Comportement de la piste d'atterrissage de Kangirsuk

Rapport Préliminaire

Municipalité: Kangirsuk

Circ. Elec.: Ungava

CANQ
TR
GE
SM
127

Ministère des Transports
Direction des sols et matériaux
Service des sols et chaussées

470086

MINISTÈRE DES TRANSPORTS
CENTRE DE DOCUMENTATION
700, BOUL. RENÉ-LÉVESQUE EST,
21e ÉTAGE
QUÉBEC (QUÉBEC) - CANADA
G1R 5H1

Comportement de la piste d'atterrissage

de Kangirsuk

Rapport Préliminaire

Municipalité: Kangirsuk

Circ. Elec.: Ungava

Dossier: 113(23)86

Québec, le 28 novembre 1986.

Service des sols et chaussées
Division structures de chaussées

CANQ
TR
GE
SM
127

TABLE DES MATIERES

	PAGE
1. INTRODUCTION	1
2. EVALUATION DU COMPORTEMENT DE LA PISTE	1
2.1 PROFONDEUR DE DEGEL	4
2.1.1 Dégel anticipé	4
2.1.2 Situation actuelle	4
2.1.3 Constatations	4
2.2 TASSEMENT DE LA PISTE	7
2.2.1 Problème anticipé	7
2.2.2 Situation actuelle	7
2.2.3 Tassement à long terme	9
2.2.4 Constatations	9-10
2.2.5 Conclusions	10
2.3 CAPACITE PORTANTE DES SOLS	13
2.3.1 Problème anticipé	13
2.3.2 Mesure de la capacité portante	13
2.3.3 Conclusion	13
2.4 STABILITE EN BORDURE DE LA PISTE	14
2.5 EMBOURBEMENT DES FOSSES (STABILITE DES PENTES DE DEBLAI)	14

.../2

2.5.1 Problème anticipé 14

2.5.2 Observations 15

2.5.3 Conclusion 15

3. RECOMMANDATIONS 17

Annexe 1 Lectures des thermocouples

Annexe 2 Lectures des repères de nivellement

Annexe 3 Photographies

1. INTRODUCTION

Suite aux difficultés rencontrées lors de la construction de pistes d'atterrissage dans le nord du Québec, une étude a été entreprise en mai dernier sur le site de Kangirsuk. Ce site, caractérisé par un important déblai dans des sols gélifs riches en glace, constitue un cas typique susceptible de poser tous les problèmes inhérents au mauvais comportement des sols dans la zone active. Ce site a donc été instrumenté dans le but d'évaluer la pénétration du gel sous la piste, le tassement et la portance de l'infrastructure ainsi que le mouvement des talus de déblai. Les instruments utilisés sont illustrés à la figure 1 et leur localisation est donnée à la figure 2. Le rapport fait état des principales observations faites durant la première saison de dégel, il en tire certaines conclusions et suggère des principes de désign pour les futurs sites.

2. EVALUATION DU COMPORTEMENT DE LA PISTE

Dans un rapport du 23 janvier dernier, le soussigné faisait part aux autorités du ministère de ses craintes concernant cinq points techniques relatifs à la mécanique des sols et des chaussées. Chacun de ces points a été réévalué à la lumière des observations effectuées au cours de la période allant de mai à octobre 1986.

