

PROJET : RABASKA

**RAPPORT PRÉLIMINAIRE RELATIVEMENT
À LA MISE À LA TERRE DES POSTES
TERMINAL ET QUAI AINSI QU'UN BLINDAGE
ÉLECTRIQUE DU MASSIF DE BÉTON
POUR LES CONDUITS GNL**



PRÉSENTÉ PAR : GUY FRÉCHETTE, ING.
VOTRE COMMANDE : 2150
NOTRE DOSSIER : I06-017
DATE DES TRAVAUX : MAI 2006

PROJET : RABASKA

***Rapport préliminaire relativement
à la mise à la terre des postes
Terminal et Quai ainsi qu'un blindage
électrique du massif de béton
pour les conduits GNL***

Préparé par :


Guy Fréchette, ing.
MDL Énergie inc.



Le 6 juillet 2006

Rabaska
999, boulevard de Maisonneuve Ouest
Bureau 1600
Montréal (Québec)
H3A 3L4

À l'attention de Monsieur René Brousseau, ing.

Objet: Rapport préliminaire relativement à la mise à la terre
Projet « RABASKA LNG IMPORT TERMINAL QUEBEC »
Votre commande : 2150
Notre dossier: I06-017

Monsieur,

Veillez trouver ci-joint notre rapport préliminaire relativement à la prise de terre du terminal, à celle des deux conducteurs de contrepoids de chaque côté du massif de béton pour les conduits de gaz naturel liquéfié et enfin à la prise de terre du quai.

Les calculs effectués sont approximatifs puisqu'ils sont basés sur un sol homogène avec une résistivité de 100 ohmmètres et sur l'utilisation de la formule de Laurent pour les grilles de mise à la terre du poste Terminal et du poste Quai. Les résultats obtenus sont approximatifs mais permettent de visualiser les élévations de potentiel des grilles de mise à la terre et les courants transférés entre les prises de terre. Ces courants de transfert entre les prises de terre sont dus à la différence de potentiel entre elles et à la continuité des masses des conduits métalliques non isolés LNG, aux conducteurs de contrepoids entre les grilles Terminal et Quai et enfin à la continuité des masses de la ligne 25 kV entre le poste Terminal et celui du Quai. Nous assumons que le gazoduc possèdera un joint isolé pour éviter un transfert de potentiel au loin.

Les croquis I06-017-A et I06-017-B permettent de visualiser grossièrement les élévations de potentiel et les transferts de courant entre les grilles lors de la chute d'un conducteur 735 kV au-dessus du massif de béton protégeant les conduits LNG. Le courant ultime de 25 kA, correspondant à la chute d'un conducteur de la ligne 735 kV, n'a pas été réduit par la résistance de contact du conducteur avec le sol ou encore du partage de courant entre le sol et la grille de protection au-dessus du massif de béton. Donc ce courant de terre de 25 kA correspond au pire cas et il est probablement supérieur au court-circuit phase-terre ultime de l'alimentation à 230 kV prévue pour le poste électrique du terminal.

Pour mieux définir les paramètres techniques de conception, des mesures de résistivité du sol selon la méthode de Wenner devront être effectués à plusieurs endroits afin de modéliser les grilles de mise à la terre du terminal et du quai ainsi que la résistance de terre des deux fils de contreponds le long du massif de béton des conduits LNG ainsi que l'effet des interconnexions entre les grilles via un logiciel spécialisé comme CYME-GRID.

Nous espérons le tout à votre entière satisfaction. N'hésitez pas à communiquer avec nous pour toute information additionnelle.

Nous vous prions d'agréer, Monsieur Brousseau, nos sincères salutations.



Guy Fréchette, ing.

MDL Énergie inc.

GF/jl

p.j. : 2 copies de rapport

PROJET : RABASKA

**RAPPORT PRÉLIMINAIRE RELATIVEMENT
À LA MISE À LA TERRE DES POSTES
TERMINAL ET QUAI AINSI QU'UN BLINDAGE
ÉLECTRIQUE DU MASSIF DE BÉTON
POUR LES CONDUITS GNL**

PRÉSENTÉ PAR : GUY FRÉCHETTE, ING.

VOTRE COMMANDE : 2150

NOTRE DOSSIER : I06-017

DATE DES TRAVAUX : MAI 2006

1- INTRODUCTION

Nous avons été mandatés par RABASKA LNG TERMINAL pour évaluer l'impact de la chute d'un conducteur 735 kV au-dessus du massif de béton des conduits de gaz naturel liquéfié (LNG), pour l'effet néfaste des champs électriques et pour la possibilité de tension induite par couplage magnétique.

Sommairement le couplage magnétique n'existe pas puisque le massif de béton des conduits LNG est transversal à la ligne 735 kV et le champ électrique n'a plus d'effet à une profondeur de 2 mètres à 7 mètres, ce qui correspond à la profondeur d'enfouissement du massif de béton des conduits LNG .

Notre pire cas est donc la chute d'un conducteur 735 kV, ce qui correspond à une tension ligne-neutre de 424 kV avec un courant de court-circuit phase-terre ultime de 25000 ampères.

