Institut de Recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail

PhareSST

Rapports de recherche scientifique Rapports

1997

Conception d'un étançonnement adapté au milieu urbain : phase 1

André Lan
IRSST

Jean Arteau
IRSST

Martin Tremblay
Ville de Montréal

Serge Gamelin
Ville de Montréal

Jean-Marc Dugré

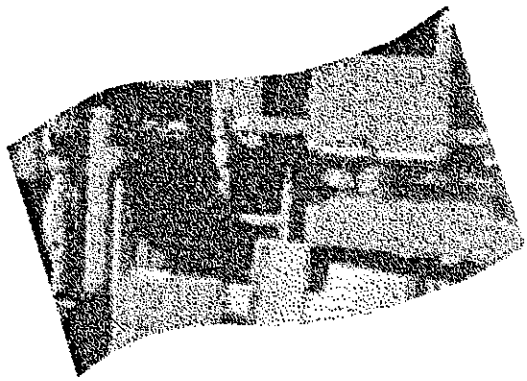
Suivez ce contenu et d'autres travaux à l'adresse suivante: https://pharesst.irsst.qc.ca/rapports-scientifique

Citation recommandée

Lan, A., Arteau, J., Tremblay, M., Gamelin, S. et Dugré, J.-M. (1997). *Conception d'un étançonnement adapté au milieu urbain : phase 1* (Rapport n° R-156). IRSST.

Ce document vous est proposé en libre accès et gratuitement par PhareSST. Il a été accepté pour inclusion dans Rapports de recherche scientifique par un administrateur autorisé de PhareSST. Pour plus d'informations, veuillez contacter pharesst@irsst.qc.ca.

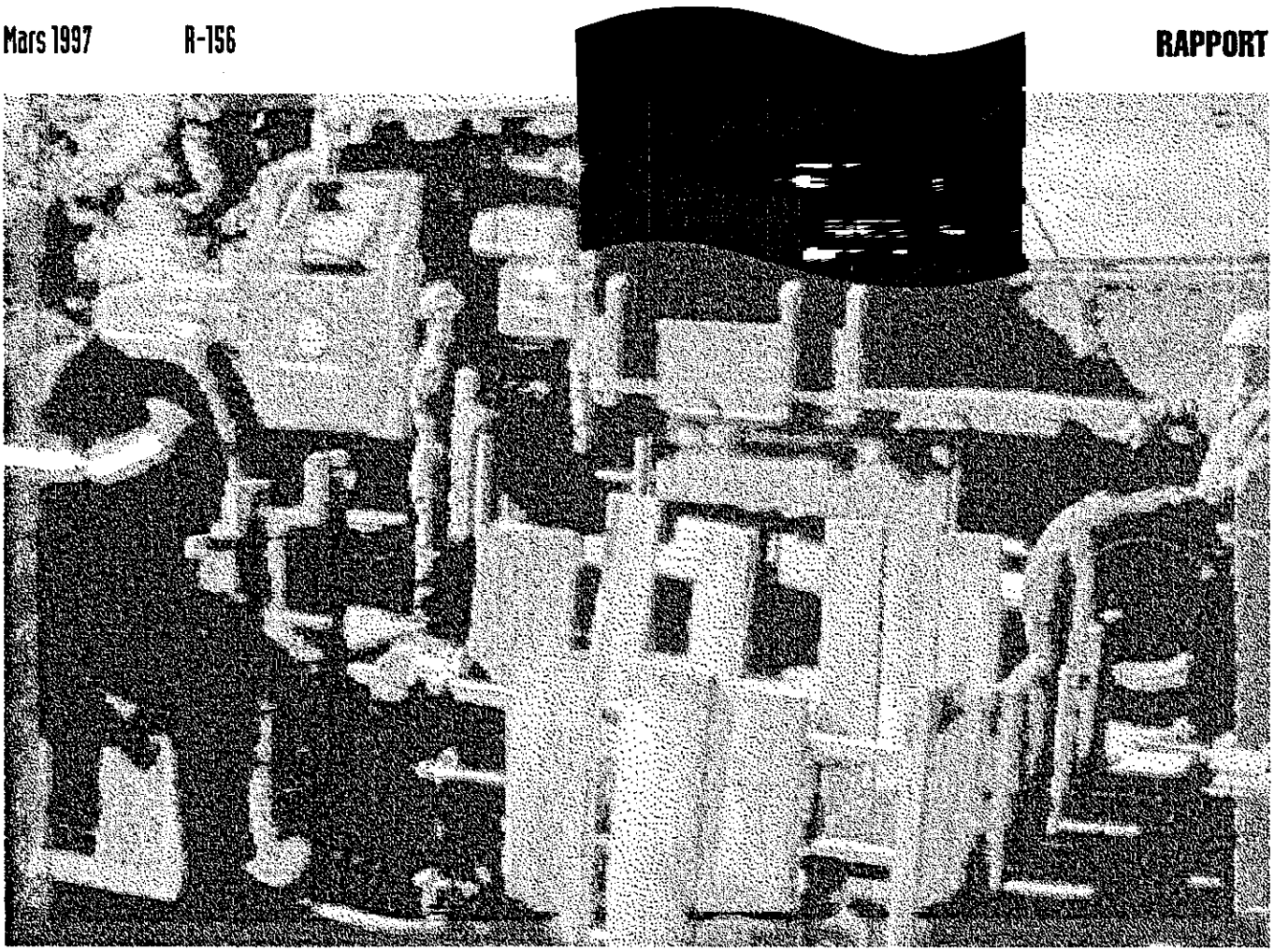
Conception d'un étançonnement adapté au milieu urbain Phase 1



ÉTUDES ET RECHERCHES

André Lan

Mars 1997 R-156 RAPPORT



IRSST
Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec

La recherche, pour mieux comprendre

L'Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (IRSST) est un organisme de recherche scientifique voué à l'identification et à l'élimination à la source des dangers professionnels, et à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes. Financé par la CSST, l'Institut réalise et finance, par subvention ou contrats, des recherches qui visent à réduire les coûts humains et financiers occasionnés par les accidents de travail et les maladies professionnelles.

Pour tout connaître de l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail,* publié conjointement par la CSST et l'Institut.

Les résultats des travaux de l'Institut sont présentés dans une série de publications, disponibles sur demande à la Direction des communications.

Il est possible de se procurer le catalogue des publications de l'Institut et de s'abonner à *Prévention au travail* en écrivant à l'adresse au bas de cette page.

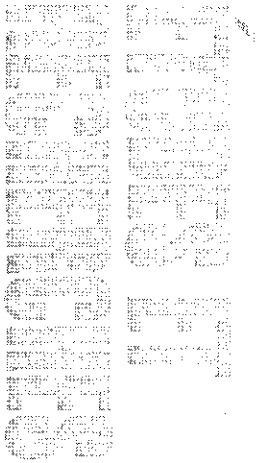
ATTENTION

Cette version numérique vous est offerte à titre d'information seulement. Bien que tout ait été mis en œuvre pour préserver la qualité des documents lors du transfert numérique, il se peut que certains caractères aient été omis, altérés ou effacés. Les données contenues dans les tableaux et graphiques doivent être vérifiées à l'aide de la version papier avant utilisation.

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec

IRSST - Direction des communications
505, boul. de Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-l 551
Télécopieur: (514) 288-7636
Site intemet : www.irsst.qc.ca
© Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec,

Conception d'un étançonnement adapté au milieu urbain Phase 1



André Lan et Jean Arteau
Programme sécurité-ingénierie, IRSST

Martin Tremblay et Serge Gamelin
Ville de Montréal

Jean-Marc Dugré, consultant

RAPPORT

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

TABLE DES MATIÈRES

Page

1 PROBLÉMATIQUE 1

2 EXCAVATIONS EN MILIEU URBAIN 1

3 ORIGINE DE LA DEMANDE 2

4 OBJECTIF DE L'ÉTUDE 2

5 CONTRIBUTION DES PARTENAIRES 2

6 DÉMARCHES SUIVIES 3

7 ANALYSE STRUCTURALE 3
- 7.1 Hypothèses de calcul 3
- 7.2 Poussée des terres sur le blindage 4
- 7.2.1 Poussée des terres avant réduction - Chargement de conception 4
- 7.2.2 Poussée des terres réduite après rupture du sol (chargement retenu) 5
- 7.3 Critères de conception 7
- 7.4 Description du prototype VM2 7
- 7.5 Charges sollicitant les moises 10
- 7.6 Moises du VM2 11
- 7.6.1 Modélisation des moises 13
- 7.7 Calcul des sollicitations dans les moises 13
- 7.7.1 Choix de profilés pour la moise du bas 14
- 7.7.2 Choix de profilés pour la moise du haut 14

8 ESSAI DU PROTOTYPE VM2 15

TABLE DES MATIÈRES

Page

9 MODIFICATIONS APPORTÉES AU PROTOTYPE VM2 - NOUVEAU SYSTÈME D'ÉTANÇONNEMENT 15
9.1 Essais des moises 18
9.2 Friction dans les poutres télescopiques 20
9.3 Cadre 20
9.4 Blindage 22

10 PROCÉDURE D'INSTALLATION DE VM2 23

11 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 23

12 REMERCIEMENTS 24

RÉFÉRENCES 25

ANNEXE 1 - CALCUL DE LA POUSSÉE DES TERRES SUR L'ÉTANÇONNEMENT PAR MARTIN TREMBLAY A1.1

ANNEXE 2 - ESSAIS DE CHARGEMENT D'UNE MOISE AU LABORATOIRE DE LA VILLE DE MONTRÉAL A2.1

ANNEXE 3 - PLAN DU VM2 . . . . . A3.1

ANNEXE 4 - DESSINS DES PROCÉDURES D'INSTALLATION DU VM2 . . . . . A4.1

LISTE DES FIGURES

Figures **Page**

Figure 1 - Poussée des terres 5

Figure 2 - Poussée des terres réduite sur le blindage après la rupture du sol 6

Figure 3 - Prototype VM2 retenu - Disposition des moises 8

Figure 4 - Charges sollicitant les moises 10

Figure 5 - Modèle de calcul de la moise 13

Figure 6 - Installation des roues pour résoudre la friction dans les moises 20

Figure 7 - Pontage métallique 22

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux **Page**

Tableau I - Choix de profilés pour le système VM2 17

Tableau II - Caractéristiques des alliages d'Aluminium 20

LISTE DES PHOTOS

Photos **Page**

Photo 1 - Installation du prototype de la Ville de Montréal dans une excavation 9

Photo 2 - Pose des madriers verticaux du haut de l'excavation 9

Photo 3 - Moises télescopiques du bas et du haut 12

Photo 4 - Assemblage d'une moise du bas dans le cadre d'Aluminium . . . 12

Photo 5 - Banc d'essai du laboratoire de la Ville de Montréal 19

Photo 6 - Mise en charge de la moise du bas 19

Photo 7 - Cadres d'Aluminium 21

Photo 8 - Cadre déployé 21

1 PROBLÉMATIQUE

L'ensevelissement de travailleurs au fond des tranchées lors de l'effondrement des parois cause au minimum 1,2 mort par an au Québec, soit environ 1 % des décès dus aux accidents du travail[1]. Ces données sont corroborées par une étude américaine[2]. De plus, cette étude montre que pour chaque décès on compte 1,4 cas d'incapacité permanente et 37 cas de blessures.

L'examen de plusieurs cas d'effondrement montre une absence d'utilisation d'étançonnement et la présence de pentes très fortes sinon verticales[1]. La combinaison de ces deux facteurs ne peut que résulter dans des effondrements. Compte tenu des contraintes opérationnelles, l'utilisation de blindage pour étançonner les parois est obligatoire.

2 EXCAVATIONS EN MILIEU URBAIN

En milieu urbain, l'excavation de tranchées de faible profondeur (4 mètres et moins) est une opération routinière dans les travaux de pose de conduites d'aqueduc, d'égout et de gaz; elle le devient de plus en plus dans la pose de lignes électriques de distribution et de câbles de communications. Les parois de ces tranchées sont excavées verticalement ou presque afin de minimiser les volumes de déblais et l'encombrement général. Ces contraintes opérationnelles sont intrinsèques à une activité en milieu urbain ou au milieu d'une chaussée. La présence de parois verticales ou à très forte pente dans un sol est une certitude d'effondrement de cette paroi à court, moyen ou long terme selon les conditions[3, 4].

De plus, les travaux d'excavation en milieu urbain présentent des difficultés spécifiques, principalement liées à la nature du sol présent ainsi qu'à l'environnement physique rencontré. Au centre-ville, les interventions de raccordement sur le réseau d'aqueduc croisent très souvent les réseaux de gaz et d'électricité puisque ces derniers sont moins profonds. Dans ces situations, les principaux systèmes de blindages commerciaux, composés de panneaux rigides s'y prêtent mal parce qu'ils sont bloqués par les conduites de gaz et d'électricité ou leur mise en place présentent des sérieux risques d'accident. D'autre part, monter sur place un étançonnement sur mesure, fait de membrures de bois est laborieux; un tel étançonnement implique la présence des travailleurs dans l'excavation alors qu'ils ne sont pas protégés contre les éboulements des parois d'excavation. Ce type d'étançonnement ne conviendrait surtout pas dans les sables et silts lâches. Dans ces conditions, il s'avère nécessaire de concevoir un système d'étançonnement capable de résister aux poussées des sols et suffisamment flexible pour s'adapter à des excavations en milieu urbain.

3 ORIGINE DE LA DEMANDE

Les employés de la Ville de Montréal effectuent en moyenne plus de 4 000 interventions pour entretenir ou effectuer des branchements aux réseaux souterrains d'égout et d'aqueduc[5]. La Ville a mis au point plusieurs systèmes de soutènement dont la profondeur n'excède pas 2,5 mètres. Un de ces systèmes est le VM1 qui convient à un très grand nombre de tranchées[6]. Dernièrement, la Ville de Montréal a construit un prototype d'étançonnement s'inspirant du VM1. Ce prototype permet d'atteindre 3,7 m (12') de profondeur. Il est constitué de quatre cadres en aluminium et de huit poutres téléscopiques servant de guide à des madriers verticaux; il permet de contourner les obstacles et a ainsi l'avantage de satisfaire plusieurs des contraintes rencontrées lors des excavations en milieu urbain. Toutefois, le prototype n'avait pas été validé par une analyse structurale et il devait être modifié pour répondre sécuritairement aux besoins des utilisateurs. À ce titre, la Ville de Montréal a demandé à l'IRSST de valider structuralement son prototype d'étançonnement pour qu'elle puisse l'utiliser sécuritairement sur l'ensemble de son territoire. De plus, ce système d'étançonnement apparaît très intéressant et très prometteur et une fois validé, il pourrait être utilisé par plusieurs autres municipalités du Québec.

4 OBJECTIF DE L'ÉTUDE

L'objectif de l'étude vise à mettre au point par conception et expérimentation, un nouveau système d'étançonnement particulièrement adapté aux excavations en milieu urbain, permettant d'atteindre une profondeur de 3,7 m (12 pieds). Ce système d'étançonnement sera fonctionnel et facile d'utilisation. Il s'articulera autour de quatre cadres en aluminium et de huit poutres téléscopiques, ajustables aux dimensions variées de l'excavation, avec des madriers verticaux en bois comme parois de blindage. Les poutres télescopiques servent de guide aux madriers verticaux. La mise en place du système se fait entièrement à partir du haut de l'excavation.

5 CONTRIBUTION DES PARTENAIRES

L'IRSST, responsable de la validation structurale du système d'étançonnement, a mandaté monsieur Jean-Marc Dugré, ingénieur-conseil, pour réaliser l'étude. Messieurs Martin Tremblay du Laboratoire de la Ville de Montréal et Serge Gamelin du Service des travaux publics, ont participé à l'élaboration et au suivi du mandat confié à l'ingénieur-conseil. Monsieur Serge Gamelin a piloté la mise en oeuvre du système d'étançonnement sur les chantiers de la Ville de Montréal.

6 DÉMARCHES SUIVIES

L'étude comportera deux phases. Lors de la première phase, monsieur Jean-Marc Dugré, ingénieur-conseil, a réalisé une analyse structurale du système d'étançonnement afin que ce dernier puisse résister sécuritairement à la poussée des terres correspondant aux sols les plus fréquemment rencontrés sur le territoire de la Ville de Montréal et aux autres efforts auxquels il pourrait être soumis. Les données techniques sur les poussées des terres ont été fournies par monsieur Martin Tremblay, ingénieur au Laboratoire de la Ville. L'analyse structurale a permis de préciser les dimensions respectives des membrures à utiliser et les limites d'utilisation du système, telles les profondeurs maximales à ne pas dépasser en fonction des différents types de sols rencontrés. Les résultats de l'analyse structurale ont confirmé la nécessité de renforcer certains éléments pour résister aux poussées de terres. Les modifications à apporter aux membrures du premier prototype existant à la Ville ont été si nombreuses qu'il a été jugé plus avantageux de fabriquer un nouveau prototype appelé VM2.

Il était prévu de tester le prototype VM2 in situ, suivant le cas de charge le plus critique afin d'étudier sa fonctionnalité, et sa maniabilité lors de sa mise en place dans l'excavation. Sa capacité de résister aux poussées des sols devait aussi être vérifiée lors d'un éboulement simulé d'une paroi d'excavation. Cet essai in situ a été abandonné au profit des essais en laboratoire, puisque lors d'une pratique par les travailleurs de la Ville de Montréal avec le prototype VM2 dans un entrepôt, il a paru évident que ce prototype posait quelques problèmes de mise en place à cause de son poids et qu'il fallait le modifier pour améliorer sa maniabilité. Par la suite, la fabrication en série du VM2 a été faite à partir du dessin d'atelier modifié de l'ingénieur-conseil. Les essais sur le terrain du VM2 ont été par la suite réalisés par le Service des travaux publics de la Ville de Montréal.

7 ANALYSE STRUCTURALE

7.1 Hypothèses de calcul

Monsieur Martin Tremblay a réalisé une étude sur les diagrammes de poussée des sols les plus fréquemment rencontrés sur le territoire de la Ville de Montréal. Cette étude, colligée à l'annexe 1, a été retenue par monsieur Jean-Marc Dugré, ingénieur-conseil, pour calculer les pressions de terres s'exerçant sur le blindage. Pour l'étançonnement, il a été convenu de retenir les hypothèses suivantes :

- La profondeur maximale de la tranchée pour le système d'étançonnement VM2 est de 3,7 m (12 pieds), mais l'ingénieur-conseil considère qu'au moment de la rupture des sols, il n'y aura pas plus de 3,35 m (11 pieds) de sol qui s'appuieront sur le blindage en considérant l'espace vide entre le sol et le blindage à combler lors de la rupture (voir annexe 1);

- L'angle de frottement du sol est pris égal à $\phi = 30^0$;
- Le coefficient de poussée active du sol est $K_a = 0,33$;
- La poussée de Coulomb a été réduite de 15 % pour tenir compte des facteurs décrits à l'annexe 1, dont l'effet de cohésion à court terme. Les besoins en termes de sécurité sont à court terme car les travailleurs seront évacués immédiatement après la rupture du sol;
- La masse volumique du sol est prise égale à $\gamma = 18$ kN/m^3 (115 lb/pi^3);
- La distribution de pression sur l'étançonnement est triangulaire.