.../2

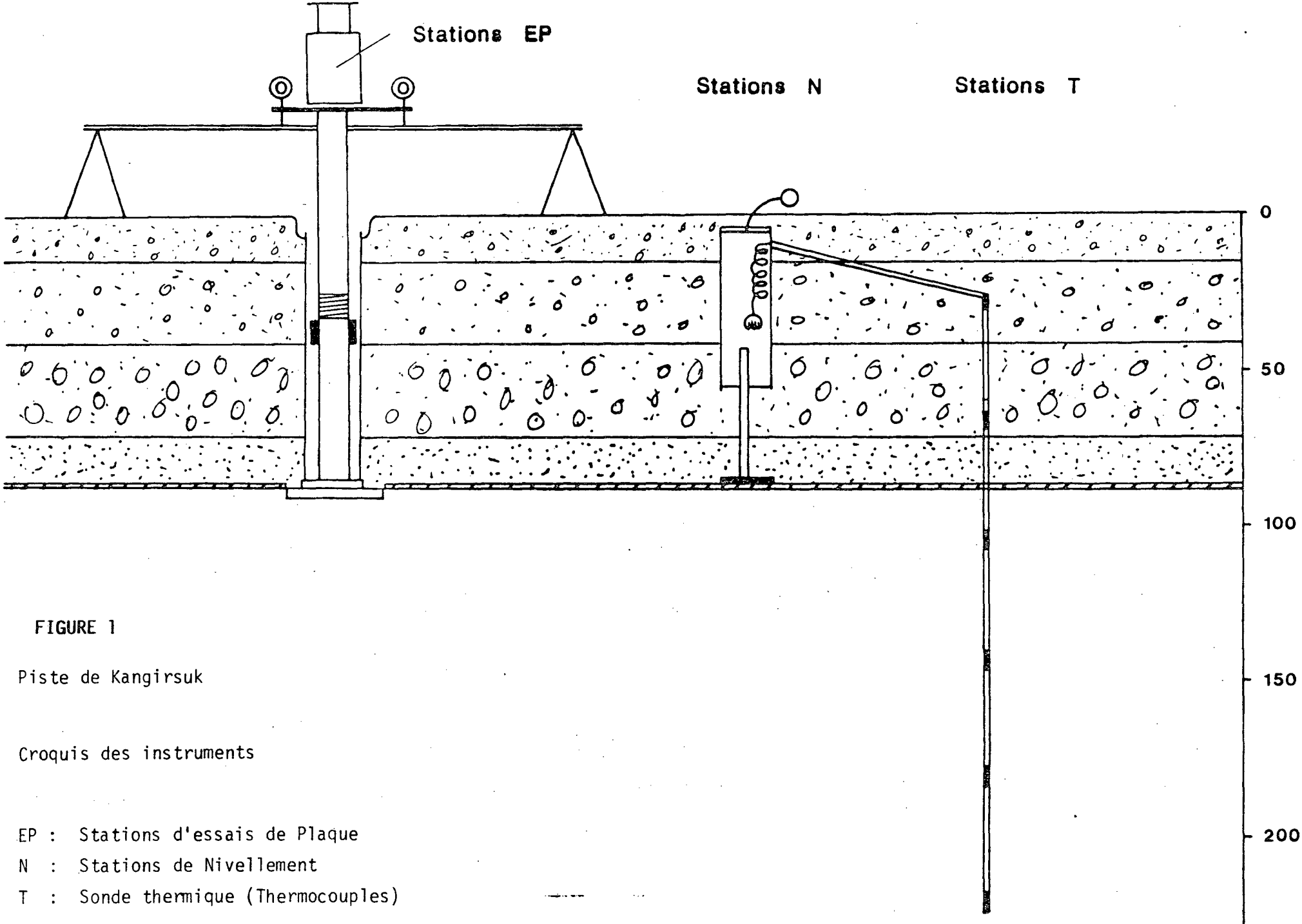


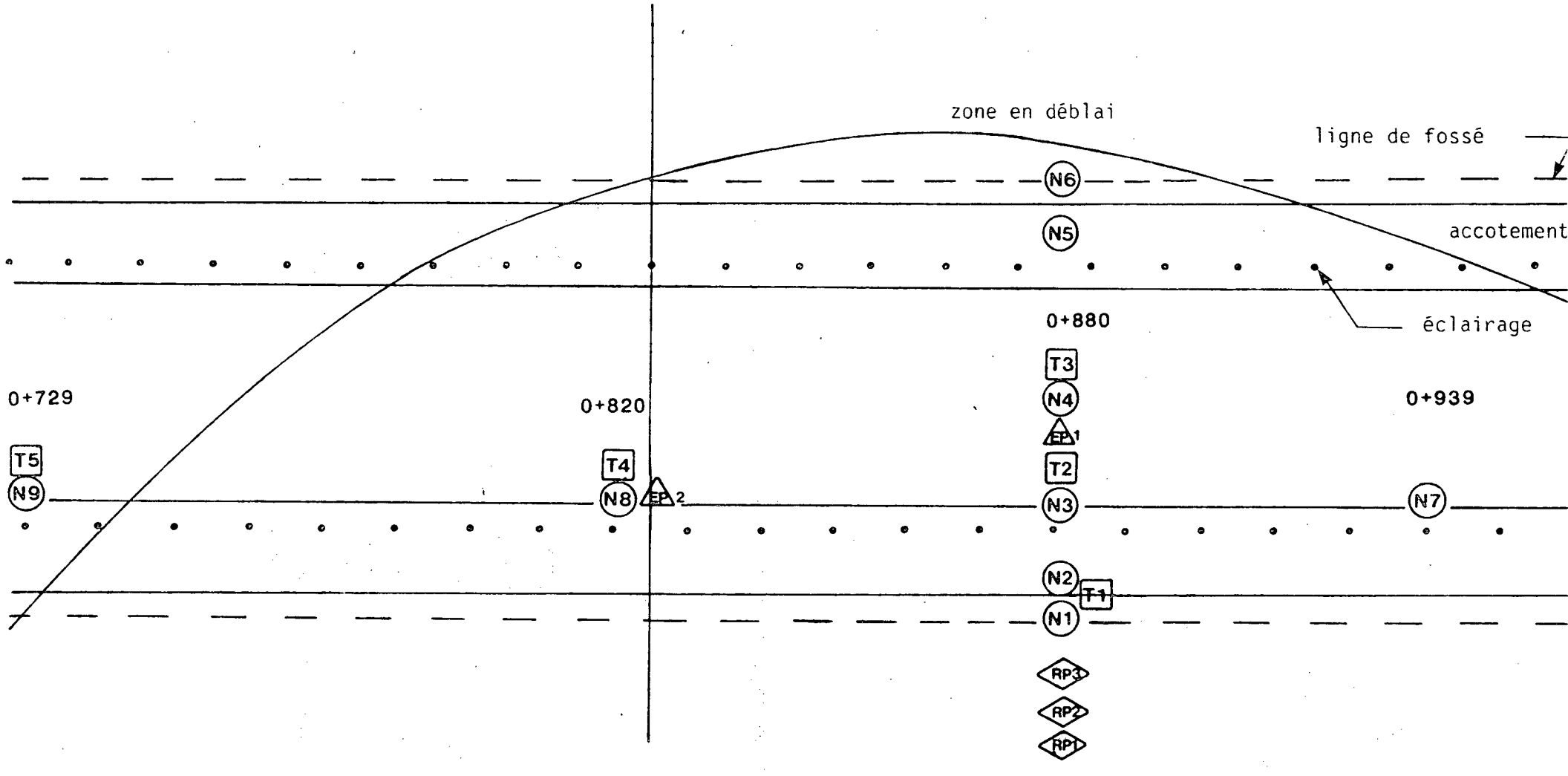
FIGURE 1

Piste de Kangirsuk

Croquis des instruments

EP : Stations d'essais de Plaque
N : Stations de Nivellement
T : Sonde thermique (Thermocouples)

Piste de Kangirsuk : Localisation des instruments



EP : Stations d'essais de Plaque (2)
N : Stations de nivellement (9)
T : Sondes thermiques (thermocouples) (5)
RP : Repères de pentes (3)

FIGURE 2

2.1 Profondeur de dégel

2.1.1 Dégel anticipé

Tenant compte d'observations faites sur d'autres sites d'aéroports nordiques et de modèles de propagation du dégel dans le pergelisol, il était permis de croire que la couche active pourrait atteindre une épaisseur de 1 m sous la piste.

2.1.2 Situation actuelle

Le dégel a atteint une profondeur variant entre 400 et 600 mm sous la piste et de 1300 mm sous les fossés (fig. 3 et 4). Le mouvement de l'isotherme "0" est représenté graphiquement pour chaque station à l'annexe 2.

2.1.3 Constatations

Le dégel a rapidement traversé les deux mètres de remblai de la station T5 (0-729 - 15 m D) pour ensuite se stabiliser au niveau du sol naturel pendant une longue période. Cette observation confirme la très faible résistance thermique d'un remblai en enrochement mais suggère que celui-ci agit comme un tampon efficace pour limiter la pénétration du dégel dans le sol sous-jacent.

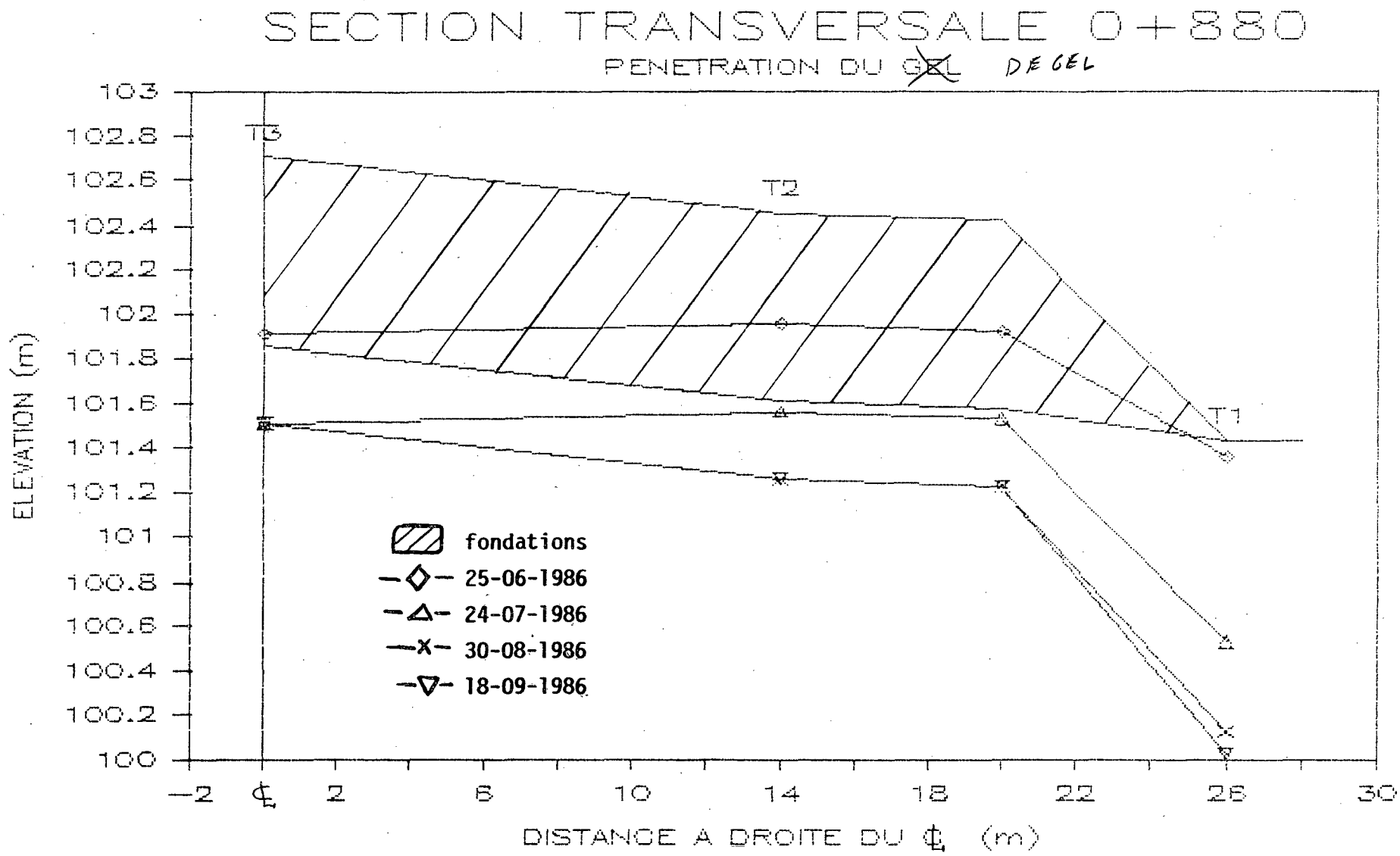

SECTION TRANSVERSALE 0+880
PENETRATION DU ~~GEL~~ DE GEL
ELEVATION (m)
103
102.8
102.6
102.4
102.2
102
101.8
101.6
101.4
101.2
101
100.8
100.6
100.4
100.2
100
T3
T2
T1
fondations
25-06-1986
24-07-1986
30-08-1986
18-09-1986
-2
℄
2
6
10
14
18
22
26
30
DISTANCE A DROITE DU ℄ (m)

FIGURE 3

2.2 TASSEMENT DE LA PISTE

2.2.1 Problème anticipé

En considérant un dégel probable de 1000 mm sous la ligne d'infrastructure, un tassement de 300 mm était prévisible la première année avec possibilité de formation de cuvettes et de tassement additionnels importants les années subséquentes.

