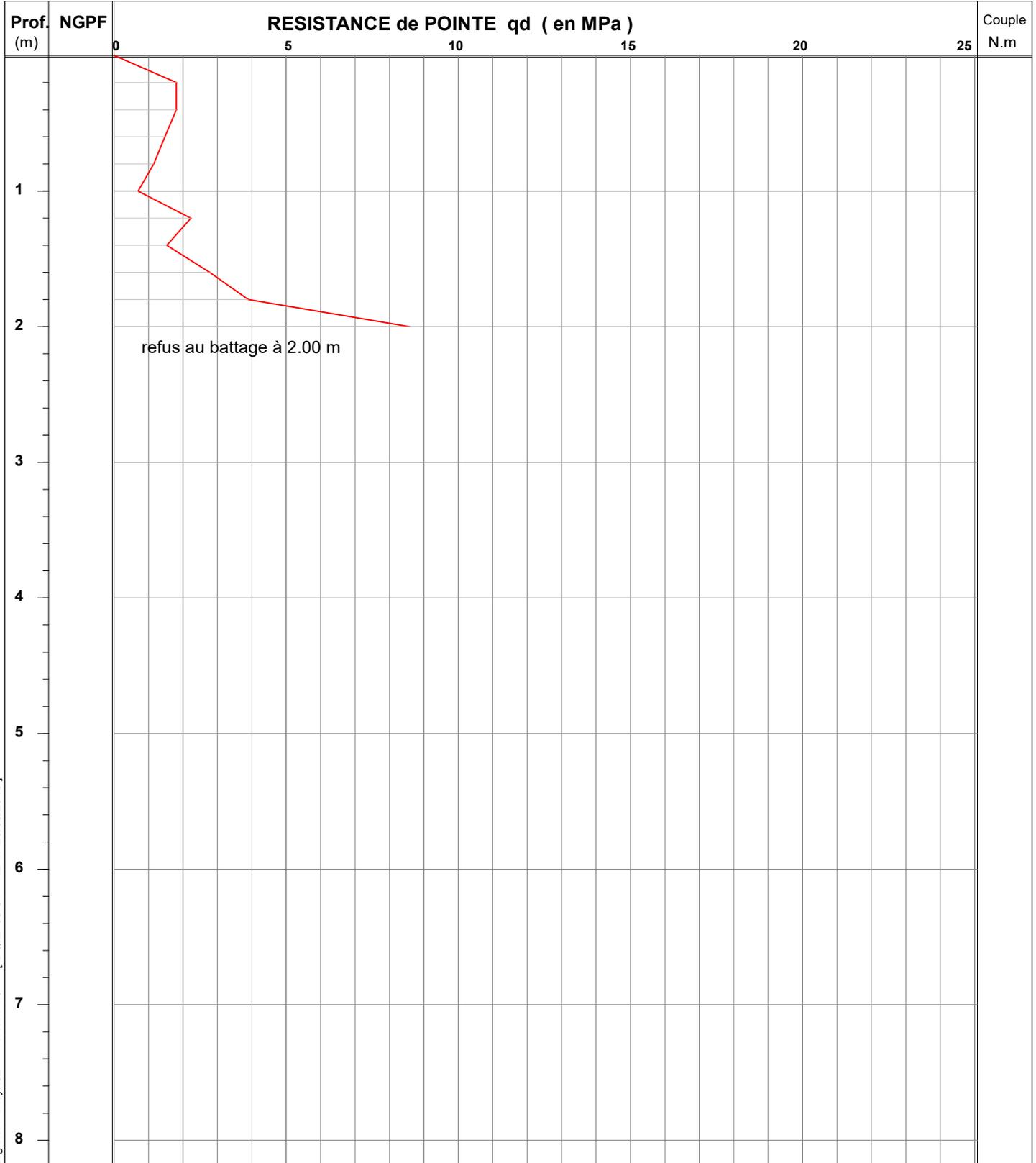
Client : D.C.A

Dossier : 072/b3

Date essai : 07/03/23

Echelle prof. : /

Norme NF EN ISO 22476-2



Logiciel Pendyn32 - Version 4.0 -- [DO.E159-01 - V.2 du 28/09/2016]

MATERIEL UTILISE : PENETRO LEGER

Etalonné le 09/10/2020

mouton de 10.3 kg, H.chute 0.50 m - équipement mobile 2.9 kg - tiges de 1 m. et de 2.9 kg - section pointe de 10 cm²

OBSERVATIONS : /

Edité le 24/03/2023



DESCRIPTION DES ESSAIS AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LEGER

Référence : D1 ING_REF_0782_03

Approuvé le : 12-oct-20

1/1

Les essais sont exécutés au moyen d'un pénétromètre dynamique léger portable, adapté à des accès difficiles ou en pente suivant la norme AFNOR NF EN ISO 22476-2 :07/2005. Ils consistent à enfoncer dans le sol, suivant une hauteur de chute de 50 cm, une pointe conique de 10.2 cm² de section fixée à l'extrémité d'une tige ronde de 22 mm de diamètre. Il s'agit donc d'un essai dit « aveugle » qui ne permet pas d'apprécier visuellement la nature des sols rencontrés.

