

"OPERATION NEZ JAUNE" : LE G.P.S.
POUR L'ARPENTAGE DE NIVELLEMENT

CANQ
TR
GE
103

3.05546

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,
22^e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

DESTINATAIRE: Rosaire Roy, directeur
Direction territoriale de l'Outaouais

EXPÉDITEUR: Daniel Dorais, chef de division
Service de l'arpentage et de la géomatique

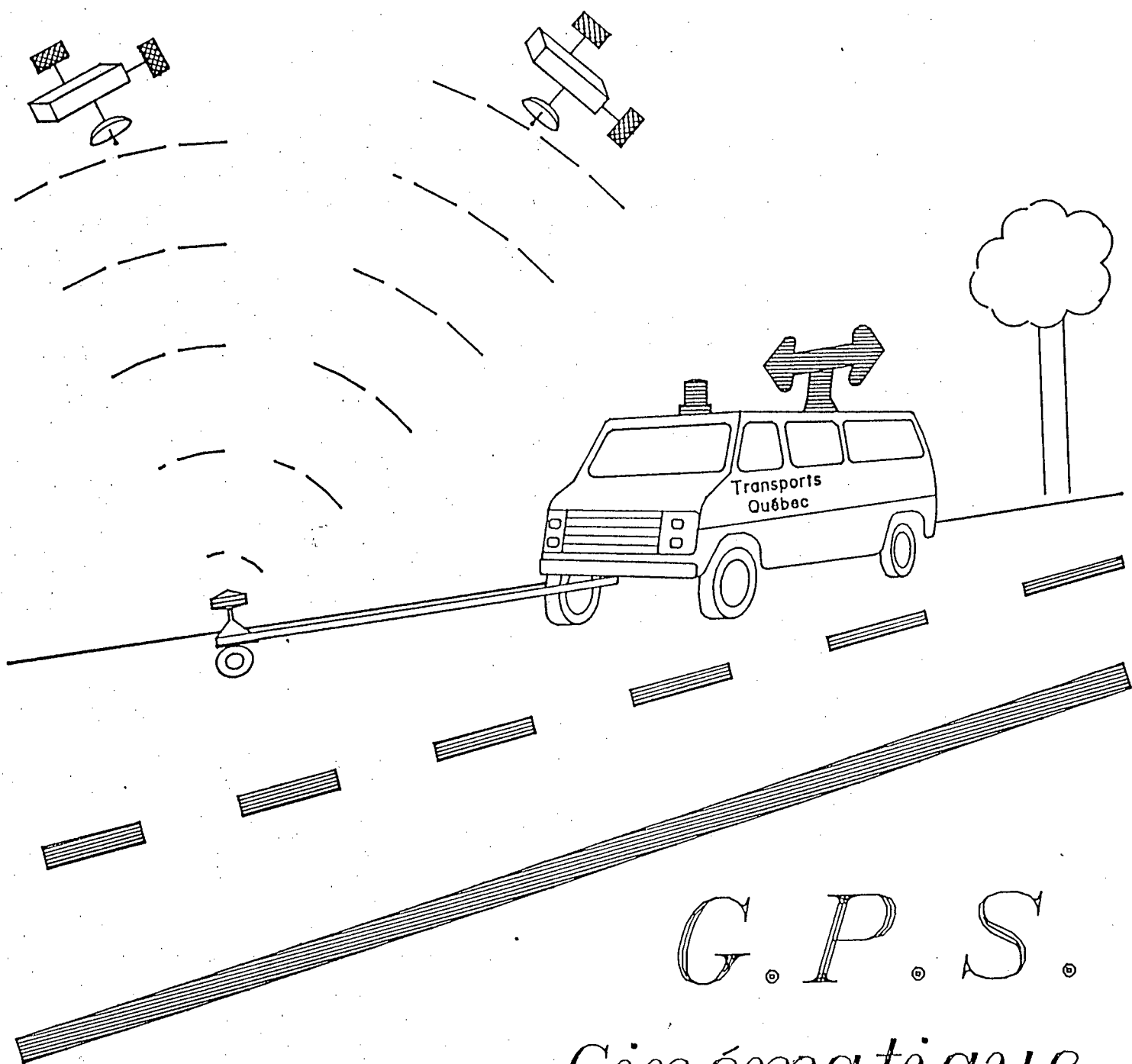
DATE: Le 13 août 1993

OBJET: "Opération nez jaune"
=====

(Le G.P.S. pour l'arpentage de nivellement)

VERSION 2.0

Gen
CANQ
TR
GE
103



G.P.S.
Cinématique

RÉSUMÉ SYNTHÈSE

Ce rapport donne un bref aperçu du G.P.S. (global positioning system), c'est-à-dire un système de positionnement physique au sol à partir de satellites. Son fonctionnement est relié à des calculs de vecteurs à partir des satellites jusqu'à des récepteurs situés sur la terre. La particularité de ce rapport cerne une application du G.P.S. pour l'arpentage de nivellement. Une méthode G.P.S. dynamique, dite cinématique, permet d'effectuer des travaux d'arpentage de nivellement servant à des calculs de profil longitudinal de la route et des sections transversales de celle-ci.

Ce rapport fournit une étude exposant les principaux avantages de cette nouvelle méthode. Les faits saillants de cette étude permettent d'établir:

- 1° Un ratio de productivité en heure/personne de 26 fois supérieur par rapport à une méthode traditionnelle avec station totale et niveau pour effectuer la cueillette des points servant à l'arpentage de nivellement.
- 2° Un gain en information d'arpentage 7 fois supérieur.
- 3° Une méthode de travail qui assure plus de sécurité à l'environnement de travail des employés.

Une vidéocassette accompagne le rapport et fait ressortir comment il est plus sécuritaire pour les employés d'effectuer le travail d'arpentage de nivellement par G.P.S.

A l'intérieur du rapport on retrouve un plan illustrant la conception d'un bras porteur de l'antenne G.P.S. Ce bras a été conçu de façon à éliminer de nombreuses difficultés et permet une approche dont la précision théorique a été estimée en élévation à + ou - 30 à 40 millimètres et en position à + ou - 30 à 50 millimètres. La conception du bras a nécessité la collaboration en région de plusieurs unités du ministère.

La méthode opérationnelle suivie par les arpenteurs-géomètres dans ce dossier a permis de constater la faisabilité d'utiliser le G.P.S. cinématique pour effectuer l'arpentage de nivellement pour le réseau routier. En établissant 22 points de contrôle sur cinq kilomètres, les arpenteurs-géomètres ont calculé les écarts par rapport aux méthodes traditionnelles et démontré que dans 99% des cas, l'écart en élévation demeure inférieur à + ou - 42 millimètres et l'écart en position demeure négligeable pour ce type d'opération.

Après avoir effectué la cueillette des points sur le terrain et procédé à l'aide de ces points aux calculs d'un modèle mathématique du terrain, trois lignes longitudinales de 150 mètres de longueur ont été comparées ainsi que quatre sections transversales choisies au hasard sur les cinq kilomètres du projet au nord de Maniwaki. Ces éléments ont servi d'étalon de comparaison. Pour les lignes longitudinales, l'écart maximal en élévation est demeuré inférieur à 32 millimètres et en position à 15 millimètres. Pour les sections transversales, l'écart en élévation est demeuré inférieur à 25 millimètres avec une moyenne générale d'écart de 12 millimètres en élévation par rapport à un contrôle géométrique traditionnel. Ces résultats confirment bien que l'utilisation du G.P.S. est possible pour l'arpentage de nivellement servant à la construction ou à la réfection du réseau routier.

Les nombreux avantages de cette nouvelle approche laissent entrevoir une expansion rapide de l'utilisation de ces appareils. Les applications en transport sont de tout azimut et l'utilisation plus particulièrement dynamique des appareils G.P.S. pour obtenir des résultats de qualité comparable aux méthodes traditionnelles vont certainement changer les règles du jeu.

Table des matières

I	L'historique du Global Positioning System (G.P.S.)
II	Pourquoi le G.P.S.
III	Son fonctionnement
IV	La méthode cinématique
V	La comparaison du G.P.S. cinématique avec une méthode traditionnelle
VI	La cassette vidéo
VII	La conception du bras
VIII	La précision du relevé par G.P.S. cinématique
IX	Le contrôle à posteriori des résultats de Maniwaki
X	Le résumé

ANNEXES

BIBLIOGRAPHIE

I HISTORIQUE DU "GLOBAL POSITIONING SYSTEM" (G.P.S.)

Ce système a d'abord été développé par l'armée américaine pour les besoins suivants:

- une utilisation partout sur la terre;
- une possibilité opérationnelle de 24 heures par jour;
- une économie pour l'utilisateur;
- plus de sécurité pour les militaires.

Ce système est conçu pour remplacer des systèmes de navigation présentement en opération et permet un positionnement sur le globe avec précision. Le G.P.S. a été largement utilisé pendant la Guerre du Golf et encore plus récemment en Somalie où chaque véhicule militaire est actuellement muni d'un récepteur portatif à son bord.

Pour un usage civil, les arpenteurs-géomètres l'utilisent pour le positionnement. Cette nouvelle technologie permet à cet expert de la mesure de procéder très rapidement dans de nombreux travaux d'arpentage.

II POURQUOI LE G.P.S.?

Pourquoi l'utilisation du G.P.S. par rapport à des méthodes traditionnelles en arpentage? Parce que cette technologie comporte de nombreux avantages pour les travaux d'arpentage:

- intervisibilité non nécessaire entre les récepteurs;
- indépendance météorologique (la pluie, la neige, le brouillard ne sont plus des obstacles);
- sélection de site des travaux indépendant du réseau géodésique (tous les travaux sont traités avec la même référence spatiale);
- grande précision géodésique;
- opérationnelle, le jour et la nuit;
- avantages économiques;
- plus rapide que la méthode conventionnelle;
- idéal pour une grande ou une courte distance.

III SON FONCTIONNEMENT

La référence spatiale d'un point de base à l'aide d'un récepteur G.P.S. peut être calculée en coordonnées X, Y et Z comme une résection mathématique. Les satellites sont les "stations de contrôle orbitales", ces derniers sont connus en position en tout temps. Les vecteurs sont mesurés du récepteur à chacun des satellites en utilisant un code qui dépend du temps.

Au moins quatre satellites sont observés pour résoudre les 4 paramètres inconnus: c'est-à-dire la latitude, la longitude, l'élévation et l'écart de synchronisation de l'horloge du récepteur (time offset).

Que fait le récepteur? Il mesure les vecteurs aux satellites en utilisant un code envoyé de chacun des satellites. Ce même code est enregistré simultanément par le récepteur. Le temps parcouru par l'onde codée peut être mesuré à partir de cette corrélation, ainsi la distance peut aussi être calculée en utilisant la valeur de la vitesse de la lumière pour générer à partir de l'onde codée, la position du récepteur G.P.S.

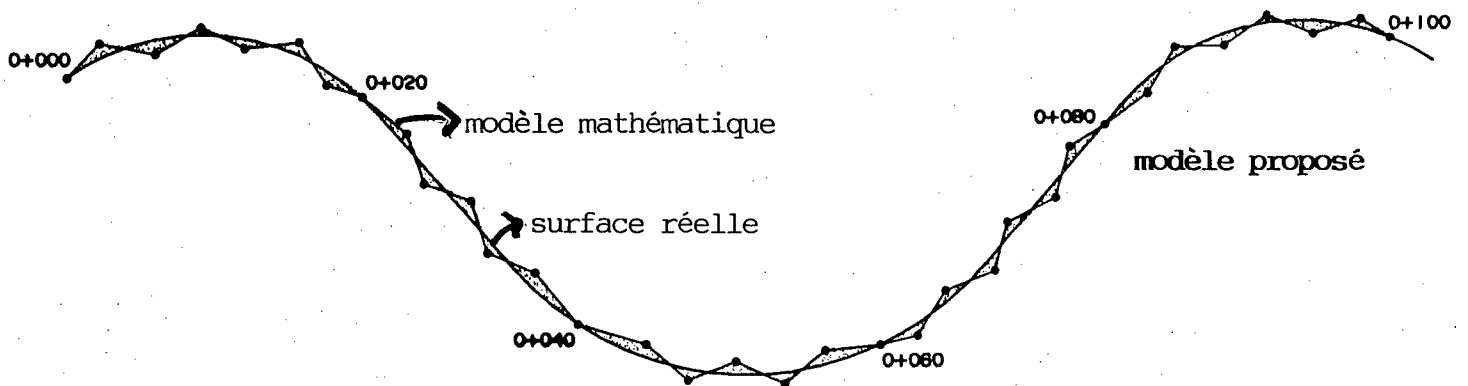
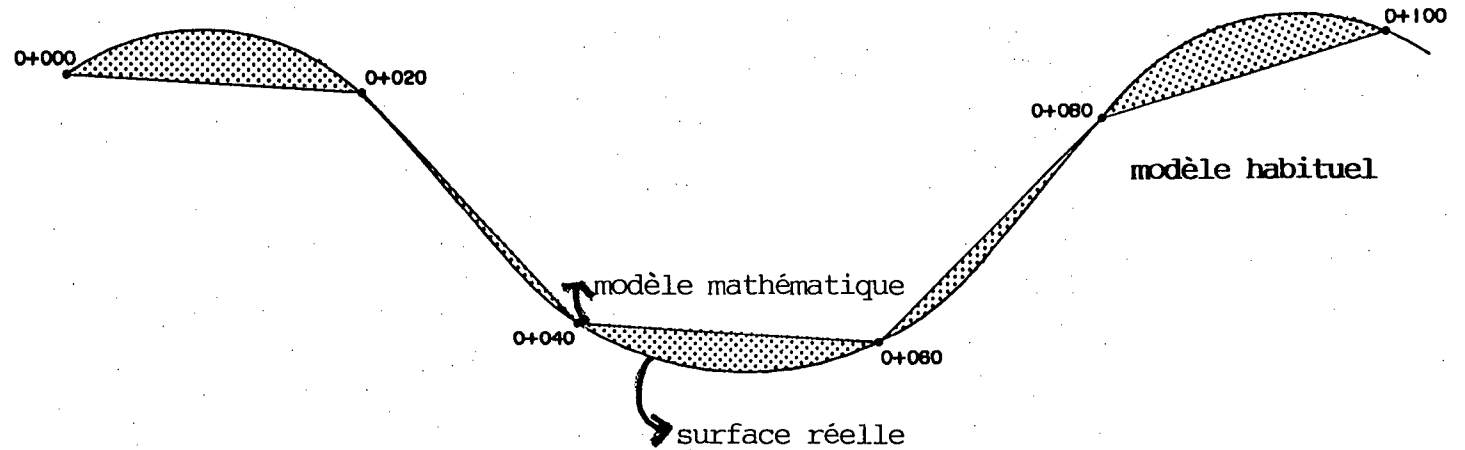
Ensuite, c'est à l'aide d'un logiciel que l'on obtient des résultats précis. Ce logiciel résout des mesures différentielles requises pour résoudre les ambiguïtés. Les applications de cette nouvelle technologie sont nombreuses. C'est de cette façon entre autre que l'on peut déterminer par une méthode dite cinématique le profil longitudinal de la ligne de centre ou des lignes de rive de la route. On peut ensuite calculer les sections en travers, mesurer l'épaisseur des matériaux utilisés lors de la construction ou de la réfection d'une route. Les applications sont de tout azimut, mais c'est surtout la rapidité de la cueillette de ces informations qui étonne!