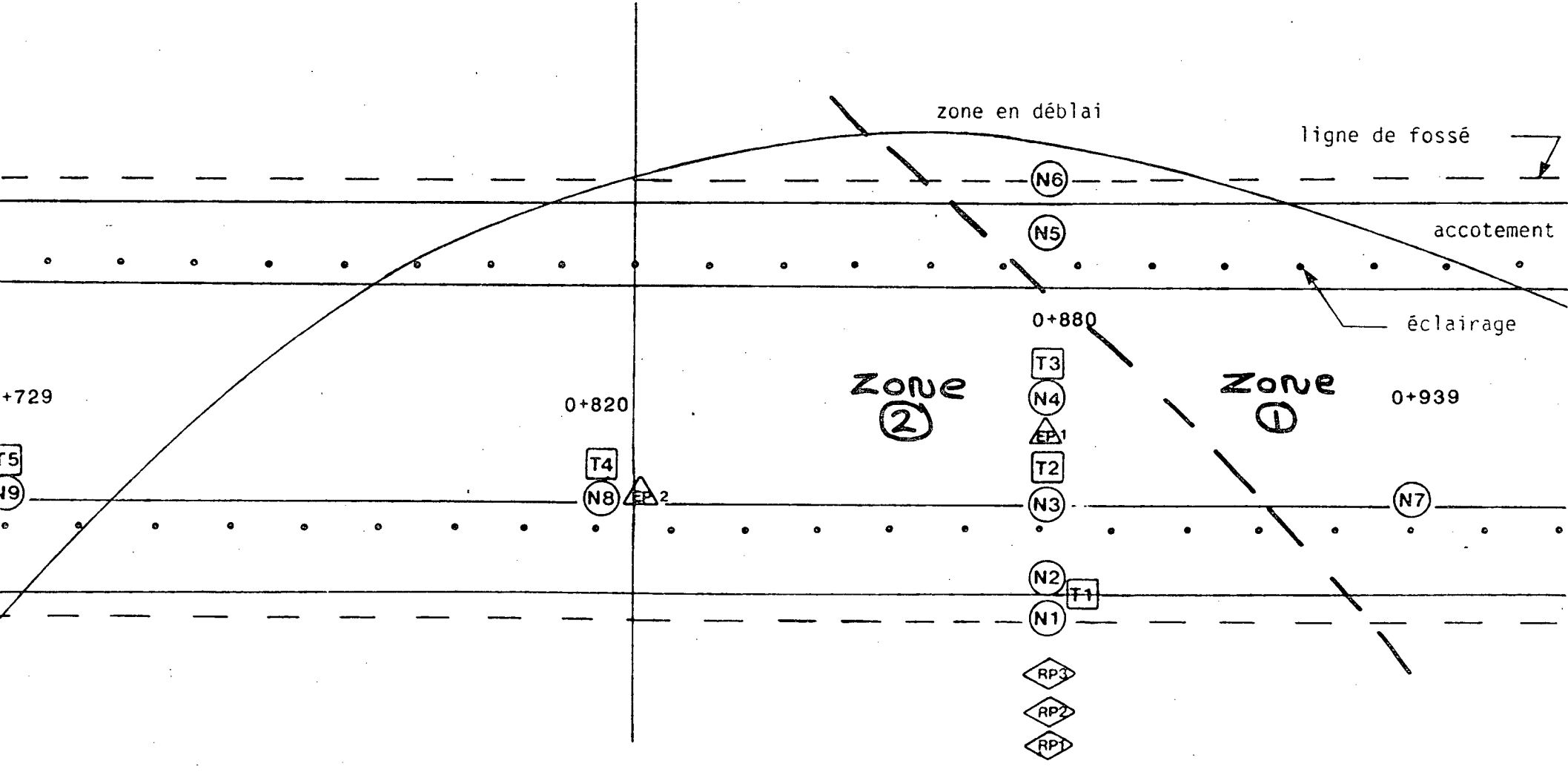
2.2.2 Situation actuelle

Après un premier dégel complet les tassements enregistrés sous la piste combinés à certaines observations en surface nous suggèrent de diviser le secteur en déblai en deux zones de sensibilité au gel différente. Ces zones sont illustrées sur la figure 5 et pour chacune d'elle, les valeurs moyennes de tassement (sous la piste) sont indiquées au tableau 1.

Tableau 1

Zone	Tassement Total (mm)			Taux de tassement mm/jour			durée du tassement actif (jours)
	min.	max.	moyen	min.	max.	moyen	
1	43	86	69	0.9	1.2	1.05	45
2	92	228	145	1.9	3.5	2.5	47

Piste de Kangirsuk : Localisation des instruments



EP : Stations d'essais de Plaque (2)
N : Stations de nivellement (9)
T : Sondes thermiques (thermocouples) (5)
RP : Repères de pentes (3)

FIGURE 5

Le mouvement de chaque repère est indiqué sous forme graphique à l'annexe 2.

2.2.3 Tassement à long terme

La dégradation du pergélisol et le tassement de lapiste durant les prochaines années sont des sujets qui ne font pas l'unanimité chez les ingénieurs impliqués dans le dossier des aéroports du nord. Plusieurs auteurs prétendent qu'il peut s'écouler une dizaine d'années avant que l'infrastructure de la piste ne se stabilise dans les zones en déblai. Certains d'entre eux ont démontré que les tassements annuels à long terme pouvaient être presque aussi importants qu'à la première année. Des relevés de nivellement seront effectués au cours des deux prochaines années pour évaluer la tendance à long terme.

2.2.4 Constatations

- Bien que certains tassements ponctuels approchent les tassements anticipés, le tassement total moyen est nettement inférieur aux prévisions (zone 1: 69 mm, zone 2: 145 mm, tassement anticipé 300 mm).

- Cette situation est essentiellement attribuable à la faible épaisseur dégelée (400 à 600 mm) puisque si l'on considère le rapport tassement/épaisseur dégelée, le tassement relatif est égal et même supérieur au 30% anticipé.

- Le tassement différentiel est assez important et on observer sur les figures 6 et 7 la formation de cuvettes dans l'infrastructure sous les stations N3 et N8.

- L'addition d'une surcharge dans le fossé droit a causé un tassement additionnel de 100 mm au niveau du fond du fossé. Cette surconsolidation a empêché certains secteurs de l'infrastructure dans la zone 2 de se retrouver sous le niveau du fossé.

2.2.5 Conclusions

- Les tassements différentiels au niveau de l'infrastructure ont atteint un seuil inacceptable.

- Dans les conditions spécifiques de Kangirsuk, la surcharge de fossé s'est avérée efficace à maintenir le fossé sous le niveau de l'infrastructure.