7.2 Poussée des terres sur le blindage

7.2.1 Poussée des terres avant réduction - Chargement de conception

En prenant une valeur moyenne de $K_a\gamma = 6,0$ kN/m^3 (38 lb/pi^3), la pression au bas du blindage, à 3,7 m (12') de profondeur, est :

$w = K_a\gamma\, h = 6,0$ kN/m^3 x 3,66 m = 22,0 kN/m^2 (455 lb/pi^2)

La figure 1 illustre le chargement correspondant à cette hypothèse, qui a été utilisée pour la conception du premier prototype du VM2.

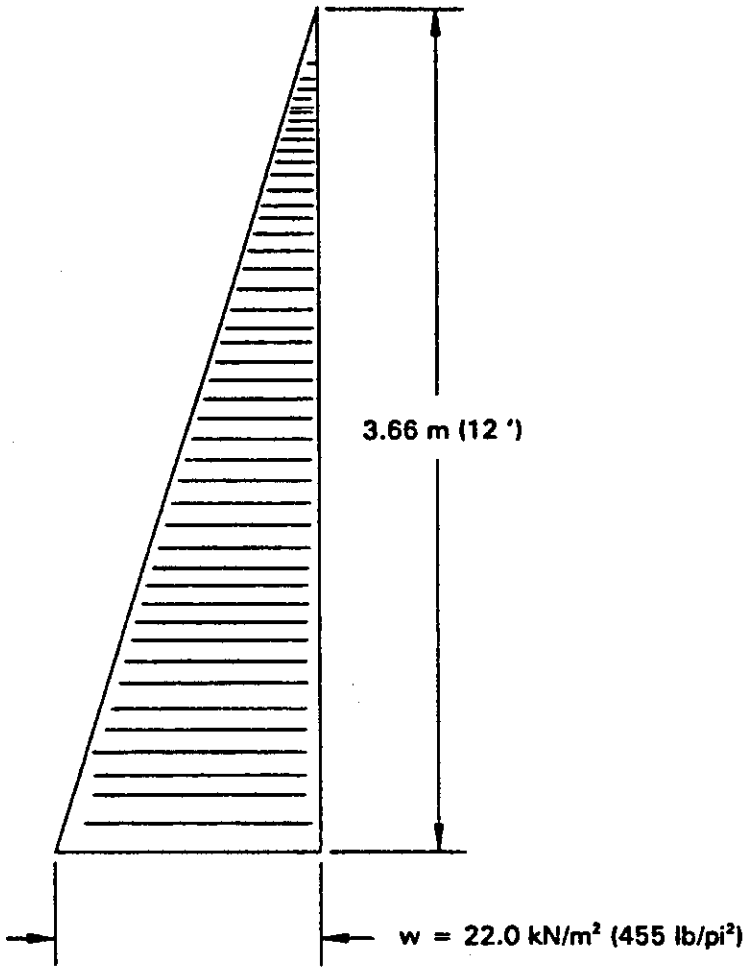


Figure 1 - Poussée des terres

7.2.2 Poussée des terres réduite après rupture du sol (chargement retenu)

Avec les hypothèses colligées au paragraphe 7.1, l'ingénieur-conseil considère qu'au moment de la rupture des sols, il n'y aura pas plus de 3,35 m (11 pieds) de sol qui s'appuieront sur le blindage. En réduisant la poussée de Coulomb de 15 % pour tenir compte des facteurs de réduction expliqués en détail à l'annexe 1, la pression au bas du blindage est :

$$w = K_a \gamma h \times 85\% = 0{,}33 \times 18 \times 3{,}35 \times 0.85 = 16{,}91 \text{ kN/m}^2 \text{ (355 lb/pi}^2\text{)}$$

La figure 2 illustre le chargement agissant sur le blindage après la rupture du sol. C'est ce diagramme de poussée qui a été finalement retenu lors de l'optimisation du prototype VM2. Il a permis une diminution du poids des moises, tout en étant jugé représentatif de l'état des sols rencontrés à Montréal.

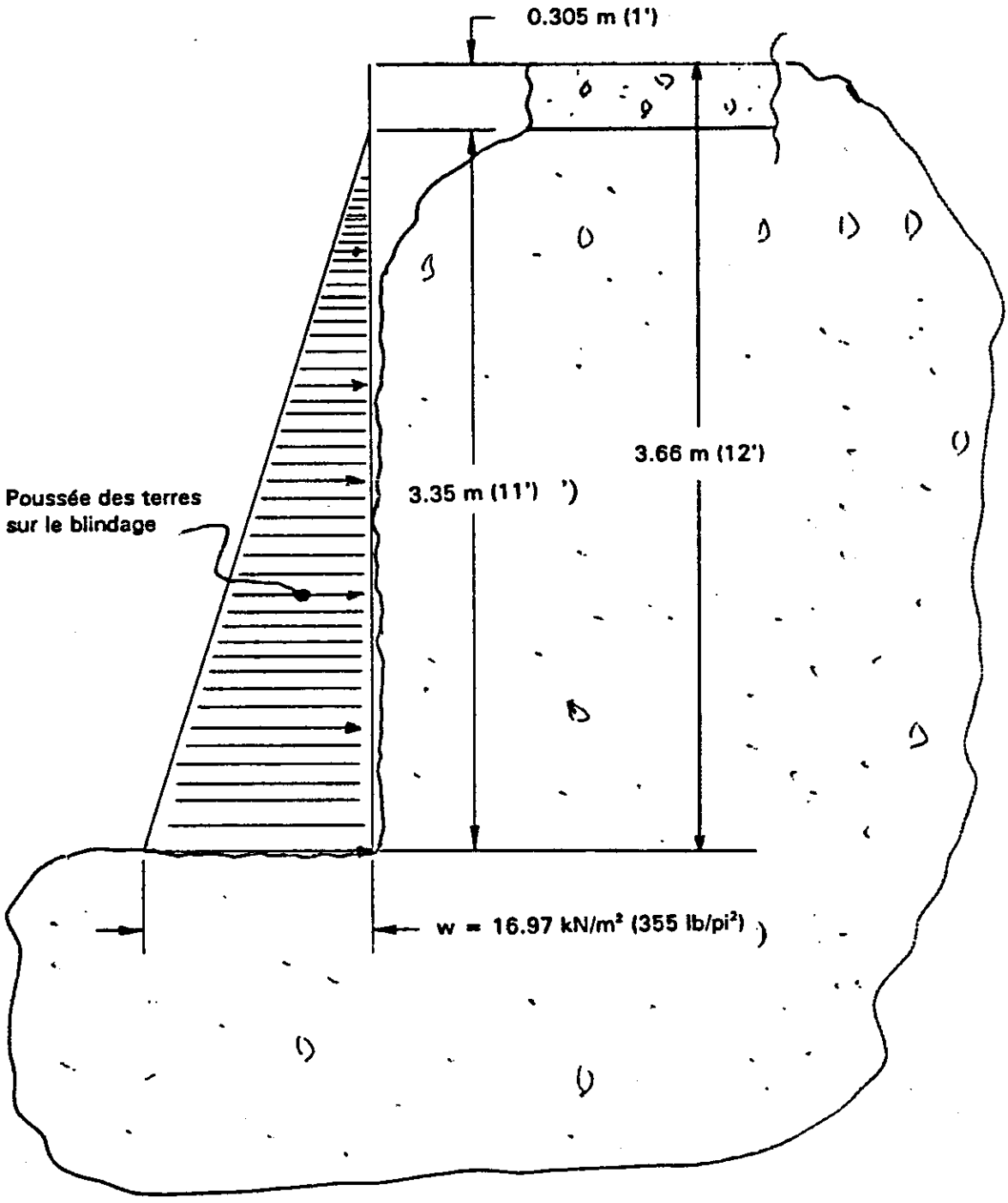


Figure 2 - Poussée des terres réduite sur le blindage après la rupture du sol

7.3 Critères de conception

Les principaux critères de conception, retenus lors de l'analyse structurale du prototype VM2, sont les suivants :

- mise en place de l'étançonnement dans l'excavation à partir du haut de l'excavation, sans qu'aucun travailleur ne soit obligé de descendre dans l'excavation;

- étançonnement le plus léger possible pour qu'il soit plus facile à transporter et à manipuler manuellement par les travailleurs;

- étançonnement facilement ajustable aux dimensions de l'excavation;

- étançonnement permettant de s'ajuster aux obstacles rencontrés, par exemple le tuyau au fond de l'excavation, d'autres tuyaux à mi-hauteur (parallèle ou perpendiculaire au tuyau du fond).

7.4 Description du prototype VM2

Le prototype VM2 est constitué de quatre cadres en aluminium, dans lesquels on vient insérer verticalement des madriers (le blindage), qui protègent contre l'éboulement des parois de l'excavation. Le blindage est lui-même retenu par des poutrelles horizontales en acier (les moises), qui sont attachées au cadre au moyen d'étriers.

Pour le prototype VM2, les dimensions horizontales pouvaient atteindre 3,05 m x 3,05 m (10' x 10') par 3,7 m (12') de profondeur. Plusieurs configurations de prototype VM2 ont été analysées pour déterminer la position et le nombre de moises supérieure et inférieure optimales à utiliser. La figure 3 illustre le prototype VM2 qui a été retenu. Ce prototype VM2 s'articule autour d'une moise inférieure située à 0,76 m (2'6") du bas du blindage et d'une moise supérieure située à environ 0,305 m à 0,61 m (1 à 2') du haut du blindage. Celui-ci est fait de madriers 64 mm x 184 mm (3"x8"). La photo 1 montre l'installation du prototype de la Ville dans une excavation. La photo 2 illustre la pose des madriers verticaux du haut de l'excavation.

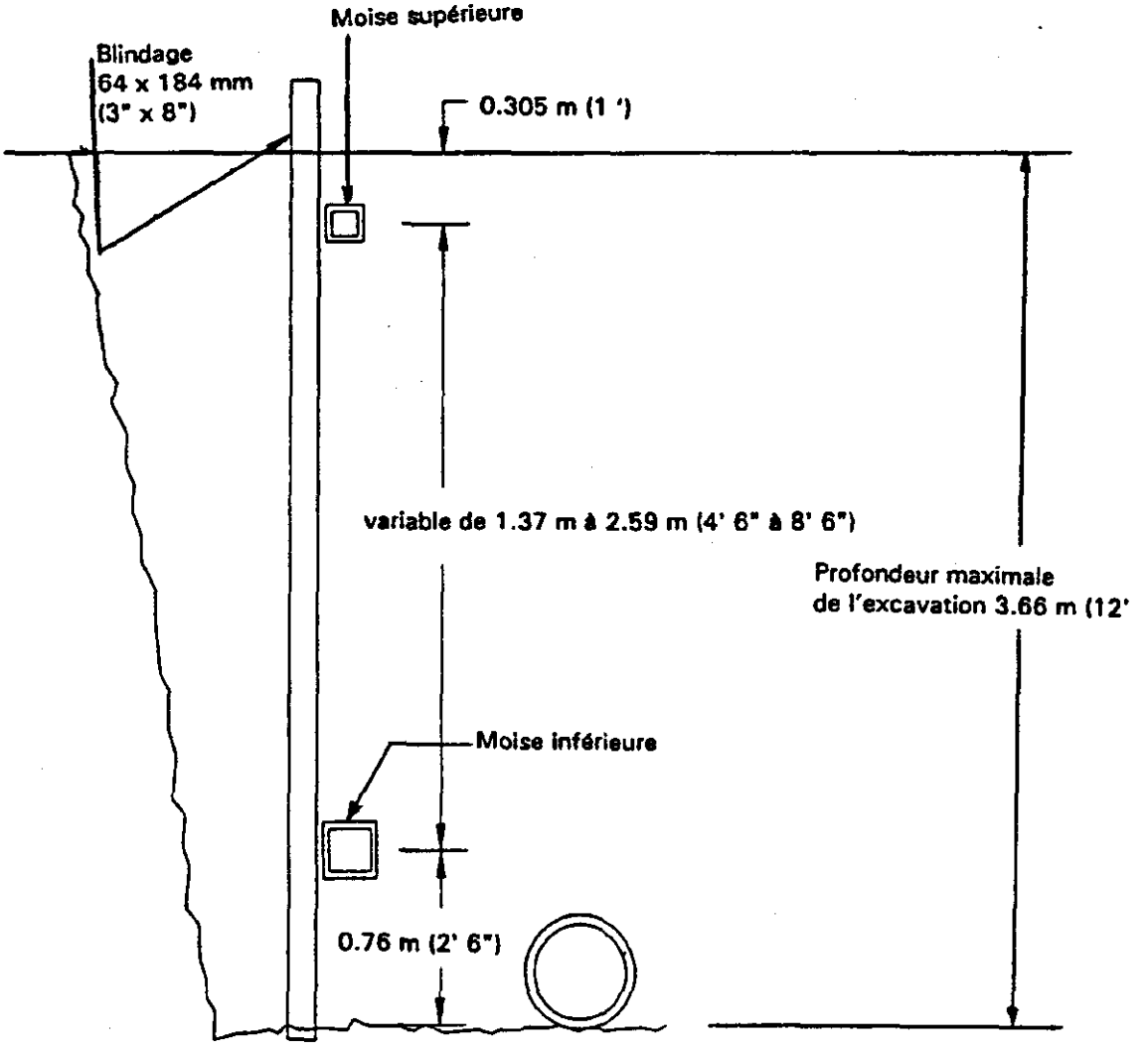


Figure 3 - Prototype VM2 retenu - Disposition des moises

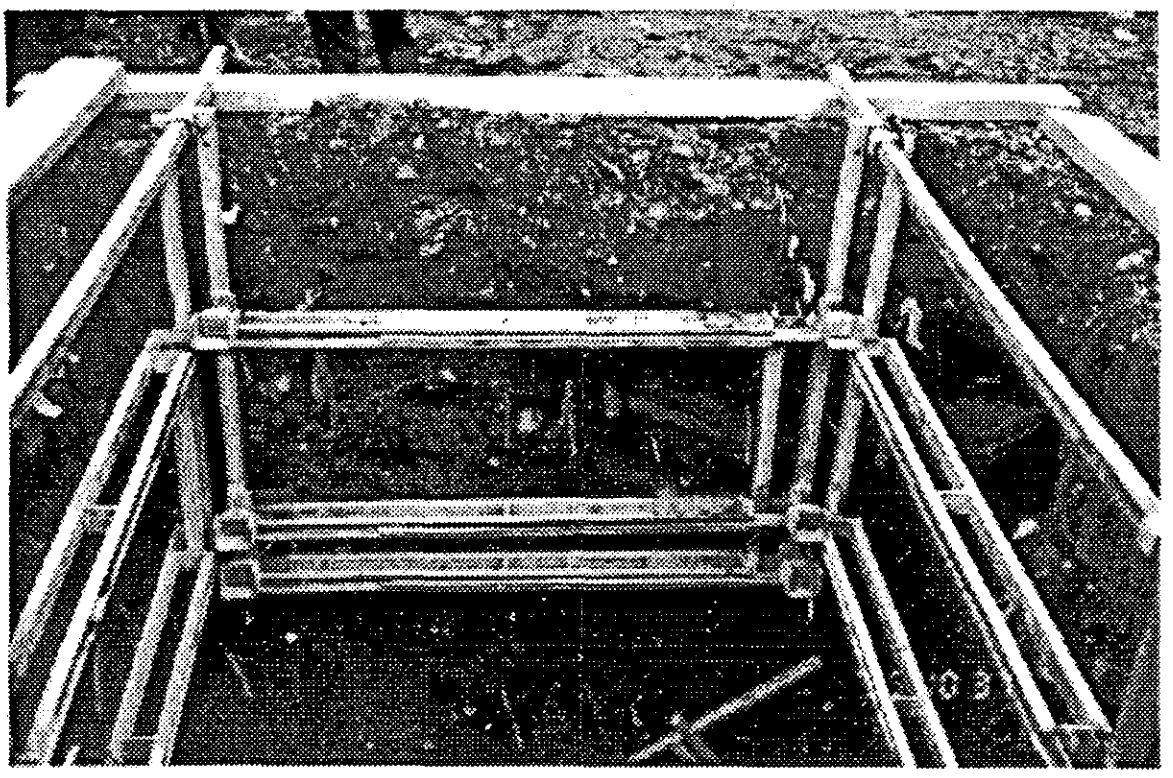


Photo 1 - Installation du prototype de la Ville de Montréal dans une excavation.

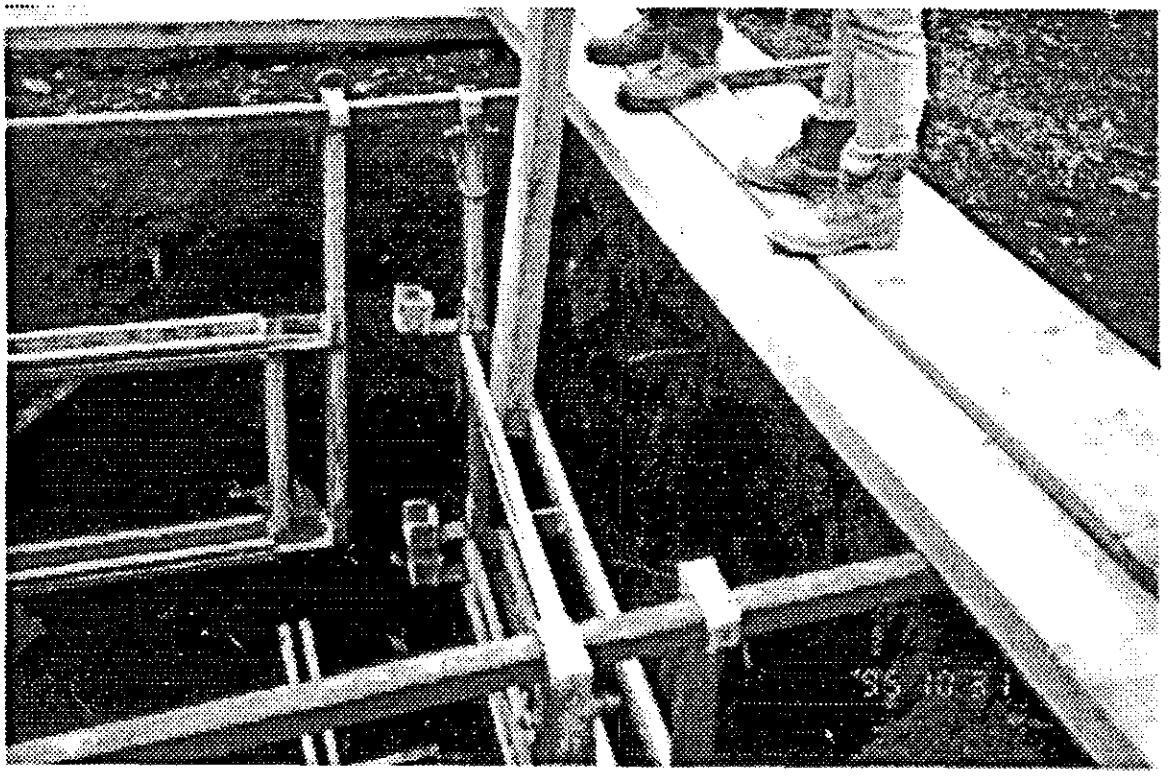


Photo 2 - Pose des madriers verticaux du haut de l'excavation.