Le présent rapport préliminaire permet de visualiser les courants dans les conducteurs servant à la mise à la terre des différents éléments. La grille de mise à la terre du poste Terminal et celle du Quai ainsi que les deux fils de contrepoids le long du massif de béton devront être capable d'absorber le courant de court-circuit de 25000 A sans provoquer une élévation de potentiel excessive de chacune des prises de terre. Pour le calcul de la résistance des prises de terre, nous avons utilisé une résistivité d'un sol homogène de 100 ohmmètres ce qui nous semble être une valeur raisonnable pour définir une ébauche de l'écoulement des courants dans les continuités des masses entre les différentes grilles de mise à la terre. Le modèle ainsi obtenue permet de visualiser grossièrement les interactions entre les courants et les tensions de grille de mise à la terre. Il sera nécessaire à une étape ultérieure de modéliser avec un logiciel spécialisé la conception actuelle à partir de plusieurs mesures de résistivité du sol selon la méthode de Wenner.

2- CHUTE DE CONDUCTEUR 735 KV

Notre pire cas est la chute d'un conducteur 735 kV au-dessus du massif de béton protégeant les conduits de gaz naturel liquéfié (LNG). Ce qu'il faut éviter à tout prix est un courant intense en un seul point sur la surface du conduit LNG en présence d'un arc électrique, ce qui provoquerait un point chaud excessif et endommagerait la paroi du conduit LNG avec une possibilité de perforer ce dernier. La chaleur intense ainsi développée en un seul point est proportionnel à la durée et au produit du courant fois la tension d'arc ce qui est différent de l'échauffement d'un conducteur sous un courant très intense qui est proportionnel à I^2t et dont la chaleur est répartie sur toute la longueur du conducteur.

Donc le conduit LNG peut être soumis à un courant relativement intense pour une durée limitée. De plus, si la surface de section de la paroi est élevée, la densité de courant ne sera pas excessive et l'échauffement global sera acceptable.

Pour éviter un arc électrique en un point donné sur le conduit LNG l'on doit capter le courant de 25000 A à l'aide d'une grille de mise à la terre au-dessus du massif de béton et dévier ce courant vers des prises de terre sans provoquer d'élévation de tension excessive de ces dernières. Le but est de prévenir la formation d'un arc entre le conduit LNG et l'armature du massif de béton.

Le principe suivant doit être respecté : Si toutes les pièces métalliques sont au même potentiel en un endroit donné, il ne peut y avoir développement d'un arc électrique. Pour maintenir une différence de potentiel faible entre des pièces métalliques contigües lors d'un court-circuit phase-terre, il doit y avoir circulation de courant intense entre les prises de mise à la terre dans une impédance très faible.

Donc les mailles de la grille de mise à la terre au-dessus du massif de béton des conduits LNG et au-dessus des autres conducteurs (lignes 25 kV et les tuyaux d'air comprimé et d'eau) seront beaucoup plus rapprochées que celles des prises de terre du terminal, du quai et des deux fils de contrepoids de chaque côté du massif. De plus, cette grille de protection sera enfouie dans un sol possédant une résistivité inférieure à 100 ohmmètres. À priori la résistivité du sol au-dessus du massif va déterminer l'espacement entre les mailles de la grille de protection.

Le calibre des conducteurs des mailles, l'espacement entre les mailles et les autres paramètres techniques devront être déterminés à l'aide d'un logiciel spécialisé. Nous recommandons le logiciel CYME-GRID ou l'équivalent pour modéliser les prises de terre.

Finalement, la grille de protection reliée aux fils de contrepoids et l'armature du massif de béton agira comme une cage de Faraday pour prévenir un arc électrique à l'intérieur de la cavité du massif de béton afin de protéger les conduits de gaz naturel liquéfié (LNG) ainsi que les lignes 25 kV et autres conduits (air comprimé, eau, etc).

3- FUTUR POSTE 230 KV DU TERMINAL

Le futur poste de 230 kV du terminal va nécessiter une grille de mise à la terre et la conception de cette dernière devra tenir compte de l'élévation de potentiel de la grille de mise à la terre, des tensions de touche et de pas ainsi que du transfert de potentiel de la grille via les conduits métalliques des réservoirs, du réseau incendie et vers le gazoduc se prolongeant à l'extérieur du site et finalement les conduits LNG du massif de béton.

Comme il ne sera pas possible d'isoler électriquement les conduits métalliques utilisés sur le site du terminal de la grille de mise à la terre du futur poste 230 kV, il devient nécessaire de contrôler les tensions de pas et de touche de toutes les pièces métalliques à l'intérieur du terminal, ce qui inclut la clôture métallique limitant l'accès au site.

En d'autres mots, la grille de mise à la terre du terminal s'étendra jusqu'à un mètre à l'extérieur de la clôture de bornage limitant l'accès au site terminal.

Nous recommandons l'utilisation d'un logiciel spécialisé pour définir les paramètres techniques de la grille de terre du poste Terminal.

Les résultats des calculs préliminaires montrés au croquis I06-017-B sont basés sur la formule de Laurent pour un sol homogène de 100 ohmmètres. Un modèle plus précis devra être fait avec des mesures de résistivité du sol et un logiciel spécialisé comme CYME-GRID ou l'équivalent.

Le gazoduc possèdera un joint isolant (3000 V, 1 minute) pour éviter un transfert de potentiel au loin et aussi pour diminuer les tensions de pas et de touche au-dessus du gazoduc traversant une partie de la grille de mise à la terre du terminal.

Le creux de tension entre les mailles de la grille devrait être inférieur à la tension galvanique d'isolation des circuits de télécommunication interne, ce qui correspond aux entrées et sorties des optocoupleurs d'un automate programmable ou encore les circuits de communication métallique (type RS-485).

De plus si l'élévation de la grille de mise à la terre est inférieure à 1000 volts, une économie d'environ \$100,000.00 est réalisable pour l'isolation avec le réseau téléphonique public.