IV LA MÉTHODE CINÉMATIQUE

Cette méthode est dynamique, elle permet à un récepteur mobile sur un véhicule en mouvement de connaître continuellement sa position en X, Y et Z. Le récepteur en mouvement mesure continuellement à des intervalles d'enregistrement sélectionnées. Les avantages de cette méthode sont indéniables: rapidité, économie et surabondance de mesures. Ce dernier facteur permet un niveau de précision inégale par rapport aux méthodes conventionnelles. Précisons ici que cette nouvelle méthode permet d'effectuer des sections en travers jusqu'à des intervalles de 2 ou 3 mètres. Cette surabondance d'informations permet ainsi de rapprocher plus fidèlement le modèle mathématique de la route à sa réalité physique sur le terrain. Les méthodes traditionnelles recueillent normalement des sections en travers à tous les 20 mètres (voir illustration du modèle mathématique).

Un désavantage de la méthode, le récepteur doit continuellement être en contact avec 4 satellites au minimum. Ce désavantage peut toutefois être contrôlé par une bonne planification des travaux. Les corridors routiers fortement boisés et où le boisé est très près de la surface de roulement ne se prêtent pas à cette nouvelle méthode. Toutefois la plupart des véhicules circulant près du récepteur, ne nuisent pas à l'opération.

MODÈLE MATHÉMATIQUE



Pour la représentation du modèle mathématique, la sommation des surfaces  du modèle habituel est supérieure à la sommation des surfaces du modèle proposé. Ces surfaces représentent l'erreur entre le modèle mathématique et la réalité physique du terrain.

V

**COMPARAISON DU G.P.S. CINÉMATIQUE
AVEC UNE MÉTHODE TRADITIONNELLE**

Voici une étude comparative qui permet d'analyser dans un cas précis certains facteurs entre deux méthodes: une dite traditionnelle et l'autre dite proposée. Les facteurs comparés sont l'instrumentation nécessaire, le temps requis pour la réalisation des travaux et enfin les résultats obtenus.

A- INSTRUMENTATION

Méthode traditionnelle

Matériel requis	1 instrument station totale, 1 chaîne, 1 prisme, 2 véhicules motorisés.
Personnel requis	1 chef d'équipe (technicien); 1 préposé aux instruments; 2 ouvriers pour le chaînage; 2 signaleurs pour la sécurité.

Méthode proposée

Matériel requis	3 appareils G.P.S. (2 statiques et 1 en mouvement méthode cinématique), 2 ou 3 véhicules motorisés ¹
Personnel requis	1 technicien conducteur d'un véhicule motorisé doté de G.P.S.; 1 technicien pour surveiller le captage des données; 2 conducteurs de véhicules motorisés pour la sécurité ¹

B- TEMPS REQUIS POUR LA RÉALISATION DE LA CUEILLETTE DE POINTS

Méthode traditionnelle

1 section de 3 points à tous les 20 mètres (2 lignes de rives et ligne centrale), chaînage et mesurage = 5 minutes/section.

Pour 5 kilomètres : 21 heures de travail.

Préparatifs pendant l'exécution manuelle des travaux et déplacement sur la route : 14 heures.

Total : 35 heures de travail à 6 hommes, 30 jours/personne ou
210 heures/personne

1. Véhicule motorisé: le nombre de véhicules motorisés est fonction de la sécurité du chantier mobile.

Méthode proposée

Véhicule motorisé avec récepteur, vitesse du véhicule : 10km/heure.

5 kilomètres X 3 lignes (2 lignes de rives + ligne centrale) =

15 kilomètres à 10km/heure = 1.5 heure à 4 hommes (cas où la sécurité est à son maximum sur une route très achalandée) = 6 heures/personne

Ajouter 0.5 heure de préparatifs: 0.5 à 4 hommes = 2 heures/personne

Total : 8 heures / personne.

C- RÉSULTATS OBTENUS

Méthode traditionnelle

3 points/section à tous les 20 mètres pour 5000 mètres =

750 points en X, Y et Z.

Méthode proposée

1 point à la seconde, vitesse 10km/heure sur une distance 15000 mètres =

5400 points en X, Y et Z.

D- RATIO

Temps/homme

<u>méthode traditionnelle</u>	<u>210 heures = 26 fois</u>
méthode proposée	8 heures

Quantité de données

<u>méthode proposée</u>	<u>5400 points = 7.2 fois</u>
méthode traditionnelle	750 points

E- AVANTAGES

- La méthode proposée est plus économique de 26 fois qu'une équipe d'arpentage traditionnelle. Si le salaire horaire moyen est 20\$, un tel travail coûtera 4,200\$. Le même travail avec le G.P.S. pour la cueillette des données coûte uniquement 160\$ en temps homme. Une économie de 4,040\$ pour un seul projet, on peut prévoir une économie substantielle en temps homme sinon en récupération de personnel sur d'autres travaux.
- La quantité de données connues en X, Y et Z est sept fois supérieure ce qui de toute évidence laisse prévoir un meilleur modèle mathématique.
- Cette analyse ne couvre que le chapitre de la cueillette de données sur le terrain, d'autres économies substantielles sont à prévoir pour les étapes subséquentes ou parallèles (toutes les données sont captées par le biais électronique = aucune erreur humaine de transformation et d'interprétation, les calculs subséquents sont faits automatiquement jusqu'au traçage automatique des profils longitudinaux et sections en travers).
- La location de trois appareils G.P.S. et du logiciel est évaluée à 970\$/jour, soit 290\$/jour-appareil plus 100\$/jour-logiciel. La location des appareils inclut l'utilisation de logiciels spéciaux pour le traitement des données.
- Tout le volet "sécurité" pour les employés est un facteur à prendre en considération sur un chantier ouvert à la circulation automobile. Cette nouvelle méthode proposée assure une diminution évidente du risque d'accidents pour les employés.

VI CASSETTE VIDÉO

Ci-joint la présentation des deux méthodes: premièrement le contexte traditionnel et enfin la méthode proposée. Cette information visuelle des deux scénarios souligne particulièrement le volet "sécurité" sur les chantiers mobiles. Pour respecter les règles de sécurité, le relevé traditionnel en arpentage sur la chaussée exige beaucoup de personnel. Dans le cas exposé sur la vidéocassette, six personnes collaborent à la réalisation de sections d'arpentage sur la route 307 à Cantley. A l'aide de la méthode proposée, c'est-à-dire par le G.P.S. cinématique, vous constatez que le récepteur peut facilement être installé sur un véhicule muni d'un bras et que deux personnes à bord du véhicule peuvent réaliser les mêmes travaux. Le véhicule se déplace dans ce cas sur la voie de service de l'autoroute 50 à Gatineau à une vitesse variable de 7 à 12km/heure. Toutefois, la circulation sur cette artère est minime. Nous devons tenir compte de deux véhicules supplémentaires pour la sécurité, comme c'est le cas pour le chantier mobile de Egan-Sud dans la deuxième partie du vidéo. Un véhicule précède le camion doté du récepteur et un autre qui suit ce véhicule. Cette caravane permet d'assurer un maximum de sécurité sur les chantiers mobiles où le public est autorisé à circuler en même temps que les travaux.

La simplicité du G.P.S. cinématique à une vitesse de 10km/heure permet de procéder à un relevé d'arpentage très sécuritaire. Cette nouvelle technologie nous permet également de réorienter nos effectifs vers d'autres travaux, soit plus urgents ou ailleurs sur le territoire.

Vous comprendrez que l'utilisation d'une méthode traditionnelle, pour faire ces travaux d'arpentage sur les routes, est loin de nous rassurer au point de vue de la sécurité. Comme dans les usines, si l'employeur peut robotiser une étape de travail dans le but d'améliorer la sécurité des employés, il devient à coup sûr, un partenaire de ces derniers. Cet argument peut expliquer à lui seul l'apport de ce type de technologie pour notre personnel. L'intérêt de l'employeur, face à la sécurité de ses ouvriers, préposés à l'arpentage et techniciens, n'est-il pas un objectif fondamental au sein de notre ministère?

VII CONCEPTION DU BRAS

BRAS M.T.Q. POUR PROCÉDER AU TRAVAIL CINÉMATIQUE

Temps de fabrication

Ce bras a été fabriqué au district de Papineauville. Sa construction a nécessité 10 jours/homme.

Coût de fabrication

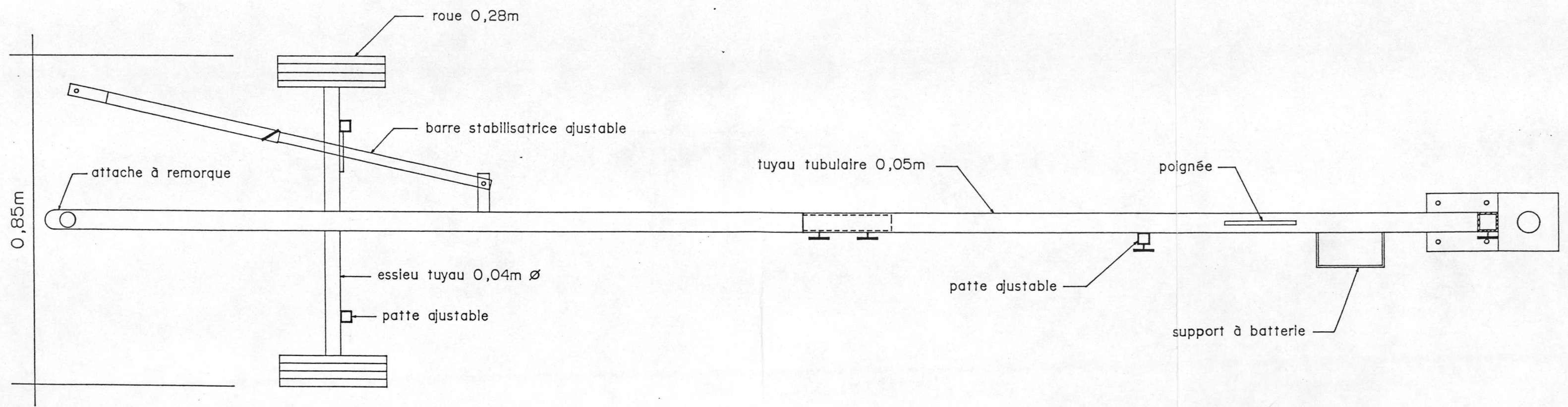
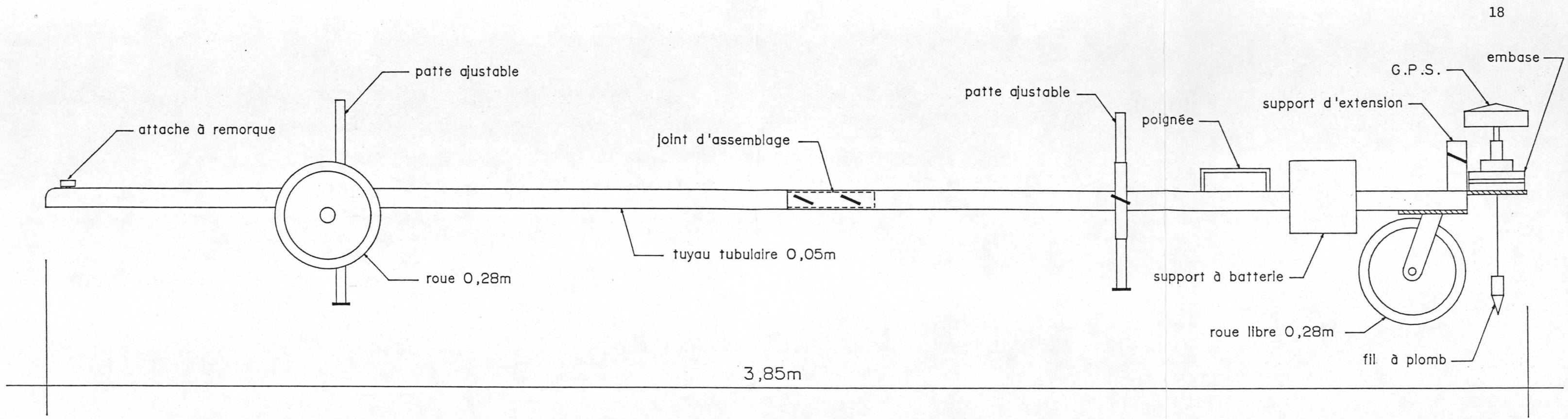
Le coût total du matériel a nécessité un investissement de 339.68 \$.

Essai du bras

L'essai d'une première roue à l'extrémité du bras a été un échec. Par la suite l'installation d'une roue renforcée de haute qualité a satisfait le besoin. Les essais supplémentaires ont confirmé le "design" actuel (voir plan).

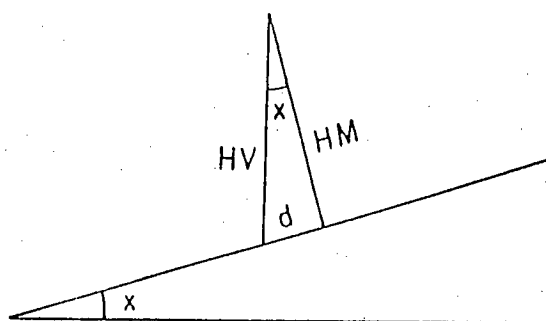
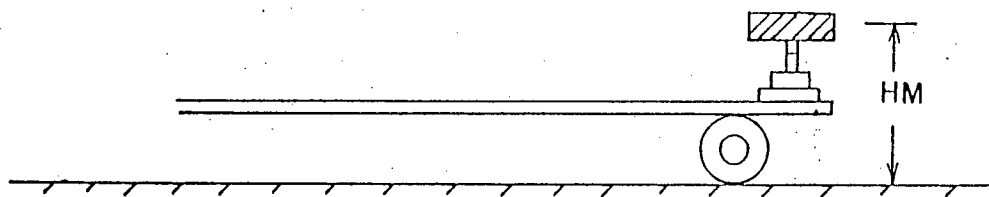
Particularités du bras

- Environ 4 mètres de longueur;
- Démontable en 2 sections pour faciliter le rangement et le transport;
- 2 roues à l'arrière et 3 pattes ajustables pour effectuer facilement un déplacement manuel de l'ensemble du bras, dans le but de procéder à un positionnement exact au-dessus des points de contrôle;
- Retenu au camion par une attache à remorque permettant un mouvement dans tous les axes X, Y, Z;
- Ajustable à n'importe quelle position à l'avant du camion tout en demeurant dans la voie (ligne de rive, ligne centrale ou autre ligne);
- Roue sur roulement à billes à l'avant du bras permettant un déplacement de la roue sur 360°;
- Tige de fixation permettant de stabiliser le bras dans une position donnée;
- La longueur du bras permet un dégagement total du camion pour observer les satellites à partir du récepteur.



ÉCHELLE 1 : 10

VIII PRÉCISION DU RELEVÉ PAR G.P.S. CINÉMATIQUE



HM = hauteur du récepteur nivelé sur un terrain plat.

HV = hauteur du récepteur nivelé dans une pente.

d = distance entre la projection des deux hauteurs d'instrument lorsque l'appareil n'est plus nivelé à cause de la pente.

x = la pente de la route.

Au point de départ lorsque l'appareil est nivelé, HV et HM sont égaux et d est égale à zéro.

Quand le camion se met en marche: la route, la pente et le dévers de la route dénivellent l'appareil; ces changements occasionnent une erreur systématique sur l'élévation du point et la position de celui-ci. Cette erreur systématique s'ajoute aux erreurs accidentelles.

En réalité, pour un appareil situé à 30cm (1 pied) au dessus du sol, une erreur systématique en élévation occasionne une erreur allant jusqu'à 15mm pour 10° de pente (pour 5°, c'est 4mm). L'erreur systématique en position, c'est-à-dire planimétrique, est la distance d: cette erreur est d'environ 5mm par degré de pente. C'est exactement le même calcul en ce qui concerne le dévers de la route, sauf que le dévers est beaucoup moins prononcé que la pente longitudinale.