7.5 Charges sollicitant les moises

Les moises du haut et du bas sont sollicitées au maximum lorsque le cadre est à sa pleine hauteur de 3,66 mètres. En se référant à la figure 1 pour le chargement et à la figure 3 pour la position des moises, le modèle de structure illustré à la figure 4 est obtenu.

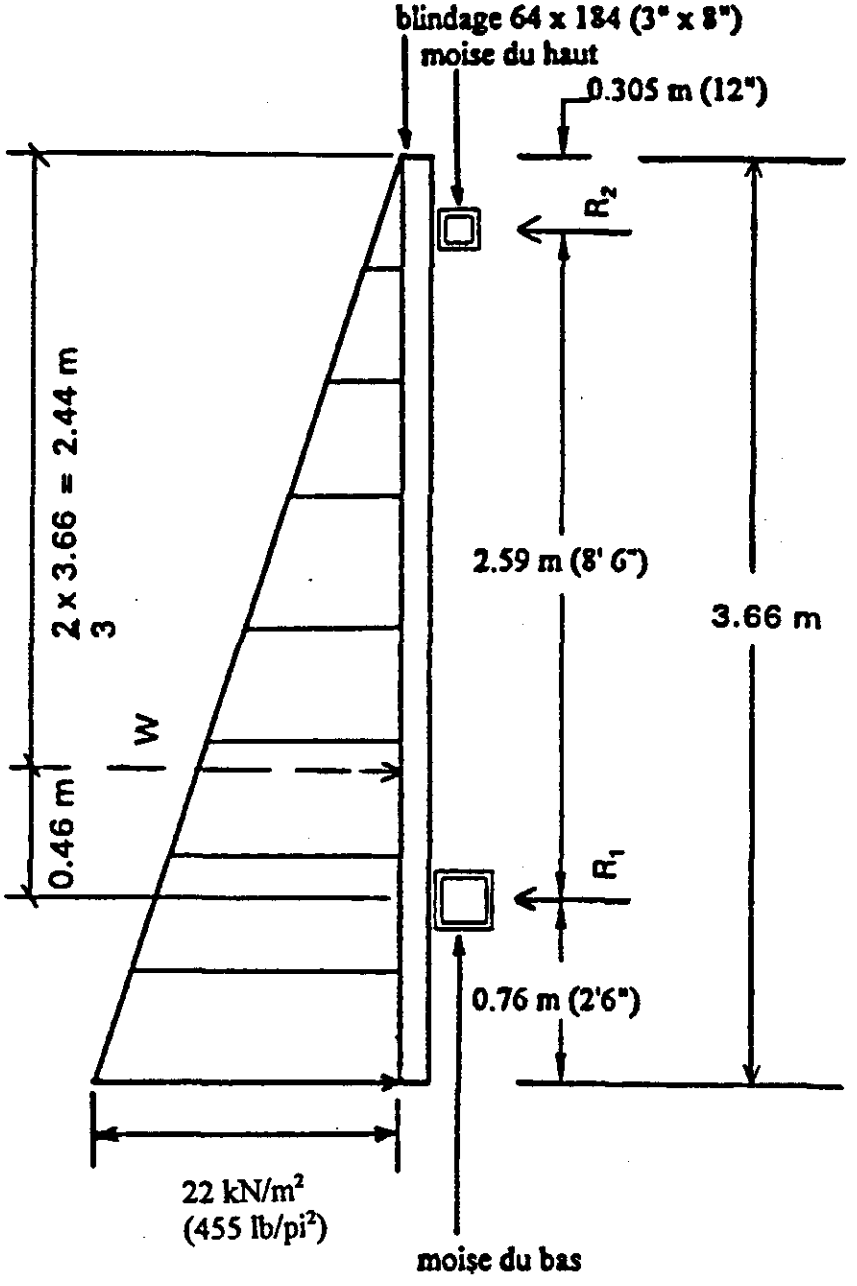


Figure 4 - Charges sollicitant les moises

W = poids total équivalent = $22 \frac{kN}{m^2} \times \frac{3{,}66\ m}{2} = 40{,}3 \frac{kN}{m}$

R_1 = charge agissant sur la moise du bas
R_2 = charge agissant sur la moise du haut

Les charges R_1, R_2 peuvent être calculées en faisant la somme des moments par rapport à la moise du bas.

$\sum M$ par rapport à la moise du bas = 0

$$R_2 \times 2{,}59 = W \times 0{,}46 = 40{,}3 \times 0{,}46$$

$$R_2 = \frac{40{,}3 \times 0{,}46}{2{,}59} = 7{,}2 \frac{kN}{m}$$

$$R_2 = W - R_1 = 40{,}3 - 7{,}2 = 33{,}1 \frac{kN}{m}$$

Par conséquent, les charges pondérées (facteur 1.5), uniformément réparties, agissant sur les moises sont les suivantes:

moise du bas, w_f = 1.5 x 33,1 = 49,7 kN/m
moise du haut, w_f = 1.5 x 7,2 = 10,8 kN/m

7.6 Moises du VM2

Les moises sont faites de poutres télescopiques. Au départ, afin d'alléger le système VM2, l'utilisation de l'aluminium était prévue. Dès les premières vérifications, il s'est avéré qu'avec les charges imposées sur les moises, il n'existait pas de profilés tubulaires standard en aluminium capables de résister à ces charges. L'ingénieur-conseil a donc opté pour des tubes en acier. La photo 3 illustre la moise télescopique du bas démontée et la moise du haut. La photo 4 illustre l'assemblage d'une moise du bas dans le cadre d'aluminium.

Photo 3 - Moises télescopiques du bas et du haut

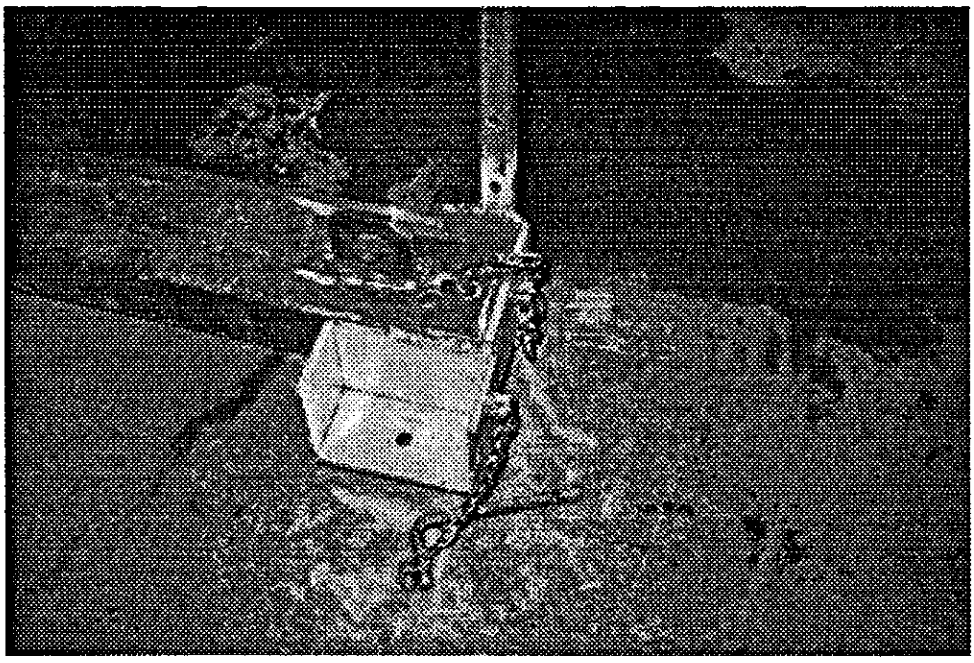


Photo 4 - Assemblage d'une moise du bas dans le cadre d'Aluminium

7.6.1 Modélisation des moises

D'une façon exagérée, sollicitée par une charge uniformément répartie de 49,7 kN/m, la poutre télescopique travaille ainsi :

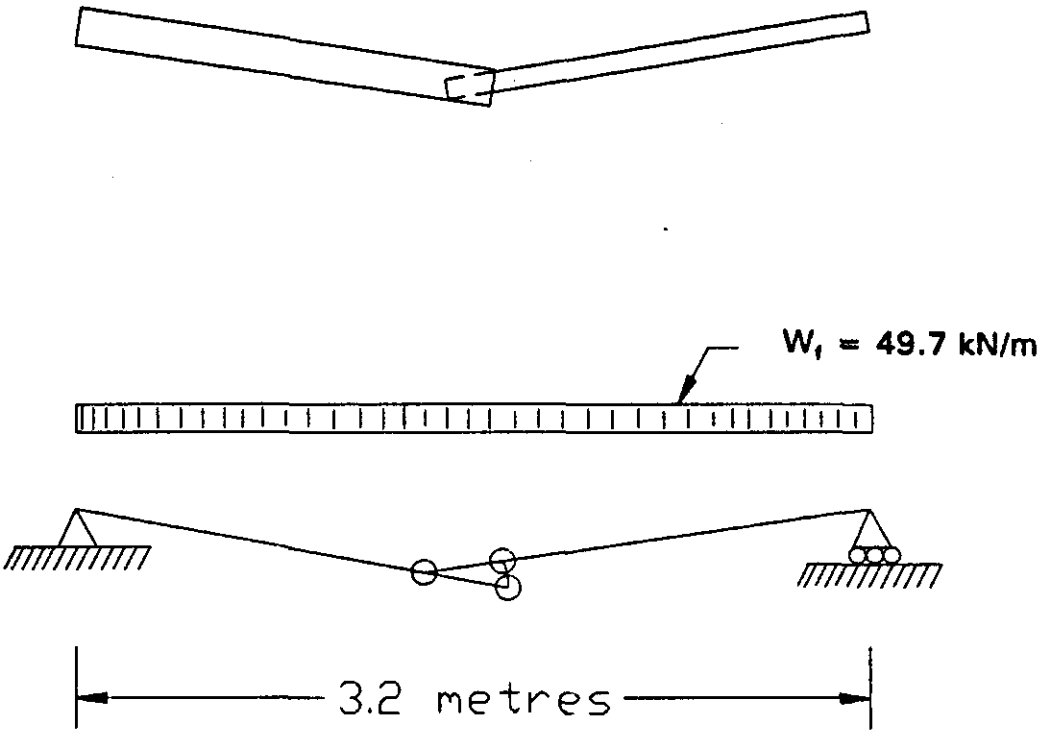


Figure 5 - Modèle de calcul de la moise

Le modèle de la figure 5 a été retenu pour analyser la moise du bas.

7.7 Calcul des sollicitations dans les moises

D'après le programme de calcul de l'ingénieur-conseil, avec une charge pondérée w_f = 49,7 kN/m agissant sur la moise du bas, les sollicitations pondérées agissant sur cette moise sont les suivantes :

Membrure gauche (partie femelle)

Moment fléchissant pondéré,	M_f	=	62 kN.m
Effort tranchant pondéré,	V_f	=	135 kN

Membrure droite (partie mâle)

Moment fléchissant pondéré,	M_f	=	60 kN.m
Effort tranchant pondéré,	V_f	=	142 kN

7.7.1 Choix de profilés pour la moise du bas

Après vérification avec la norme CAN/CSA-S16.1-M91 "Limit States Design of Steel Structures", avec w_f = 49,7 kN/m sollicitant la moise du bas, les membrures retenues pour cette moise sont les suivantes :

Membrure partie femelle — Profilé HSS 178 mm x 127 mm x 6,4 mm (7"x5"x0,25") en G40.21-M 350W, pesant 28,3 kg/m (19 li./pied linéaire).

Membrure partie mâle — Profilé HSS 152 mm x 102 mm x 4,8 mm (6"x4"x0,375") en G40.21-M 350W, pesant 33,3 kg/m (22 li./pied linéaire).

Par conséquent, le poids total de la moise du bas est égal à 110 kg (242 livres)

7.7.2 Choix de profilés pour la moise du haut

Après vérification avec la norme CAN/CSA-S16.1-M91 "Limit States Design of Steel Structures", avec w_f = 10,8 kN/m sollicitant sur la moise du haut, les membrures retenues pour cette moise sont les suivantes :

Membrure partie femelle — Profilé HSS 127 mm x 64 mm x 4,8 mm (5"x2½"x0,188") en G40.21-M 350W ; pèse 13,1 kg/m (8,8 lb/pi)

Membrure partie mâle — Profilé HSS 102 mm x 51 mm x 6,4 mm (4"x2"x0,25") en G40.21-M 350W ; pèse 13,1 kg/m (8,8 lb/pi)

Par conséquent, le poids total de la moise du haut est égal à 48,2 kg (106 livres)

8 ESSAI DU PROTOTYPE VM2

Après avoir fabriqué le premier prototype VM2, l'équipe de travail de cols bleus de la Ville de Montréal en a fait l'essai dans un entrepôt. Voici les principales observations :

- le VM2 peut se défaire en quatre panneaux, mais chacun de ceux-ci est lourd à manoeuvrer manuellement, chaque panneau pesant environ 173 kg (380 lb);

- la mise en place des membrures est difficile à réaliser;

- la friction dans les moises faites de poutres télescopiques rend difficile leur extension;

- la possibilité de transporter le cadre avec quatre faces déjà assemblées a été envisagée, mais l'ensemble est trop grand pour entrer dans la boîte du camion de la Ville de Montréal.

L'essai en entrepôt du VM2 n'ayant pas été réussi, l'essai in situ, prévu pour vérifier la fonctionnalité et la maniabilité du système lors de sa mise en place dans l'excavation, était devenu caduc. Cet essai in situ a donc été reporté. Des modifications au prototype étaient nécessaires pour rendre les composantes plus légères et plus faciles à manier avant que la fabrication en série du système d'étançonnement ne puisse débuter. D'autre part, il a été décidé de vérifier la résistance des moises par un essai en laboratoire, étant donné que ces composantes sont les plus fortement sollicitées.

9 MODIFICATIONS APPORTÉES AU PROTOTYPE VM2 - NOUVEAU SYSTÈME D'ÉTANÇONNEMENT

Suite à l'essai du prototype VM2 en entrepôt, et en réalisant que les dimensions horizontales de 3,05 m x 3,05 m (10' x 10') par 3,7 m (12') de profondeur étaient rarement nécessaires, un nouveau cadre de 2,44 m x 2,44 m (8' x 8') par 3,7 m (12') de profond a été étudié. Les nouvelles hypothèses pour la pression des terres du paragraphe 7.2.2 ont été retenues. Le chargement, après rupture du sol, illustré à la figure 2, est donc utilisé. De plus, sous le chargement des sols, il a été convenu que les moises pouvaient atteindre leur limite élastique.

La charge pour le calcul des moises n'a pas été pondérée par 1,5 comme le stipule la norme CAN/CSA-S16.1-M89 "Limit States Design of Steel Structures", puisqu'il est accepté que les poutres puissent entrer en phase plastique.

Sous le chargement de la figure 2, en suivant la même démarche explicitée au paragraphe 7.5, la sollicitation sur la moise du bas est 25 kN/m. Dès lors, avec une charge de service uniformément répartie de w = 25 kN/m, le moment fléchissant sollicitant la moise du bas, est maintenant égal à :

$$M_f = \frac{25 \times 2{,}6^2}{8} = 21{,}1 \ kN.m$$

Avec la moise du haut sollicitée par une charge de service w = 4 kN/m, le moment fléchissant sollicitant cette moise est maintenant égal à :

$$M_f = \frac{4 \times 2{,}6^2}{8} = 3{,}5 \ kN.m$$

Après vérification avec la norme CAN/CSA-S16.1-M91 "Limit States Design of Steel Structures", les membrures retenues pour les moises sont les suivantes :

Moise du bas :

Membrure partie femelle	Profilé HSS 127 mm x 127 mm x 4,8 mm (5"x5"x0,188") en G40.21-M 350W, pesant 17,9 kg/m (11,8 li./pi.)
Membrure partie mâle	Profilé HSS 102 mm x 102 mm x 6,4 mm (4"x4"x0,25") en G40.21-M 350W, pesant 18,2 kg/m (12 li./pi.).

Par conséquent, le poids total de la moise du bas est égal à 56,4 kg (124 livres)

Moise du haut :

Membrure partie femelle	Profilé HSS 102 mm x 76 mm x 4,8 mm (4"x3"x0,188") en G40.21-M 350W, pesant 12,2 kg/m (8,1 li./pi.)
Membrure partie mâle	Profilé HSS 89 mm x 64 mm x 3,8 mm (3½"x2½"x0,15") en G40.21-M 350W, pesant 13,1 kg/m (8,8 li./pi.)

Par conséquent, le poids total de la moise du bas est égal à 22,3 kg (49 livres). Le tableau I résume le choix de profilés pour le système VM2.

TABLEAU I - CHOIX DE PROFILÉS POUR LE SYSTÈME VM2

Prototype VM2 conçu avec la poussée des terres de la figure 1										
Moises	w_f, kN/m	M. Fléchissant M_f, kN.m		Effort Tranchant V_f, kN		Membrures - HSS acier mm (")		Poids kg/m (lb/pi.)		Poids total moise
		femelle	mâle	femelle	mâle	femelle	mâle	femelle	mâle	kg (lb)
Bas	49,7	62	60	135	142	178x127x6,4 (7"x5"x¼")	152x102x4,8 (6"x4"x⅜")	28,3kg/m (19 li/pi)	33,3kg/m (22 li/pi)	110 kg (242 li.)
Haut	10,8	-	-	-	-	127x64x4,8 (5"x2,5"x0,19")	102x51x6,4 (4"x2"x¼")	13,1kg/m (8,8 li/pi)	13,1kg/m (8,8 li/pi)	48,2 kg (106 li.)