4- GRILLE DE MISE À LA TERRE DU QUAI

La résistance de la grille de mise à la terre du quai sera très faible si l'on utilise les 350 pieux de 1 mètre de diamètre et enfoncés d'au moins 20 mètres dans la vase jusqu'au roc avec un espacement entre eux de 20 mètres à 45 mètres. Pour les calculs, nous avons estimé une résistivité de 100 ohmmètres, ce qui nous semble être conservateur pour une rive avec de la vase.

En parallèle avec le quai, l'on a la grille du poste électrique QUAI situé au-dessus de la falaise et dont les dimensions approximatives sont de 50 m x 100 m. La résistivité du sol assumée est de 100 ohmmètres.

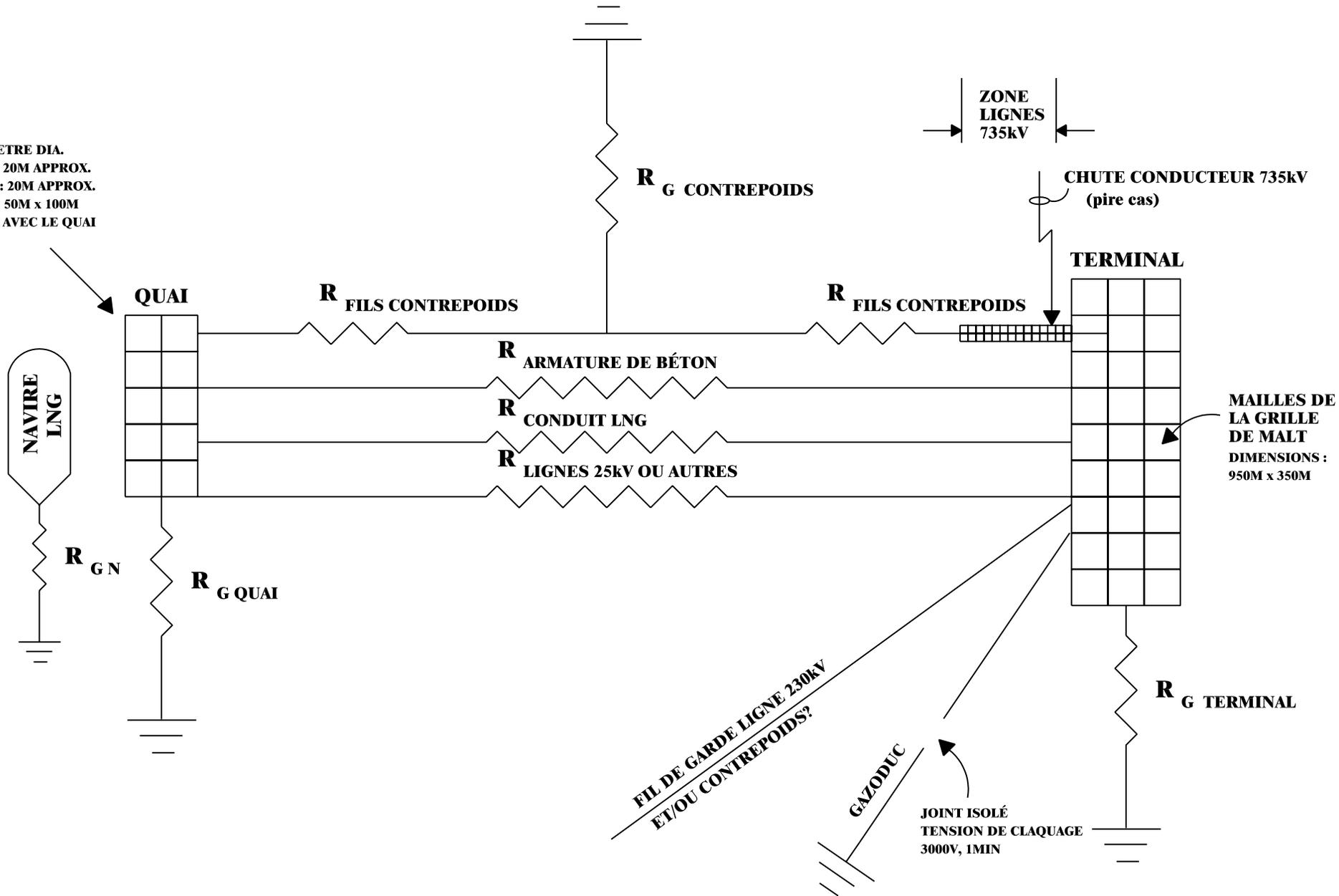
La résistance équivalente des deux grilles ci-dessus devient très faible et permet d'absorber environ 40% du courant total de 25 kA via les continuités des masses.

5- CONCLUSION

Le croquis I06-017-B montre les chemins utilisés pour l'écoulement du courant de court-circuit phase-terre lors de la chute d'un conducteur de 735 kV au-dessus du massif de béton protégeant les conduits LNG. Pour notre calcul, nous avons utilisé un seul conduit LNG et la puissance lors du court-circuit phase-terre est d'environ 1 MW ce qui correspond à environ à 611 watts par mètre de longueur de conduit LNG. À priori, cette dernière valeur nous semble acceptable puisque la durée du phénomène devrait être inférieure à 1 seconde pour le scénario le plus catastrophique.

Finalement le présent rapport est une ébauche pour la conception de la protection des conduits lors de la chute d'un conducteur 735 kV et une révision complète devra être effectuée à l'aide d'un logiciel spécialisé pour définir les paramètres techniques de design.