La précision des observations se résume ainsi:

- 1° précision de l'appareil suivant le fabricant ± 1 ou 2cm, prenons 2cm dans tous les axes (en élévation et en position).
- 2° précision du fait que l'appareil n'est pas continuellement nivelé, en élévation 4mm et en position 27mm, pour une pente de 5°.
- 3° précision due à la hauteur d'instrument initiale évaluée ± 2 mm.
- 4° précision due aux vibrations causées par les irrégularités de la route évaluées à ± 2 cm.

L'erreur totale en élévation est égale à:

L'erreur accidentelle:

$$\pm \sqrt{(\text{fabricant})^2 + (\text{hauteur initiale})^2 + (\text{vibrations})^2} =$$

$$E_z = \pm \sqrt{(20)^2 + (2)^2 + (20)^2} = \pm 28\text{mm}$$

L'erreur totale:

$$E_z = \pm 28\text{mm} + \text{erreur systématique de 0 à 15mm pour cause de non-nivellement (pour pente de 0 à 10°)}$$

L'erreur totale en position (planimétrie):

L'erreur accidentelle:

$$\pm \sqrt{(\text{précision du fabricant})^2 + (\text{vibrations})^2} =$$

$$E_{xy} = \pm \sqrt{(20)^2 + (20)^2} = \pm 28\text{mm}$$

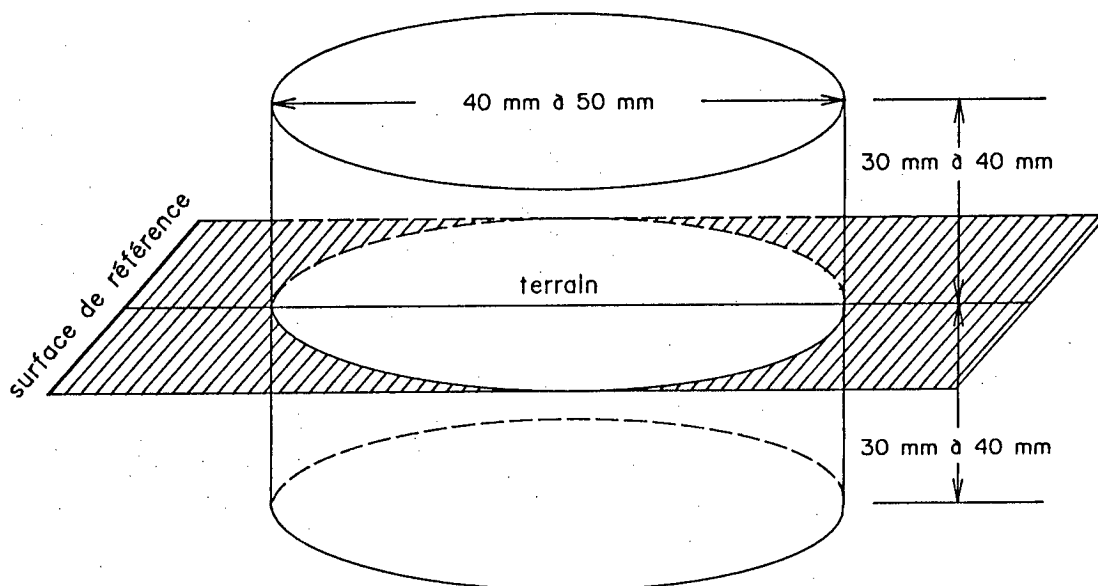
L'erreur totale:

$$E_{xy} = \pm 28\text{mm} + \text{erreur systématique de } 0 \text{ à } 53\text{mm} \text{ pour cause de non-nivellement total (pour pente de } 0 \text{ à } 10^\circ)$$

En résumé

En moyenne, on peut s'attendre à des résultats dont l'erreur en élévation est de ± 30 à 40mm et l'erreur en position est de ± 30 à 50mm .

En réalité, c'est comme si on plaçait la mire dans un rayon de 50mm sur le pavage et sur un coussin dont l'épaisseur varie de -35mm à $+35\text{mm}$ par rapport à la surface de référence.



Ce dessin représente un volume d'imprécision maximal du calcul de chacun des points.

Précision des résultats pratiques

Cette section résume les résultats obtenus à partir d'un travail de cinq (5) kilomètres réalisé par la méthode cinématique. Ce travail a été réalisé dans la municipalité de Egan-Sud au nord de Maniwaki. Les conditions météorologiques étaient de 15 degrés Celcius avec pluie intermittente. L'objet des travaux était de déterminer le profil longitudinal de la ligne centrale et des deux lignes de rive de la route 105. Pour effectuer la cueillette des données, nous avons utilisé la méthode GPS cinématique. Nous avons relevé environ 10,000 points en deux heures trente minutes, ce temps comprend exclusivement la période de la cueillette des points en X, Y et Z et les préparatifs sur le terrain pour effectuer la cueillette.

Pour contrôler les résultats de ce travail par rapport aux méthodes traditionnelles, nous avons établi sur le terrain 24 points de contrôle (huit points sur chaque ligne). Chaque point a été calculé en fonction d'un cheminement polygonal traditionnel et établi à l'aide d'une station totale de marque Géodimètre 140. Une station de contrôle au début, au centre et à la fin du projet a été placée par GPS statique pour connaître exactement les coordonnées X, Y et Z du cheminement polygonal en tenant compte des ondulations du géoïde. Les coordonnées en élévation "Z" ont été contrôlées par un cheminement géométrique à l'aide d'un niveau automatique Zeiss NI-2.

Le mode opératoire de la méthode GPS cinématique consistait à se déplacer sur trois lignes (ligne est, ouest et centrale de la chaussée de la route 105). Sur les trois lignes, huit points de contrôle avaient été placés et calculés en fonction de la méthode décrite au paragraphe précédent. Par la méthode cinématique, le véhicule doté du récepteur GPS s'arrêtait le plus près possible et le plus fidèlement au-dessus de chaque point pour de courtes périodes de temps, c'est-à-dire de 60 à 120 secondes puis le véhicule poursuivait sa route. Ces mêmes points de contrôle étaient relevés de 60 à 120 fois par la méthode GPS. Nous avons ensuite discriminé ces résultats pour chaque point de contrôle afin d'établir la moyenne des coordonnées.

Sur les 24 points de contrôle, un point était physiquement détruit et un autre a été oublié pendant la cueillette des points. Nous avons réussi à recouper 22 points de contrôle. Ces points ont été mesurés à l'aide des récepteurs Wild GPS système 200. Deux de ces appareils ont été utilisés comme "maître" sur des stations fixes et connues. Le troisième récepteur était installé sur le bras du véhicule en mouvement. Nous avons établi nos coordonnées "GPS" en faisant une moyenne à partir de deux points fixes. Deux points ont subi l'influence de la géométrie des satellites et des divers obstacles sur le terrain, pour ces deux points nous avons tenu compte de seulement une station maîtresse. En résumé, les résultats qui suivent tiennent compte de 22 points de contrôle dont 20 points sont

calculés à partir de moyenne de deux stations maîtresses. (Voir tableau des résultats en annexe)

Résultats obtenus:

L'écart en élévation "Z" entre les deux méthodes:

Moyenne des 22 points: 17 millimètres
 L'écart-type : 16 millimètres
 L'écart maximale : 46 millimètres
 L'écart minimale : -25 millimètres

La distribution de fréquence des écarts en élévation:

(mm)	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60
nbre	0	1	1	3	3	8	4	1	1	0

L'écart en position (planimétrie) entre les deux méthodes:

Moyenne des 22 points: 22 millimètres
 L'écart-type : 14 millimètres
 L'écart maximale : 55 millimètres
 L'écart minimale : 5 millimètres

La distribution de fréquence des écarts en position:

(mm)	0	10	20	30	40	50	60	70
nbre	5	5	8	4	2	2	1	0

Ces distributions nous indiquent un rapprochement avec la courbe normale et par approximation les résultats semblent confirmés que les écarts en élévation sont précis dans 99% des cas à + ou - 48 millimètres. Tandis que la distribution concernant la position nous indique que les opérateurs se sont rapprochés au-dessus des points dans 68% des cas dans un écart inférieur à 14 millimètres. Ces chiffres confirment en partie l'approche théorique.

Cette comparaison de la méthode GPS cinématique à la méthode traditionnelle permet de confirmer que 99% des points ont un écart de positionnement à l'intérieur de + ou - 42 millimètres, c'est-à-dire moins que la largeur d'une mire traditionnelle.

En résumé, l'écart de précision de la méthode GPS cinématique par rapport aux méthodes traditionnelles n'influence pas nos calculs sur le positionnement des profils de route. Toutefois l'écart en élévation peut devenir l'enjeu important. Dans le cas présent, nous avons effectué 10,000 lectures en X, Y et Z et si l'échantillonnage de points de contrôle s'avère représentatif pour les 10,000 points, nous pouvons alors affirmer que 68% des résultats en élévation sont connus avec un écart de + ou - 16 millimètres par rapport à des méthodes conventionnelles et que 95% des résultats en élévation sont connus à + ou - 32 millimètres. Ces résultats confirment cependant une excellente représentation en élévation du modèle mathématique du profil de la surface de la chaussée.

**IX CONTROLE A POSTERIORI DES RÉSULTATS DE MANIWAKI
 (EGAN SUD)**

Dans le but de s'assurer de l'ensemble des résultats en mode dynamique, monsieur Régent Lachance, a.g., a établi trois lignes longitudinales de contrôle ainsi que quatre sections transversales. La sélection de ces lignes et sections avait pour objectif de contrôler l'ensemble de la boucle de traitement, c'est-à-dire contrôler:

- Les étapes de la cueillette des données par GPS;
- Le traitement des données sur le logiciel SKI de la compagnie Leica;
- Le transfert électronique des données par modem Hull, Montréal et ensuite le retour à nouveau vers Hull;
- Le traitement des données à Montréal au bureau du Service de l'arpentage et de la géomatique, section géomatique;¹
- Les résultats obtenus des données pour la construction spatiale d'un modèle numérique terrain;
- Le calcul des sections transversales à tous les dix mètres sur le logiciel INTEROUTE;
- Le contrôle final de 4 sections choisies au hasard établies et contrôlées sur le terrain.

¹ Les principales étapes de traitement en informatique à Montréal sont décrites comme suit:

Fichier reçu de Hull via modem —→ coordonnées des points relevés et coordonnées de la ligne de centre

Intégration du fichier au logiciel CEAL (logiciel du projet pilote en CAO-DAO du MTQ) —→ génération du modèle numérique de terrain, du modèle triangulaire; du modèle de surface.

Validation du modèle numérique avec CEAL —→ manipulation et correction des fichiers générés

Génération des sections transversales avec CEAL —→ génération de fichier format

Transfert du fichier de sections de CEAL pour GDA-Interoute avec un logiciel maison (CLM2071) —→ format.071 (fichier de lecture pour GDA)

L'ensemble du processus à Montréal, pour un levé de 5 kilomètres a nécessité un travail sur ordinateur d'une journée pour une personne pour générer adéquatement les fichiers.

Les trois lignes longitudinales choisies sont toutes les trois d'une longueur de plus ou moins 150 mètres sur le projet, le test "A" est une droite sur la ligne de rive ouest avec une pente régulière de 2°, le test "B" est une ligne droite sur la ligne de rive ouest en terrain plat et le test "C" est une ligne courbe en terrain plat sur la ligne de rive ouest.

Les tests "B" et "C" ont été mesurés avec une station totale d'une précision instrumentale de $\pm 2''$ en position X, Y et un nivellement trigonométrique "Z". Un nivellement géométrique "Z" a également été effectué à l'aide d'un niveau automatique. Le test "A" a été mesuré de la même façon et également comparé à des travaux de 1987 fait à la station totale.

Cet exercice a permis de comparer par interprétation visuelle les écarts dynamiques obtenus en position et en élévation entre la méthode GPS cinématique et les méthodes traditionnelles. L'exercice précédent de comparaison se servait de la moyenne de points obtenus par GPS sur des points de contrôle. Cet exercice compare singulièrement les valeurs obtenues en relevé dynamique, sans arrêter le véhicule au-dessus de points de contrôle pour 60 à 120 secondes.

Examinons les résultats en position X, Y

Les écarts maximaux entre les méthodes (voir en annexe les tests A, B et C).

En position X,Y		Pente	Droit plat	Courbe plat
mm (millimètre)	TEST	A	B	C
GPS vs ST1993		15	11	15
GPS vs ST1987		28		
ST1987 vs ST1993		26		

ST: station totale

GPS: global positioning system

Les résultats confirment que l'écart maximal en position varie de 11 à 15mm sur une longueur de 150 mètres (i.e. pour les traiter en terrain plat, en pente et en courbe). Ces résultats confirment que le fait de conduire un véhicule n'influence pas de façon majeure l'opération de recueillir les points à une vitesse de 10km/heure. La référence à des travaux antérieurs de 6 ans confirme un écart maximal

de 26 à 28mm, soit par GPS ou par rapport à une méthode traditionnelle identique. Encore une fois, l'écart en position est minime pour établir notre modèle mathématique de la route. Le fait de l'effectuer à 10km/heure par GPS cinématique devient un gros avantage par rapport à une méthode traditionnelle.

Examinons maintenant les écarts maximaux en élévation Z:

mm (millimètre)	TEST	Pente	Droit plat	Courbe plat	Moyenne
		A	B	C	
GPS vs géométrique		26	32	15	24
GPS vs trigonométrie (1993)		38	32	20	30
GPS vs trigonométrie (1987)		32			32
Géomé. vs trigo. (1993)		20	10	20	17

L'écart maximal moyen des trois tests entre la méthode GPS et la méthode géométrique est de 24mm, entre la méthode GPS et celle dite trigonométrie (1993) est de 30mm. L'écart maximal moyen pour les trois tests entre le géométrique et le trigonométrie est de 17mm. Tous les points recueillis par GPS dans les trois tests ont un écart maximal inférieur à 32mm par rapport à la méthode la plus précise (i.e. géométrique). Nous sommes donc en mesure de confirmer que cette méthode peut aussi être utilisée pour établir le modèle mathématique de la route avec une précision opérationnelle de 3 centimètres en élévation. Nous avions prévu initialement 2 écarts-types $\approx 3,2$ centimètres.

Les logiciels actuels sont en mesure d'accueillir de grandes quantités de points et nous pouvons maintenant à partir du G.P.S. cinématique recueillir ces points de façon dynamique et en grande quantité. Cette approche permet à partir du modèle terrain de recalculer des sections transversales à des intervalles de 2 ou 3 mètres. Pour les fins de l'exercice, nous avons identifié des sections transversales à tous les dix mètres et nous avons contrôlé quatre de celles-ci sur le terrain, trois semaines après avoir effectué les travaux de cueillette de données. Voici les résultats des écarts en élévation de ces sections transversales obtenus mathématiquement par modèle numérique terrain et par un remesurage des chainages sur le terrain. (Voir en annexe le test D).

		<u>Ecart (mm)</u>
Chainage 0 + 340	Rive gauche	18
	Ligne centrale	2
	Rive droite	12
Chainage 1 + 260	Rive gauche	9
	Ligne centrale	2
	Rive droite	25
Chainage 3 + 150	Rive gauche	3
	Ligne centrale	20
	Rive droite	15
Chainage 3 + 270	Rive gauche	6
	Ligne centrale	4
	Rive droite	18
Moyenne des écarts		12

Notre approche initiale confirmait un écart-type de 16mm en élévation pour une population de 67%. Les résultats de l'ensemble de cet exercice avec un contrôle final à posteriori sur le terrain confirment une moyenne d'écart par rapport au terrain de 12mm.