Prototype VM2:
- contient 4 panneaux, chaque panneau étant fait d'un cadre d'aluminium et de 2 moises (bas et haut)
- chaque panneau pèse 172,7 kg (380 lb)

Système VM2 conçu avec la poussée des terres réduite après la rupture du sol de la figure 2										
Moises	w_f, kN/m	M. Fléchissant M_f, kN.m		Effort Tranchant V_f, kN		Membrures - HSS acier mm (")		Poids kg/m (lb/pi.)		Poids total moise
		femelle	mâle	femelle	mâle	femelle	mâle	femelle	mâle	kg (lb)
Bas	25	21,1	≈ 21,1	-	-	127x127x4,8 (5"x5"x0,19")	102x102x6,4 (4"x4"x¼")	17,9kg/m (11,8li/pi)	18,2kg/m (12 li/pi)	56,4 kg (124 li.)
Haut	4	3,5	≈ 3,5	-	-	102x76x4,8 (4"x3"x0,19")	89x64x3,8 (3½"x2½"x0,15)	12,2kg/m (8,1li/pi.)	13,1kg/m (8,8 li/pi)	22,3 kg (49 li.)

Système VM2:
- contient 4 panneaux, chaque panneau étant fait d'un cadre d'aluminium et de 2 moises (bas et haut)
- chaque panneau pèse 94 kg (205 lb vs 380 lb)

9.1 Essais des moises

Les poutres constituant la moise du bas ont subi des essais de chargement à la flexion au Laboratoire de la Ville de Montréal le 14 décembre 1995. Les photos 5 et 6 illustrent ces essais. Les résultats d'essais de chargement sont colligés à l'annexe 2.

Pour simuler la flexion composée, deux charges verticales égales ont été appliquées au tiers et au deux-tiers de la portée de la membrure, avec une charge axiale appliquée aux extrémités de la moise parce que dans le système d'étançonnement, les moises sont appuyées à leurs extrémités sur les autres moises perpendiculaires. Comme charges d'essais, 1,5 fois le moment fléchissant et 1,5 fois la compression, calculés au paragraphe 9, ont été appliquées sur la membrure. Les résultats d'essais montrent que la membrure a bien résisté; aucun bris ou abandon de la charge n'a été observé.

Ainsi, le poids de chaque panneau a été passablement réduit. De plus, la nouvelle dimension du cadre permet le transport de celui-ci, tout assemblé, dans la boîte du camion normalement utilisé à la Ville de Montréal.

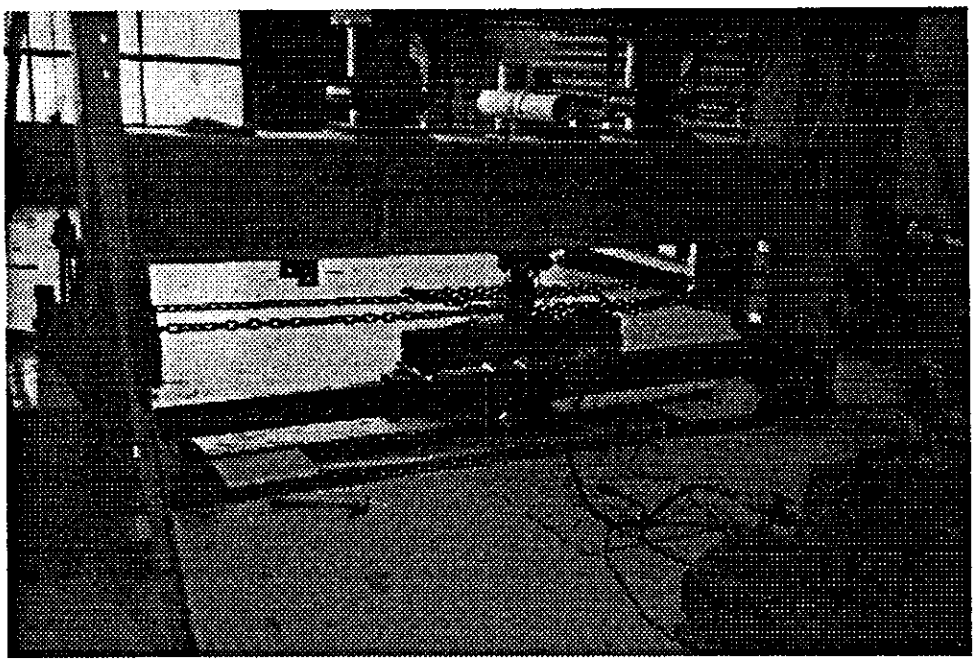


Photo 5 - Banc d'essai du Laboratoire de la Ville de Montréal

Photo 6 - Mise en charge de la moise du bas

9.2 Friction dans les poutres télescopiques

Lors du déploiement de poutres télescopiques en laboratoire, la friction empêchait la partie mâle de coulisser aisément dans la partie femelle. Sur les chantiers, ce problème se trouvera amplifié avec le gel, les poussières, la saleté, la boue et le sable. Pour résoudre le problème de friction lors de l'extension des moises télescopiques, des roues ont été ajoutées aux extrémités de la partie mâle qui pénètre dans la partie femelle et sur le dessus de la partie femelle. La figure 6 illustre la disposition des roues.

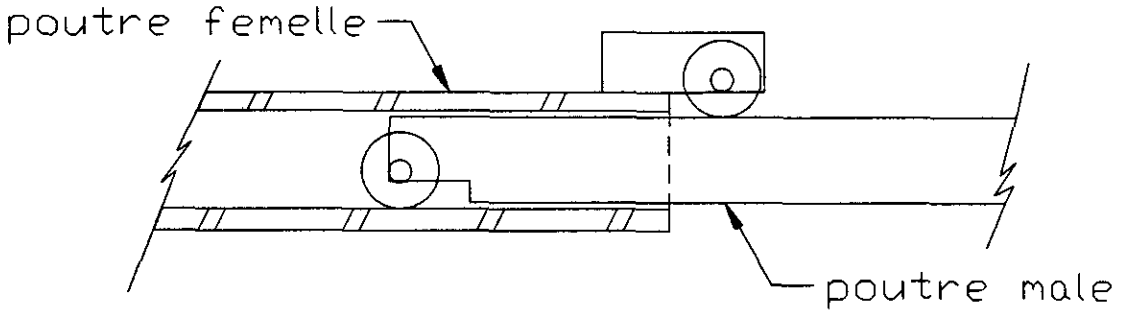


Figure 6 - Installation des roues pour résoudre la friction dans les moises

9.3 Cadre

Le cadre qui supporte les moises et auquel sont fixées les glissières dans lesquelles glisse le blindage en bois 64 mm x 184 mm (3" x 8") a été conçu et construit en aluminium. La photo 7 illustre les cadres fermés et la photo 8 illustre un cadre déployé.

L'aluminium utilisé est de grade 6061 T6 (pour les plaques) et de grade 6063 T5 (pour les tubes). L'épaisseur des plaques et des tubes a été calculée selon les caractéristiques de ces alliages. Le tableau II illustre les caractéristiques de ces alliages.

Tableau II - Caractéristiques des alliages d'Aluminium

Grade d'aluminium	F_y (MPa) (traction-flexion)	F_c (MPa) (compression)	F_v (MPa) (cisaillement)
6061 T6	240	240	145
6063 T5	110	110	65

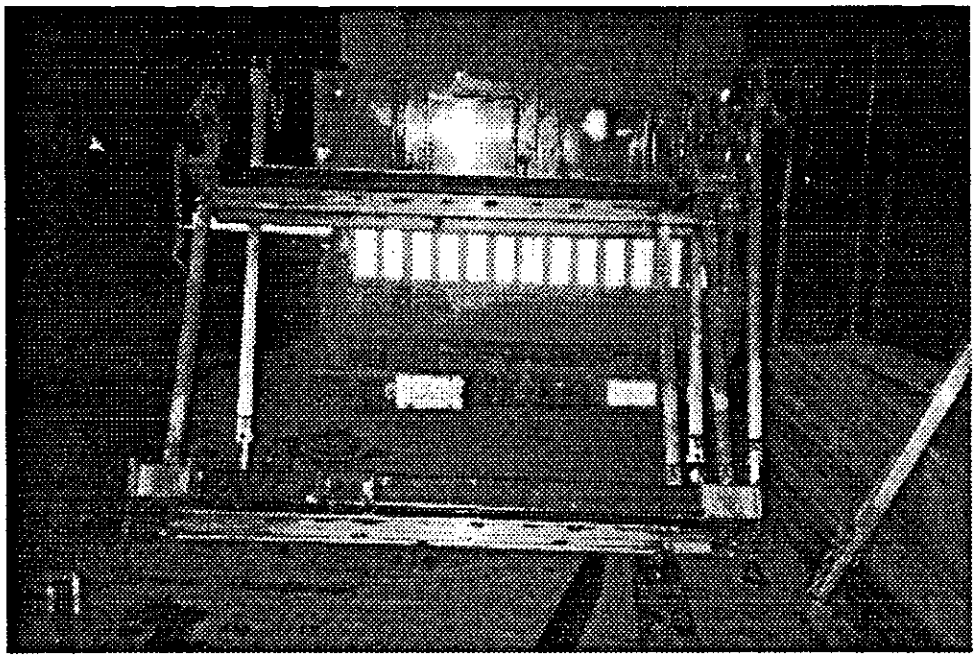


Photo 7 - Cadres d'Aluminium

Photo 8 - Cadre déployé

9.4 Blindage

L'analyse structurale a montré que le blindage pourrait être fait avec des madriers 38 mm x 184 (2" x 8") non-planés jusqu'à trois mètres de profondeur seulement, mais puisque la Ville a déjà des madriers de 64 mm x 184 mm (3"x 8") et pour tenir compte du fait que ces pièces sont souvent manipulées et souvent brisées, il est alors souhaitable de continuer à utiliser les madriers 64 mm x 184 mm (3" x 8").

Éventuellement, ce blindage de madriers 64 x 184 en épinette, pourrait être remplacé par des feuilles de pontage métallique ayant des nervures de 76,2 mm (3") de profondeur et dont l'épaisseur de la tôle serait de calibre 16 (0.0455") comme illustré à la figure 7. Les feuilles métalliques sont plus durables et ne sont pas sujettes au gauchissement comme les madriers en bois. De plus, ces feuilles métalliques prendraient moins de place pour le transport et faciliteraient le montage du VM2 sur le chantier.

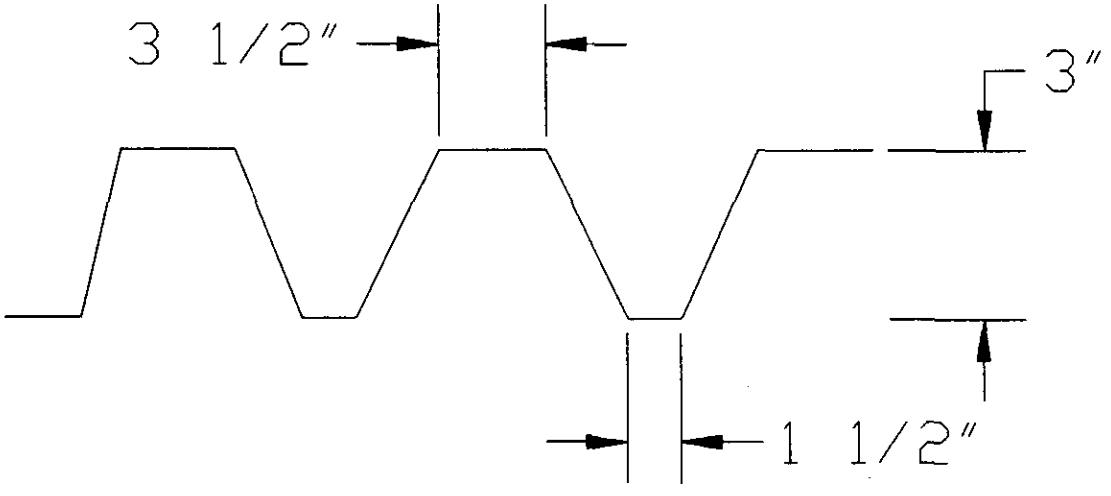


Figure 7 - Pontage métallique

10 PROCÉDURE D'INSTALLATION DU VM2

La procédure d'installation du VM2 sur les chantiers est colligée à l'annexe 4. Lors d'une excavation au centre ville, deux cas peuvent se présenter, entre autres :

1er cas : lorsqu'il n'y a pas d'obstacle à mi-profondeur ;
2e cas : lorsqu'il y a un obstacle à mi-profondeur.

Cette procédure d'installation du VM2 a été recommandée par le consultant et révisée par la Ville de Montréal pour prendre en compte certaines particularités inhérentes aux travaux de la Ville de Montréal.

11 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

La phase 1 de cette étude a permis de concevoir et de valider un prototype d'étançonnement adapté aux travaux d'excavation de la Ville de Montréal. Le système VM2 permet d'étançonner une excavation de 2,44 m x 2,44 m (8' x 8') par 3,7 m (12') de profondeur. La Ville de Montréal comptait acheter neuf systèmes d'étançonnement VM2 de la compagnie Solstice pour équiper les neuf secteurs impliqués dans les travaux d'excavation, mais compte tenu de l'utilisation peu fréquente, cinq systèmes VM2 sont suffisants pour leur besoin.

Présentement la Ville de Montréal est à entreprendre avec la collaboration de l'APSAM notamment, la production de cinq vidéos sur l'utilisation d'équipements sécuritaires dans les travaux de tranchée, entre autres, les caissons d'étançonnement. Ces documents seront diffusés auprès des employés de la Ville pour leur rappeler les différentes consignes de sécurité et pour les familiariser avec les techniques d'utilisation du VM2.

Les hypothèses de base retenues lors de l'analyse structurale sont celles spécifiques aux conditions de sols présents sur le territoire de la Ville de Montréal. Avant que le système VM2 puisse être utilisé dans plusieurs autres municipalités du Québec, il doit être préalablement validé pour les différents types de sols rencontrés dans ces municipalités. Dès lors, afin de généraliser l'utilisation VM2 sur plusieurs municipalités du Québec, il est recommandé de poursuivre la phase 2 de l'étude, afin de valider mécaniquement le système d'étançonnement jusqu'à la rupture, avec le sol environnant instrumenté.

Le blindage sera instrumenté avec des jauges de déformation et des capteurs de force seront disposés aux endroits critiques dans le sol. Cet essai instrumenté permettra entre autres :

- de vérifier les hypothèses de calcul retenues lors de l'analyse structurale du VM2 et le cas échéant, de développer une méthode de calcul fiable;

- de confirmer les résultats des essais au laboratoire; et

- d'assurer une plus grande validité aux résultats pour faciliter l'utilisation du nouveau système d'étançonnement.

Puisque la solution proposée émane d'un intervenant du milieu municipal, elle a l'avantage de satisfaire plusieurs des contraintes rencontrées lors des excavations en milieux urbains. Par conséquent, ce système d'étançonnement possède un potentiel élevé de succès. Validé par une analyse structurale et par un essai instrumenté à la rupture, ce système pourrait être utilisé dans plusieurs municipalités du Québec. Ces municipalités pourront dès lors, disposer d'un système d'étançonnement sécuritaire pour protéger efficacement les travailleurs qui oeuvrent dans les travaux d'excavation.

12 REMERCIEMENTS

Nous remercions le personnel du Service des travaux publics et du Laboratoire de la Ville de Montréal pour leur excellente collaboration dans la mise au point et de l'expérimentation de ce système d'étançonnement.

Soulignons, entre autres, la contribution de monsieur Robert de Repentigny, contremaître, qui a déjà eu un accident en 1976 alors qu'il était employé col-bleu. Il est responsable de l'idée orignale utilisée dans la fabrication du prototype.

RÉFÉRENCES

1. Bouchard, P., « Tableau synthèse des accidents reliés à l'effondrement de parois d'excavation et enquêtés par les services d'inspection ». CSST. Document interne.

2. Stanevick, R.L., Middleton, D.C., « An explanatory analysis of excavation cave-in fatalities ». Professional Safety. février 1988, p. 24-28.

3. Lafleur, J., « Safety code for workers in excavations upgraded in Quebec ». Geotechnical News. décembre 1986, p. 38-39.

4. Lafleur, J., Silvestry, V., Asselin, R. et Soulié, M., « Short-term behaviour of a test excavation in soft Champlain Sea Clay ». Can. Geotech. J., vol. 25, p. 705-715 (1988).

5 Projet de recherche conjointe IRSST / Ville de Montréal. Énoncé du projet « Conception d'un étançonnement adapté aux excavations en milieu urbain ».

6 Tremblay, M., «Développement d'un nouveau système de blindage pour les tranchées de faible profondeur», APSAM, Colloque sur la sécurité dans les tranchées et les excavations, septembre 1994.

7 Dugré, J.-M., « Conception d'un étançonnement adapté au milieu urbain, Validation structurale ».

ANNEXES

ANNEXE 1 CALCUL DE LA POUSSÉE DES TERRES SUR L'ÉTANÇONNEMENT PAR MARTIN TREMBLAY, ing.

ANNEXE 2 ESSAIS DE CHARGEMENT D'UNE MOISE AU LABORATOIRE DE LA VILLE DE MONTRÉAL

ANNEXE 3 PLAN DU VM2

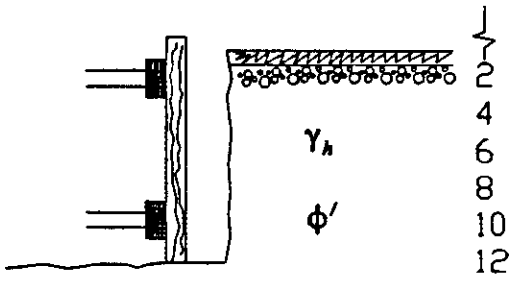
ANNEXE 4 DESSINS DES PROCÉDURES D'INSTALLATION DE VM2

ANNEXE 1

CALCUL DE LA POUSSÉE DES TERRES SUR L'ÉTANÇONNEMENT
PAR MARTIN TREMBLAY, ing.