La résistance de rupture conventionnelle en pointe q_d est calculée par la formule des Hollandais :

$$q_d = \frac{M^2 \times H}{e (P + M)} \times \frac{1}{s}$$

avec :

- q_d est exprimé en daN/cm²
- M en daN est le poids du mouton
- H en cm est la hauteur de chute
- P en daN représente le poids mort (enclume, tiges, goujons, embout, pointe etc...) qui est variable avec la profondeur
- e en cm est l'enfoncement pour un coup de mouton avec :
 $e = \frac{E}{N}$, E étant l'enfoncement pour N coups de mouton
- s est la surface de la pointe

1) SEMELLES SUPERFICIELLES

Les contraintes de calcul sont déterminées d'après les recommandations du DTU 13.12 de mars 1988 (règles pour le calcul des fondations superficielles) ou Eurocode 7 (NF P94-261 :06/2013 ou NF P94-281 :04/2014 suivant le type d'ouvrage).

La méthode employée issue du DTU 13.12 est décrite ci-après :

- contrainte de calcul ultime : $q_u = \frac{q_d}{k_d}$ avec $k_d \# 5$ à 7
- contrainte de calcul aux ELS : $q_{ELS} = \frac{q_u}{3}$
- contrainte de calcul aux ELU : $q_{ELU} = \frac{q_u}{2}$

avec q_d (MPa) : résistance de pointe mesurée au pénétromètre dynamique.

- Remarques :**
- cette méthode est utilisée pour apprécier la faisabilité de fondations superficielles au stade de l'avant-projet sommaire ou bien pour contrôler la portance d'un horizon bien connu
 - limite de validité de la méthode : lorsque les résistances de pointe q_d mesurées au pénétromètre dynamique sont inférieures à 1-2 MPa (cas de sables lâches etc.), il y a lieu de procéder à des essais complémentaires (type essais pressiométriques ou essais en laboratoire).

2) FONDATIONS PROFONDES

Le pénétromètre dynamique est assimilable à un modèle réduit de « fondation profonde », son élancement (rapport de la longueur au diamètre) étant très important.

En terrain normal et dans le cadre d'une étude préliminaire de faisabilité géotechnique, il est d'usage pour des pieux, d'estimer la résistance de pointe par la formule suivante :

$$Q_p = \frac{q_d}{6}$$

L'utilisation de cette méthode permet une approche de la faisabilité géotechnique d'un tel mode de fondation, mais ne peut en aucun cas servir de base pour le dimensionnement au stade d'étude de projet ou d'exécution ; des investigations complémentaires sont indispensables (essais pressiométriques).

Au delà de 7 à 10 m de profondeur, du fait de phénomènes parasites (frottement latéral, flambage ou déviation des tiges), l'exploitation des résultats obtenus requiert une grande prudence.

L'expérience montre que les résultats obtenus pour les sables fins, notamment noyés, sont souvent pessimistes, du fait de l'influence de phénomènes vibratoires et de liquéfaction.



DESCRIPTION DES ESSAIS AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LOURD

Référence : D1 ING_REF_0781_03

Approuvé le : 12-oct-20

1/1

Les essais sont exécutés au moyen d'un pénétromètre dynamique lourd suivant les normes AFNOR NF P94-115 :12/1990 (sondage au pénétromètre dynamique type B) et NF EN ISO 22476-2 :07/2005. Ils consistent à enfoncer dans le sol, suivant une hauteur de chute de 50 ou 75 cm selon les modèles, une pointe conique de 19.6 cm² de section fixée à l'extrémité d'une tige ronde de 32 mm de diamètre. Ces essais sont dits « aveugles » car ne permettant pas de vérification visuelle des sols rencontrés.