La moyenne des écarts dynamiques pour les trois tests se résume comme suit:

TEST	A	B	C
Écart moyen	8.2mm	9.2mm	7.6mm
Écart-type	6.5mm	9.1mm	6.2mm
Échantillonnage	57 points	49 points	47 points
Écart maximal	26mm	35mm	20mm
Écart minimal	0mm	0mm	0mm

L'utilisation du GPS cinématique va sans doute bouleverser toutes nos traditions et nos performances. Les applications sont maintenant possibles en positionnement. Dans les transports, elles vont du transport en commun au contrôle de quantité des matériaux ou à des inventaires. Vous pouvez certainement songer à une application concrète pour vos dossiers. Les résultats et surtout la rapidité de ceux-ci vont permettre à notre personnel d'accélérer les décisions et de valider des informations qui jusqu'à hier nous étaient impossible d'obtenir à cause de la lenteur des observations ou de la lourdeur des grandes quantités de calculs.

X

EN RÉSUMÉ

Cette nouvelle technologie nous apporte de nombreux avantages:

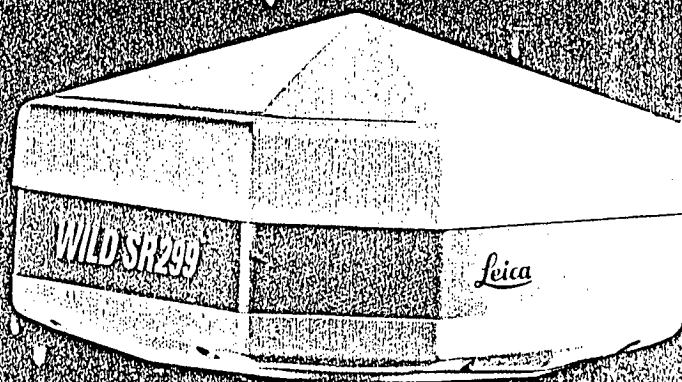
- utilisation partout dans la province;
- 24 heures par jour;
- économique pour l'utilisateur;
- sécuritaire pour les employés;
- intervisibilité non nécessaire;
- indépendance météorologique;
- sélection de site des travaux indépendant du réseau géodésique;
- grande précision géodésique;
- uniformité de système de référence;
- plus rapide que la méthode conventionnelle;
- la méthode G.P.S. cinématique est environ 26 fois supérieure en temps que la méthode conventionnelle;
- la méthode G.P.S. cinématique fournit environ 7 fois plus d'information en données d'arpentage, elle permet ainsi d'établir de meilleures décisions opérationnelles avec une meilleure représentation mathématique du terrain;
- idéal pour grande et/ou courte distance.

Les appareils G.P.S. sont utilisables aussi pour d'autres applications:

- le relevé conventionnel X, Y et Z;
- le relevé altimétrique "Z";
- le positionnement de précision;
- les inventaires de toutes natures, le long de notre patrimoine routier;
- la photogrammétrie.

ANNEXES

WILD GPS - System 200



Leica

WILD GPS – System 200

Une nouvelle ère en GPS

34

Technologie de pointe

WILD GPS – le système 200 est conçu pour la rapidité, la précision et l'efficacité.

Léger, maniable, le matériel comprend le capteur GPS bi-fréquence SR299, le contrôleur GPS portable CR233 et une batterie CdNi.

Des cartes mémoires enfichables sont utilisées comme support d'enregistrement.

Une nouvelle génération de logiciels automatisés

SKI, le nouveau logiciel de post-traitement hautement automatisé fonctionne sous Microsoft Windows, le plus diffusé actuellement des environnements graphiques.

En plus du Statique et Cinématique, le système 200 offre aussi les modes de mesures suivants : Stop & Go, Réoccupation et Statique Rapide.

Observations très rapides

Des sessions d'observation de quelques minutes seulement et des calculs très rapides sont les facteurs clés du système; la navigation en temps réel est également disponible.

Pour tous travaux topographiques

Utilisez le système 200 pour toute la gamme des activités topographiques, du levé de détails à la réalisation de grands réseaux géodésiques nationaux.

WILD GPS – Système 200: encore une innovation du premier constructeur d'instruments de topographie.

Spécifications techniques préliminaires

Eléments:

Capteur GPS WILD SR299
Contrôleur GPS WILD CR233
Logiciel de post-traitement SKI

Réception des satellites GPS

Signal L1: Phase de porteuse obtenue par mesure du code C/A
Signal L2: Phase de porteuse obtenue par mesure du code P ou technique 'squaring'
Canaux de réception: Continus, 9 (L1) et 9 (L2)
Observations des satellites: Jusqu'à 9 simultanément (L1 + L2)
Élévation minimum: Paramétrable
Sortie de signaux de synchronisation horaire: En option

Le capteur GPS WILD SR299

Type d'antenne: Microstrip
Sélection des satellites: Automatique, basée sur des critères d'élévation et de santé des satellites. Sélection manuelle
Mesure du signal L2: Commute automatiquement en technique 'squaring' quand le code P est crypté
Poids: 2,2 kg

Le contrôleur GPS WILD CR233

Fonctions: Commande le capteur GPS
Enregistre les données
Type d'observations réalisées: Statique, Statique Rapide, Réoccupation
Stop & Go, Cinématique, Navigation
Séquence de démarrage: Manuelle ou automatique
Mise en marche programmée: Plusieurs missions programmables en temps et durée
Ecran de visualisation: Grand écran LCD
8 lignes de 40 caractères
Informations sur le suivi des satellites
Informations sur l'enregistrement des mesures
Position en temps réel
Informations sur la Navigation temps réel
Aides utilisateur
Alphanumérique
Clavier:
Enregistrement des mesures
Cartes mémoires interchangeables: Capacité de 512 Ko
Mémoire interne (option): 1 Mo
Poids: 1,1 kg

Précision d'une ligne de base issue du logiciel de post-traitement

EMQ de la ligne de base: 5mm + 1ppm

Note : La précision d'une ligne de base dépend d'une grande quantité de paramètres dont le nombre de satellites observés, la géométrie de la constellation, le temps d'observation et la précision des éphémérides.

Précision d'une position point isolé et en Navigation (tributaire du SA)

Position point isolé (3D): 15 m EMQ pour chaque coordonnée
Position en Navigation (2D): 15 m EMQ pour chaque coordonnée

Alimentation

Alimentation: 12V DC
Batterie conseillée: WILD GEB 71, 12V, 7Ah, CdNi

Environnement

Température d'emploi: - 20° C à + 55° C
Température de stockage: - 40° C à + 70° C
Humidité: 0 à 100 %

Logiciel de post-traitement SKI

Nouveau logiciel de post-traitement
Précision, rapidité, facilité d'emploi
Hautement automatisé
Fonctionne sous Microsoft Windows
Ordinateurs PC IBM et COMPAQ conseillés (informations détaillées sur demande).

Modes de mesures traités

Statique, Statique Rapide, Réoccupation, Stop & Go, Cinématique

Microsoft et Windows™ sont des marques déposées de Microsoft Corporation

Leica

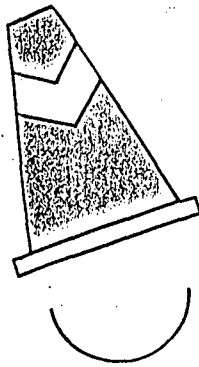
Leica Heerbrugg AG
CH-9435 Heerbrugg
(Suisse)

Téléphone +41 (071) 703 131

POSITIONNEMENT

TYPE	TEMPS D'OBSERV.	PRECISION
Positionnement à point simple	30-60 sec	15-25 m
Statique	1-4 hrs	5mm + 1 ppm
Statique rapide	2-5 min	1-2 cm
Stop & Go	10 sec	1-2 cm
Cinématique	1 sec	1-2 cm
Navigation	1 sec	2-5 m

Ces précisions peuvent être obtenues seulement
durant des conditions idéales.



COMMUNIQUÉ

Pour diffusion immédiate

O-20

RELEVÉS D'ARPENTAGE SUR LA ROUTE 105

Hull, le 27 mai 1993. Transports Québec informe les utilisateurs de la route 105 que des relevés d'arpentage seront réalisés à Egan Sud les 1^{er} et 2 juin.

Il est possible que la route 105 doive être fermée pour de courtes périodes de 10 à 15 minutes pendant cette opération afin de procéder à quelques vérifications techniques.

Le public voyageur est invité à respecter la signalisation et à ralentir dans ce secteur afin que les relevés d'arpentage se fassent en toute sécurité pour les travailleurs et les usagers de la route.

-30-

Source: Denis Carrier
Agent de recherche et conseiller en
communication
(819) 772-3107

ON VA DE **L'AVANT**



Transports
Québec

Une première au Québec réalisée à Égan-Sud

(P.C.) - Égan-Sud - Le ministère des Transports a procédé mardi dernier à Égan-Sud à une première au Québec, alors que des relevés d'arpentage ont été pris en mouvement, par des appareils recevant des signaux par satellites. Pour cette première dans la province, les experts du ministère des Transports se sont assurés la collaboration d'une entreprise locale, les arpenteurs-géomètres Sirois et Associés de Maniwaki.

"Ce n'est pas la première fois qu'on se sert de capteurs de signaux de satellites pour prendre des relevés. Mais c'est la première fois que ça se fait en mouvement au Québec," a dévoilé M. Daniel Dorais, responsable de l'arpentage et de la géomatique au ministère des Transports

pour l'Outaouais.

En fait, l'expérience consistait à installer un capteur de signaux envoyés par satellite, fourni par Sirois et Associés, sur une petite remorque à l'avant d'une camionnette du ministère des Transports. La camionnette roulait à 10 km/h le long des lignes blanches

et de la ligne jaune sur un tronçon de 5 km directement au nord de Maniwaki, dans la municipalité d'Égan-Sud. À chaque seconde, le capteur recevait un signal d'au moins quatre satellites, une "bande" pour utiliser le mot juste, bande qui lui donnait sa situation géographique en trois dimensions au centimètre près. Au lieu de transporter le capteur à chaque 20 mètres et prendre un relevé comme ça se faisait avant, le capteur en mouvement était en mesure de donner un relevé à tous les 2 mètres.

Ce système de données par satellite nommé GPS (Global Positioning System) issu de la Guerre des Étoiles de la Nasa américaine est disponible depuis les années 80 pour les civils. En plus de servir à l'arpentage, ce système pourrait être utile dans une foule de domaines, notamment pour les grandes compagnies de camions qui pourraient automatiquement connaître la position de chacun des camions.

"Avec cette méthode expérimentale, on économise beaucoup de temps et surtout, c'est beaucoup plus sécuritaire pour les employés," ajoutait M. Dorais. Au lieu de mobiliser six travailleurs pendant deux semaines, l'opération qui a fourni des données infiniment plus nombreuses a duré environ une journée, avec moins de travailleurs.

Pour ce qui est de la sécurité, les travailleurs n'ont plus à s'installer en plein milieu de la ligne jaune, ou sur les deux lignes blanches pour obtenir des relevés comme c'était le cas pour les méthodes traditionnelles, ce qui constituait un danger certain, même en employant jusqu'à cinq autres travailleurs pour diriger la circulation. Avec ce système, les employés n'ont qu'à rouler à vitesse ré-



M. Daniel Dorais du ministère des Transports, à gauche, en compagnie de M. Jacques Sirois des arpenteurs-géomètres Sirois et Associés.

duite dans une camionnette, et l'instrument capte les signaux par satellite.

Pour utiliser ce système GPS, le ministère des Transports a dû installer deux autres capteurs stationnaires, le long de la route. "Les appareils stationnaires n'ont pas besoin d'être à proximité de la route. Il pourrait y en avoir un à Hull et l'autre à Montréal," expliquait M. Dorais.

Par cette opération, le ministère des Transport voulait connaître le profil longitudinal et transversal de ce tronçon de route afin de recommencer l'asphaltage. En connaissant la hauteur ainsi que la position de chaque point, les ingénieurs peuvent apporter les corrections nécessaires au profil de la route et décider de l'épaisseur requise de la couche d'asphalte, de même

qu'une foule de facteurs entrant en ligne de compte.

Et s'il a choisi la région de Maniwaki pour expérimenter la technique, c'est parce que le ministère voulait se donner un cadre opérationnel réel, et que les instruments et l'expertise étaient disponibles via la compagnie d'arpenteurs-géomètres Sirois et Associés.



Le camion du ministère des Transports est muni d'un récepteur de signaux par satellites à l'avant. Pour la première fois au Québec, les signaux des satellites ont été captés en mouvement, alors que le camion roulait à 10 km/h et prenait un relevé à toutes les secondes.

CHIRURGIEN À MANIWAKI DEPUIS UN MOIS

Le Dr Ménard, un habitué des régions nordiques

22 points de contrôle

#point	x reel	y reel	z reel geom	x final gps	y final gps	z final gps
26	344704.826	5139452.924	183.828	344704.8457	5139452.9223	183.8085
28	344698.503	5139453.328	183.789	344698.4896	5139453.3504	183.7778
38	344719.682	5140516.379	177.749	344719.7090	5140516.3306	177.7392
39	344716.530	5140516.458	177.781	344716.5604	5140516.4419	177.8066
40	344713.325	5140516.520	177.783	344713.3431	5140516.5077	177.7630
41	344711.066	5141001.726	172.771	344711.0787	5141001.7157	172.7855
42	344707.918	5141001.679	172.694	344707.9666	5141001.6784	172.6753
43	344704.736	5141001.635	172.596	344704.7378	5141001.6451	172.5499
44	344589.377	5141310.333	177.079	344589.3875	5141310.3230	177.0748
45	344586.891	5141308.401	177.059	344586.8888	5141308.4157	177.0653
46	344584.324	5141306.402	176.959	344584.3190	5141306.4157	176.9670
57	344352.474	5141992.251	174.699	344352.4887	5141992.2308	174.6806
58	344349.423	5141992.703	174.658	344349.4317	5141992.7028	174.6239
59	344346.125	5141993.173	174.540	344346.1353	5141993.1761	174.5191
60	344264.051	5142658.960	175.624	344264.0766	5142658.9706	175.6119
62	344257.621	5142658.064	175.927	344257.6563	5142658.0733	175.9006
94	344639.282	5143426.145	174.477	344639.2759	5143426.1401	174.4698
95	344642.487	5143426.563	174.593	344642.4888	5143426.5719	174.5981
96	344645.724	5143426.918	174.681	344645.7285	5143426.9177	174.6656
97	344556.582	5144013.607	176.366	344556.5453	5144013.5793	176.3474
98	344559.619	5144013.978	176.355	344559.6128	5144013.9740	176.3446
99	344562.809	5144014.462	176.264	344562.8176	5144014.4519	176.2416

# point	delta x	delta y	delta z	position
26	-0.0197	0.0017	0.0195	0.0198
28	0.0134	-0.0224	0.0112	0.0261
38	-0.0270	0.0484	0.0098	0.0554
39	-0.0304	0.0161	-0.0256	0.0344
40	-0.0181	0.0123	0.0200	0.0219
41	-0.0127	0.0103	-0.0145	0.0163
42	-0.0486	0.0006	0.0187	0.0486
43	-0.0018	-0.0101	0.0461	0.0102
44	-0.0105	0.0100	0.0042	0.0145
45	0.0022	-0.0147	-0.0063	0.0149
46	0.0050	-0.0137	-0.0080	0.0146
57	-0.0147	0.0202	0.0184	0.0250
58	-0.0087	0.0002	0.0341	0.0087
59	-0.0103	-0.0031	0.0209	0.0108
60	-0.0256	-0.0106	0.0121	0.0277
62	-0.0353	-0.0093	0.0264	0.0365
94	0.0061	0.0049	0.0072	0.0078
95	-0.0018	-0.0089	-0.0051	0.0091
96	-0.0045	0.0003	0.0154	0.0045
97	0.0367	0.0277	0.0186	0.0460
98	0.0062	0.0040	0.0104	0.0074
99	-0.0086	0.0101	0.0224	0.0132

somme:	0.255917	0.473355
moyenne:	0.017041	0.021516
nombre:	22	22
variance:	0.000251	0.000200
ecart-type:	0.015870	0.014170
max:	0.0461	0.055394
min:	-0.02561	0.004476

distribution delta Z		distribution position	
-0.03	0	0	0
-0.02	1	0.01	5
-0.01	1	0.02	8
0	3	0.03	4
0.01	3	0.04	2
0.02	8	0.05	2
0.03	4	0.06	1
0.04	1		0
0.05	1		
	0		

Écarts Dynamiques, TEST "A"
(Données en millimètre)

40

L'écart en POSITION entre la méthode GPS et la station totale 1993.