350 PIEUX, 1 METRE DIA.
 ESPACEMENT : 20M APPROX.
 PROFONDEUR : 20M APPROX.
 + POSTE 25kV : 50M x 100M
 EN PARALLELE AVEC LE QUAI



Tél: 514-322-2220

1170 rue Lévis, suite 3
 Lachenaie (Québec) J6W 5S6

CLIENT

RABASKA

TITRE/TITLE

ETUDE PRELIMINAIRE MALT

PAR/BY

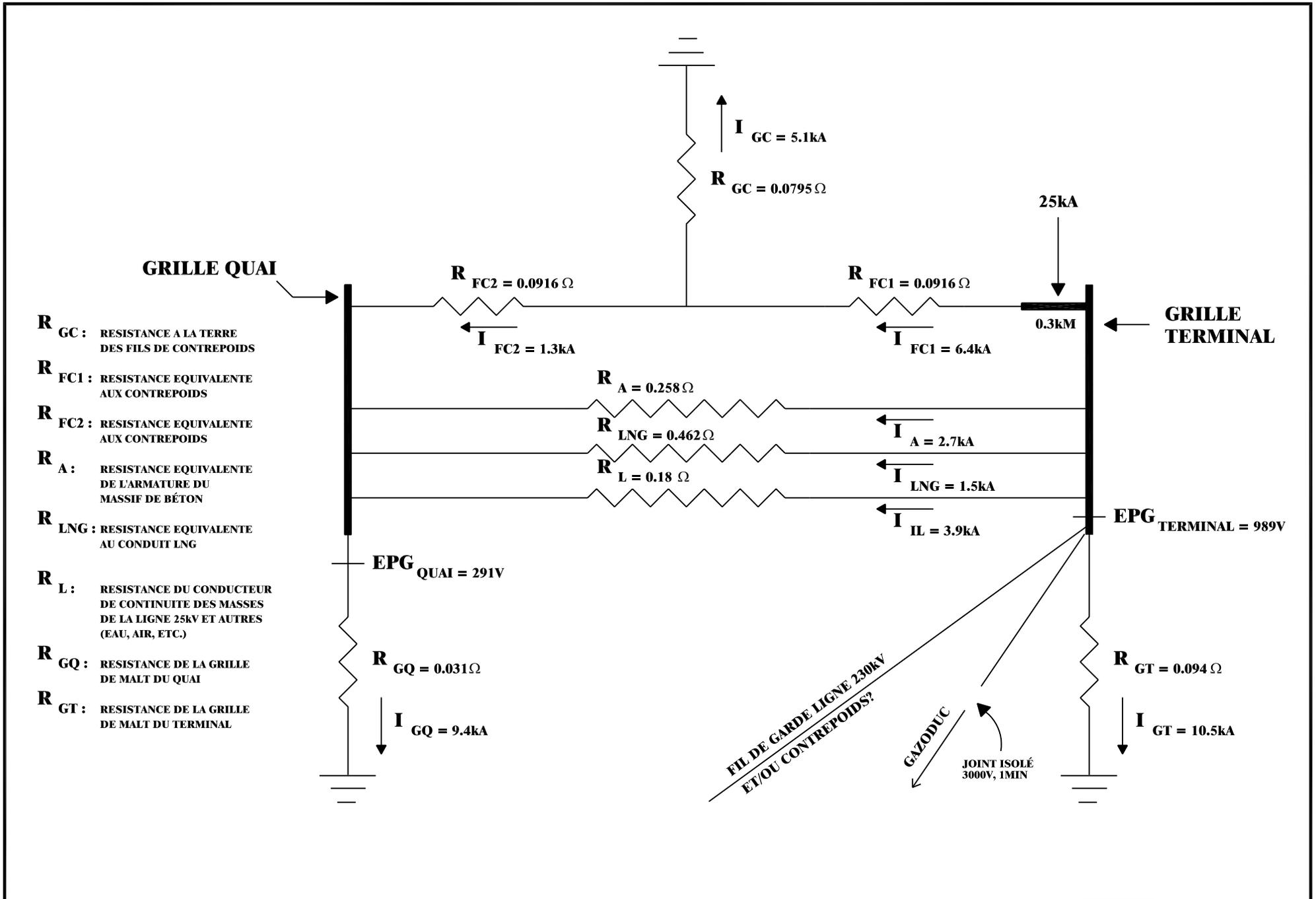
GUY FRECHETTE

DATE

05-07-2006

No DESSIN/DRAWING No.

106-017-A



- R_{GC}** : RESISTANCE A LA TERRE DES FILS DE CONTREPOIDS
- R_{FC1}** : RESISTANCE EQUIVALENTE AUX CONTREPOIDS
- R_{FC2}** : RESISTANCE EQUIVALENTE AUX CONTREPOIDS
- R_A** : RESISTANCE EQUIVALENTE DE L'ARMATURE DU MASSIF DE BÉTON
- R_{LNG}** : RESISTANCE EQUIVALENTE AU CONDUIT LNG
- R_L** : RESISTANCE DU CONDUCTEUR DE CONTINUITÉ DES MASSES DE LA LIGNE 25kV ET AUTRES (EAU, AIR, ETC.)
- R_{GQ}** : RESISTANCE DE LA GRILLE DE MALT DU QUAI
- R_{GT}** : RESISTANCE DE LA GRILLE DE MALT DU TERMINAL

Tél: 514-322-2220

CLIENT

RABASKA

PAR/BY

GUY FRECHETTE

DATE

05-07-2006

TITRE/TITLE

ÉCOULEMENT DU COURANT DE COURT-CIRCUIT A LA TERRE

No DESSIN/DRAWING No.