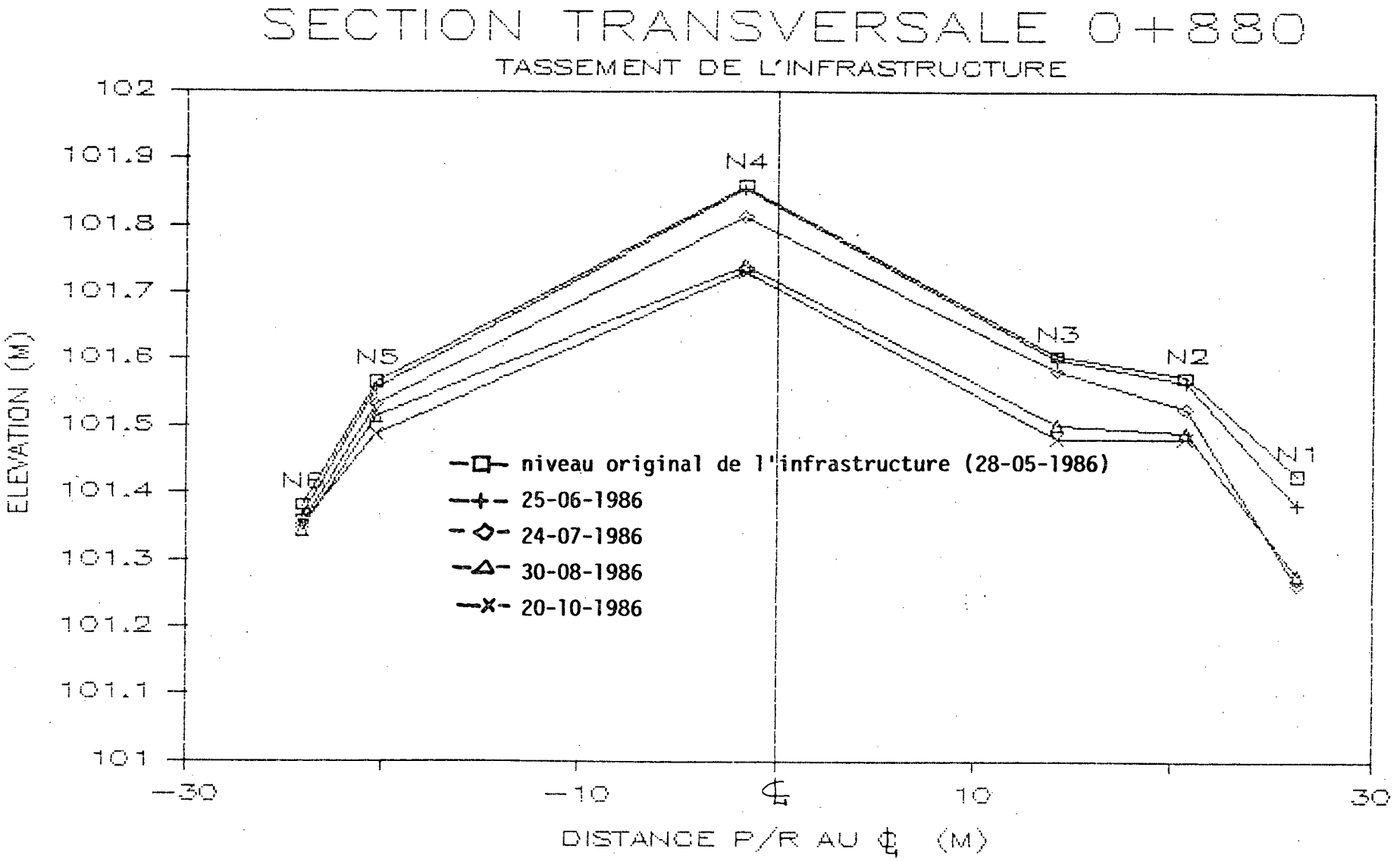

SECTION TRANSVERSALE 0+880
TASSEMENT DE L'INFRASTRUCTURE
ELEVATION (M)
102
101.9
101.8
101.7
101.6
101.5
101.4
101.3
101.2
101.1
101
N1
N2
N3
N4
N5
N6
niveau original de l'infrastructure (28-05-1986)
25-06-1986
24-07-1986
30-08-1986
20-10-1986
-30
-10
℄
10
30
DISTANCE P/R AU ℄ (M)

FIGURE 6

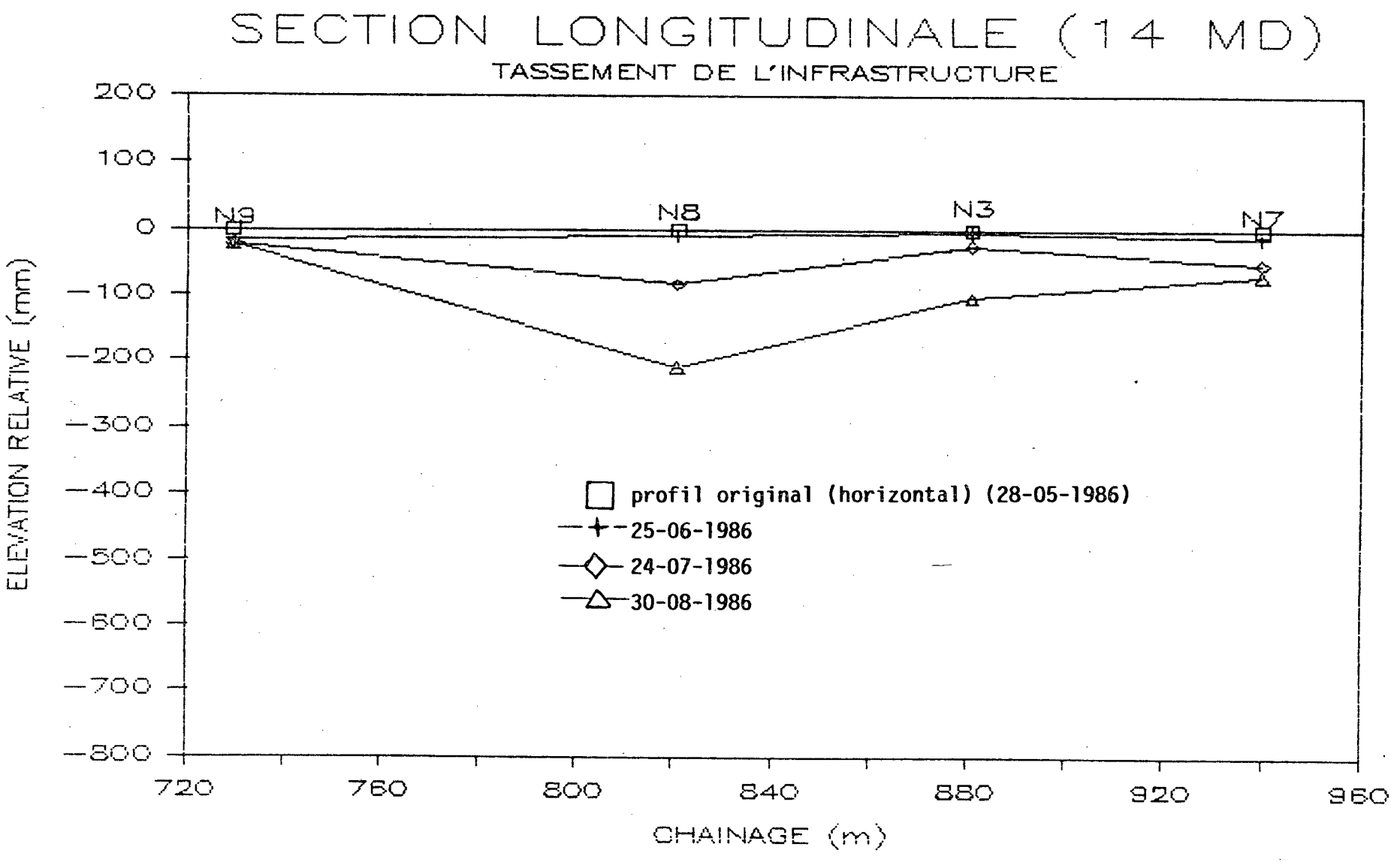

SECTION LONGITUDINALE (14 MD)
TASSEMENT DE L'INFRASTRUCTURE
200
100
0
-100
-200
-300
-400
-500
-600
-700
-800
ELEVATION RELATIVE (mm)
N9
N8
N3
N7
profil original (horizontal) (28-05-1986)
25-06-1986
24-07-1986
30-08-1986
720
760
800
840
880
920
960
CHAINAGE (m)

FIGURE 7

2.3 CAPACITE PORTANTE DES SOLS

2.3.1 Problème anticipé

En considérant la mise en garde de la norme AK-68-12-720 (Transport Canada) concernant la construction de chaussées sur pergélisol et à la lumière de deux articles traitant de la construction sur pergélisol, il semblait possible que la capacité des sols selon la norme AK-68-12-220 puisse être fortement surestimée.

2.3.2 Mesure de la capacité portante

Deux (2) essais de plaque ont été effectués sous la piste dans la zone en déblai durant la période de dégel maximum. Bien que l'interprétation de ces essais soit difficile en raison de la faible profondeur de dégel, les valeurs mesurées indiquent une capacité portante inférieure d'environ 15% au SSRLQP de la norme AK-68-12-220.

2.3.3 Conclusion

Les valeurs mesurées sont légèrement inférieures à la valeur de désign, cependant la différence est trop faible pour

causer des problèmes aux structures actuelles compte tenu notamment de la valeur structurale des sous-fondations en enrochement fin.