10, 11, 5, 1, 4, 9, 12, 14, 15, 12, 7, 1, 3, 1, 1, 2, 3, 3, 4, 3, 1,
4, 2, 1, 3, 6, 9, 10, 11, 8, 3, 1, 1, 2, 2, 2, 3, 7, 10, 12, 12, 13,
11, 6, 1, 1, 1, 5, 9, 10, 9, 5, 1, 1, 2, 2, 1, 7.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
58	5.45	17.97	4.24	15	1

L'écart en POSITION entre la station totale 1993 et la station totale 1987.

7, 8, 17, 19, 22, 27, 27, 27, 19.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
9	19.22	52.17	7.22	27	7

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et le méthode géométrique.

2, 16, 18, 11, 9, 5, 6, 14, 0, 3, 6, 7, 5, 6, 6, 8, 16, 17, 14, 15,
15, 11, 19, 10, 24, 26, 23, 0, 18, 9, 3, 2, 3, 3, 0, 3, 2, 1, 4, 0,
6, 7, 1, 3, 10, 4, 6, 4, 5, 2, 2, 6, 6, 15, 15, 5, 11.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
57	8.21	42.80	6.54	26	0

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et le méthode trigonométrique (1993).

9, 23, 25, 18, 16, 2, 14, 6, 7, 11, 14, 15, 13, 14, 15, 17, 25, 7,
23, 24, 25, 22, 30, 21, 35, 38, 35, 13, 30, 3, 16, 15, 10, 10, 14, 17,
12, 13, 18, 14, 21, 22, 14, 18, 5, 19, 22, 20, 21, 18, 18, 23, 24,
33, 33, 25, 31.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
57	18.53	67.20	8.20	38	2

Écarts Dynamiques, TEST "A"
(Données en millimètre)

41

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et la méthode trigonométrique 1987.

13, 26, 28, 20, 18, 4, 15, 4, 8, 11, 15, 17, 15, 17, 18, 20, 28, 4, 25, 25, 25, 21, 27, 18, 31, 32, 30, 9, 28, 2, 15, 16, 11, 10, 12, 15, 8, 8, 12, 7, 14, 15, 17, 12, 1, 15, 17, 15, 18, 15, 17, 22, 23, 32, 32, 24, 31.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
57	17.33	66.08	8.13	32	1

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode géométrique et la méthode trigonométrique 1993.

7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 8, 8, 9, 9, 10, 11, 12, 13, 13, 13, 13, 13, 14, 14, 14, 14, 15, 15, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
31	12.00	15.10	3.89	20	7

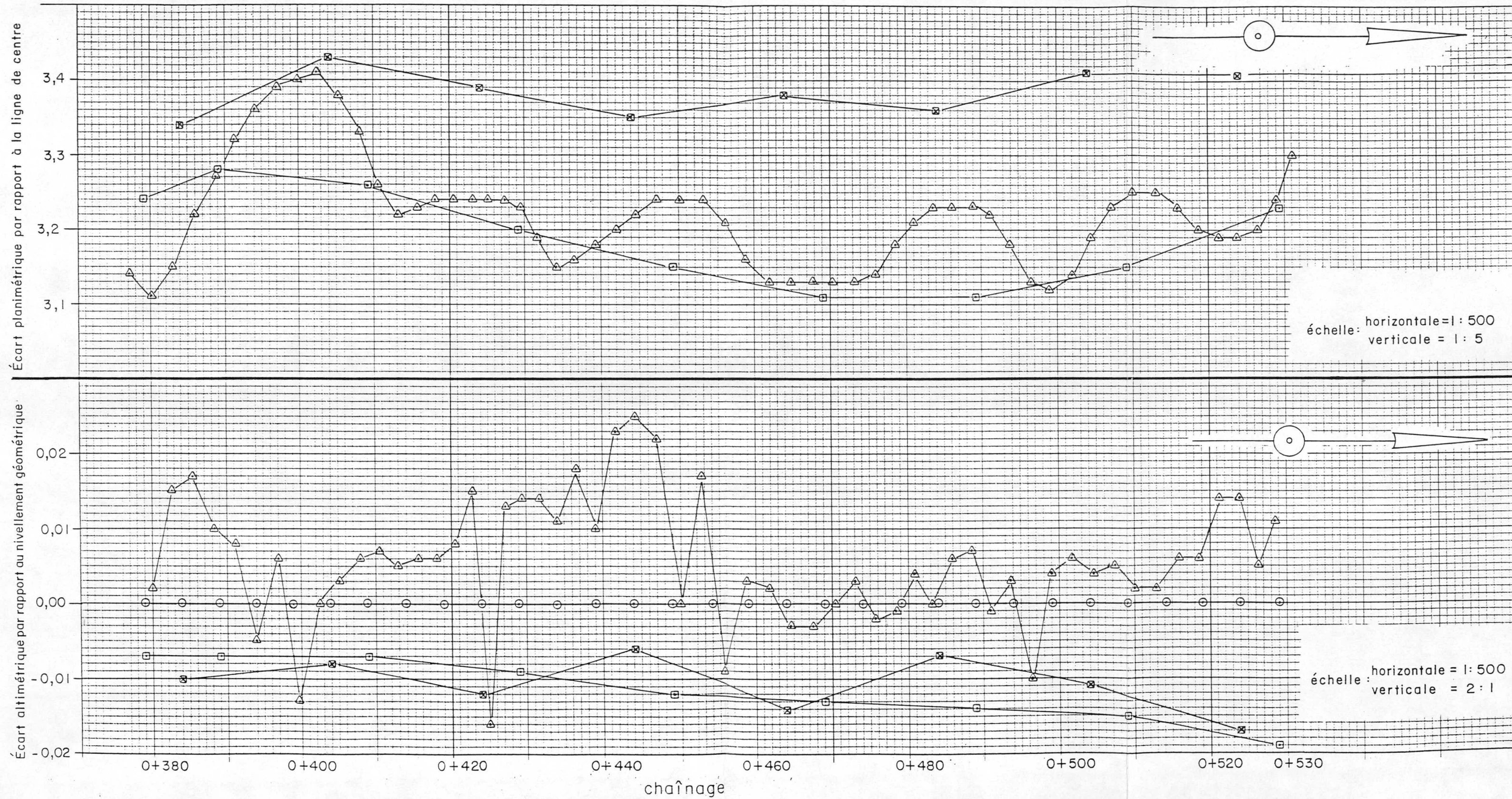
Test "A"

Route 105 à Maniwaki

Caractéristiques : ligne de rive ouest, longueur ± 150 mètres (droite)
 pente de la chaussée $\pm 2^\circ$
 précision géométrique des satellites (GDOP) $\pm 2,5$
 vitesse de roulement ± 10 km/h.

Légende

- position et élévation avec GPS △
- position avec nivellement géométrique ○
- position avec station totale ($\pm 2''$) 1993 □
- (nivellement trigonométrique)
- position avec station totale ($\pm 2''$) 1987 ⊠
- (nivellement trigonométrique)



L'écart en POSITION entre la méthode GPS et la station totale 1993.

2, 2, 2, 0, 1, 1, 2, 7, 8, 10, 11, 6, 4, 1, 2, 2, 0, 2, 2, 1, 4, 11,
10, 8, 6, 4, 3, 1, 0, 1, 0, 2, 2, 3, 0, 2, 3, 3, 4, 4, 3, 2, 2, 2, 4,
7, 9, 5, 5, 6, 8, 8.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
52	3.81	9.31	3.05	11	0

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et la méthode géométrique.

20, 22, 35, 18, 4, 30, 1, 6, 17, 5, 9, 13, 30, 26, 1, 1, 4, 8, 1, 33,
2, 10, 15, 6, 4, 7, 3, 1, 7, 4, 15, 18, 1, 0, 2, 5, 3, 2, 9, 7, 4, 4,
5, 6, 7, 8, 9, 2, 2.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
49	9.22	82.66	9.09	35	0

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode trigonométrique 1993 et la méthode géométrique.

7, 5, 2, 4, 6, 8, 10, 10, 9, 8, 7, 7, 7, 8, 8, 7, 5, 4, 2, 2, 3, 3,
4, 4, 4, 5, 5, 5, 5, 5, 5.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
31	5.61	4.88	2.21	10	2

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et la méthode trigonométrique 1993.

12, 17, 32, 15, 0, 25, 7, 2, 7, 5, 1, 3, 21, 18, 7, 6, 3, 1, 9, 25, 6,
2, 6, 1, 2, 2, 7, 2, 5, 2, 12, 15, 2, 4, 6, 1, 1, 2, 5, 2, 9, 9, 0,
12, 12, 13, 4, 7, 7.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
49	7.63	51.33	7.16	32	0

Test "B"

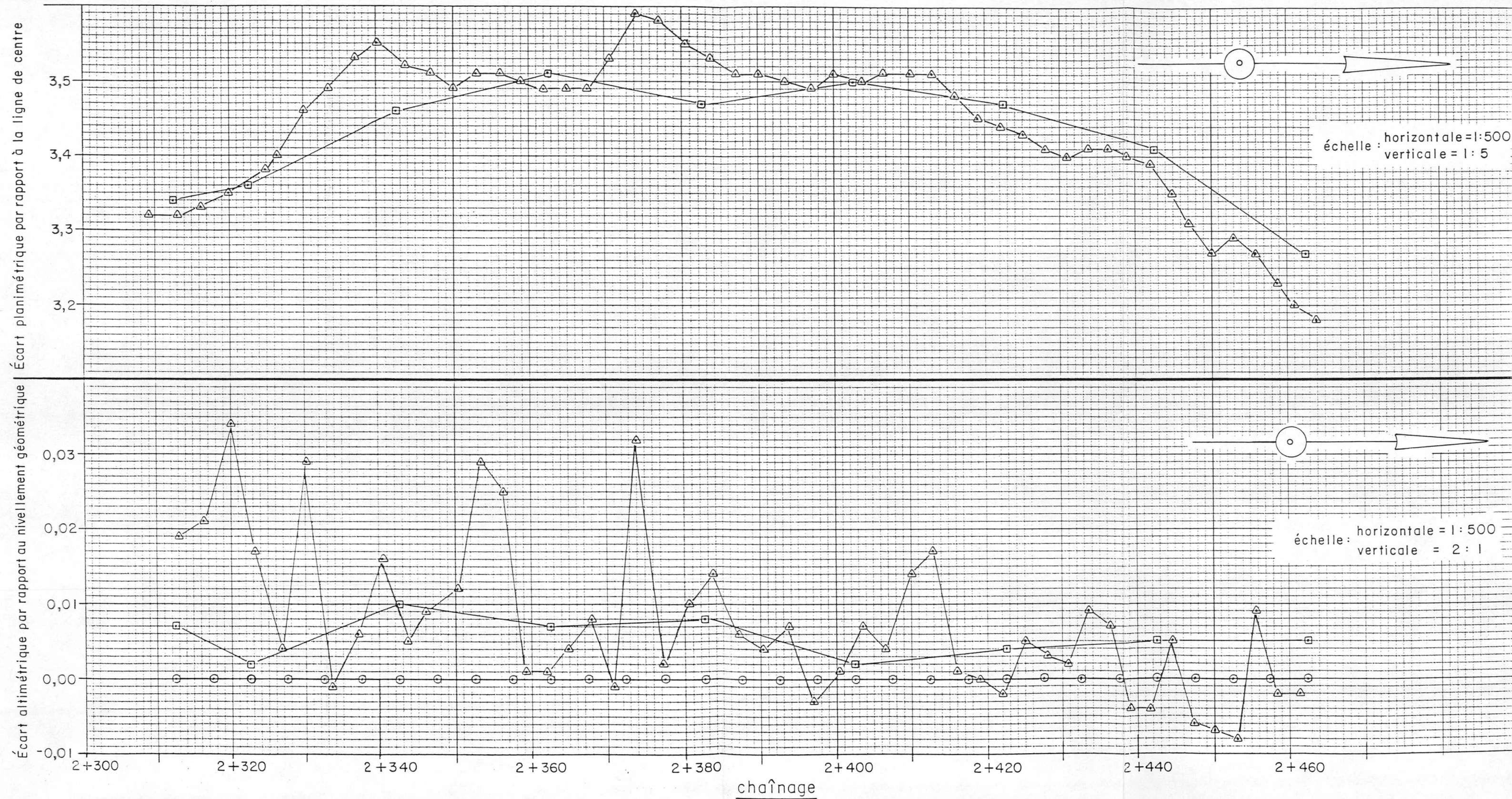
Route 105 à Maniwaki

Caractéristiques : ligne de rive ouest, longueur ± 150 mètres (droite)
 pente de la chaussée $\pm 0^\circ$
 précision géométrique des satellites (GDOP) $\pm 4,0$
 vitesse de roulement ± 10 km/h.

Légende

position et élévation avec GPS $\triangle$
 position avec nivellement géométrique $\circ$
 position avec station totale ($\pm 2''$) 1993 $\square$
 (nivellement trigonométrique)

44



Écarts Dynamiques, TEST "C"
(Données en millimètre)

45

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et la méthode géométrique.

5, 1, 2, 11, 2, 0, 1, 4, 2, 2, 10, 6, 8, 2, 3, 7, 5, 7, 10, 6, 3, 3,
1, 12, 0, 1, 4, 1, 4, 4, 5, 15, 9, 2, 13, 2, 4, 0, 3, 9, 2, 5, 2, 5,
2, 1.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
46	4.48	13.47	3.67	15	0

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode géométrique et la méthode trigonométrique 1993.

18, 16, 17, 14, 14, 13, 11, 11, 8, 8, 7, 6, 7, 5, 2, 1, 2, 1, 3, 3,
4, 4, 5, 6, 5, 4, 8, 8, 4, 6, 9.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
31	7.42	21.79	4.67	18	1

L'écart en ÉLEVATION entre la méthode GPS et la méthode trigonométrique.

14, 16, 15, 6, 18, 15, 16, 10, 15, 14, 1, 18, 1, 11, 5, 1, 2, 1, 4,
1, 2, 1, 1, 11, 1, 3, 6, 1, 7, 7, 1, 20, 14, 7, 19, 8, 10, 5, 1, 17,
6, 3, 3, 1, 0, 8, 10.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
47	7.60	38.28	6.19	20	0

L'écart en POSITION entre la méthode GPS et la station totale 1993.

12, 11, 11, 10, 7, 6, 6, 7, 10, 11, 13, 13, 10, 13, 9, 7, 9, 14, 15,
13, 10, 9, 9, 7, 6, 4, 5, 3, 3, 3, 2, 2, 1, 1, 3, 7, 11, 7, 4, 3, 8,
10, 12, 10, 4, 1, 4.