La résistance de rupture conventionnelle en pointe q_d est calculée par la formule des Hollandais :

$$q_d = \frac{M^2 \times H}{e(P + M)} \times \frac{1}{s}$$

avec :

q_d est exprimé en daN/cm²

M en daN est le poids du mouton

H en cm est la hauteur de chute

P en daN représente le poids mort (enclume, tiges, goujons, embout, pointe etc...) qui est variable avec la profondeur

e en cm est l'enfoncement pour un coup de mouton avec :

$$e = \frac{E}{N}, \quad E \text{ étant l'enfoncement pour } N \text{ coups de mouton}$$

s est la surface de la pointe

1) SEMELLES SUPERFICIELLES

Les contraintes de calcul sont déterminées d'après les recommandations du DTU 13.12 de mars 1988 (règles pour le calcul des fondations superficielles) ou Eurocode 7 (NF P94-261 :06/2013 ou NF P94-281 :04/2014 suivant le type d'ouvrage).

La méthode employée issue du DTU 13.12 est décrite ci-après :

- contrainte de calcul ultime : $q_u = \frac{q_d}{k_d}$ avec k_d # 5 à 7

- contrainte de calcul aux ELS : $q_{ELS} = \frac{q_u}{3}$

- contrainte de calcul aux ELU : $q_{ELU} = \frac{q_u}{2}$

avec q_d (MPa) : résistance de pointe mesurée au pénétromètre dynamique.

Remarques :

- cette méthode est utilisée pour apprécier la faisabilité de fondations superficielles au stade de l'avant-projet sommaire ou bien pour contrôler la portance d'un horizon bien connu
- limite de validité de la méthode : lorsque les résistances de pointe q_d mesurées au pénétromètre dynamique sont inférieures à 1-2 MPa (cas de sables lâches etc.), il y a lieu de procéder à des essais complémentaires (type essais pressiométriques ou essais en laboratoire).

2) FONDATIONS PROFONDES

Le pénétromètre dynamique est assimilable à un modèle réduit de « fondation profonde », son élancement (rapport de la longueur au diamètre) étant très important.

En terrain normal et dans le cadre d'une étude préliminaire de faisabilité géotechnique, il est d'usage pour des pieux, d'estimer la résistance de pointe par la formule suivante :

$$Q_p = \frac{q_d}{6}$$

L'utilisation de cette méthode permet une approche de la faisabilité géotechnique d'un tel mode de fondation, mais ne peut en aucun cas servir de base pour le dimensionnement au stade d'étude de projet ou d'exécution ; des investigations complémentaires sont indispensables (essais pressiométriques).

Au delà de 7 à 10 m de profondeur, du fait de phénomènes parasites (frottement latéral, flambage ou déviation des tiges), l'exploitation des résultats obtenus requiert une grande prudence.

L'expérience montre que les résultats obtenus pour les sables fins, notamment noyés, sont souvent pessimistes, du fait de l'influence de phénomènes vibratoires et de liquéfaction.

ANNEXE 3

VISITE DE SITE HYDROGEOLOGIQUE

	<h2>COMPTE RENDU DE VISITE DE SITE PARTIE HYDROGEOLOGIE</h2>
---	--

Remarque préalable : ce guide n'a pas vocation à être exhaustif et ne se substitue pas à une analyse des spécificités de chaque site. Ce guide pourra utilement être complété par un reportage photographique.

1. Contexte général

1.1 Identification des interlocuteurs

Date	06/03/2023
Rédaction du document	Charlie BROYER, Ingénieure hydrogéologie et environnement, LTPP
Visite réalisée par	Charlie BROYER, Ingénieure hydrogéologie et environnement, LTPP Virginie BOURGEOIS, Ingénieure géotechnicienne, LTPP Emmanuelle RAUZY-LAITAME, Ingénieure matériaux et Directrice générale, LTPP
En présence de	Dominique TARDY, Chargé prévention risques naturels, DCA Emilie NOWAK CHAPELIER, Chargé prévention risques naturels, DCA Christophe GARNIER, Ingénieur géotechnicien risques naturels, BRGM Yohann PENI, chef et habitant du quartier RAIMATEA
Documents consultés	- Fiches analytique (générale, n°18 et n°19), lotissement RAIMATEA, Géolithe (2022) et données géoréférencées (photographies) - Rapports BRGM sur le quartier de Foubouni (Mayotte) (RP 62274, 65673, 67004, 69454 – FR, 2019 à 2019)
Météo	Beau temps le jour de la visite de site, avec des pluies les jours précédents.