ANALYSE DES DIAGRAMMES DE POUSSÉE HORIZONTALE POUR UNE PROFONDEUR DE 3.7 m (12 pieds)

1. Poussée de Coulomb sans cohésion - cas 1)



$$P_a = \frac{\gamma H^2}{2} K_a = \frac{\gamma H^2}{2} \frac{(1 - \sin\phi)}{(1 + \sin\phi)}$$

Poids volumiques typiques

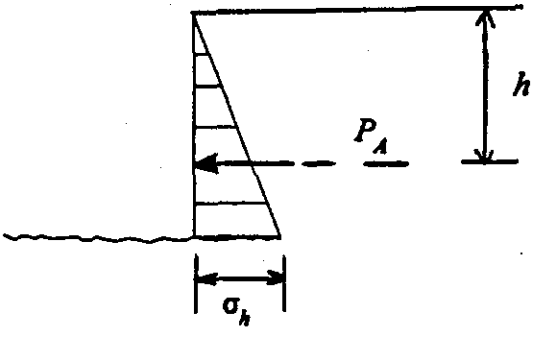
- Sable lâche $\gamma_h \approx$ 90 - 100 lb/pi^3
- Sable et silt saturé, compact $\gamma_h \approx$ 110 - 120 lb/pi^3
- Argile $\gamma_h \approx$ 95 lb/pi3 (w = 80 %)
  $\approx$ 105 lb/pi^3 (w = 55 %)

On prend γ_{humide} = 115 lb/pi^3 (18 kN/m^3)

Valeurs de K_a (Bowles p141, 4e édition)

Description	Compacité / ϕ'		
Sol "non cohésif"	Très lâche	Lâche	Moyenne
Sol fin	26-28	28-30	30-34
Sol moyen	27-28	30-32	32-36
Sol grossier	28-30	30-34	33-40

ϕ'°	K_a
28	0.36
30	0.33
32	0.31
34	0.28



Pour le cas (1), prenons $\phi' = 30°$

P_a = 115 x ½ x 12^2 x 0,33 = 2732 #/pi (40 kN/m)

σ_h = 115 x 12 x 0,33 = 455 #/pi^2 (21,8 kPa)

h = 8' (2,44 m)

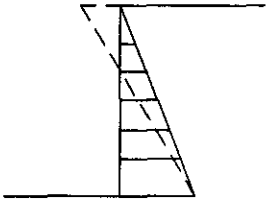
2. Commentaires sur le cas 1)

Cette distribution des pressions est sécuritaire pour les conditions d'excavation (sol drainé) et la nature des sols (sols légèrement cohésifs, sols granulaires le plus souvent grossiers) anticipés sur le territoire de la Ville. Toutefois, elle ne correspond sans doute pas à la réalité; la contrainte horizontale σ_h serait en réalité moins élevée à la base et la distribution plus uniforme en fonction de la profondeur.

3. Réduction de la poussée due à la cohésion

Il y aura toujours une cohésion minimale dans le sol sur lequel on ne peut compter qu'à court terme (ce qui est le cas), les seules exceptions seront les "sables" lâches ou très lâches, saturés; ces sols peuvent être rencontrés localement dans l'est du territoire, mais pas sur la pleine hauteur de l'excavation. Une façon de tenir compte de l'effet stabilisateur de la cohésion est de décaler le diagramme de pression (Bowles p487):

$$\sigma_h = \gamma z K_a - 2c\sqrt{K_a}$$

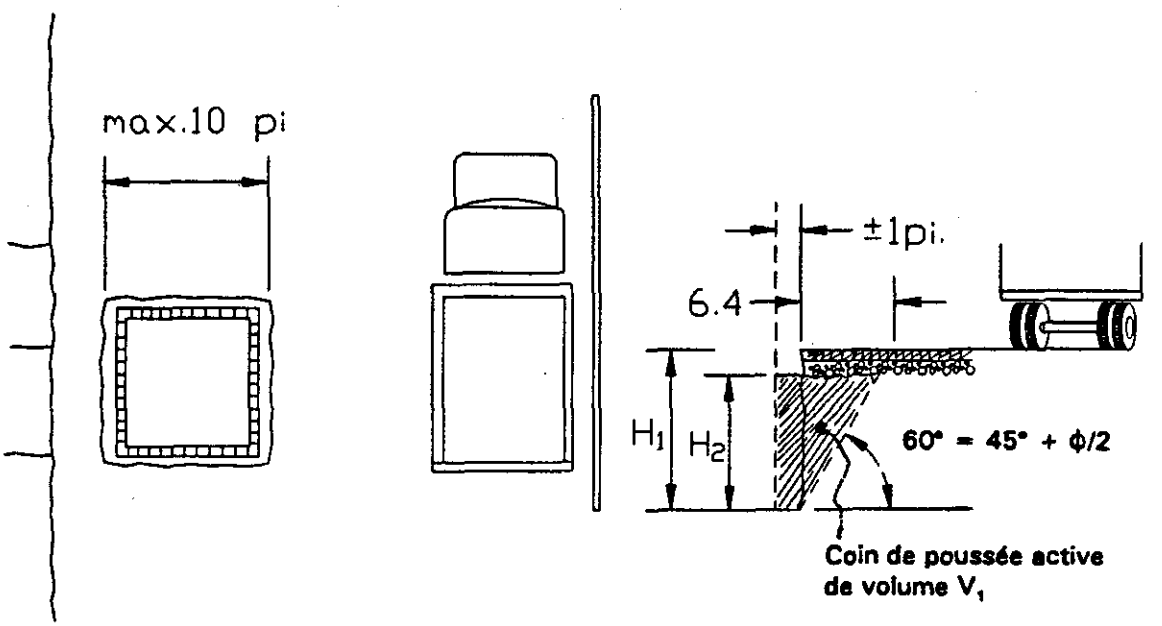


Pour c = 5 à 10 kPa
≈ 7 kPa (145 #/pi^2)
σ_h = 335 - 215 #/pi^2

La réduction est de l'ordre de 25 %.

4. Mécanisme de rupture

Lorsqu'il y a affaissement d'une paroi, l'espace libre entre le blindage et la paroi de l'excavation a pour effet de diminuer la poussée du sol. À l'instant où le sol vient en contact avec le blindage, sa résistance est déjà complètement mobilisée (c'est l'état de poussée active). De plus, l'expérience montre que la hauteur de sol réellement en contact avec le blindage sera moindre que la profondeur maximale de l'excavation, soit 12 pieds.



PLAN **COUPE**

Le volume maximum de sol déplacé correspond au coin de poussée active :

$$V_1 = H_1^2 \frac{(tg30^o)}{2}$$

Pour H_1 = 12 pi., V_1 = 41,6 pi^3.
Après rupture, le volume du sol déplacé s'exprime :

$$V_2 = H_2 \times 1 + \frac{H_2^2 (tg30^o)}{2} = V_1$$

En résolvant l'équation, on obtient la hauteur réelle de sol exerçant une poussée sur le blindage :
H_2 ≈ 10,5 pi.

En pratique, on peut retenir l'hypothèse que la hauteur du sol qui exercera une poussée sur le blindage n'excédera pas 11 pieds pour une excavation de 12 pieds de profondeur. La poussée maximale du sol au bas du blindage et de la résultante de la poussée seront réduites en proportion. Comparativement au cas 1), ces réductions sont les suivantes :

σ_h = 417 lb/pi^2, soit une réduction de 9 %
P_a = 2296 lb/pi, soit une réduction de 16 %

5. Réduction de la poussée due à l'effet de confinement

D'autre part, les poussées du sol estimées résultent d'une analyse bidimensionnelle du problème. En réalité, le fait que les dimensions en plan des excavations n'excéderont jamais 10 pieds de longueur par 10 pieds de largeur, contribuera à réduire la poussée des sols sur le blindage, en comparaison avec une paroi d'excavation qui serait beaucoup plus longue que profonde. Cette réduction qui résulte d'un effet de confinement est non négligeable. D'une façon sécuritaire, on peut l'estimer à environ 10 à 15% pour des excavations ayant ces dimensions.

6. Conclusion

- Bien qu'il y aura toujours à court terme, et pour une excavation relativement peu profonde, une réduction de la poussée réelle des terres due à la cohésion du sol, on ne peut pas compter dans tous les cas sur une réduction de l'ordre de 25 % tel qu'estimé.

- Il est certain que l'excavation sera toujours plus large que l'étançonnement. Il est par conséquent raisonnable que pour une excavation d'une profondeur maximale de 12 pieds (3,7 m), la hauteur maximale du sol qui exerce une poussée sur la paroi soit de 11 pieds (3,35 m).

- De plus, considérant les effets stabilisateurs dus au confinement et à la cohésion, il est réaliste de supposer que la poussée maximale au bas de l'excavation sera diminuée d'au moins 15% comparativement à la poussée de Coulomb calculée pour le cas 1).

Martin Tremblay, ing., M.Sc.A.
Laboratoire de la Ville de Montréal

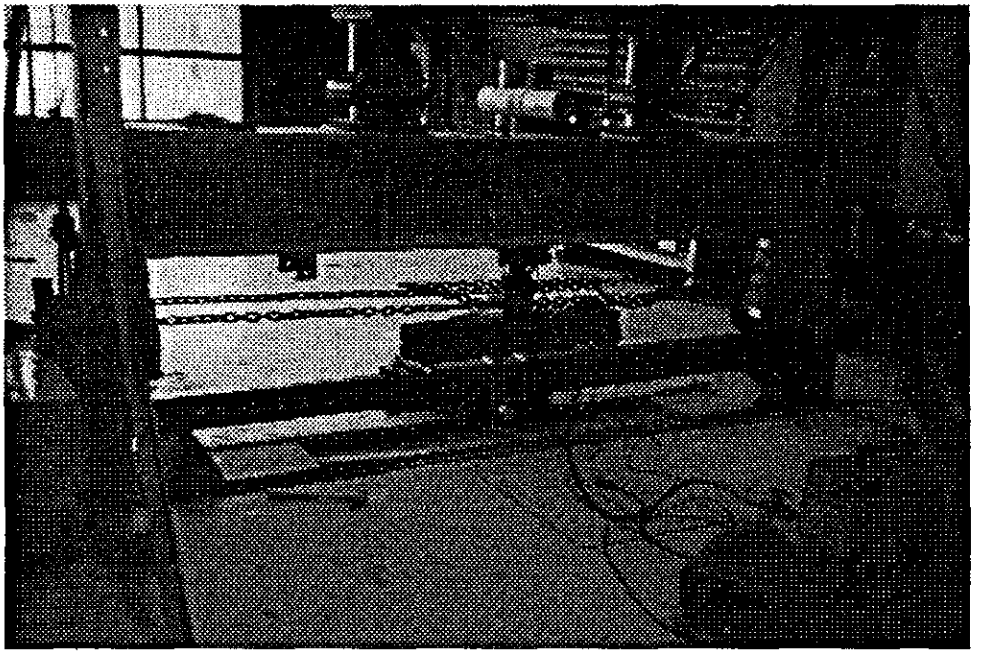
ANNEXE 2

ESSAIS DE CHARGEMENT D'UNE MOISE AU LABORATOIRE DE LA VILLE DE MONTRÉAL

14 décembre 1995

Essais sur les moises du bas du prototype VM2

Les essais de résistance à la flexion sur les moises du bas du prototype VM2 ont été réalisés le 14 décembre 1995 au laboratoire de la Ville de Montréal. Deux charges égales sont appliquées à un tiers et à deux tiers de la portée de la moise. La photo 1 illustre une vue d'ensemble du banc d'essai.



La figure 1 illustre la modélisation des essais de chargement à la flexion des moises du bas du prototype VM2

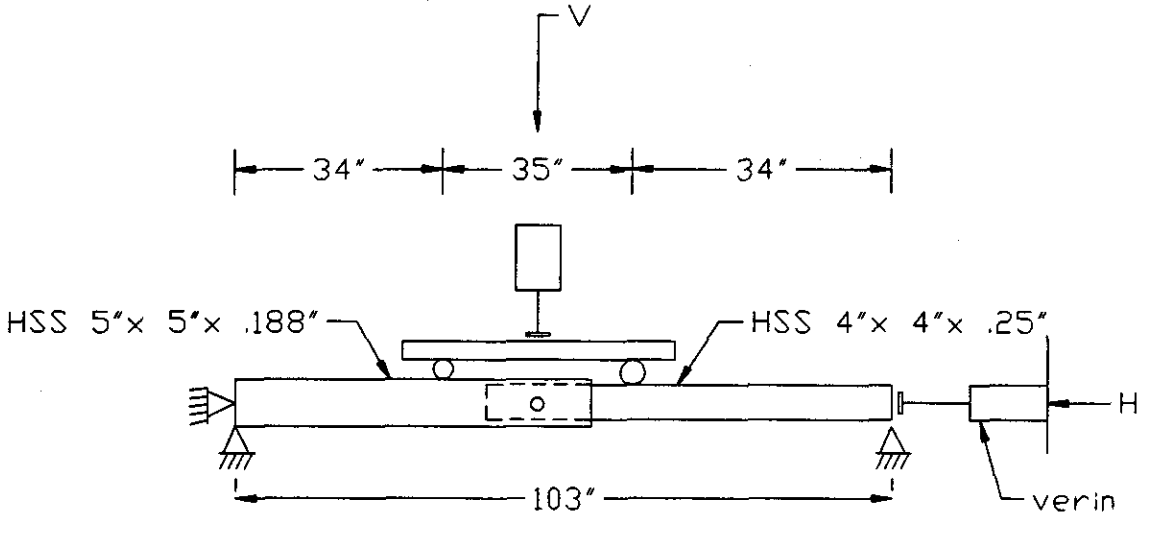


Figure 1 - Chargement à la flexion de la moise du bas.

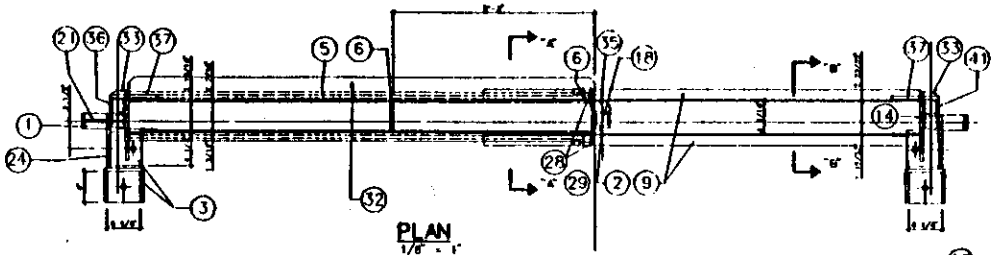
Résultats des essais

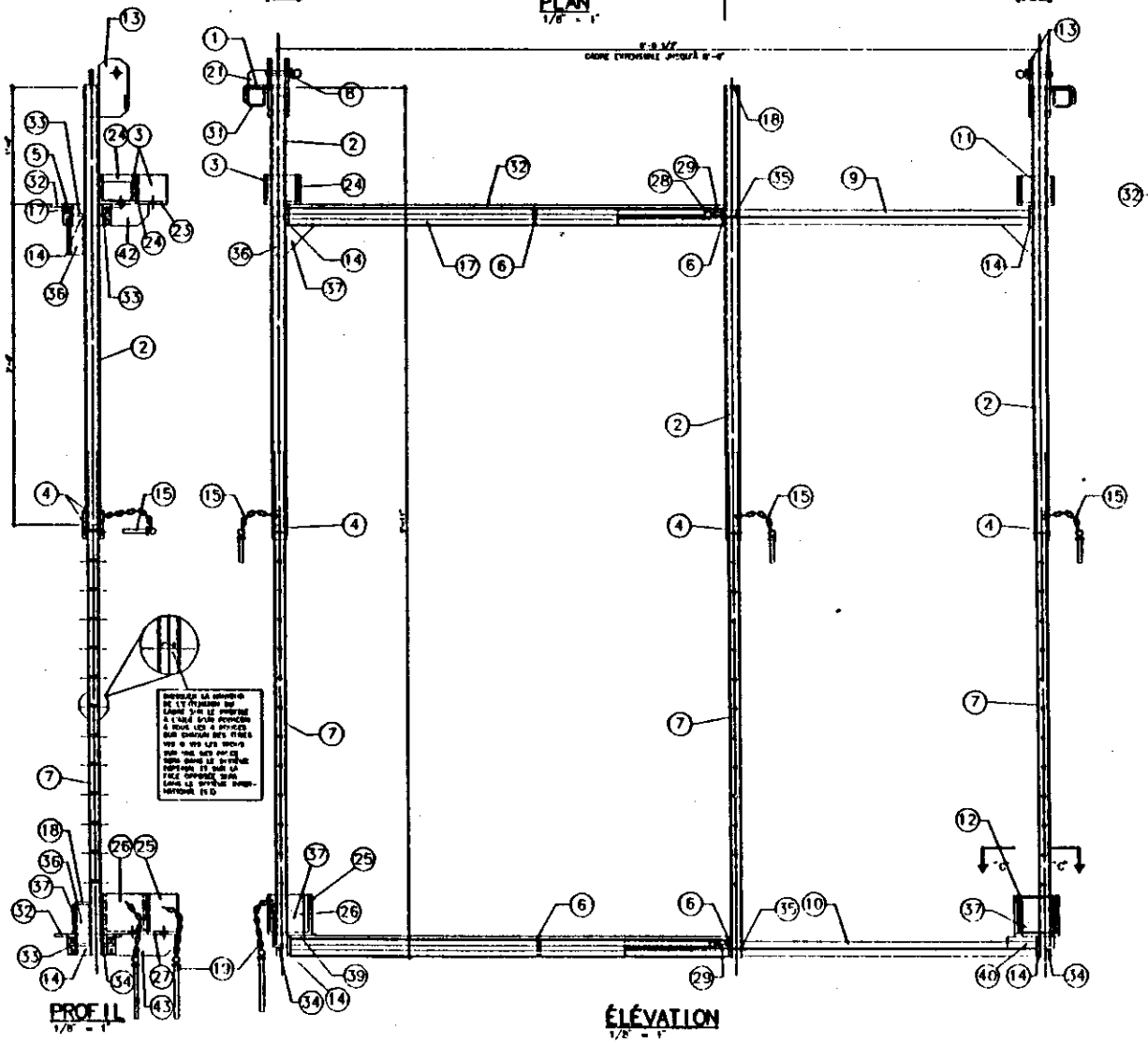
Chargement 1	V = 10 000#, H = 0 (chargement pour laisser se placer les membrures)
Chargement 2	V = de 10 Kips à 18 Kips, H = 0
Chargement 3	retour à V = de 10 Kips, ($\Delta_{\text{résiduel}}$ = 6.3 mm)
Chargement 4	V = de 10 Kips à 18 Kips, H = de 0 à 10 Kips (on retourne au point que 2)
Chargement 5	retour à V = 10 Kips, et H = 10 Kips
Chargement 6	V = de 10 Kips à 23.5 Kips, et H = de 10 à 14 Kips On a alors M = 1,5 $M_{\text{de service}}$ et H = 1.5 $H_{\text{de service}}$; il y a une phase de plastification, mais seulement causée par le boulon qui relie les deux tubes.
Chargement 7	V = de 10 Kips à 23.5 Kips, H = 0
Chargement 8	on refait V = de 10 Kips à 23.5 Kips H = 0