Nombre	Moyenne	Variance	Écart-type	Écart max.	Écart min.
47	7.57	15.05	3.88	15	1

Test "C"

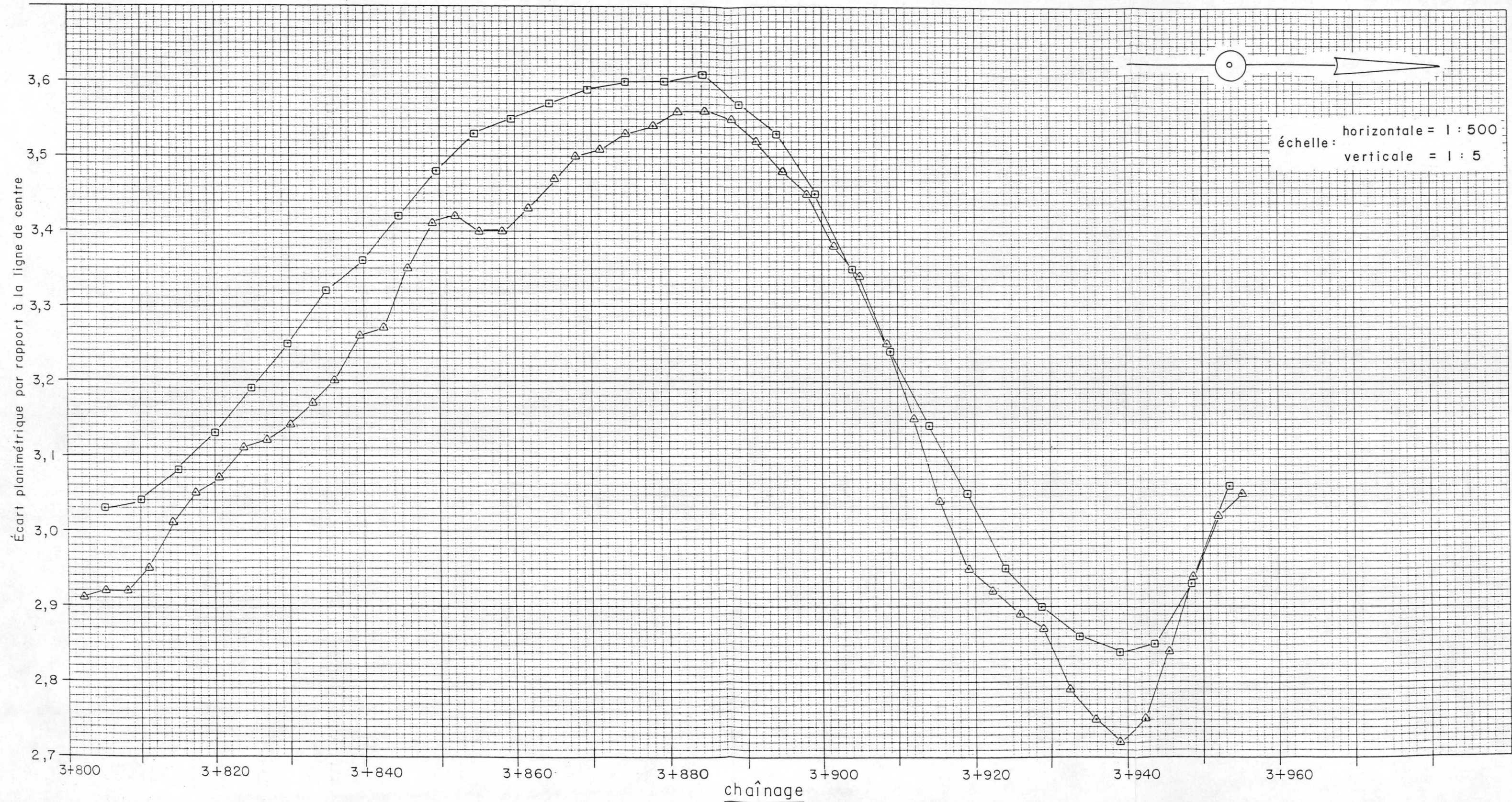
Route 105 à Maniwaki

Caractéristiques : ligne de rive ouest, longueur ± 150 mètres (courbe)
 pente de la chaussée $\pm 0^\circ$
 précision géométrique des satellites (GDOP) $\pm 2,5$
 vitesse de roulement $\pm 10\text{ km/h}$.

Légende

position avec GPS $\triangle$
 position avec station totale ($\pm 2''$) 1993 $\square$
 position avec station totale ($\pm 2''$) 1987 $\otimes$

46



Test "C"

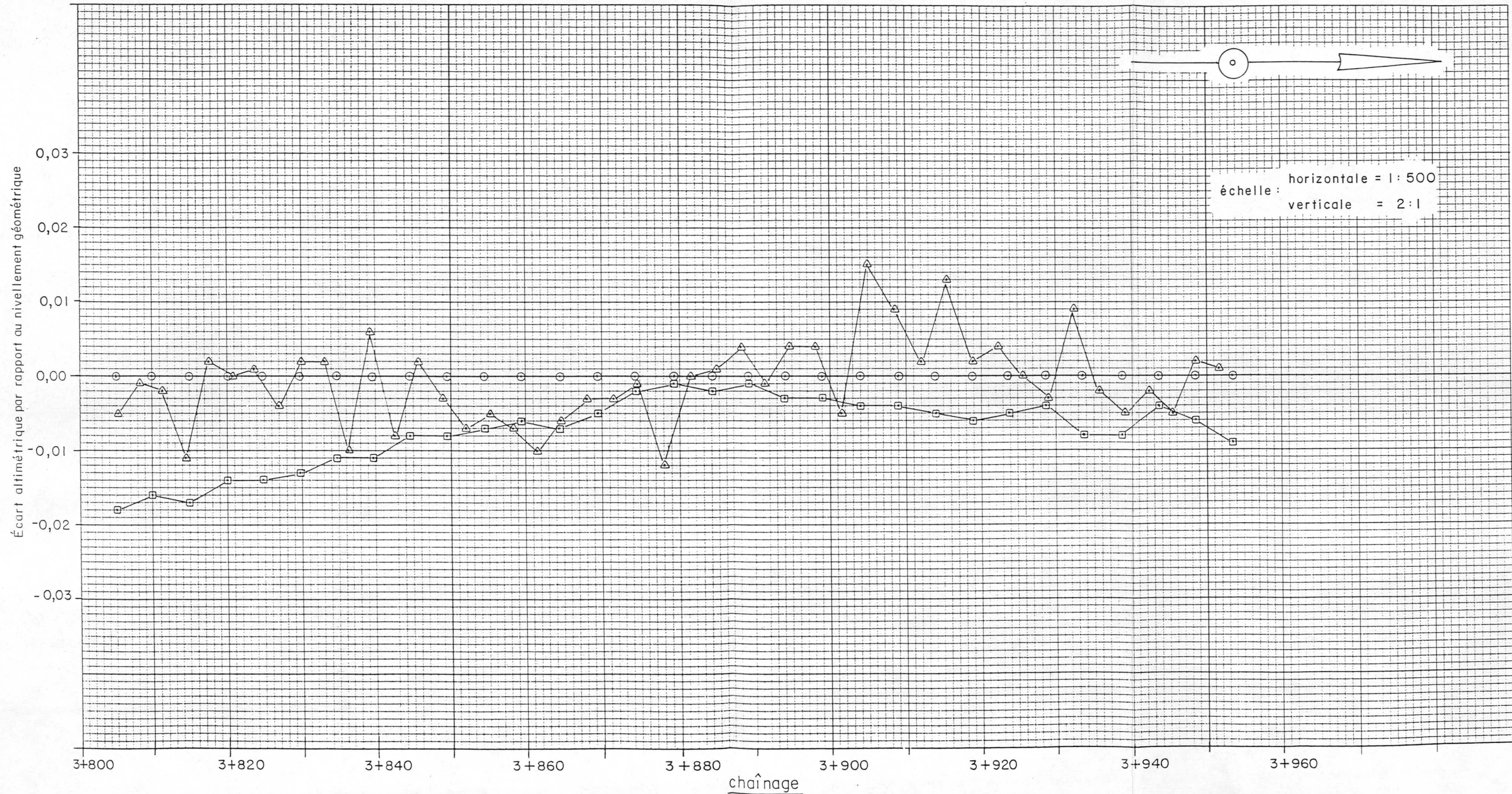
Route 105 à Maniwaki

Caractéristiques : ligne de rive ouest, longueur ± 150 mètres (courbe)
 pente de la chaussée $\pm 0^\circ$
 précision géométrique des satellites (GDOP) $\pm 2,5$
 vitesse de roulement ± 10 km/h.

Légende

élévation avec G P S $\triangle$
 position avec nivellement géométrique $\circ$
 nivellement trigonométrique 1993 $\square$

47



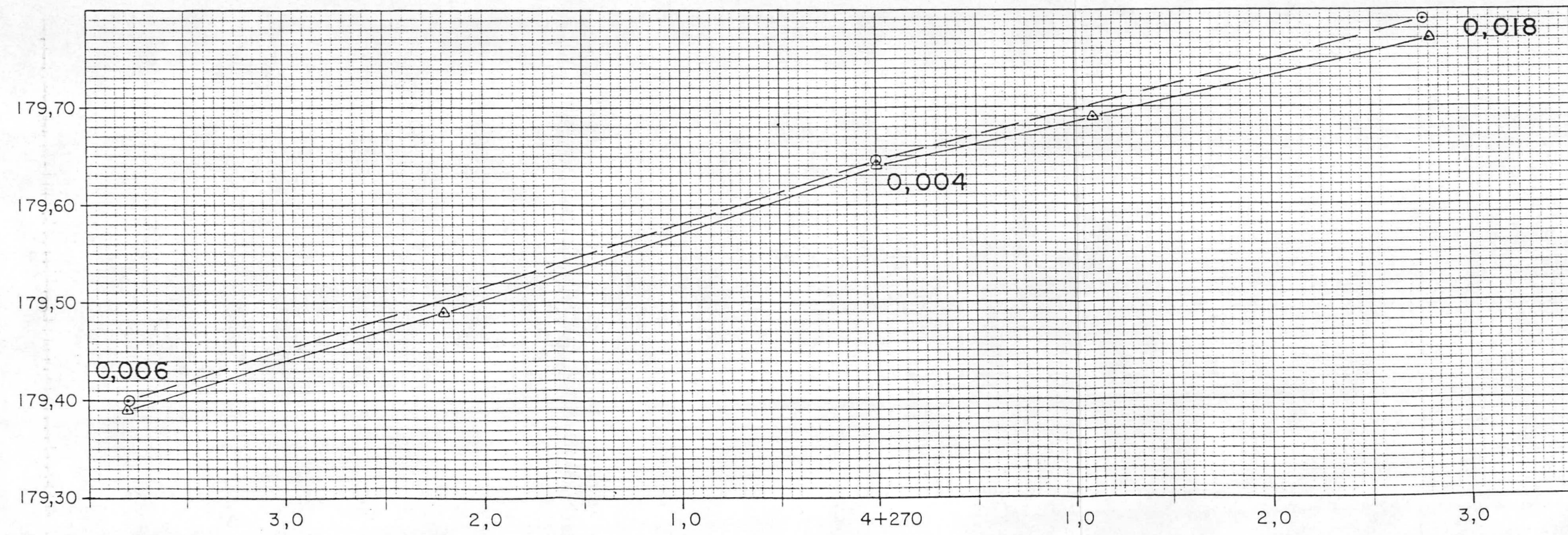
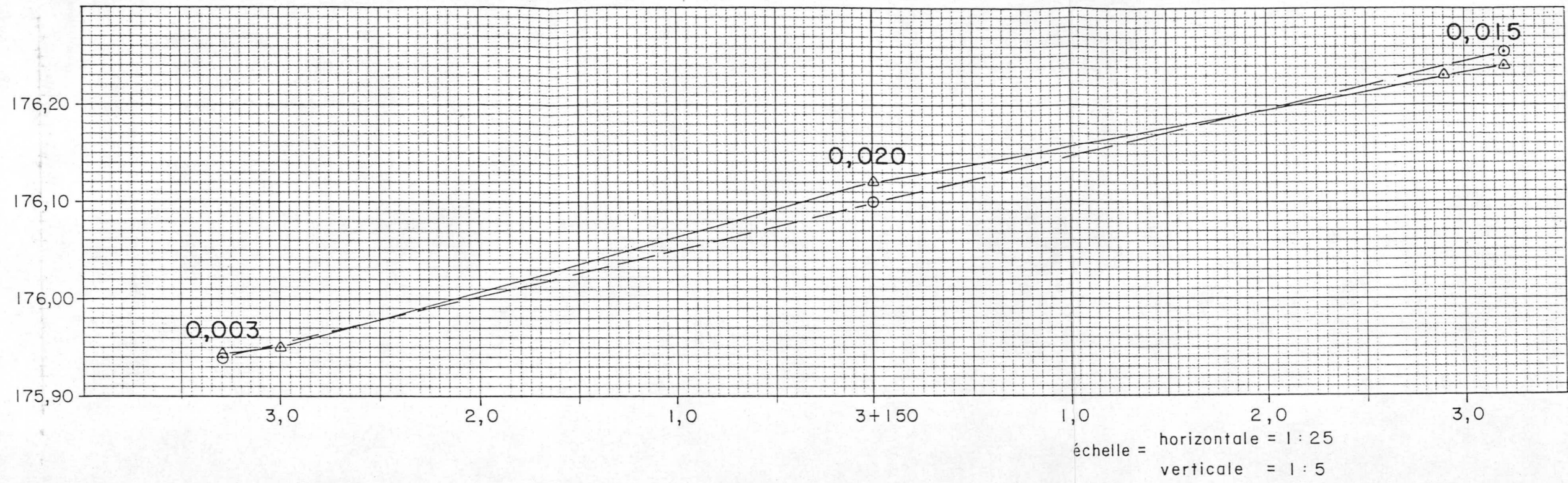
Test "D"

Route IO5 à Maniwaki

Chaînage 3+150 et 4+270

Légende

position et élévation avec GPS $\triangle$
position avec nivellement géométrique $\odot$



Test "D"