106-017-B



1170 rue Lévis, suite 3
Lachenaie (Québec) J6W 5S6

FORMULES UTILISÉES POUR CALCULS

- R_{LNG} = Résistance d'un conduit de gaz naturel liquifié.
 R_{LNG} à $-160^{\circ}C$ = À déterminer à moins $160^{\circ}C$
 R_{LNG} à $20^{\circ}C$ = $\frac{\rho l}{A} = \frac{0.00000495 \Omega m \times 1700 m}{0.0095 m \times \pi \times 0.610 m} = 0.462 \Omega$
- R_A = Résistance de l'armature du massif de béton
 R_A = $\frac{\rho l}{A}$? à déterminer avec précision et à refaire
 R_A = $\frac{0.0978 \mu\Omega \times m \times 1700 m}{0.000645} = 0.258 \Omega$ valeur approximative
- R_{FC1} et R_{FC2} = 2 contrepoids de calibre 2/0 AWG
Cuivre de 1700 mètres
(modèle en Π : à améliorer)
 R_{FC1} et R_{FC2} = $\frac{1}{2} \left(\frac{0.0798 \Omega}{1000} \right) (700 \times 3.281)' = 0.0916 \Omega$
 $R_{FC1} = R_{FC2} = 0.0916 \Omega$
- R_L = Fil de continuité des masses du câble 28 kV de calibre 3/0 AWG
(neutre = 3 x 33% retour)
Deux câbles 28 kV en parallèle pour normal / relève
Charge du Quai estimée à 7 MW approximativement
 $R_L = \frac{0.21}{2} \times 1.7 km = 0.18 \Omega$
 R_X = Autres conduits (air comprimé, eau) en parallèle ?
À faire ultérieurement

FORMULES UTILISÉES POUR CALCULS

- R_{GC} = Résistance de terre des deux conducteurs de contrepois le long du massif de béton des conduits LNG (modéliser en Π : à améliorer)

$$R_{GC} = \frac{(0.366)}{2} \left(\frac{\rho}{l} \left(\log \left(\frac{l}{d} \right) + \log \left(\frac{l}{4h} \right) + 0.34 \right) \right)$$

$$\rho = 100 \Omega\text{m} : \text{valeur assumée pour sol homogène}$$

$$l = 1700 \text{ m}$$

$$d = \text{diamètre pour 2/0 AWG cuivre} = 0.00927$$

$$h = 7 \text{ mètres de profondeur (valeur moyenne estimée)}$$

$$R_{GC} = \frac{(0.366)}{2} \left(\frac{100}{1700} \left(\log \left(\frac{1700}{0.00927} \right) + \log \left(\frac{1700}{4 \times 7} \right) + 0.34 \right) \right)$$

$$R_{GC} = 0.0107647 \times 7.3866$$

$$R_{GC} = 0.0795 \Omega \text{ prise de terre des contrepois}$$

- R_{GT} = Prise de terre du poste Terminal
Dimensions de la grille : 950 m x 350 m

$$\text{Formule de Laurent } R_{GT} = R' + r'$$

$$R' = \rho / 4r$$

$$r' = \rho / L$$

$$\rho = 100 \Omega\text{m} : \text{valeur assumée pour sol homogène}$$

$$r = \frac{(\text{surface de la grille})^{1/2}}{3.1416^{1/2}} = \frac{(350 \times 950)^{1/2}}{3.1416^{1/2}} = 325.3 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 950 \text{ m} + 11 \times 350 = 5750 \text{ m (11 mailles)}$$

$$R_{GT} = \frac{100}{4 \times 325.3} + \frac{100}{5750} = 0.094 \Omega$$

FORMULES UTILISÉES POUR CALCULS

- R_{GQ} = Prise de terre du Quai

La prise de terre du Quai est constituée du grille conventionnelle de 50 m x 100 m sur le dessus de la falaise et de l'utilisation de 350 pieux au Quai. Chaque pieux est enfoncé de 20 m dans la vase jusqu'au roc. Le diamètre des pieux est de 1 m et l'espacement entre eux est de 20 m à 45 m.

R_Q = Résistance de la prise de terre des pieux

R_B = Résistance de la grille au-dessus de la falaise

$$R_{GQ} = \left(\frac{1}{R_Q} + \frac{1}{R_B} \right)^{-1}$$

$$R_Q = \left(\frac{1}{350} \right) \left(\frac{100}{2 \times 3.1416 \times 20} \right) \left(\ln \left(\frac{4 \times 20}{1} \right)^{-1} + \frac{2 \times 20}{20} \ln \left(\frac{2 \times 350}{3.1416} \right) \right)$$