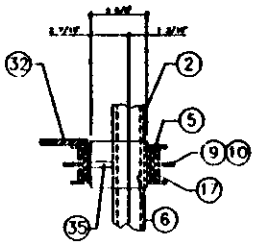
ANNEXE 3

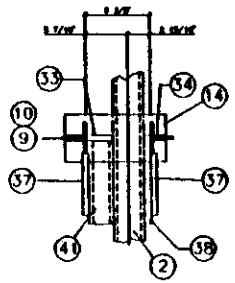
PLANS DU VM2

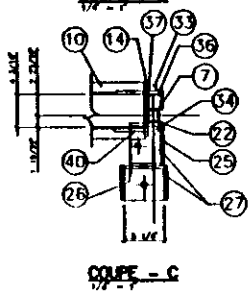
PLAN VM2











ITEM	QTE	LISTE DE MATÉRIEL	MATL
1	1	PLAQUE SUPÉRIEUR PL 3/4" x 3" x 1'-4"	ACIER
2	2	TUBE 3" x 3" x 3/16" x 10'-0"	ACIER
3	8	PLAQUE CHAISE (HAUT) 4" x 3/4" x 1 1/2"	ACIER
4	8	PLAQUES DE RENFORCEMENT PLI 6" x 3/4" x 6"	ACIER
5	4	ESPACEUR PLAQUE 3 3/4" x 3/4" x 3"	ACIER
6	2	TUBE 1 3/4" x 1 1/4" x 1 1/4" x 48"	ACIER
7	8	TRAPPES 3/4" DIA. x 3 1/2" lg. - "Nelson"	ACIER
8	8	BARRE DE 1" Ø x 1 1/2" x 3/4" x 36" lg. (HAUT)	ACIER
9	8	BARRE DE 1" Ø x 1 1/2" x 3/4" x 36" lg. (BAS)	ACIER
10	4	PLAQUE DU HAUT (POUR POULIE 4 DIA)	ACIER GALV.
11	4	POULIE DU BAS (POUR POULIE 4 DIA)	ACIER GALV.
12	4	PLAQUE DE GUIDAGE PLI 6" x 3/4" x 6"	ACIER
13	4	PLAQUE DE SOUDE PL 4 3/4" x 3/4" x 3"	ACIER
14	8	GOUPILLE ET CHAINETTE 3/4" DIA. x 3 1/2" lg.	ACIER
15	4	GOUPILLE 3/4" x 4" lg. (4-TRU)	ACIER
16	4 4	PLAQUE DE GUIDAGE PLI 3/4" x 3/4" x 1 1/2" PLAQUE DE GUIDAGE PLI 3/4" x 3/4" x 6"	ACIER
17	1	PLAQUE DE FERMETURE PL 3" x 3/4" x 3"	ACIER
18	4	GOUPILLE ET CHAINETTE 3/4" DIA. x 6" lg.	ACIER
19	1	PLAQUE 3" x 3/4" x 4" lg.	ACIER
20	2	RENFORCE PL 3" x 3/4" x 3 1/2"	ACIER
21	2	RENFORCE PL 3" x 3/4" x 3 1/2"	ACIER
22	4	PLAQUE ETRIER DROIT PL 4" x 3/4" x 6 1/2"	ACIER
23	4	PLAQUE ETRIER DROIT PL 4" x 3/4" x 3 3/4"	ACIER
24	4	PLAQUE ETRIER DROIT PL 4" x 3/4" x 8"	ACIER
25	4	PLAQUE ETRIER GAUCHE 6 3/4" x 3/4" x 6 1/2"	ACIER
26	4	PLAQUE ETRIER GAUCHE PL 4" x 3/4" x 3 1/2"	ACIER
27	4	BARRE GUIDAGE PL 3/4" x 3/4" x 3/4"	ACIER
28	4	TIGE DE GUIDAGE PL 1/2" x 3/4" x 8"	ACIER
29	4	VIS A OEIL HEXAGE 3/8" DIA. x 1 1/4" lg.	ACIER
30	2	BARRE SUPPORT DES CADRES VM2 3 1/2 x 3 1/2"x120 x 90° Ø	ACIER GALV.
31	2 2	TIGE DE GUIDAGE PL 3" x 3/4" x 20" TIGE DE GUIDAGE PL 3" x 3/4" x 10 1/2"	ACIER
32	8 8	GOUPILLE PL 3" x 3/4" x 1 15/16" (HAUT) GOUPILLE PL 3" x 3/4" x 1 15/16" (BAS)	ACIER
33	8 8	GOUPILLE PL 3" x 3/4" x 1 11/16" (HAUT) GOUPILLE PL 3" x 3/4" x 1 11/16" (BAS)	ACIER
34	8	TUBE 3" x 3" x 3/16" x 5 1/2" lg.	ACIER
35	8	GOUPILLE PL 6" x 3/4" x 6"	ACIER
36	8	ESPACEUR PL 3" x 3/4" x 6"	ACIER
37	8	ESPACEUR PL 3" x 3/4" x 3"	ACIER
38	8	GOUPILLE PL 3" x 3/4" x 3/4"	ACIER
39	4	TUBE 1 1/2" x 1 1/2" x 1/4" x 3 1/2" lg.	ACIER
40	8	PLAQUE 3" x 3/4" x 3" lg.	ACIER
41	8	PLAQUE 3" x 3/4" x 10" lg.	ACIER

IMPORTANT
1 ENSEMBLE COMPREND:
2 CADRES AVEC ÉTRIERS
2 CADRES SANS ÉTRIERS
4 FOIS LA POULIE DU HAUT
4 FOIS LA POULIE DU BAS

2	98/04/98	VIL QUE CONSTRUIT
1	98/12/98	PLAN POUR FABRICATION
N°	Date	Changement

I.R.S.S.T.

VILLE DE MONTRÉAL

JEAN-MARC DUGRÉ
DESSINATEUR

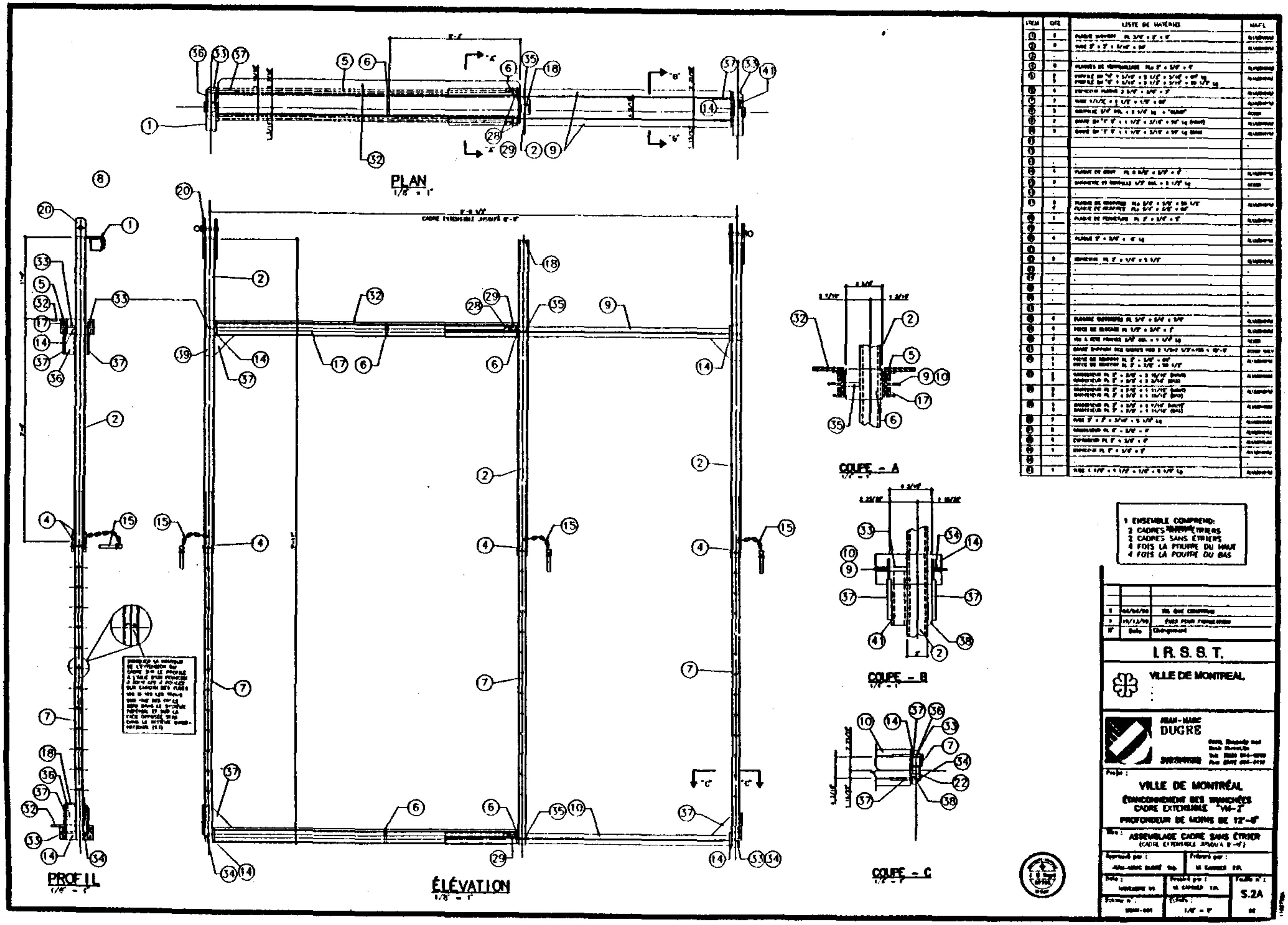
Projet :
VILLE DE MONTRÉAL
ÉTANÇONNEMENT DES TRANCHÉES
CADRE EXTENSIBLE "VM-2"
PROFONDEUR DE MOINS DE 12'-0"

Titre : ASSEMBLAGE CADRE AVEC ÉTRIERS
(CADRE EXTENSIBLE JUSQU'À 8'-0")

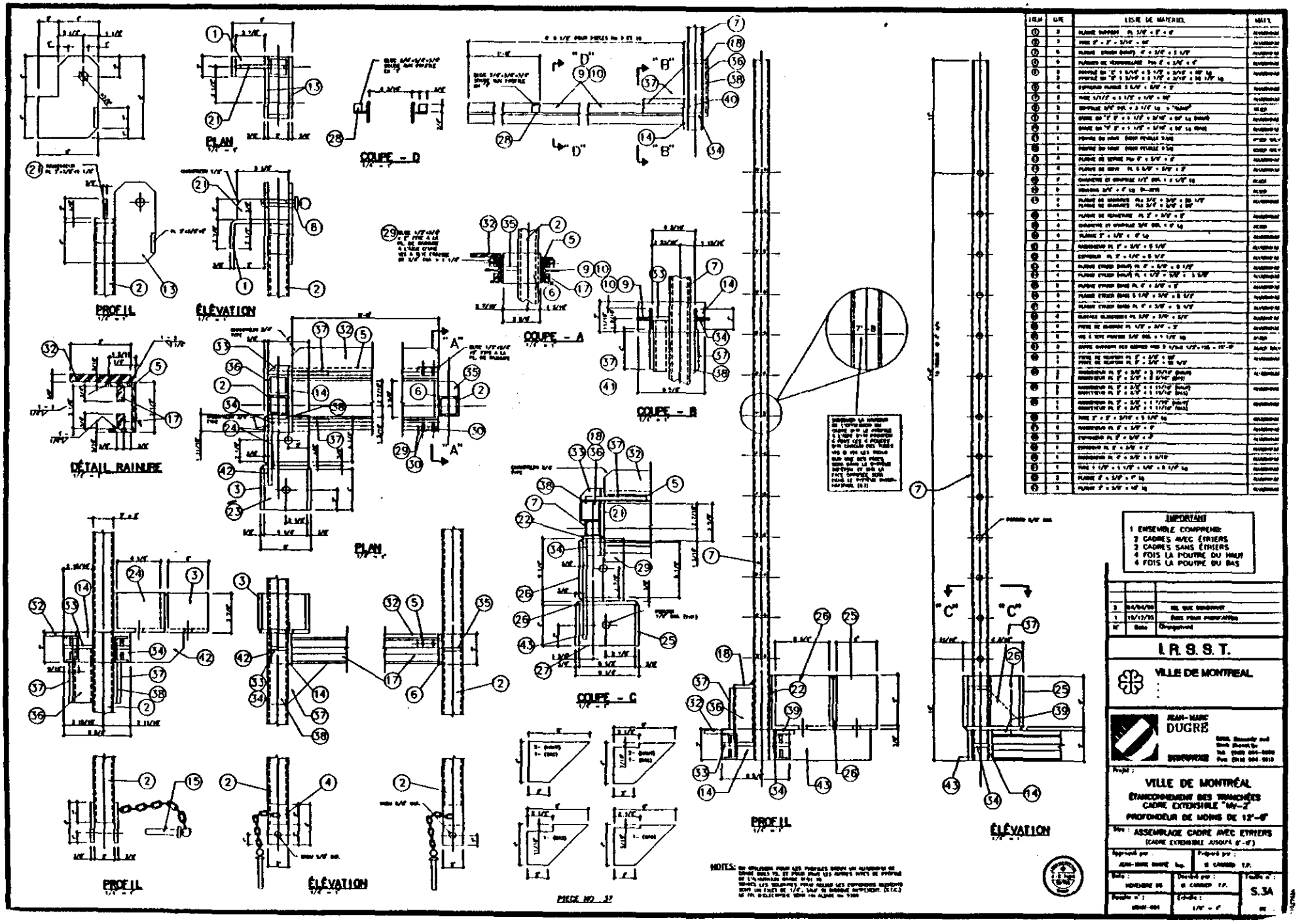
Approuvé par : JEAN-MARC DUGRÉ ing.
Préparé par : M. CARRIER T.P.

Date : NOVEMBRE 98
Dessiné par : M. CARRIER T.P.
Feuille n° : S.1A
Dossier # : 9801-005
Échelle : 1/8" = 1'

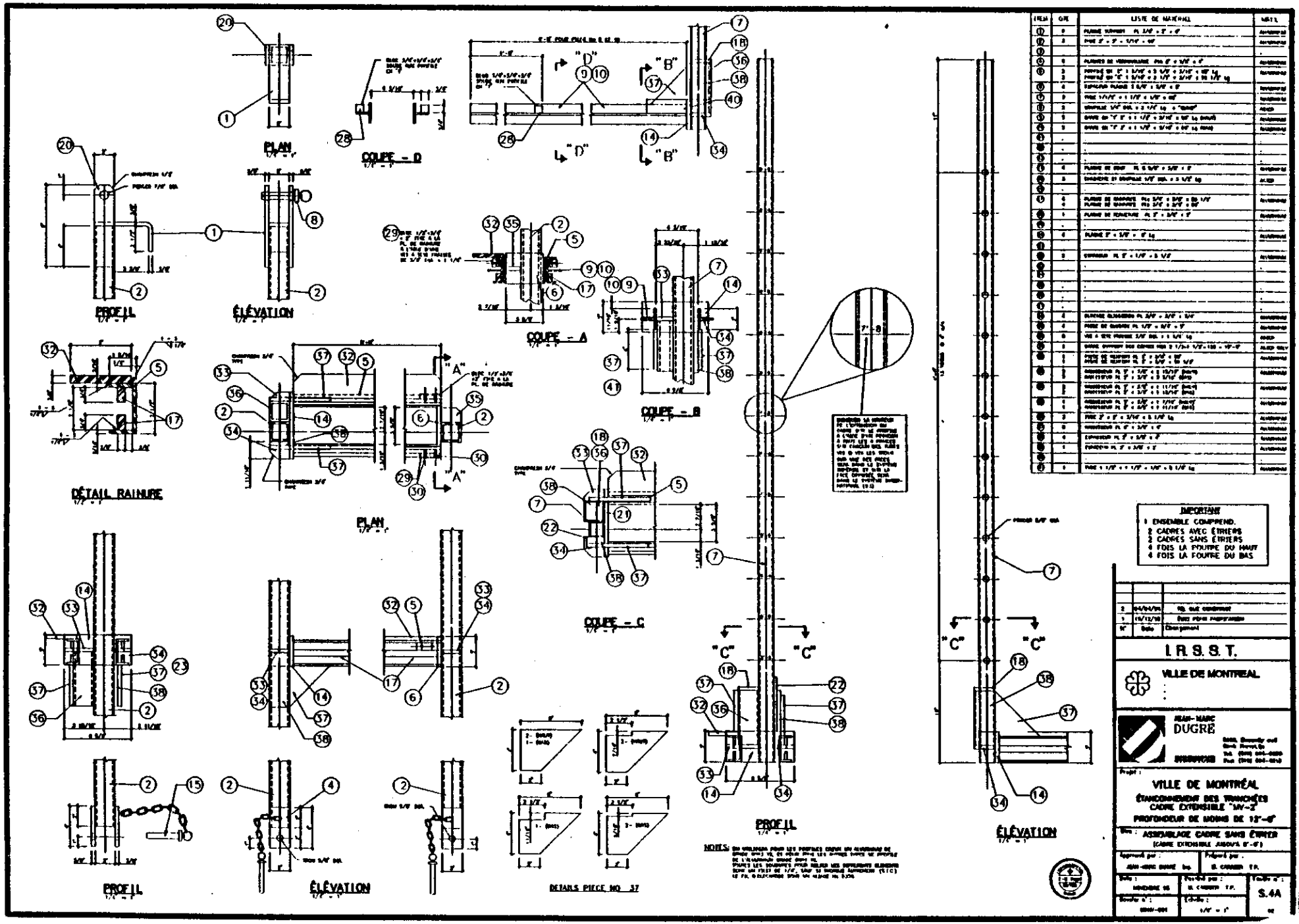
PLAN VM2


PLAN
1/8" = 1'
ÉLÉVATION
1/8" = 1'
PROFIL
COUPE - A
COUPE - B
COUPE - C
1 ENSEMBLE COMPREND:
2 CADRES SANS ÉTRIERS
4 FOIS LA POUTRE DU HAUT
4 FOIS LA POUTRE DU BAS
LISTE DE MATÉRIAUX
I.R.S.S.T.
VILLE DE MONTRÉAL
JEAN-MARC DUGRÉ
VILLE DE MONTRÉAL
ÉTANÇONNEMENT DES TRANCHÉES
CADRE EXTENSIBLE "VM-2"
PROFONDEUR DE MOINS DE 12'-0"
ASSEMBLAGE CADRE SANS ÉTRIER
S.2A