2.4 STABILITE EN BORDURE DE LA PISTE

La faible résistance au cisaillement des sols gélifs dans la couche active (Keyser, 1984 et Zhiquan, 1983) nous incitait à considérer un certain risque de rupture en bordure de la piste. A la lumière des essais de plaque effectués au mois de septembre sur la piste, il nous est maintenant permis de croire que ce risque est faible dans le contexte particulier de Kangirsuk. Les pentes douces des talus de piste et l'addition dans un secteur critique d'une surcharge dans le fossé contribuent à minimiser voire même annuler le risque de rupture.

2.5 EMBOURBEMENT DES FOSSES (STABILITE DES PENTES DE DEBLAI)

2.5.1 Problème anticipé

Deux (2) phénomènes étaient invoqués pour justifier une crainte d'instabilité des pentes de déblai et par conséquent un embourbement des fossés:

- Malgré les faibles pentes, l'absence à long terme de stabilisant naturels dans les talus de déblai favorisera l'érosion des pentes par les eaux de ruissellement.

- Les pentes, même très faibles sont fréquemment affectées, en milieu de pergélisol, par un mouvement lent appelé solifluxion.

2.5.2 Observations

Afin d'observer d'éventuels mouvements de pente pouvant être associés à la solifluxion, des repères de pente ont été placés dans le prolongement de la section transversale du chaînage 0-880 (fig. 2). Ces repères ont indiqué un mouvement imprécis et pour le moins peu convainquant. Le mouvement moyen de ces repères est illustré sur la figure 8.

D'autre part, les pentes ont été fort actives durant leur premier été d'exposition aux intempéries. Des affaissements importants (environ 600 mm) et des sillons d'érosion par le ruissellement ont été observés au cours de nos visites sur le chantier. L'eau de ruissellement a ainsi entraîné des quantités appréciables de matériel qui ont partiellement été accumulées contre la digue de protection.

2.5.3 Conclusion

- Les repères de pente n'ont pas montré de solifluxion significative. Il faut toutefois considérer que les relevés n'ont débuté qu'après un dégel approximatif de 200 mm en surface des

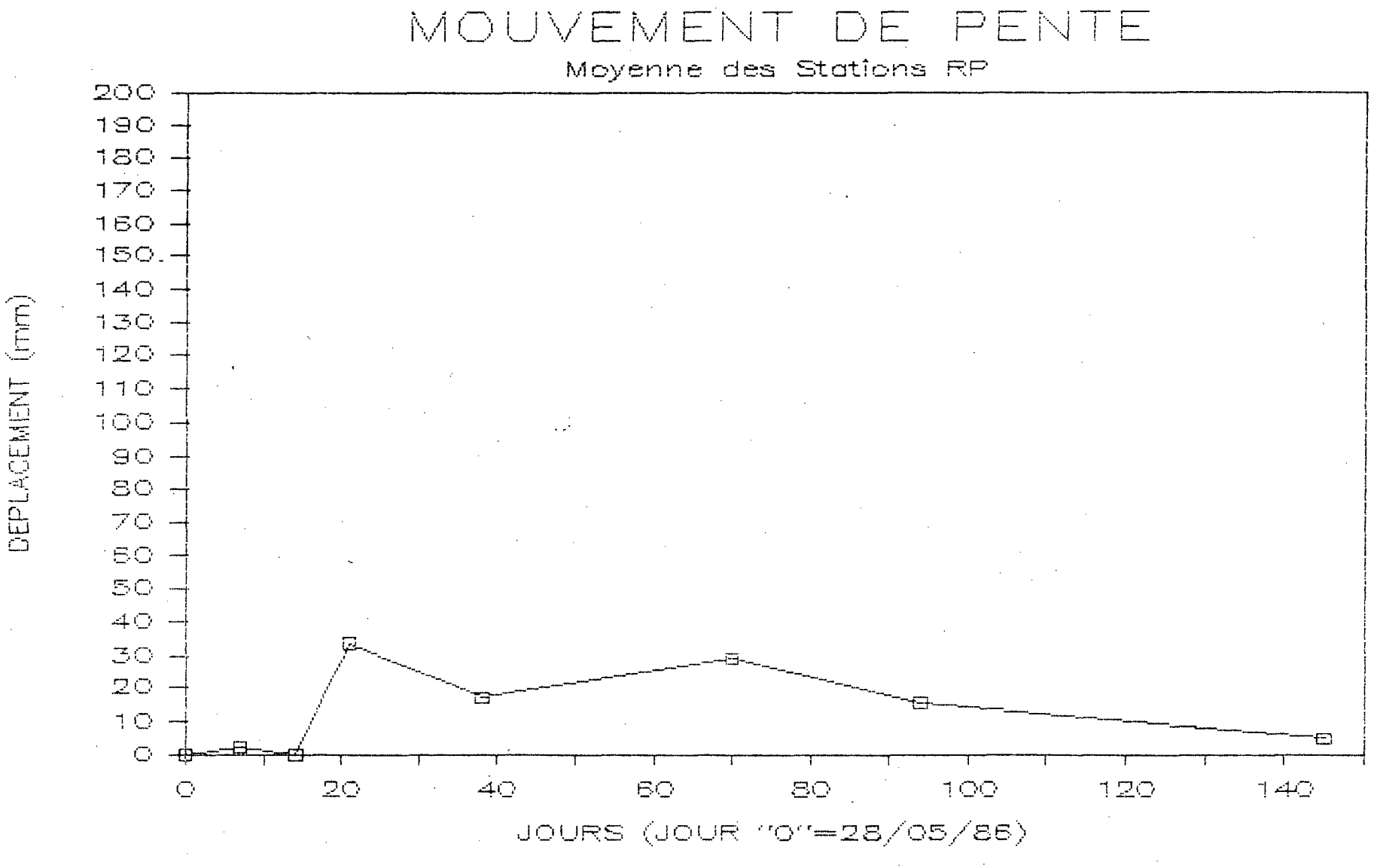

MOUVEMENT DE PENTE
Moyenne des Stations RP
DEPLACEMENT (mm)
200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
20
40
60
80
100
120
140
JOURS (JOUR "0"=28/05/86)

FIGURE 8

pentes. Il est alors probable qu'une forte proportion du mouvement ait eu lieu durant cette phase initiale de dégel et n'ait alors pas été enregistrée.

- L'érosion de la pente nous semble particulièrement active entraîne une déposition qui serait inacceptable à long terme dans un fossé conventionnel.

- La digue filtrante qui a pour fonction de protéger le drain en enrochement de la contamination par les matériaux érodés de la pente, a démontré une bonne efficacité après un été de mise en service dans le contexte spécifique de Kangirsuk.

2.6 SOULEVEMENTS PAR LE GEL

Le cycle dégel-regel n'était pas complété pour la première année d'exploitation de la piste de Kangirsuk, l'aspect soulèvement par le gel fera l'objet d'une révision du présent rapport au cours de l'hiver 1987.

3. RECOMMANDATIONS

Bien que notre expérience dans le domaine de la construction d'infrastructure aéroportuaire sur le pergélisol soit encore fragmentaire, notre permier été d'observation nous permet de dégager des

principes préliminaires de désign que nous suggérons fortement de considérer pour la conception des sites futurs.

3.1 Les déblais dans les sols gélifs sont indésirables. En plus de causer des problèmes de construction, les sections en coupe dans les sols gélifs sont sujettes à des tassements et des soulèvements importants par dégel et regel des sols riches en glace. Par ailleurs, la modification du régime thermique et du drainage peuvent causer des discontinuités problématiques du pergélisol.

3.2 Les chaussées sont quand même économiquement réalisables dans sections en déblai. Si des considérations économiques et techniques rendent inévitables les déblais dans les sols gélifs, il est possible de dimensionner les chaussées de façon à minimiser les mauvais comportements à long terme. Les principes suivants devraient être respectés.

3.2.1 La couronne de l'infrastructure devrait être accentuée à 2.5% sous la piste et 3% sous l'accotement. Le niveau du fossé doit être au moins 300 mm plus bas que le niveau minimum de l'infrastructure gélive.

3.2.2 La sous-fondation granulaire doit être constituée d'au moins 900 mm de matériaux non gélifs et non vulnérables à la contamination.