1.2 Identification du site

Adresse / zone d'étude	Quartier RAIMATEA, pk6 côté montagne, AFAAHITI-TAIARAPU EST
Coordonnées géographiques (RGPF / UTM zone 6S)	X = 260 261 m Y = 8 036 873 } Coordonnées indicatives du quartier
Superficie approximative de la zone d'étude	56 000 m ² (valeur estimée)
Usage actuel	Quartier résidentiel exclusivement
Propriétaire actuel	Quartier privé, plusieurs propriétaires possèdent des habitations
Exploitant(s) actuel(s)	Non concerné
Site ICPE (oui/non, commentaires)	Non concerné

1.3 Conditions générales d'accès

Site clôturé	Non
Surveillé	Oui, accès contrôlé par le chef de quartier : nécessité de prise de rdv pour entrer sur le site
Difficultés spécifiques d'accès	Non, route bitumée, accès par la route territoriale uniquement

2. Description du site

2.1 Identification des usages

Zone étudiée : quartier RAIMATEA

Activités	Constaté	Commentaires
Agricole	Non constaté	Pas d'aménagement agricole au sein même du quartier Raimatea, cependant, des exploitations agricoles ont été constatés en amont du quartier (hors zone d'étude).
Forestier	Oui	Le quartier est entouré au Sud de zones forestières.
Industriel	Non	-
Commercial	Non	-
Etablissement sensible	Non	-
Habitat individuel	Oui	Habitat individuel peu dense, plutôt ancien (< 2000) et généralement en mauvais état (fissures, mal façons apparentes, etc.). Les maisons sont majoritairement de plain-pied sur dalle béton avec possible vide-sanitaire ou sur pilotis dans le cas de terrain en pente. Les maisons disposent de jardins. Elles sont localisées le long de la route principale du quartier et le long de quelques ramifications. Il n'a pas été constaté de puits privé.
Habitat collectif	Non	-
Autre	-	-

2.2 Présence de puits et de piézomètres

Il n'a pas été constaté de puits privé, ni de piézomètre sur la zone d'étude.

2.3 Gestion des eaux pluviales et réseaux

Présence de caniveaux ouverts le long de la route principale du quartier, en état bon à mauvais.

Il a été constaté que le caniveau le long de la route principale était en eau le jour de la visite de site. D'après le président de quartier, ce caniveau est en eau la plupart du temps et ne suffit pas par temps de pluie (débordements sur la route importants). Les eaux s'écoulent ensuite vers le caniveau de la route territoriale.

3. Contexte environnemental (résumé)

Topographie	Entre 5 et 130 m NGPF environ selon un axe Nord-Sud avec des pentes entre 20 et 60°
Géomorphologie	Morphologie type falaise morte ou fossile en contrebas d'une planèze. La zone d'étude est délimitée par deux versants rocheux à l'Est et à l'Ouest.
Géologie <i>Carte géologique de la Presqu'île de Tairapu (G. Deneufbourg, 1965)</i>	Formation des laves basaltiques d'épanchement terminal (β_2) Des colluvions ont été observées également (résultats de glissements de terrain antérieurs).
Hydrologie	Un cours d'eau traverse le quartier (cascade constatée au fond du quartier). Débit supérieur au litre/s le jour de la visite et eau claire.
Hydrogéologie	<ul style="list-style-type: none"> • Ecoulements d'eau permanent dans le caniveau principal : arrivée d'eaux de « sources » canalisées depuis le pied de coteau (côté Est de la zone d'étude). Débit supérieur au litre/s le jour de la visite et eau claire. • Plusieurs résurgences constatées en flanc et pied de coteaux (côté Sud-Est de la zone d'étude)

4. Reportage photographique

Les clichés présentés ci-après ont été pris lors de la visite de site. Seuls sont présentés ceux montrant un intérêt hydrogéologique. Chaque cliché est commenté dans la légende. La **Figure 1** permet de localiser les prises de vue.

Photographie 1 : Vue depuis la route à l'entrée du lotissement vers la mer. Le dénivelé de la zone étudiée est rapidement important.



Photographie 2 : Glissement de terrain à l'entrée du lotissement datant de 2019. Effet de sous-cavage de la route qui a dû être renforcée à l'aide de plaques métalliques pour assurer le passage des véhicules. Il n'a pas été observé d'arrivée d'eau (observation compliquée par la présence d'une bâche de protection et végétation).



Photographie 3 (à gauche) et Photographie 4 (à droite) : Eau de source canalisée et envoyée vers le réseau d'eaux pluviales du lotissement (fossé). Le débit est important (supérieur à un litre/s). Le chef de quartier mentionne que le fossé est en eau la plupart du temps (peu importe la météo).