$$R_Q = (0.002274) (14.95)$$

$$R_Q = 0.032 \Omega$$

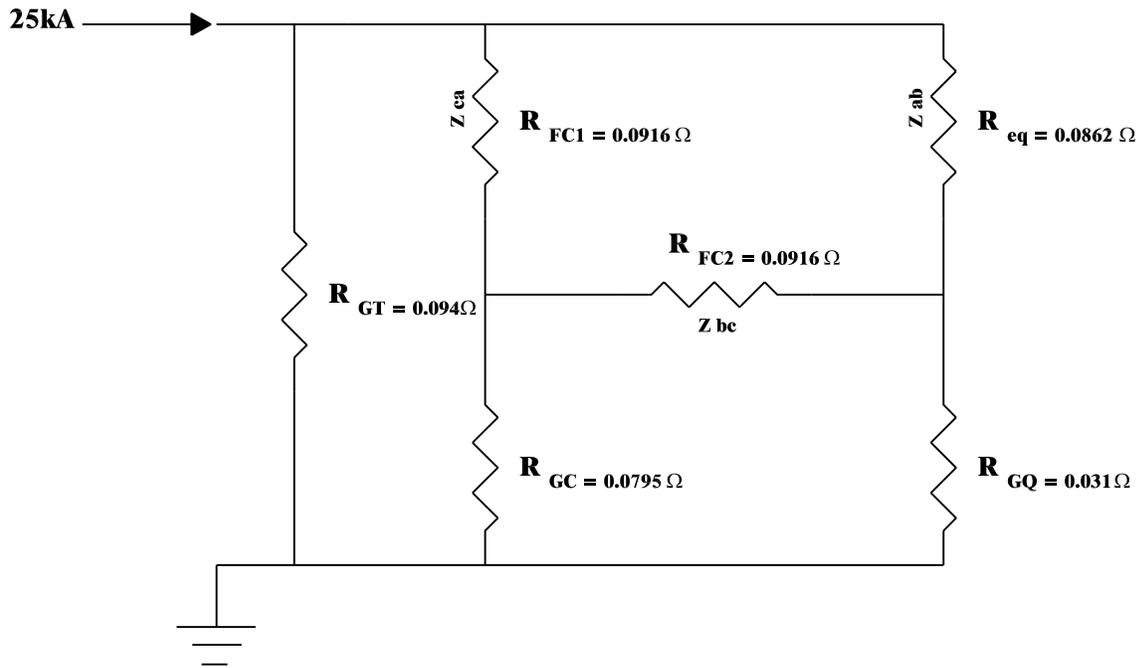
$$R_B = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

$$r = \left(\frac{100 \times 50}{3.1416^{1/2}} \right)^{1/2} = 39.89$$

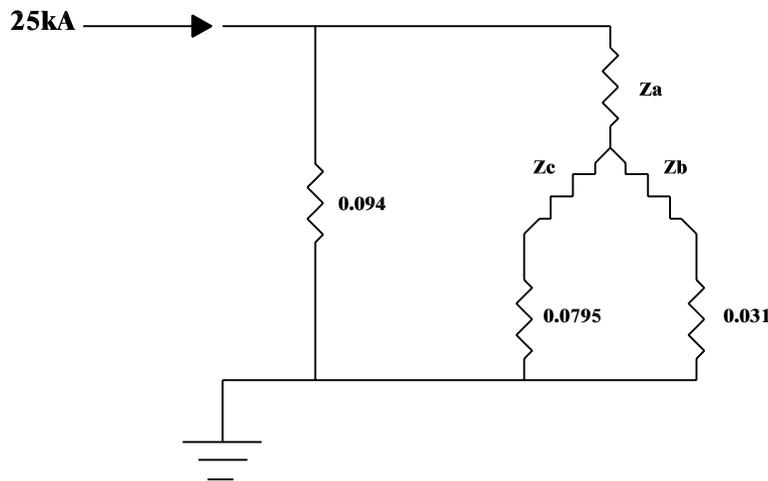
$$L = 2 \times 100 + 2 \times 50 = 300$$

$$R_B = \left(\frac{100}{4 \times 39.89} \right) + \left(\frac{100}{300} \right) = 0.96 \Omega$$