49

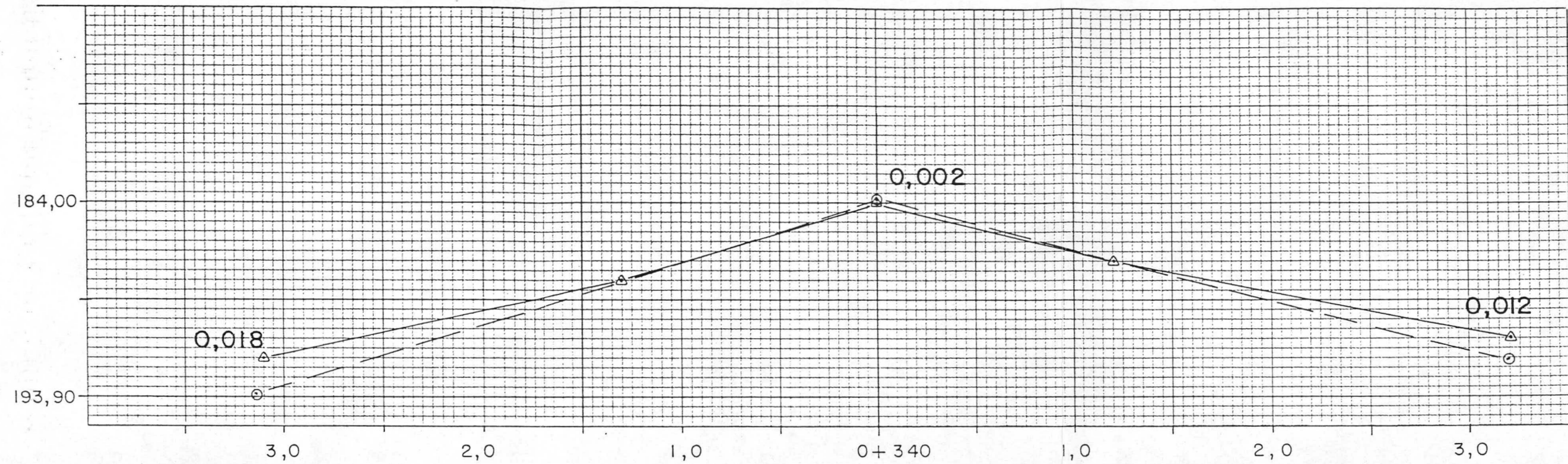
Route 105 à Maniwaki

Chaînage 0+340 et 1+260

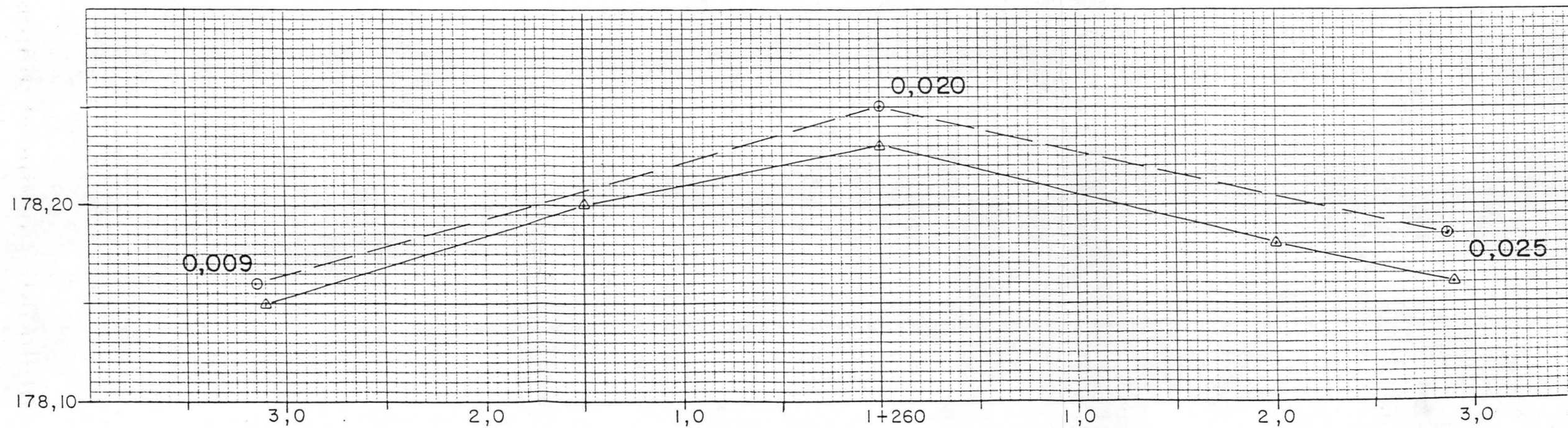
Légende

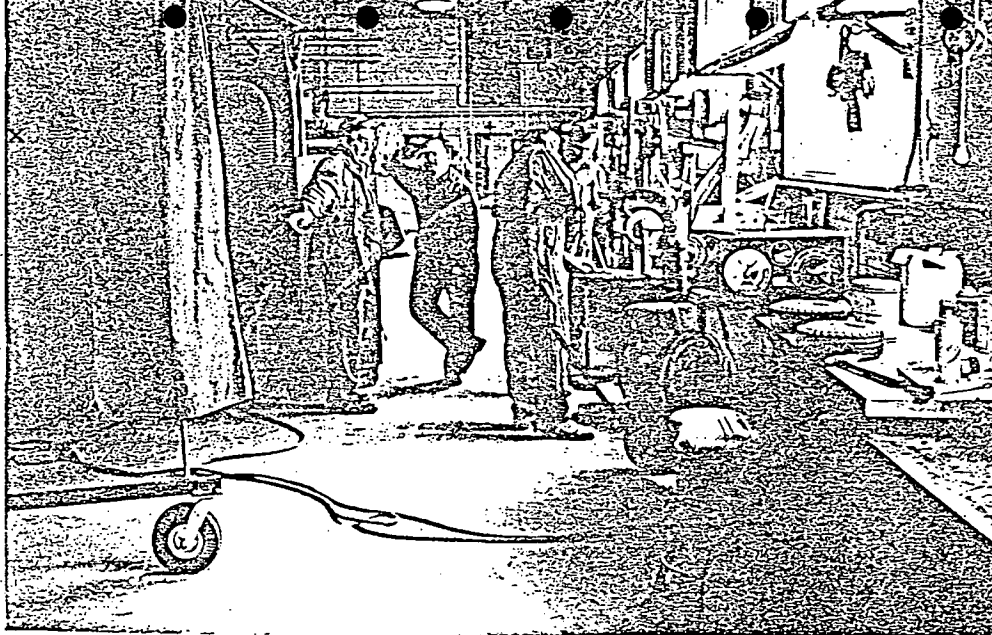
position et élévation avec GPS $\triangle$

position avec nivellement géométrique $\odot$

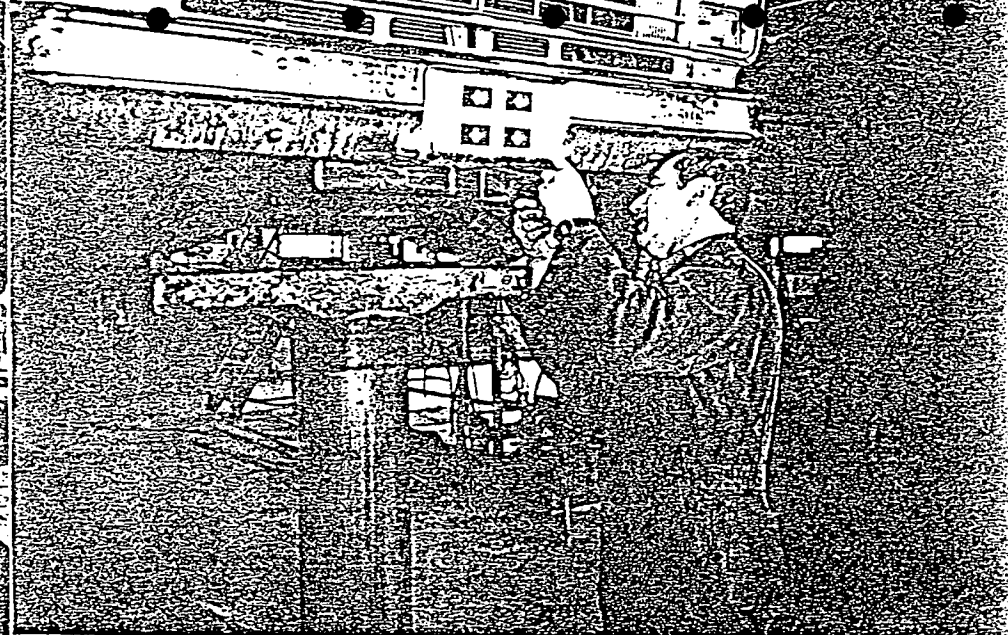


échelle : horizontale = 1 : 25
verticale = 1 : 2,5





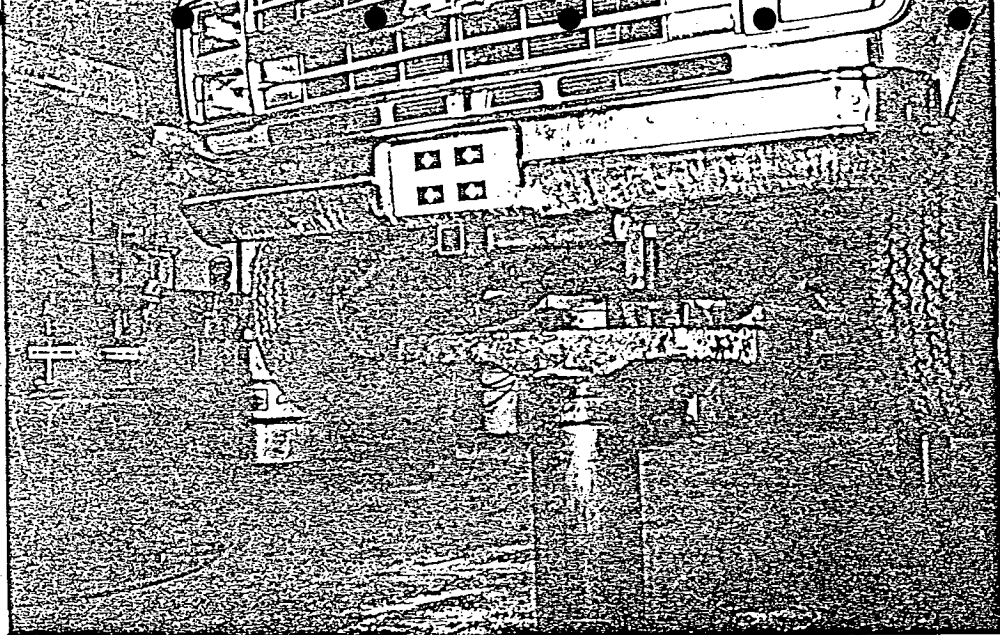
Monsieur Patrice Lavoie et l'équipe du centre d'exploitation de Papineauville.



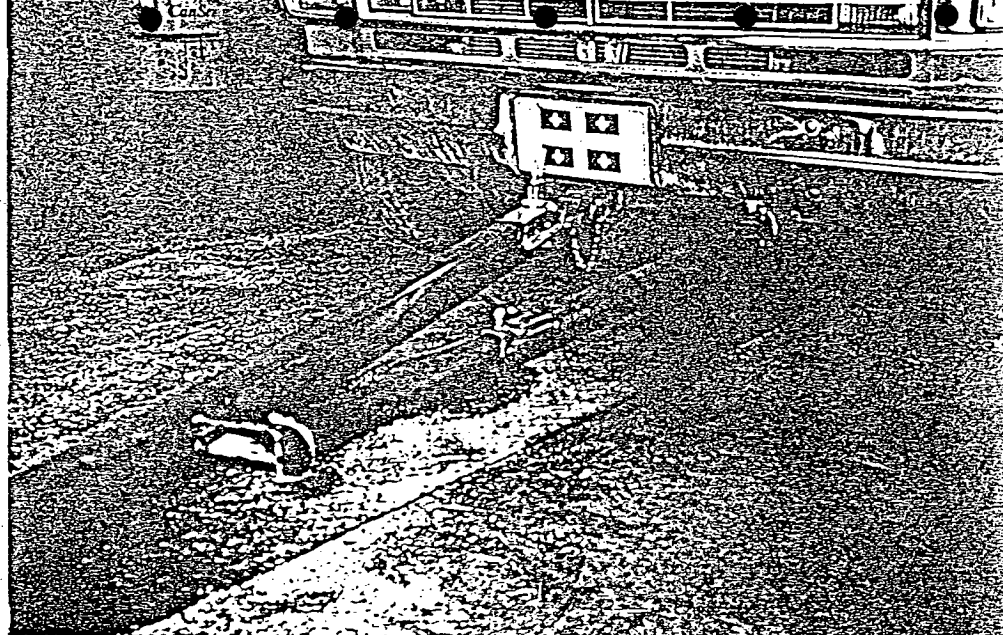
Monsieur Gilles Guindon, soudeur au centre d'exploitation de Papineauville.

Monsieur André Defayette, a.g., a participé à la conception du bras.





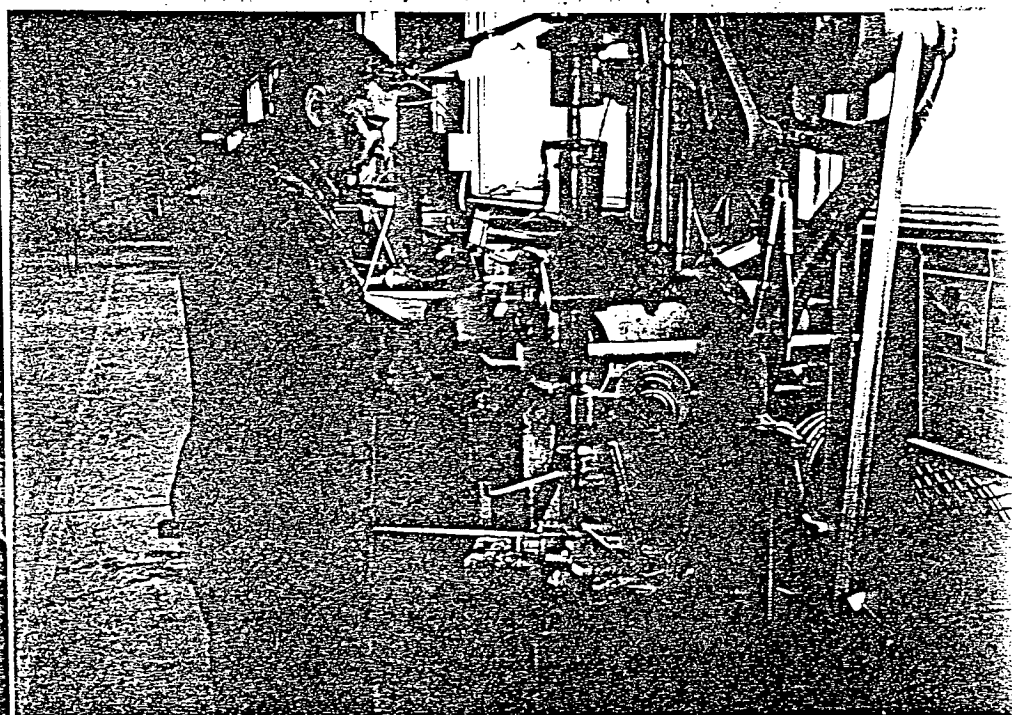
Les attaches sur le camion.



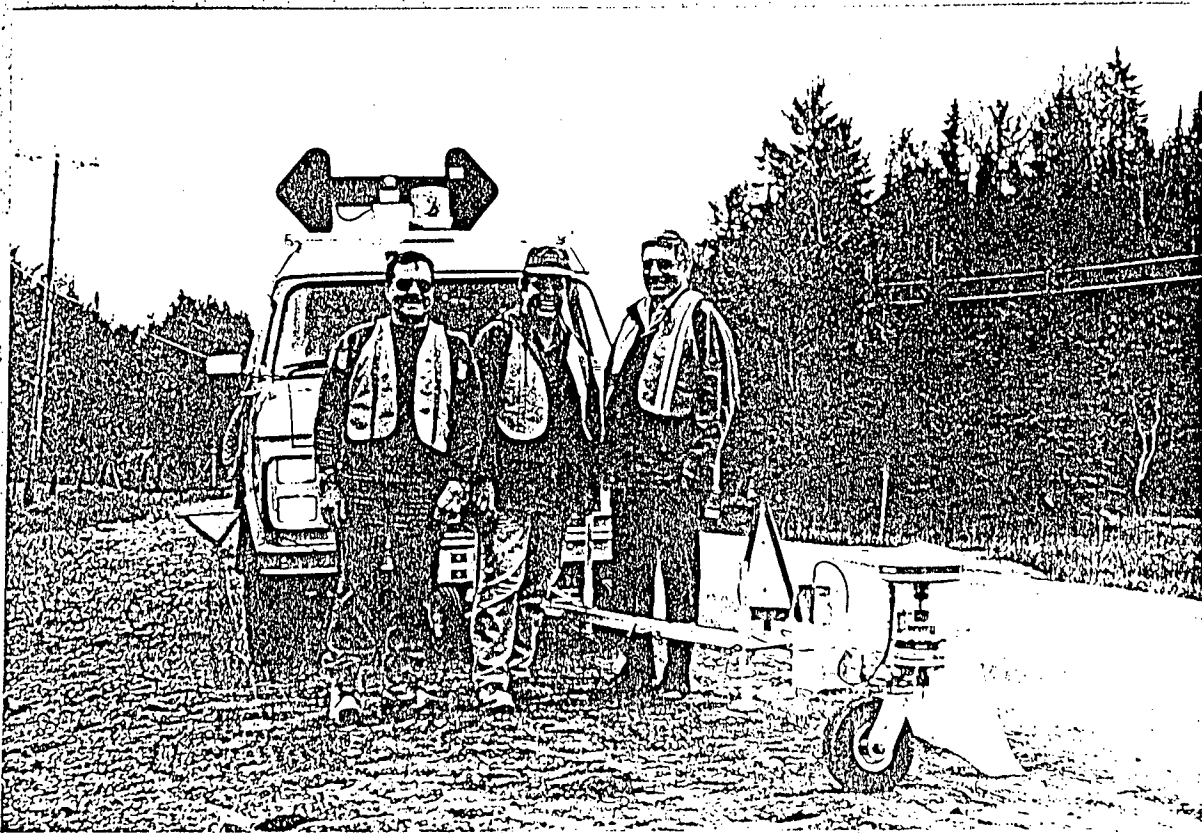
La construction du bras.