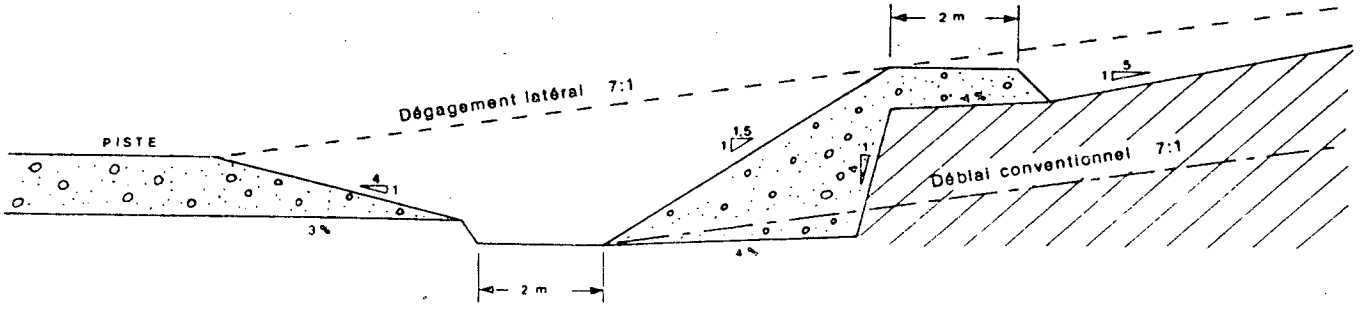
3.2.3 Des transitions granulaires acceptables devraient être prévues dans tous les cas de contact sol gélif et sol granulaire et surtout sol gélif-roc.

3.3 La portance de l'infrastructure (SSRLQP) estimée selon la norme AK-68-12-220 de Transport Canada devrait être réduite d'environ 10 à 15% dans des conditions de Permafrost.

3.4 Les pentes des talus de déblai devraient être stabilisées avec une protection de pied de talus. Bien que le concept utilisé à Kangirsuk (empierrement et digue) ait donné des bons résultats pour une première saison d'exploitation, son caractère spécifique, limite son utilisation à des situations bien particulières (voir 3.5). Si les conditions de la recommandation 3.2 sont respectées, nous préconiserions l'utilisation du concept illustré à la figure 9. En plus de stabiliser la pente, ce concept a notamment l'avantage de réduire les quantités de déblai.

3.5 Des problèmes de stabilité en bordure de la piste et des remblais de piste peuvent survenir pour des sols fins riches en glace dont la perméabilité est égale ou inférieure à 10^{-9} m/s et dont la granulométrie indique un d_{10} 0.006 mm. Des études géotechniques spécifiques devraient être effectuées pour les sols classifiés ML, MH, CL ou CH. Dans les cas de sols instables, on devra envisager l'utilisation d'ouvrages stabilisateurs tels que drains en empierrement et bermes.

FIGURE 9 - Protection de talus de déblai



Les conclusions et recommandations qui se dégagent du présent rapport combinent une synthèse de littérature pertinente aux observations qu'il nous a été possible d'effectuer sur un site spécifique durant une période restreinte. Elles constituent à notre avis des points techniques valables, mais leur application à d'autres sites doit se faire en respect du caractère partiel de notre étude et de la spécificité de chaque site.

Guy Doré, ing.
Division structures de chaussées
Service des sols et chaussées
200 Dorchester Sud, 4e étage
Québec G1K 5Z1

GD/hg

c.c.: MM Pierre De Montigny, ing.,
Paul-A. Brochu, ing.,
Clément Tremblay, ing.,
Michel Boivin, ing., Rég. 3.1
Gérald Lavoie, ing., T.P. Mtl
Alain Bastarache, ing., Transp. Canada

Références

- Ouvir le Nord à pas feutrés, Pilon J.A., Beaudoin A., Geos 1984/4.

- Road construction in Palsa fields, Keyser J.H., Laforte M.A., Présentation du T.R.B., Washington, 1984.

- Problèmes de conception des chaussées dans le Nord Québécois, Revue Routes et Transports, Printemps 1984.

- Evaluation of experimental Design features for roadway construction over permafrost, Esch. D.C., Permafrost: fourth annual conference, Alaska, 1983.

- Determination of critical Height of railroad embankments in the permafrost regions of the Quinghai-Xizang Plateau, Xinoming H., Permafrost: fourth annual conference, Alaska, 1983.

- In situ Direct Shear tests at the freeze/thaw interface and in thawed soils, Zhiquan T., Permafrost: fourth annual conference, Alaska, 1983.

- Infrastructure des Transports: Les effets de gel et les moyens de Protection, Keyser J.H..

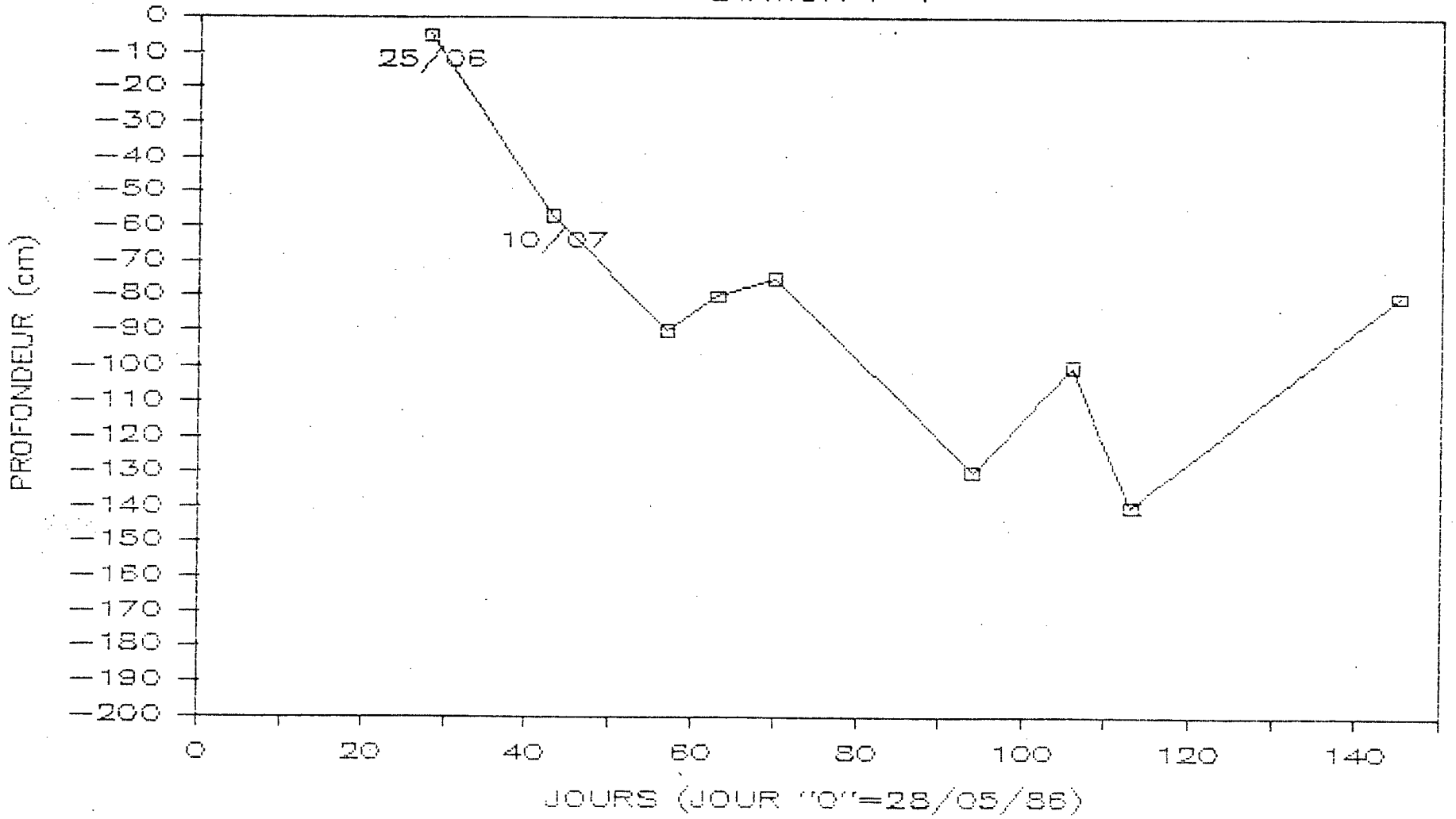
- Engineering in the North, Laing J.M., fifteenth musked research conference, may 1983.