$$R_{GQ} = \left(\frac{1}{0.032} + \frac{1}{0.96} \right) = 0.031 \Omega$$



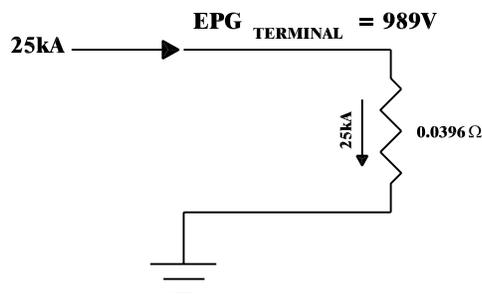
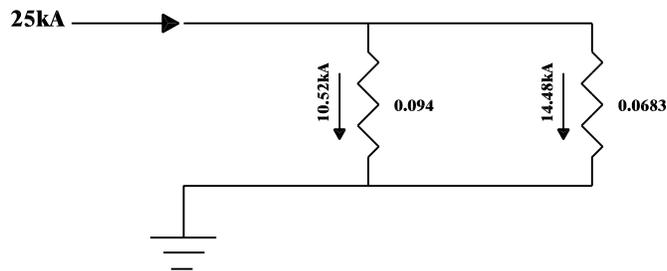
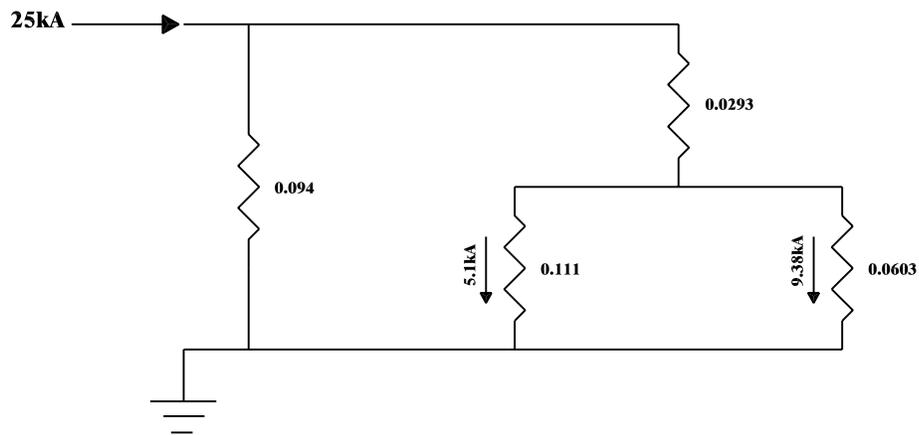
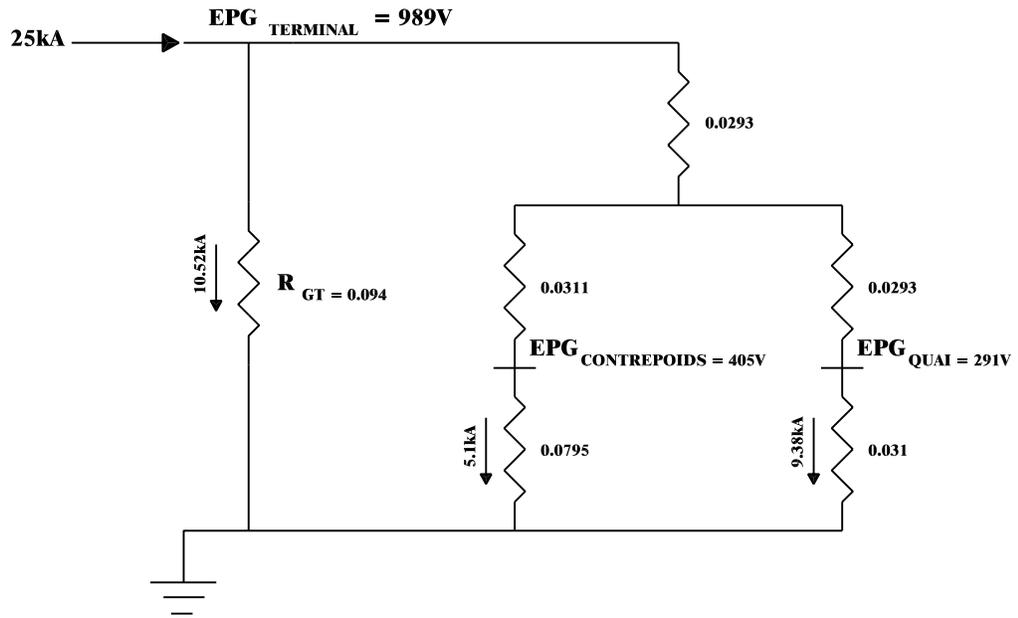
$$R_{eq} = \left(\frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_{LNG}} + \frac{1}{R_L} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{0.258} + \frac{1}{0.462} + \frac{1}{0.18} \right)^{-1} = 0.0862 \Omega$$



$$Z_a = \frac{0.0862 \times 0.0916}{0.0916 + 0.0916 + 0.0862} = 0.0293 \Omega$$

$$Z_b = \frac{0.0862 \times 0.0916}{0.0916 + 0.0916 + 0.0862} = 0.0293 \Omega$$

$$Z_c = \frac{0.0916 \times 0.0916}{0.0916 + 0.0916 + 0.0862} = 0.0311 \Omega$$



Tél: 514-322-2220

1170 rue Lévis, suite 3
Montréal (Québec)
J6W 5S6

CLIENT

RABASKA

TITRE/TITLE

**SCHEMA DU RESEAU
DE TERRE**

PAR/BY

GUY FRECHETTE

DATE

05-07-2006

No DESSIN/DRAWING No.