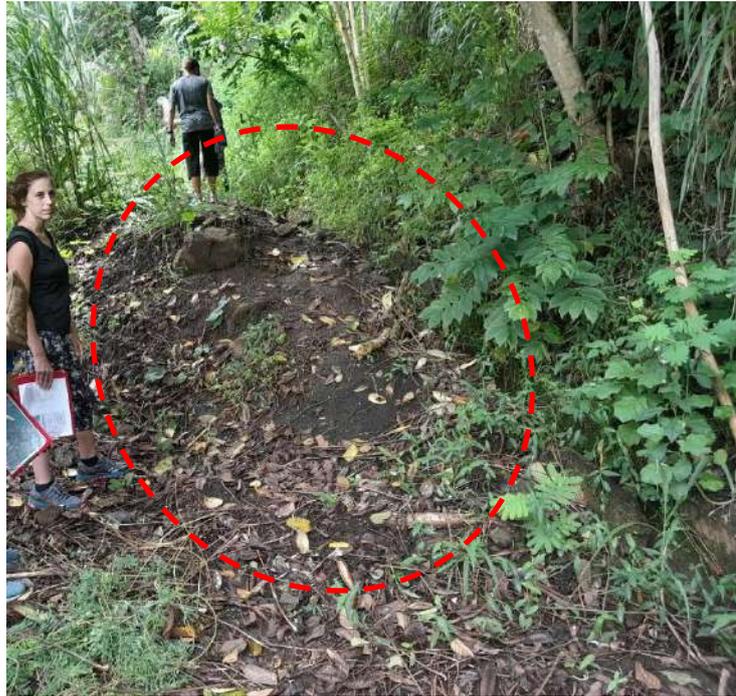
Photographie 5 : ancienne zone d'émergence de la source qui aurait été remblayée selon le chef de quartier, il en résulte que la source n'est plus visible. L'émergence serait canalisée sous le remblai à partir de ce point (rejet de l'eau dans les fossés – photographie 3).



Photographie 6 : la maison dispose d'un bassin périphérique et d'une piscine, tous deux alimentés par l'eau de source selon le président de quartier. Le surplus d'eau s'écoule dans le fossé en contrebas (photographie 3).



Photographie 7 : Bourrelet de pied d'un glissement et restes de bitumes soulevés.



Photographie 8 : Observations d'un écoulement d'eau au sol tout le long de l'ancienne route construite détruite





Photographie 9 : Ecoulement d'eau sur parois naturelle le long de l'ancienne route éboulée



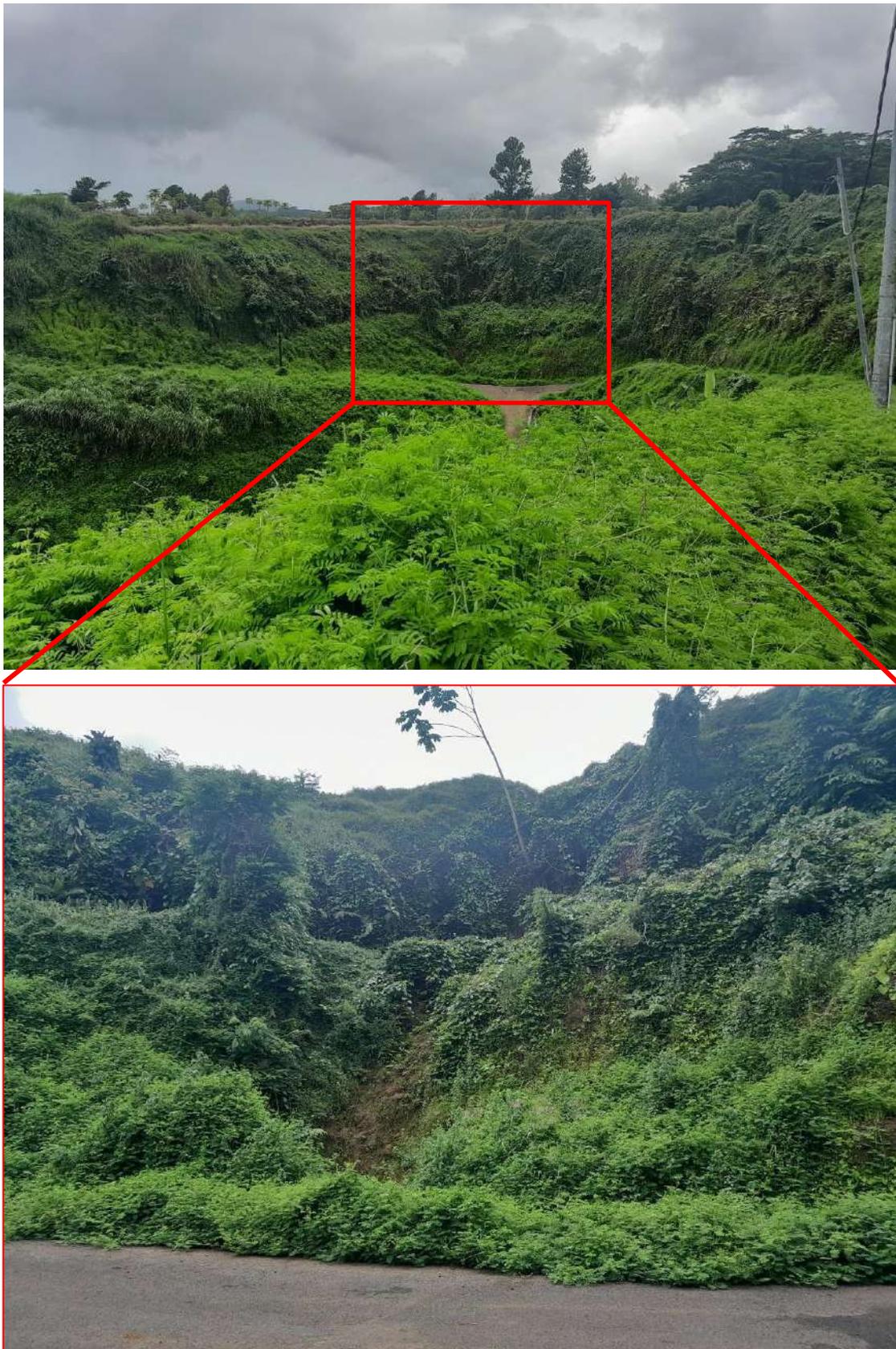
Photographie 10 : Lit de la rivière, arrivée d'eau en cascade. Géomorphologie de type talweg.