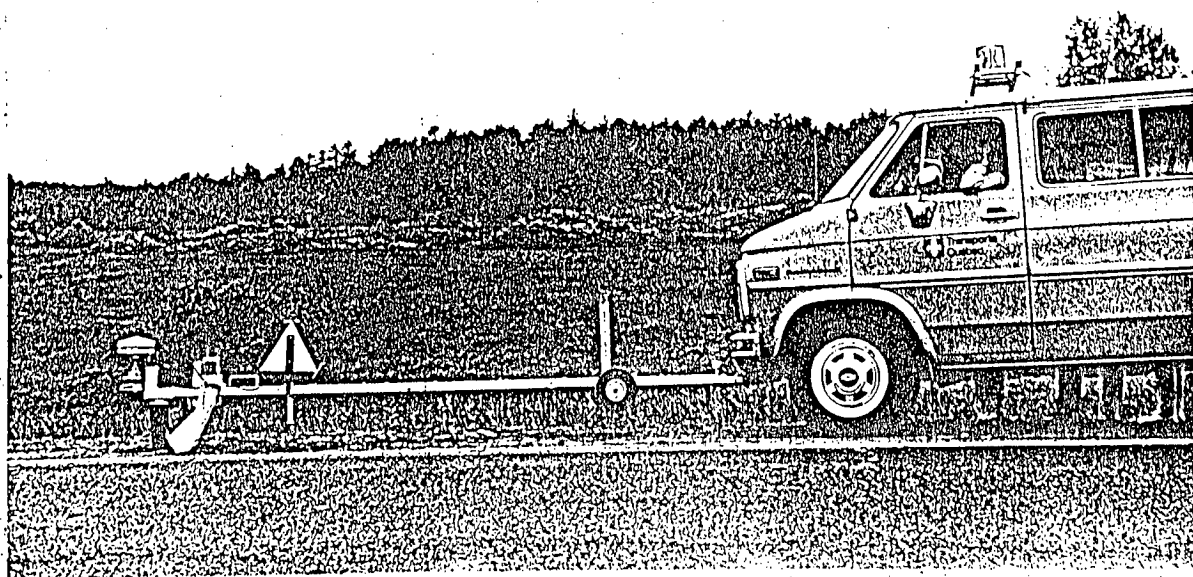
M. André-Jean Prévost, mécanicien du centre d'exploitation de Papineauville.



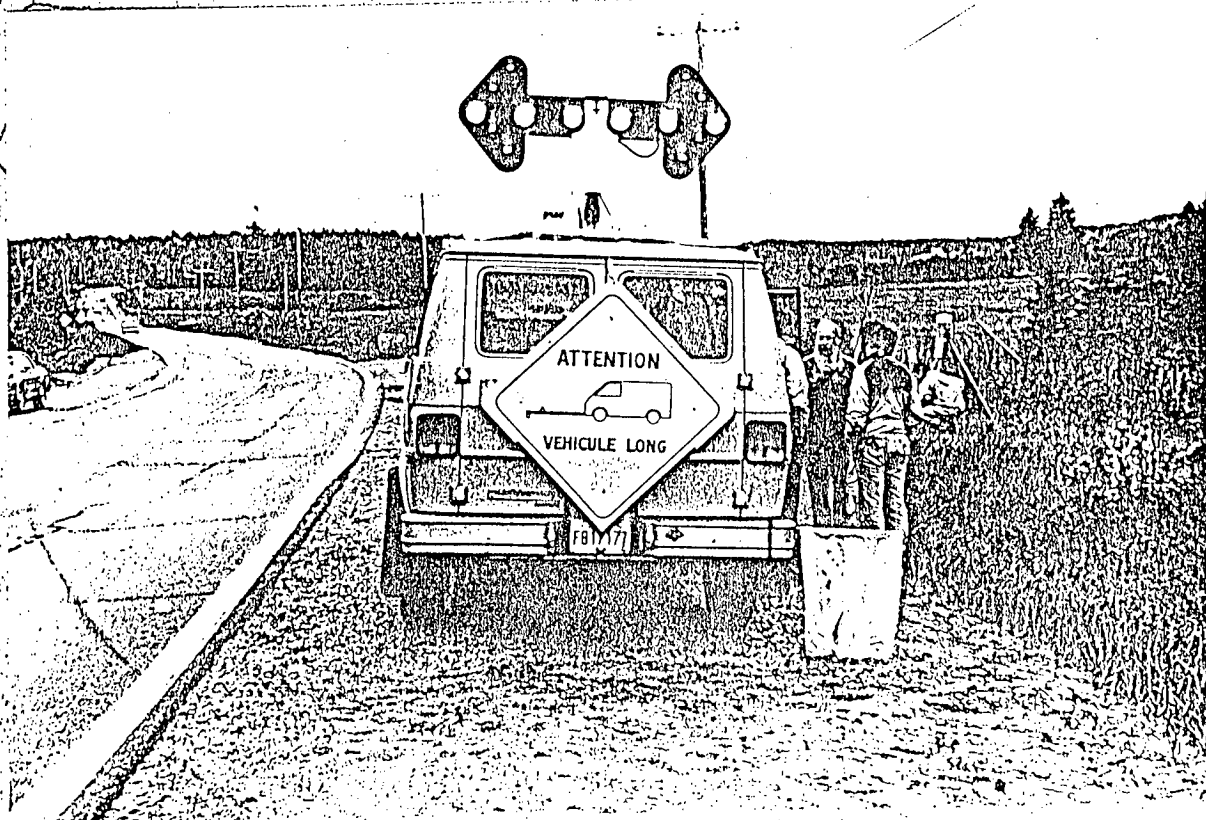
M. Gilles Guindon s'occupe à construire le bras.



Messieurs Régent Lachance, a.g, André Defayette, a.g.
et Patrice Lavoie ont participé à la mise en oeuvre
de ce projet.



Le conducteur du véhicule - M. Normand Durand, technicien Travaux publics.



Signalisation spéciale pour le projet.



Messieurs Patrice Lavoie et Normand Durand vérifient le matériel ainsi que l'appareil GPS.



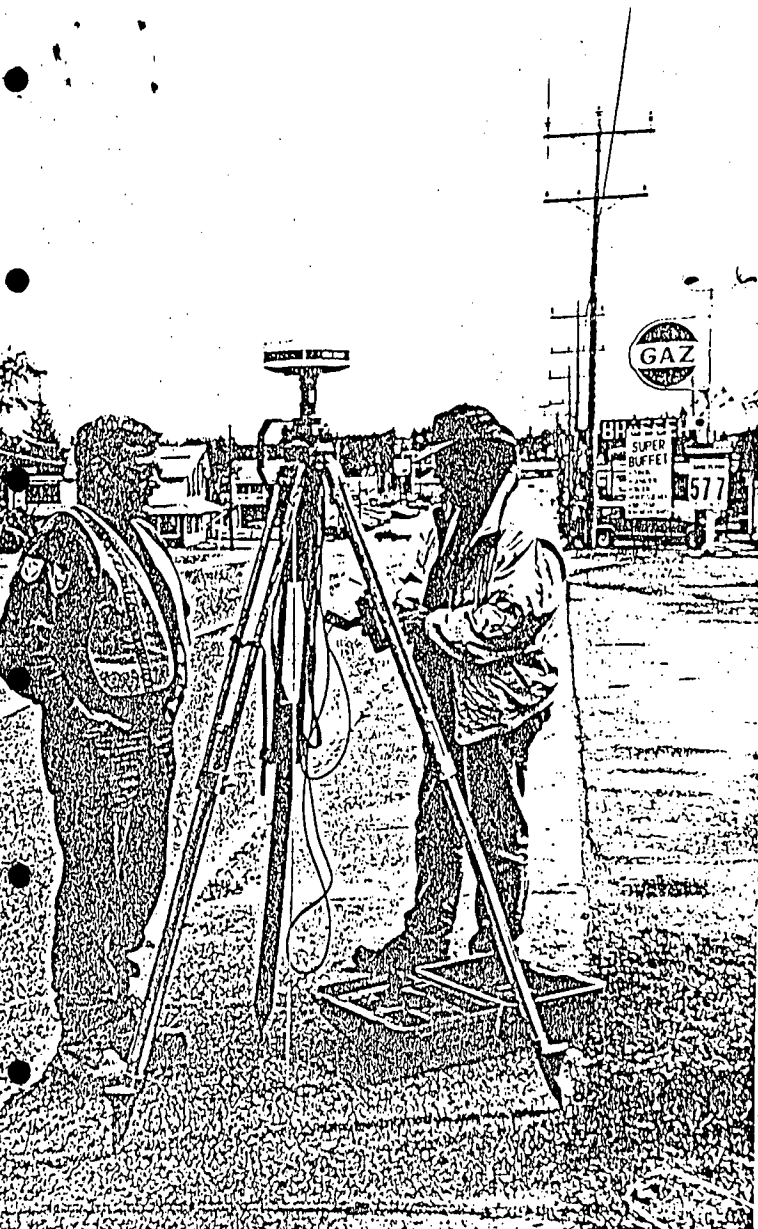


M. Régent Lachance, a.g. vérifie la position du récepteur GPS au-dessus d'un point de contrôle sur la ligne centrale.

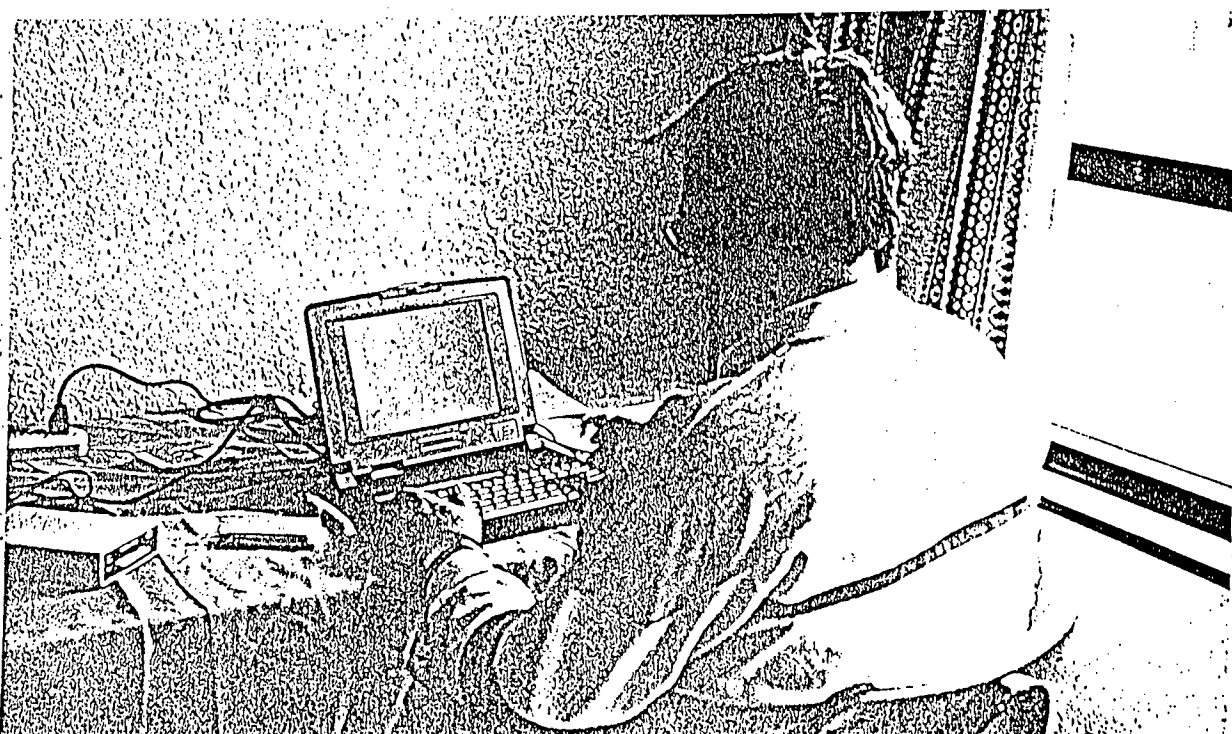


L'équipe au repos entre deux relevés.

Messieurs Régent Lachance,
a.g. et André Defayette, a.g.
près d'une des stations GPS
statique "maîtresse".



Monsieur Régent Lachance,
a.g., responsable de la logis-
tique du projet, procède au
transfert des données dans
un micro-ordinateur.



Bibliographie

Divers documents *Leica Canada*

Revue *Professional Surveyor*
Geodetical Info Magazine (GIM)
Point of Beginning (POB)

Cassette vidéo

DORAIS, Daniel. Travaux d'arpentage de nivellement à Cantley, Gatineau et Egan-Sud (QC).

Extraits du vidéo *"Un cadeau du ciel"* M.T.Q.

Les informations colligées dans ce document proviennent du Service de l'arpentage et de la géomatique, Division territoriale de Hull.

Ont collaboré et principaux artisans à la conception de ce projet et à sa réalisation:

MM. André Defayette, a.g. et Régent Lachance, a.g., du Service de l'arpentage et de la géomatique.

Ont collaboré à la construction du bras:

M. Patrice Lavoie, de la Direction territoriale de Hull.

MM. Pierre Duquette, contremaître, Gilles Guindon, soudeur et André-Jean Prévost, mécanicien du centre d'exploitation de Papineauville.

A collaboré à la diffusion locale pour informer le public voyageur des travaux spéciaux sur la route 105 près de Maniwaki:

M. Denis Carrier, agent de recherche et conseiller en communication, de la Direction territoriale de Hull.

Ont collaboré pour la sécurité du projet à Maniwaki et à la conception de panneaux de signalisation:

Le personnel du centre d'exploitation de Maniwaki.

Le personnel du centre d'exploitation de Papineauville.

A collaboré pour l'expertise en G.P.S.:

M. Henri B. Ayers, a.g., de la compagnie Leica Canada Inc.

Ont collaboré pour les calculs du modèle numérique terrain:

MM. Marc Després, a.g. et Mario Perron, a.g., ^{Mme} Sylvie Laroche, a.g., Division de Montréal, Service de l'arpentage et de la géomatique, section géomatique.

Rédigé par: M. Daniel Dorais, a.g., m.a.p.
Chef de la Division de Hull, Service de l'arpentage et
de la géomatique

Je tiens à remercier tout le personnel de ma Division qui a collaboré pour la réalisation, la rédaction, les graphiques, les tableaux, le vidéo et les photos et plus particulièrement, M. Rosaire Roy, directeur territoriale de Hull, pour son intérêt et son encouragement dans ce dossier.

Bibliothèque du Ministère des Transports



QTR A 036 409