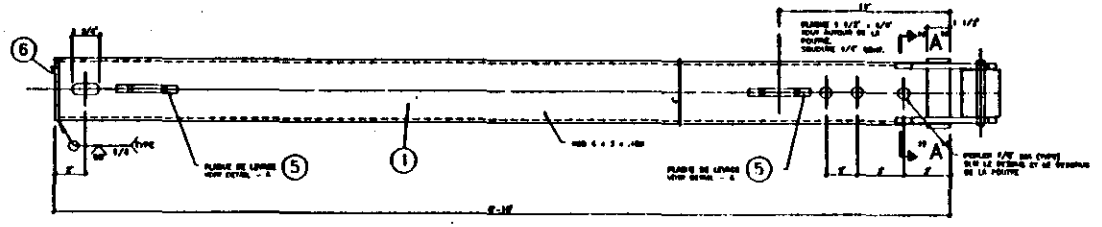
PLAN VM2


PLAN
COUPE - D
PROFIL
ÉLÉVATION
COUPE - A
COUPE - B
DÉTAIL RAINURE
PLAN
COUPE - C
PROFIL
ÉLÉVATION
PROFIL
ÉLÉVATION
"A"
"B"
"C"
"D"
IMPORTANT
1 ENSEMBLE COMPREND:
2 CADRES AVEC ÉTRIERS
2 CADRES SANS ÉTRIERS
4 FOIS LA POUTRE DU HAUT
4 FOIS LA POUTRE DU BAS
I.R.S.S.T.
VILLE DE MONTRÉAL
JEAN-MARC DUGRÉ
VILLE DE MONTRÉAL
ÉTANÇONNEMENT DES TRANCHÉES
CADRE EXTENSIBLE "MV-2"
PROFONDEUR DE MOINS DE 12'-0"
ASSEMBLAGE CADRE AVEC ÉTRIERS
(CADRE EXTENSIBLE JUSQU'À 8'-0")
S.3A

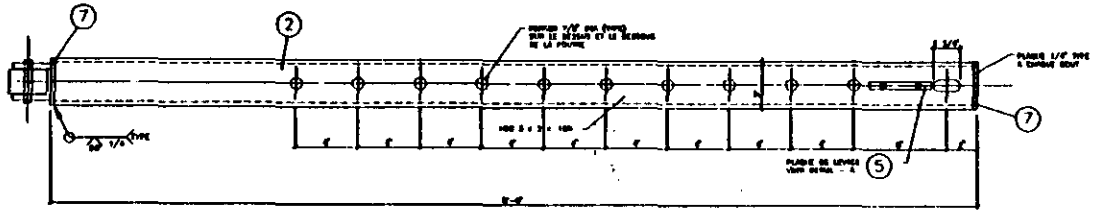
PLAN VM2


PLAN
COUPE - D
PROFIL
ÉLÉVATION
COUPE - A
COUPE - B
DÉTAIL RAINURE
PLAN
COUPE - C
PROFIL
ÉLÉVATION
DÉTAIL PIÈCE NO 37
PROFIL
ÉLÉVATION
NOTES:
IMPORTANT
1 ENSEMBLE COMPREND:
2 CADRES AVEC ÉTRIERS
2 CADRES SANS ÉTRIERS
4 FOIS LA POUTRE DU HAUT
4 FOIS LA POUTRE DU BAS
I.R.S.S.T.
VILLE DE MONTRÉAL
JEAN-MARC DUGRÉ
VILLE DE MONTRÉAL
ÉTANCONNEMENT DES TRANCHÉES
CADRE EXTENSIBLE "UV-2"
PROFONDEUR DE MOINS DE 12'-0"
ASSEMBLAGE CADRE SANS ÉTRIER
(CADRE EXTENSIBLE JUSQU'À 9'-0")
S.4A

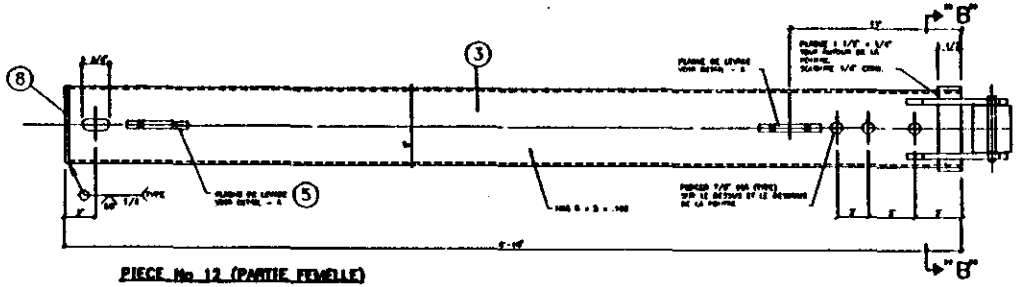
PLAN VM2



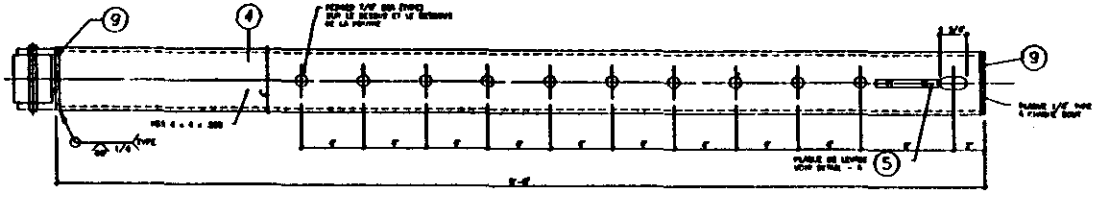
PIECE No 11 (PARTIE FEMELLE)



PIECE No 11 (PARTIE MALE)

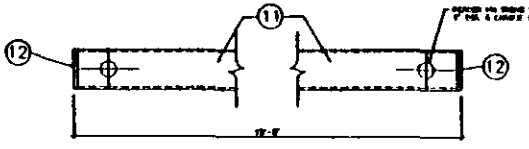


PIECE No 12 (PARTIE FEMELLE)

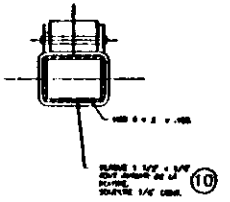


PIECE No 12 (PARTIE MALE)

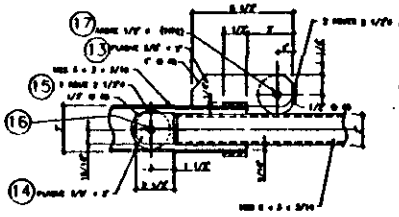
PLAN DES POUTRES



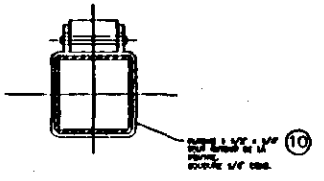
PIECE No 31



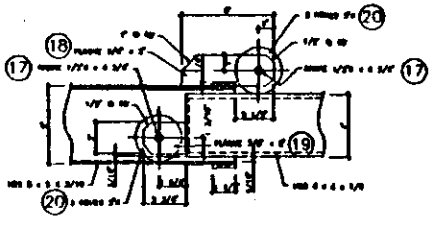
COUPE A -A



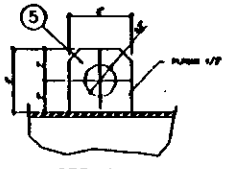
DÉTAIL SYSTÈME DE ROULEMENT
POUTRE DU HAUT



COUPE B - B



DÉTAIL SYSTÈME DE ROULEMENT
POUTRE DU BAS



DETAIL - A

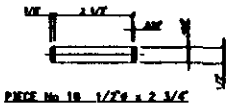
ITEM	QTÉ	LISTE DE MATÉRIEL	UNITÉ
1	4	HSS 6 x 3 x .188 x 5'-8"	ACIER 350
2	4	HSS 5 x 3 x .188 x 5'-8"	ACIER 350
3	4	HSS 5 x 5 x .188 x 5'-8"	ACIER 350
4	4	HSS 6 x 6 x .250 x 5'-8"	ACIER 350
5	24	PLAQUE DE LEVAGE 10 1/2" x 1/2" x 9"	ACIER 350
6	4	PLAQUE DE BOUT 10 1/2" x 1/2" x 2"	ACIER 350
7	8	PLAQUE DE BOUT 10 1/2" x 1/4" x 2"	ACIER 350
8	4	PLAQUE DE BOUT 10 1/2" x 1/4" x 8"	ACIER 350
9	8	PLAQUE DE BOUT 10 1/2" x 1/2" x 2"	ACIER 350
10	-	PLAQUE DE RENFORT 10 1/2" x 1/2" x -	ACIER 350
11	2	BARRE DURNOR HSS 3 1/2" x 1/2" x 12'-0"	ACIER 350
12	4	PLAQUE DE BOUT 10 1/2" x 1/4" x 3 1/2"	ACIER 350
13	8	PLAQUE 2" x 1/2" x 0 1/2" Lg	ACIER 350
14	8	PLAQUE 2" x 1/2" x 0 1/2" Lg	ACIER 350
15	10	HSS 3 1/2" x 1 1/2" LONG (VOIRE DU HAUT)	ACIER 350
16	4	PLAQUE 1/2" x 3 3/4" Lg	A 36
17	10	PLAQUE 1/2" x 4 1/4" Lg	A 36
18	8	PLAQUE 2" x 3/4" x 9" Lg	ACIER 350
19	8	PLAQUE 2" x 3/4" x 3 3/4"	ACIER 350
20	10	HSS 3" x 1 1/2" LONG (POUTRE DU BAS)	ACIER 350
21	20	SOUDE DE RENFORT 6.3mm SMAW (GMAW-MIG)	-

ACIER

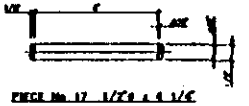
Tout l'acier de structure fourni pour ce projet doit être conforme à la norme de l'ACNOR G40.21M, Nuance 300W, sauf HSS (Nuance 350W, classe "H").

Toutes les soudures doivent être conformes à la norme de l'ACNOR W59 "Welded Steel Construction" (Metal-Arc Welding) et elles doivent être faites par un atelier membre du Canadian Welding Bureau.

Meuler toutes les soudures afin de permettre un bon glissement des profilés l'un dans l'autre.



PIECE No 18 1/2"ø x 2 3/4"



PIECE No 17 1/2"ø x 4 1/4"

#	Date	Changement
4	04/04/96	VOL DE CONSTRUIRE
3	18/12/95	DESSIN POUR FABRICATION SOUDURE
2	20/11/95	DESSIN POUR FABRICATION DU PROTOTYPE
1	15/11/95	DESSIN POUR SOUMISSION

I.R.S.S.T.

VILLE DE MONTRÉAL

JEAN-MARC DUGRÉ
INGÉNIEUR

Projet :
VILLE DE MONTRÉAL
ÉTANÇONNEMENT DES FRANCHISES
CADRE EXTENSIBLE "VM-2"
PROFONDEUR DE MOINS DE 12'-0"

Titre :
POUTRES EXTENSIBLES (9'-0")

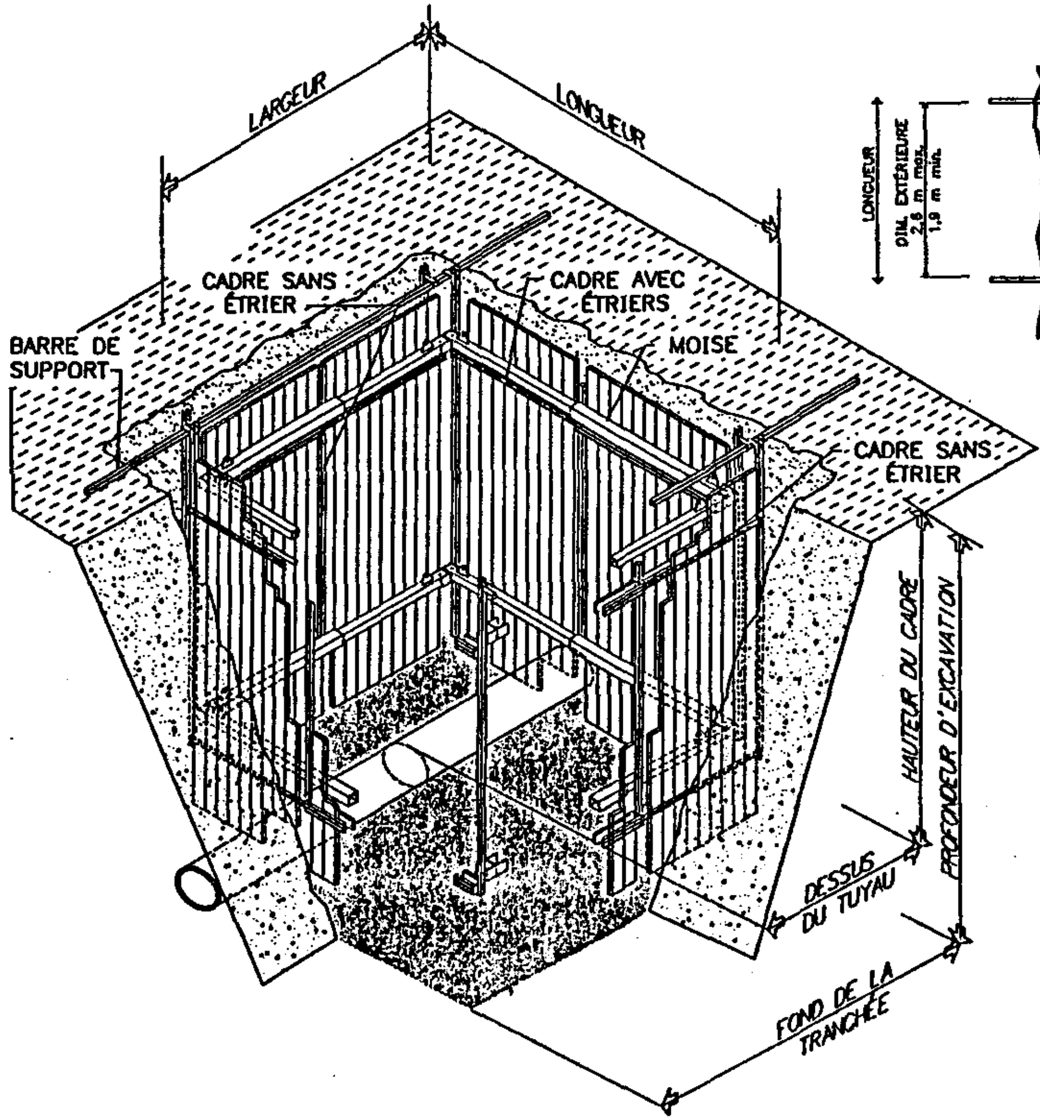
Approuvé par : JEAN-MARC DUGRÉ ing.
Préparé par : M. CHARRON T.P.

Date : NOVEMBRE 95
Dessiné par : M. CHARRON T.P.
Feuille n° : S.5A
Dessin n° : 6004-004
Échelle : 1/2" = 1'

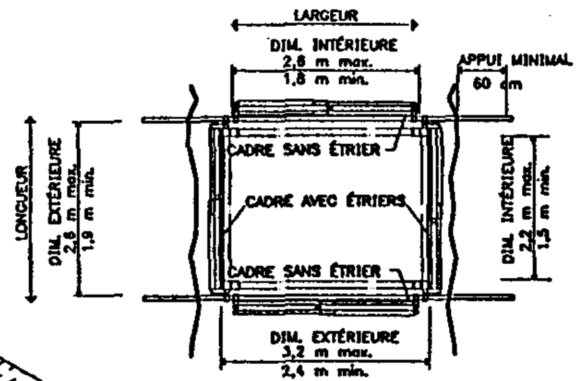
1102753A

ANNEXE 4

DESSINS DES PROCÉDURES D'INSTALLATION DU VM2



PROCÉDURE NORMALE D'INSTALLATION



NOTES

- CE PLAN MONTRE LA FAÇON GÉNÉRALE D'UTILISER LE SYSTÈME VM-2. CELUI-CI A ÉTÉ CONÇU POUR L'USAGE EXCLUSIF DES EMPLOYÉS DE LA VILLE DE MONTRÉAL.
- LE SYSTÈME D'ÉTANÇONNEMENT ILLUSTRÉ SUR CE PLAN A ÉTÉ PRÉVU POUR RÉSISTER AUX CHARGES D'UNE EXCAVATION DE 3,7 MÈTRES (12'-0") DE PROFONDEUR MAXIMALE ET CE DANS UN SOL DRAINÉ.
- LE CONTREMAÎTRE DES TRAVAUX DOIT SUPERVISER L'UTILISATION DE CE SYSTÈME D'ÉTANÇONNEMENT. LES ÉTAPES SONT DÉCRITES AU VERSO.
- LORS DE L'EXCAVATION, IL EST IMPORTANT DE TENIR COMPTE DES DIMENSIONS À RESPECTER, CAR CELLES-CI DOIVENT EXCÉDER LÉGÈREMENT (DE ± 0,3 @ 0,6 MÈTRE) CELLES DE L'ÉTANÇONNEMENT.
- EN CAS D'INFILTRATION D'EAU DANS L'EXCAVATION, LES MESURES NÉCESSAIRES DOIVENT ÊTRE PRISES AFIN DE L'ÉVACUER PROMPTEMENT.

code du microfilm					
Phase du microfilm		Division		Archive	
REV.	MOTIF	DATE ACCEPTATION	DATE MICROFILM	PAR	

Sceau

JEAN-MARC DUGRE
INGÉNIEURS STRUCTURE
8962, Kennedy ouest
Rock Forest, Qc
Tel. (819) 864-0000
Fax (819) 864-0010

Vérifié par
M. TREMBLAY ing. — SERVICE DU GÉNIE, DIVISION LABORATOIRE
S. GAGELIN ing. — SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS, SÉCURITÉ-ÉTANÇONNEMENT

DATE : NOVEMBRE 1996

Objet: ÉTANÇONNEMENT DES EXCAVATIONS

Titre: SYSTÈME VM-2
PROFONDEUR N'EXCÉDANT PAS 3,7 m (12')

I. R. S. S. T.

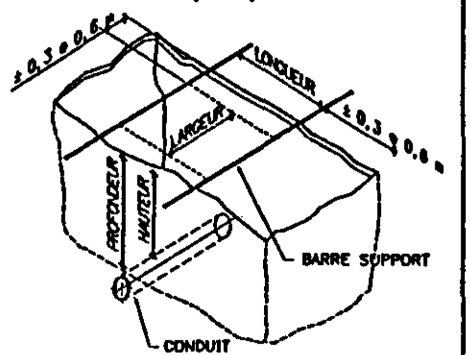
VILLE DE MONTREAL
SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS

Microfilm antérieur — Dessin No P.I.D.T. 9208
code du microfilm

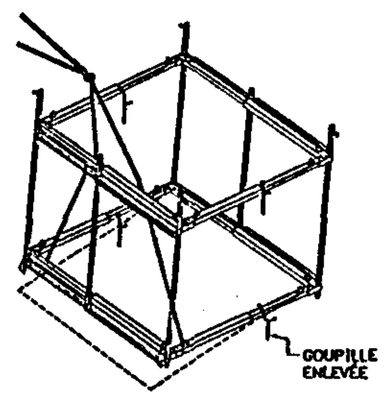
PROCÉDURE NORMALE D'INSTALLATION

① PLACER LES DEUX BARRES DE SUPPORT DES CADRES PERPENDICULAIREMENT À L'EXCAVATION, ELLES SERONT ESPACÉES DE LA LONGUEUR DU TROU MOINS 0,6m (2'-0"); LONGUEUR MAXIMUM 2,4 m (8'-0")

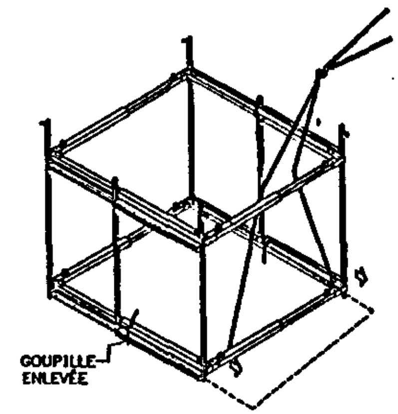
② PRENDRE LES MESURES DE L'EXCAVATION (VOIR DIMENSIONS PERMISES AU RECTO)
HAUTEUR = DISTANCE ENTRE DESSUS DU CONDUIT ET DESSUS DU PAVAGE
LONGUEUR = DISTANCE ENTRE LES BARRES DE SUPPORT
LARGEUR = DISTANCE PARALLÈLE AUX BARRES DE SUPPORT
PROFONDEUR = PROFONDEUR DE L'EXCAVATION MAXIMUM 3,7 m (12'-0")



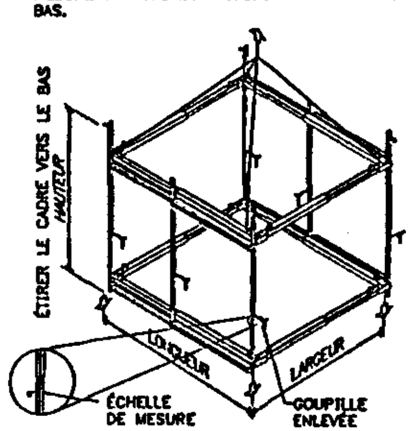
③ SOULEVER L'ASSEMBLAGE D'UN CÔTÉ À L'AIDE DE L'APPAREIL DE LEVAGE, PAR LA POUTRE DU BAS ET ALLONGER JUSQU'À LA DIMENSION VOULUE.