Photographie 11 : Versant Ouest du lit de la rivière. Observation d'écoulements/suintements d'eau à travers le talus.



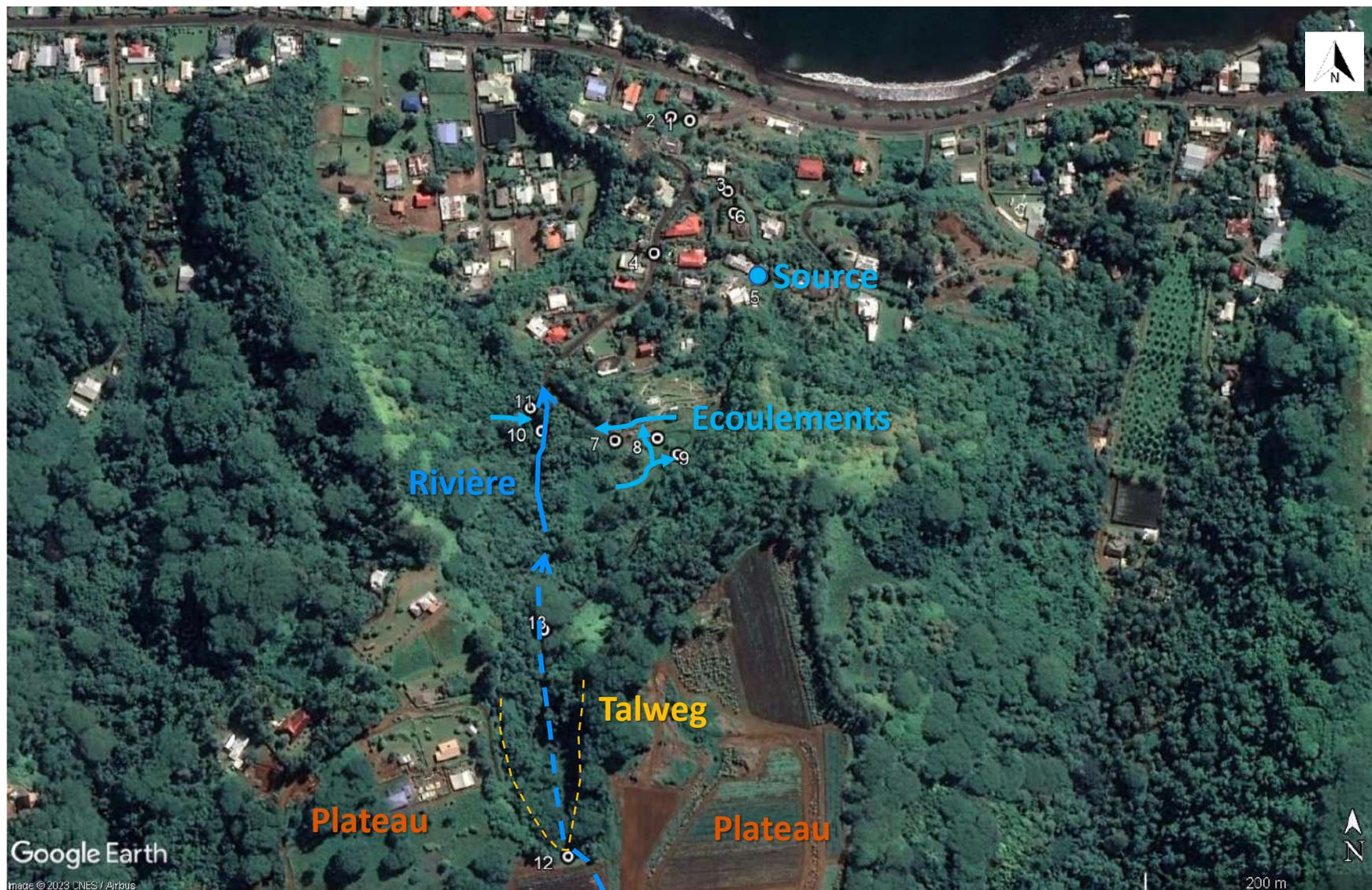
Photographie 12 : Vues vers le talweg localisé au Sud de la zone d'étude et vers la planèze.