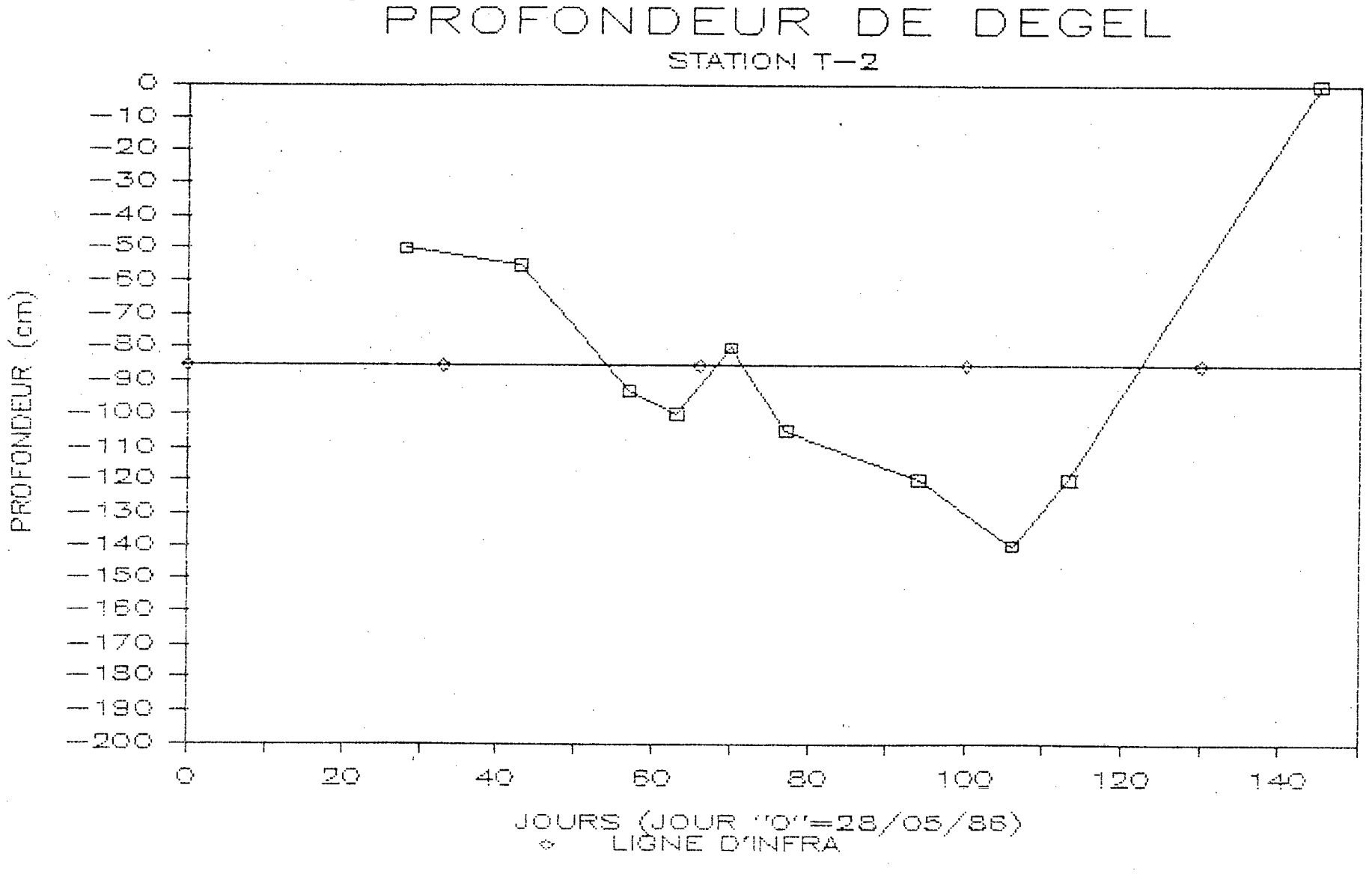
Annexe 1

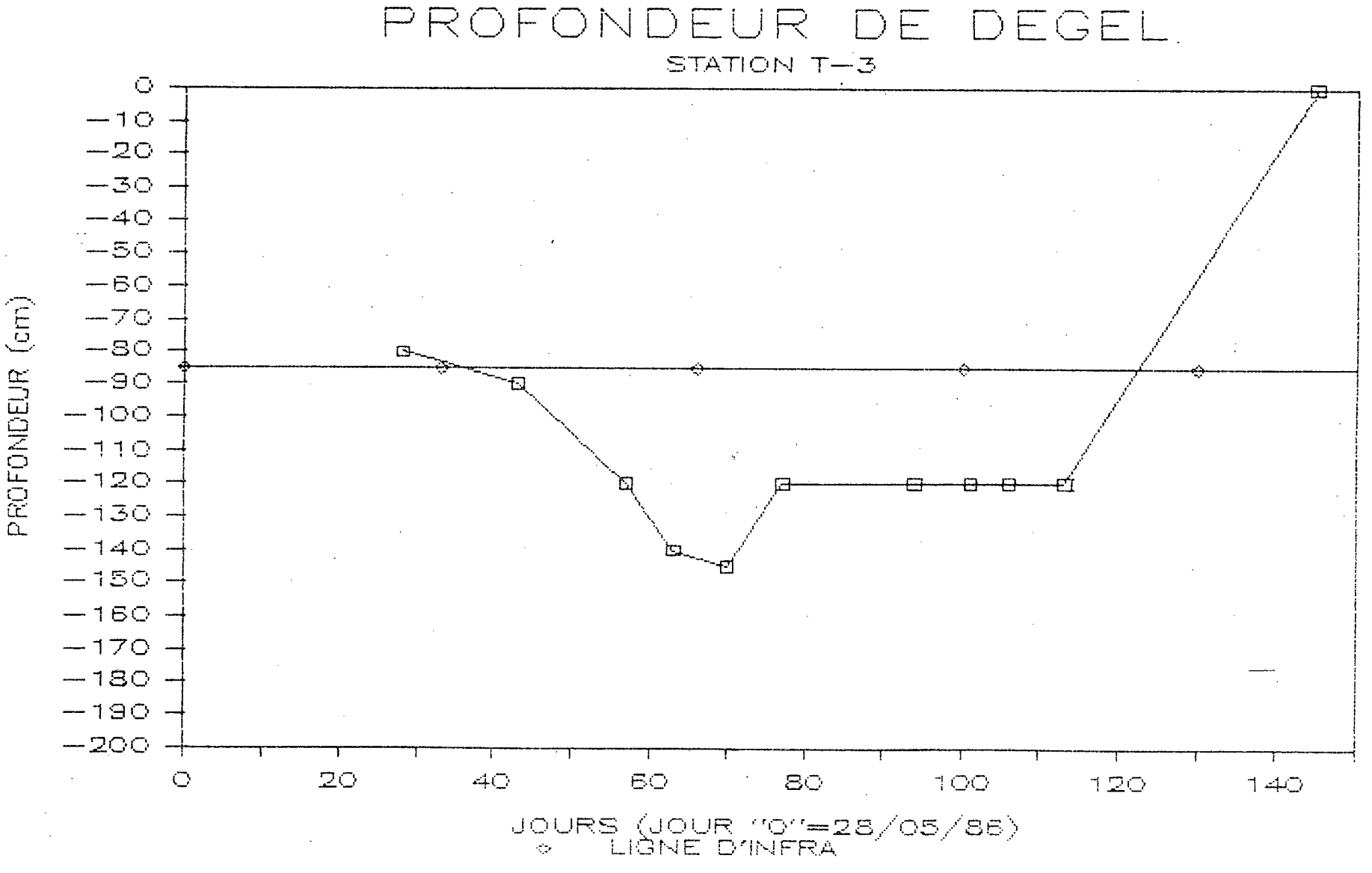
Lectures des thermocouples

PROFONDEUR DE DEGEL

STATION T-1

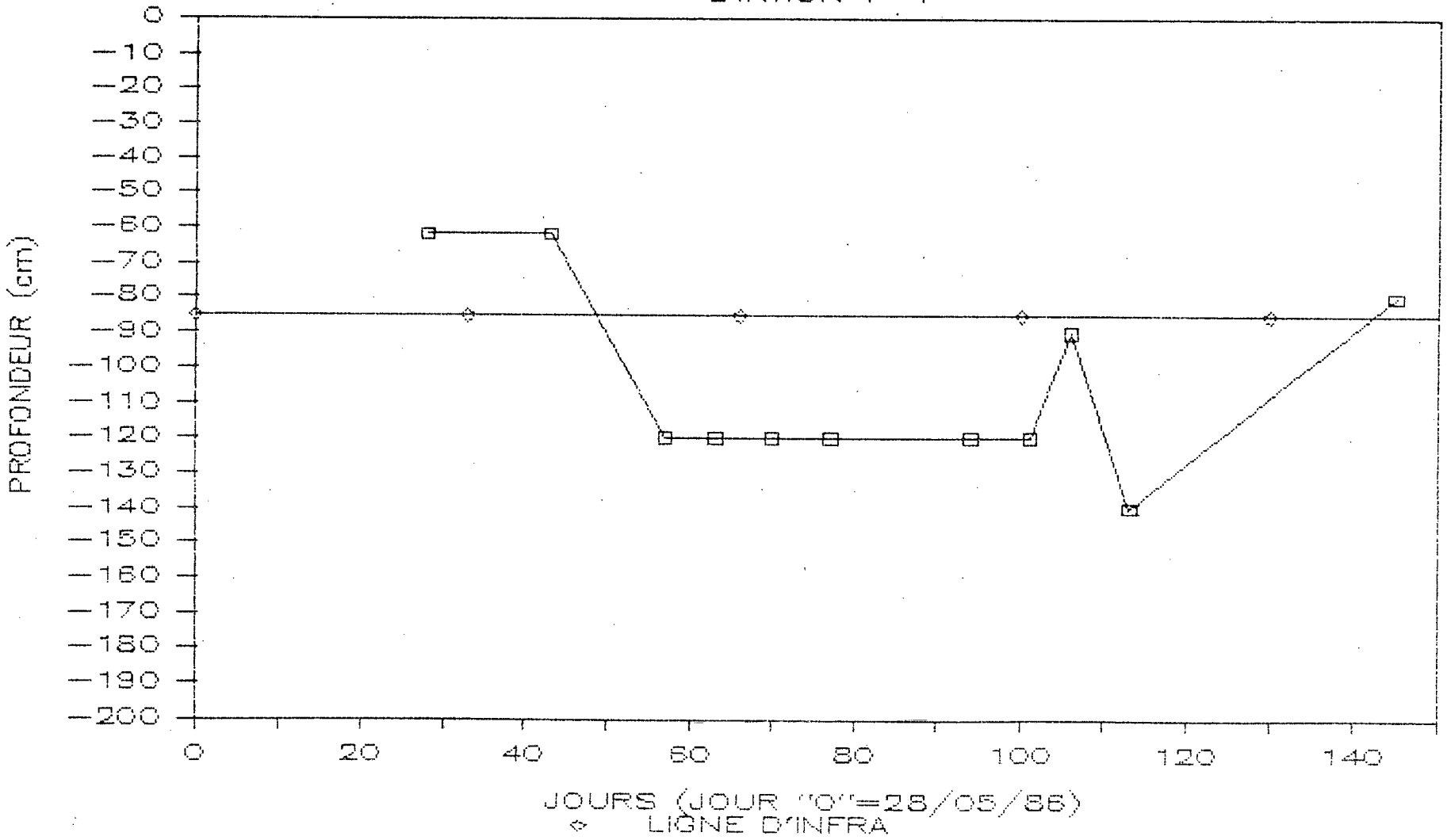



PROFONDEUR DE DEGEL
STATION T-2
PROFONDEUR (cm)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
-130
-140
-150
-160
-170
-180
-190
-200
0
20
40
60
80
100
120
140