I06-017-G

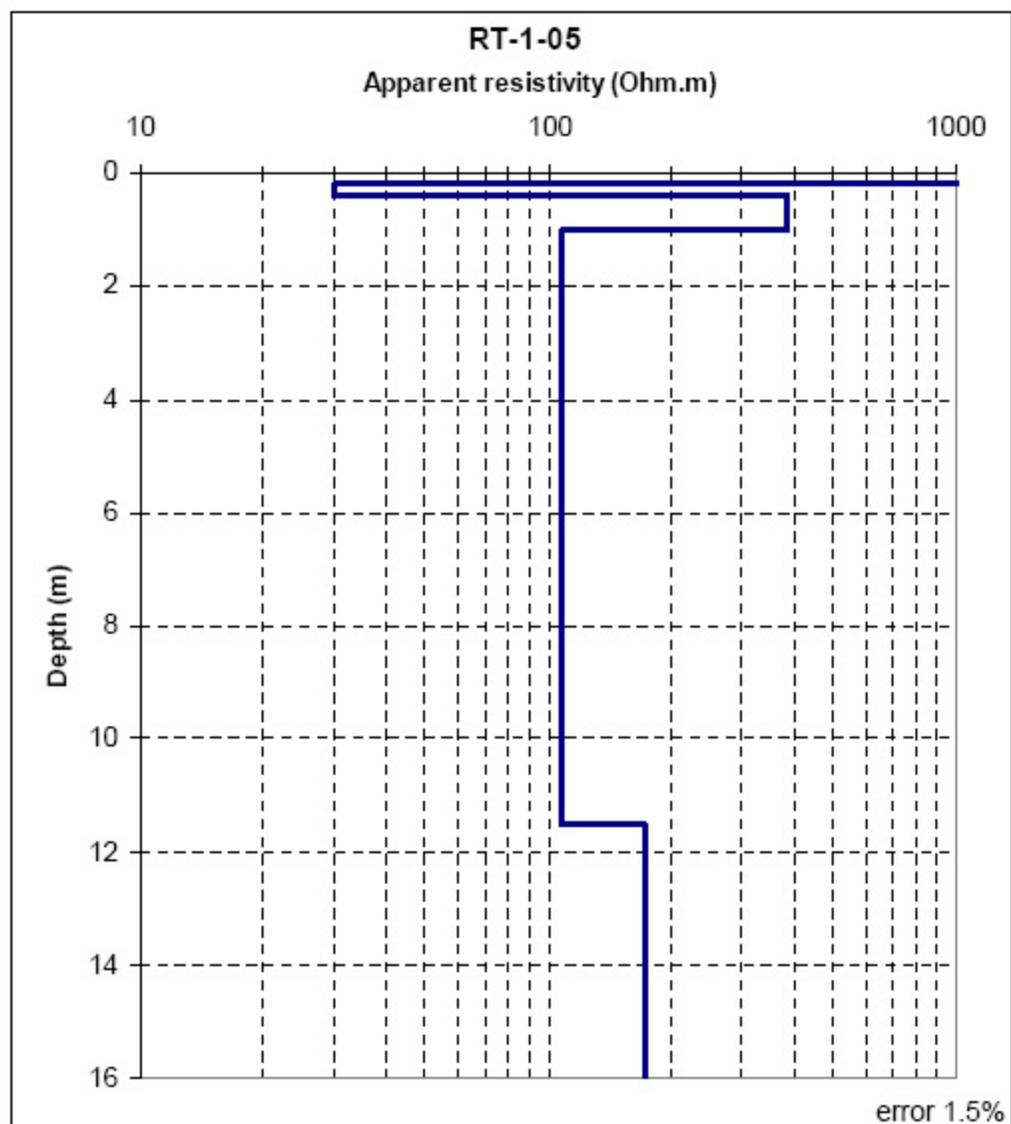


FIGURE 5
Data inversion results – sounding RT-1-05

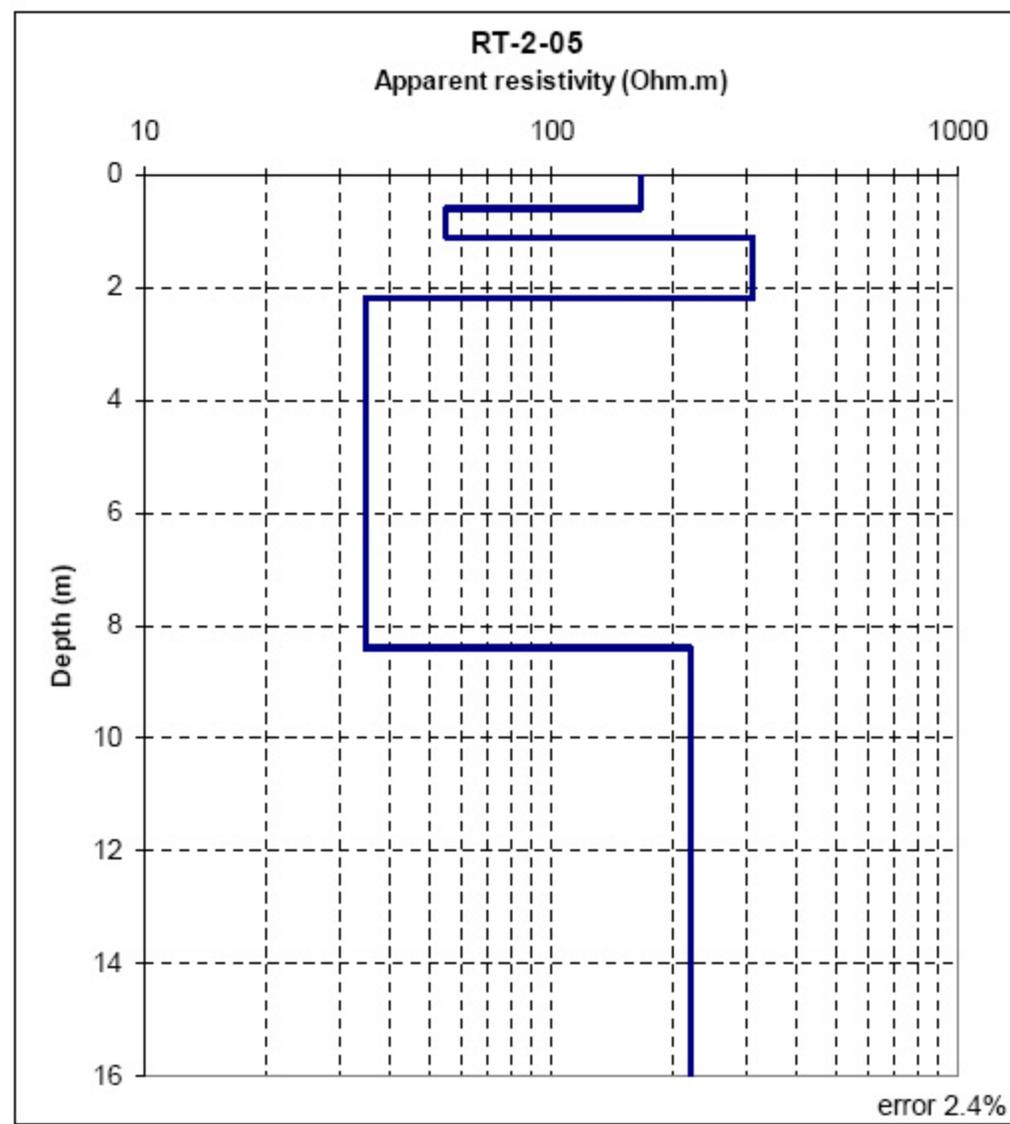


FIGURE 6
Data inversion results – sounding RT-2-05