Photographie 13 : Vue vers l'ancienne route en amont de la zone effondrée



Figure 1. Plan de localisation des clichés et annotations



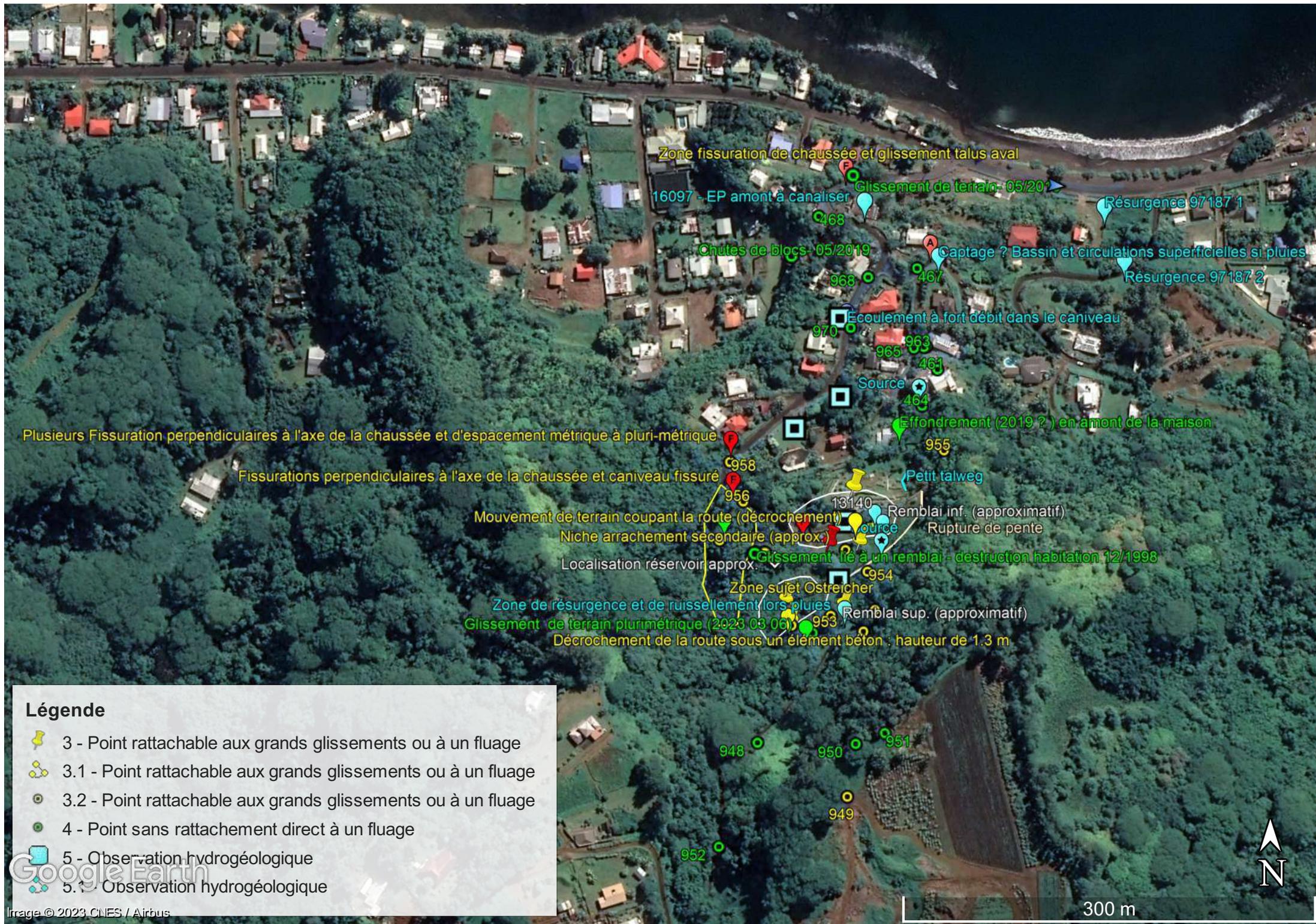
ANNEXE 4

**ANNEXES GRAPHIQUES SUR GOOGLE
EARTH**

Légende

- 1 - Faciès rocheux à très faible profondeur
- 1.1 - Faciès rocheux à faible profondeur
- 2 - Remblais et/ou dépôts de versant sur plusieurs mètres
- Observation hydrogéologique
- Observation hydrogéologique





Légende

-  3 - Point rattachable aux grands glissements ou à un fluage
-  3.1 - Point rattachable aux grands glissements ou à un fluage
-  3.2 - Point rattachable aux grands glissements ou à un fluage
-  4 - Point sans rattachement direct à un fluage
-  5 - Observation hydrogéologique
-  5.1 - Observation hydrogéologique

ANNEXE 5

**SYNTHÈSE DE LA NORME
NF P94-500 (NOV. 2013)**



SYNTHÈSE NF P 94-500 VERSION 2013

Référence : D1 ING_REF_0780_02

Approuvé le : 9-avr-14

1/3

Tableau 1 – Enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique

Enchaînement des missions G1 à G4	Phases de la maîtrise d'œuvre	Mission d'ingénierie géotechnique (GN) 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
Etape 1 : étude géotechnique préalable (G1)		Etude géotechnique préalable (G1) Phase Etude de Site (ES)		Spécificités géotechniques du site	Première identification des risques présentés par le site	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
	Etude préliminaire, esquisse, APS	Etude géotechnique préalable (G1) Phase Principes Généraux de Construction (PGC)		Première adaptation des futurs ouvrages aux spécificités du site	Première identification des risques pour les futurs ouvrages	Fonction des données existantes et de la complexité géotechnique
Etape 2 : étude géotechnique de conception (G2)	APD/AVP	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Avant-projet (AVP)		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	Etude géotechnique de conception (G2) Phase Projet (PRO)		Conception et justifications du projet		Fonction du site et de la complexité du projet (choix constructifs)
	DCE/ACT	Etude géotechnique de conception (G2) Phase DCE / ACT		Consultation sur le projet de base / Choix de l'entreprise et mise au point du contrat de travaux		
Etape 3 : Etudes géotechniques de réalisation (G3/G4)		A la charge de l'entreprise	A la charge du maître d'ouvrage			