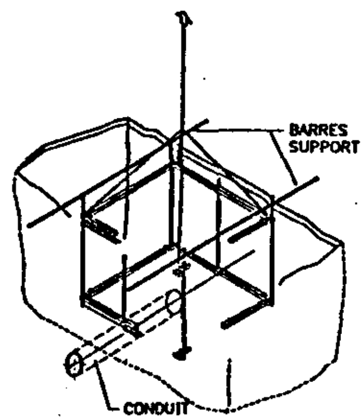
④ SOULEVER L'ASSEMBLAGE DE L'AUTRE CÔTÉ À L'AIDE DE L'APPAREIL DE LEVAGE, PAR LA POUTRE DU BAS ET ALLONGER JUSQU'À LA DIMENSION VOULUE.



⑤ SOULEVER L'ASSEMBLAGE PAR LES MOISES DU HAUT POUR AJUSTER LA HAUTEUR. L'ÉCHELLE DE MESURE INDIQUE LA PROFONDEUR DE LA MOISE DU BAS.

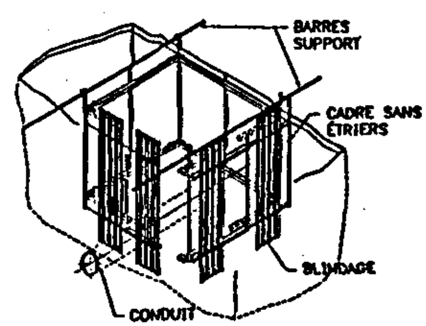


⑥ SOULEVER L'ASSEMBLAGE ET LE SUSPENDRE AUX BARRES DE SUPPORT.



⑦ AJUSTER LES CADRES SANS ÉTRIER À LA LONGUEUR ET À LA HAUTEUR REQUISE ET LES SUSPENDRE AUX BARRES DE SUPPORT.

⑧ INSÉRER LES PIÈCES DE BLINDAGE DANS LES CADRES SUR LE POURTOUR DE L'EXCAVATION.



Sceau

JEAN-MARC DUGRE
INGÉNIEURS STRUCTURE

Vérifié par
M. TREMBLAY ing. — SERVICE DU GÉNIE DIVISION LABORATOIRE
S. GAMELIN ing. — SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS SÉCURITÉ-ÉTANÇONNEMENT

DATE: NOVEMBRE 1996

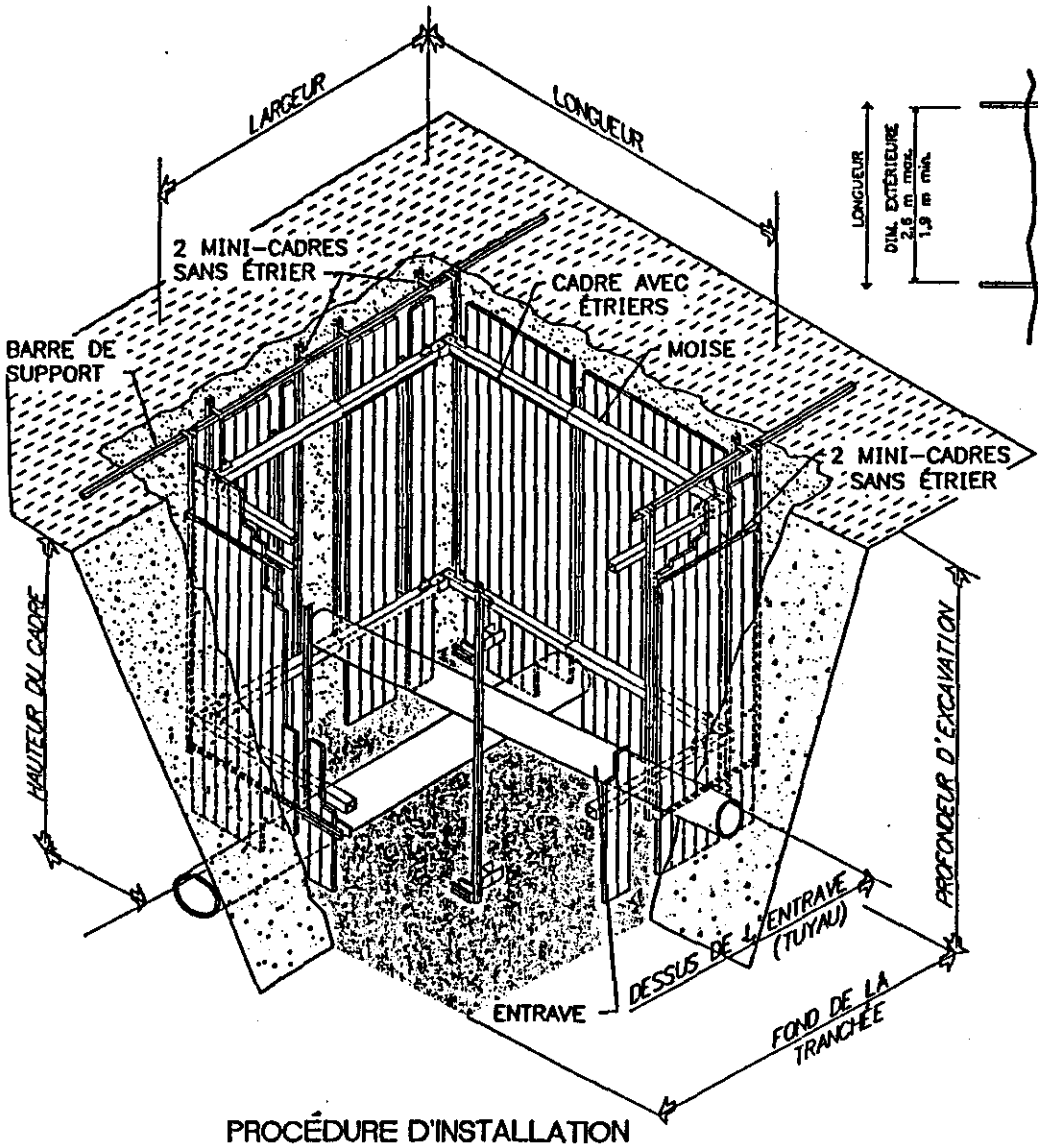
Objet: ÉTANÇONNEMENT DES EXCAVATIONS

Titre: SYSTÈME VM-2 PROFONDEUR N'EXCÉDANT PAS 3,7 m (12')

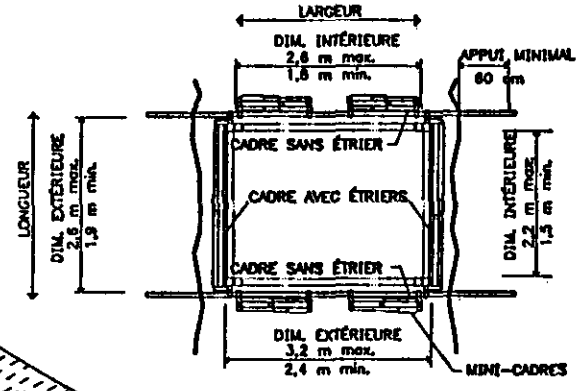
I. R. S. S. T.

VILLE DE MONTREAL
SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS

Dessin No: P.I.D.T. 9208



PROCÉDURE D'INSTALLATION AVEC ENTRAVE



NOTES

- CE PLAN MONTRE LA FAÇON GÉNÉRALE D'UTILISER LE SYSTÈME VM-2. CELUI-CI A ÉTÉ CONÇU POUR L'USAGE EXCLUSIF DES EMPLOYÉS DE LA VILLE DE MONTRÉAL.

- LE SYSTÈME D'ÉTANÇONNEMENT ILLUSTRÉ SUR CE PLAN A ÉTÉ PRÉVU POUR RÉSISTER AUX CHARGES D'UNE EXCAVATION DE 3,7 MÈTRES (12'-0") DE PROFONDEUR MAXIMALE ET CE DANS UN SOL DRAINÉ.

- LE CONTREMAÎTRE DES TRAVAUX DOIT SUPERVISER L'UTILISATION DE CE SYSTÈME D'ÉTANÇONNEMENT. LES ÉTAPES SONT DÉCRITES AU VERSO.

- LORS DE L'EXCAVATION, IL EST IMPORTANT DE TENIR COMPTE DES DIMENSIONS À RESPECTER, CAR CELLES-CI DOIVENT EXCÉDER LÉGÈREMENT (DE ± 0,3 @ 0,6 MÈTRE) CELLES DE L'ÉTANÇONNEMENT.

- EN CAS D'INFILTRATION D'EAU DANS L'EXCAVATION, LES MESURES NÉCESSAIRES DOIVENT ÊTRE PRISES AFIN DE L'ÉVACUER PROMPTEMENT.

Code du microfilm

Phase du microfilm		Division	Archive	
REV.	MOTIF	DATE ACCEPTATION	DATE MICROFILM	PAR

Scellé

JEAN-MARC DUGRE
INGÉNIEUR STRUCTURE
6062, Kennedy sud
Rock Forest, Qc
Tel: (819) 864-0000
Fax: (819) 864-0010

Vérifié par

M. TREMBLAY Ing. — SERVICE DU GÉNIE, DIVISION LABORATOIRE

S. GAMELIN Ing. — SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS, SÉCURITÉ-ÉTANÇONNEMENT

DATE: NOVEMBRE 1996

Objet: ÉTANÇONNEMENT DES EXCAVATIONS

Titre: SYSTÈME VM-2
PROFONDEUR N'EXCÉDANT PAS 3,7 m (12')
INSTALLATION AVEC ENTRAVE

I. R. S. S. T.

VILLE DE MONTREAL
SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS

Microfilm autorisé

Dessin No: P.I.D.T. 9209

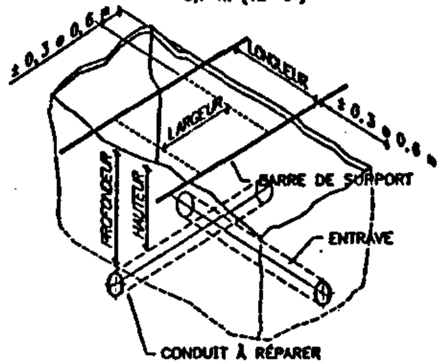
Code du microfilm

A4.4

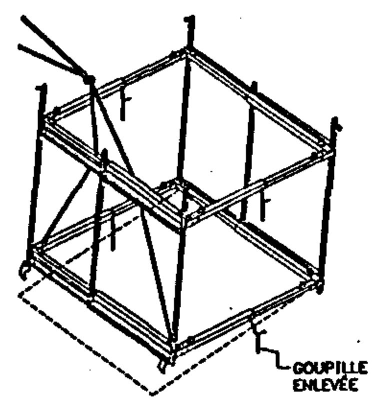
① PLACER LES DEUX BARRES DE SUPPORT DES CADRES PERPENDICULAIREMENT À L'EXCAVATION, ELLES SERONT ESPACÉES DE LA LONGUEUR DU TROU MOINS 0,6m (2'-0"); LONGUEUR MAXIMUM 2,4 m (8'-0")

② PRENDRE LES MESURES DE L'EXCAVATION (VOIR DIMENSIONS PERMISES AU RECTO)

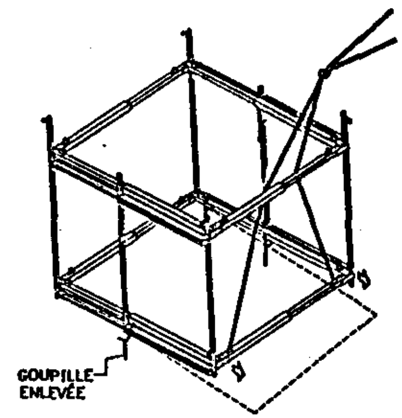
HAUTEUR = DISTANCE ENTRE LE DESSUS DU CONDUIT À RÉPARER ET DESSUS PAVAGE.
LONGUEUR = DISTANCE ENTRE LES BARRES DE SUPPORT
LARGEUR = DISTANCE PARALLÈLE AUX BARRES DE SUPPORT
PROFONDEUR = PROFONDEUR DE L'EXCAVATION MAXIMUM 3,7 m (12'-0")



③ SOULEVER L'ASSEMBLAGE D'UN CÔTÉ À L'AIDE DE L'APPAREIL DE LEVAGE, PAR LA POUTRE DU BAS ET ALLONGER JUSQU'À LA DIMENSION VOULUE.

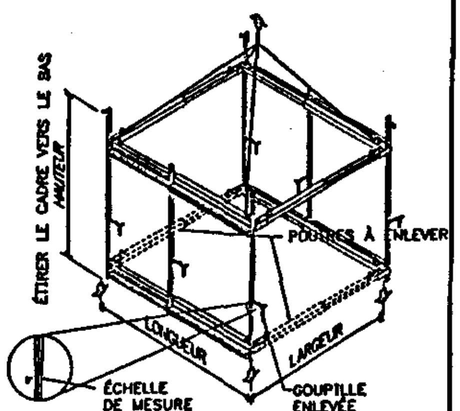


④ SOULEVER L'ASSEMBLAGE DE L'AUTRE CÔTÉ À L'AIDE DE L'APPAREIL DE LEVAGE, PAR LA POUTRE DU BAS ET ALLONGER JUSQU'À LA DIMENSION VOULUE.

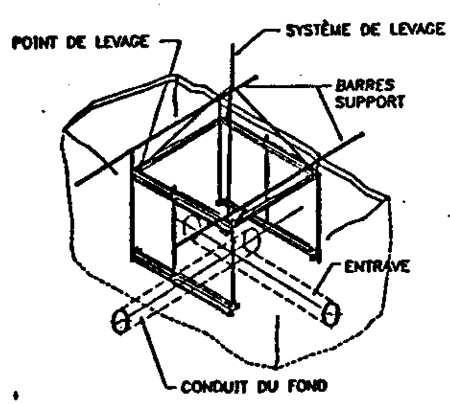


⑤ SOULEVER L'ASSEMBLAGE PAR LES MOISES DU HAUT POUR AJUSTER LA HAUTEUR. L'ÉCHELLE DE MESURE INDIQUE LA PROFONDEUR DE LA MOISE DU BAS.

⑥ ENLEVER LES DEUX POUTRES DU BAS DU CÔTÉ OÙ IL N'Y A PAS DE CADRE.



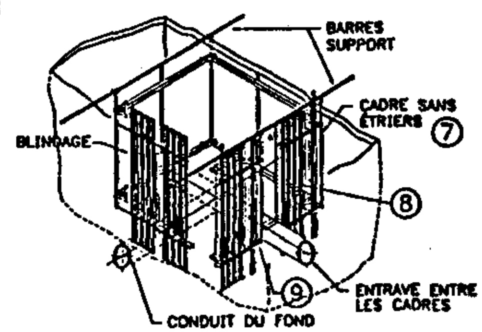
⑦ SOULEVER L'ASSEMBLAGE ET LE SUSPENDRE AUX BARRES DE SUPPORT.



⑧ AJUSTER LES MINI-CADRES SANS ÉTRIER À LA LONGUEUR ET À LA HAUTEUR REQUISE ET LES SUSPENDRE AUX BARRES DE SUPPORT.

⑨ INSÉRER LES PIÈCES DE BLINDAGE DANS LES CADRES SUR LE POURTOUR DE L'EXCAVATION.

⑩ REMETTRE EN PLACE LES MOISES INFÉRIEURES.



PROCÉDURE D'INSTALLATION AVEC ENTRAVE

REV.	MOTIF	DATE ACCEPTATION	DATE MICROFILM	PAR

Sceau

JEAN-MARC DUGRE
INGÉNIEURS STRUCTURE
5002, Kennedy road
Tél: (819) 864-0000
Fax: (819) 864-0010

Vérifié par
M. TREMBLAY ing. — SERVICE DU GÉNIE DIVISION LABORATOIRE
S. GAMELIN ing. — SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS SÉCURITÉ-ÉTANÇONNEMENT

DATE NOVEMBRE 1996

Objet
ÉTANÇONNEMENT DES EXCAVATIONS

Titre
SYSTÈME VM-2
PROFONDEUR N'EXCÉDANT PAS 3,7 m (12')
INSTALLATION AVEC ENTRAVE

I. R. S. S. T.

VILLE DE MONTREAL
SERVICE DES TRAVAUX PUBLICS

Dessin No P.I.D.T. 9209