	EXE/VISA	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Etude (en interaction avec la phase Suivi)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision de l'étude géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision du suivi)	Etude 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	Etude et suivi géotechniques d'exécution (G3) Phase Suivi (en interaction avec la phase Etude)	Supervision géotechnique d'exécution (G4) Phase Supervision du suivi géotechnique d'exécution (en interaction avec la phase Supervision de l'étude)	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		
A toute étape d'un projet ou sur un ouvrage existant	Diagnostic	Diagnostic géotechnique (G5)		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



SYNTHÈSE NF P 94-500 VERSION 2013

Référence : D1 ING_REF_0780_02

Approuvé le : 9-avr-14

2/3

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique

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 PREALABLE (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 Etude 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'avoisnants 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 spécifiques, 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 avoisnants), 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, pente et talus, fondations, assises des dallages et voiries, améliorations de sols, dispositions vis-à-vis des nappes et des avoisnants), 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.

- Etablir 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, participer à la finalisation des pièces techniques des contrats de travaux.



SYNTHÈSE NF P 94-500 VERSION 2013

Référence : D1 ING_REF_0780_02

Approuvé le : 9-avr-14

3/3

Tableau 2 – Classification des missions d'ingénierie géotechnique (suite)

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

ETUDE ET SUIVI GEOTECHNIQUE 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 :

Phase Etude

- Définir si besoin un programme d'investigations géotechniques spécifique, le réaliser ou en assurer le suivi technique, en exploiter les résultats,
- Etudier 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).
- Elaborer 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 Etude.
- 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).
- Etablir la prestation géotechnique du dossier des ouvrages exécutés (DCE) 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.

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.
- Etudier 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'étude 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 géotechnique seront réalisés ultérieurement, conformément à l'enchaînement des missions d'ingénierie géotechnique (étape 2 et/ou 3).