JOURS (JOUR "0"=28/05/86)
LIGNE D'INFRA


PROFONDEUR DE DEGEL
STATION T-3
PROFONDEUR (cm)
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
-80
-90
-100
-110
-120
-130
-140
-150
-160
-170
-180
-190
-200
0
20
40
60
80
100
120
140
JOURS (JOUR "0"=25/05/86)
LIGNE D'INFRA

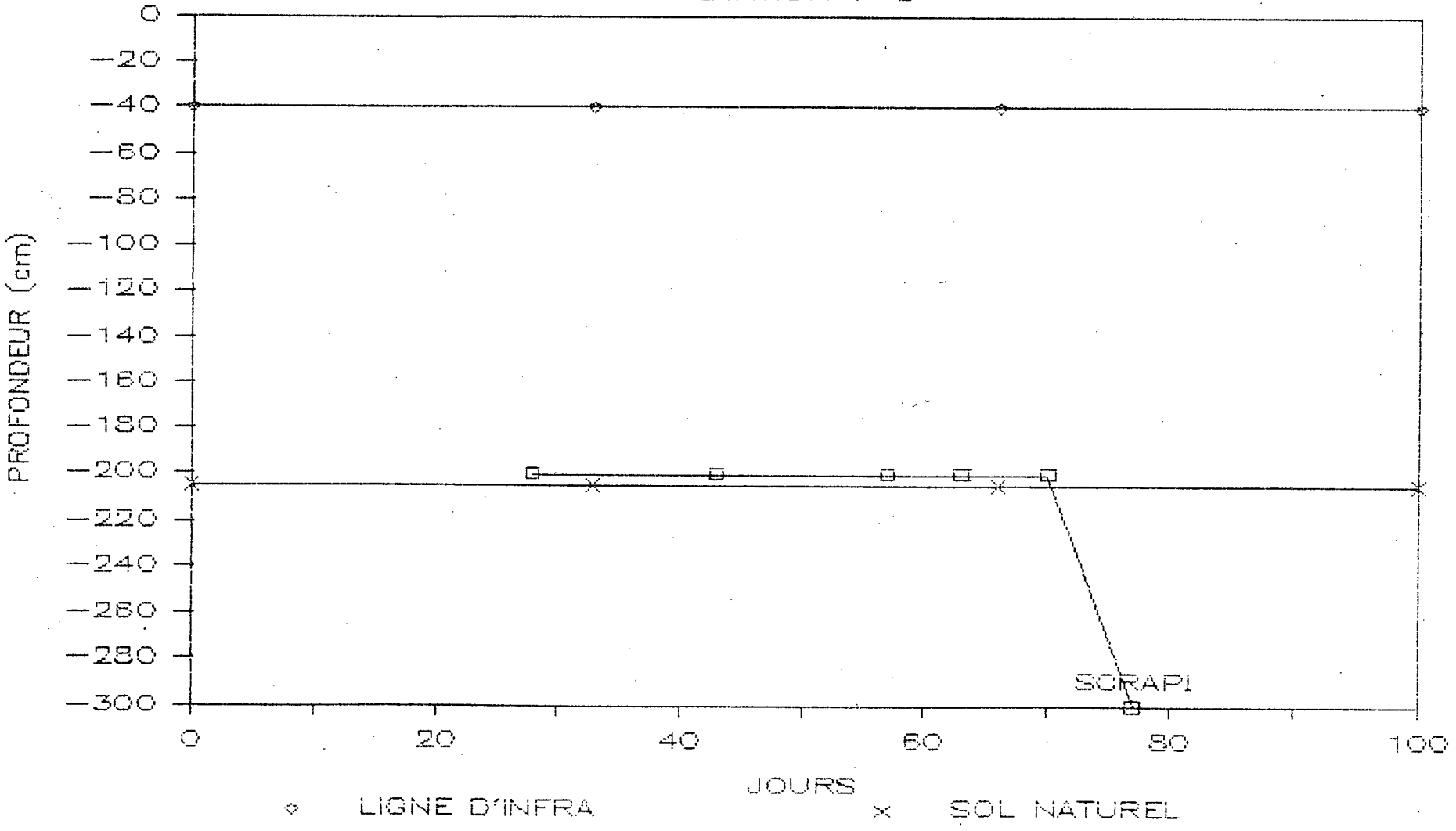
PROFONDEUR DE DEGEL

STATION T-4



PROFONDEUR DE DEGEL

STATION T-5

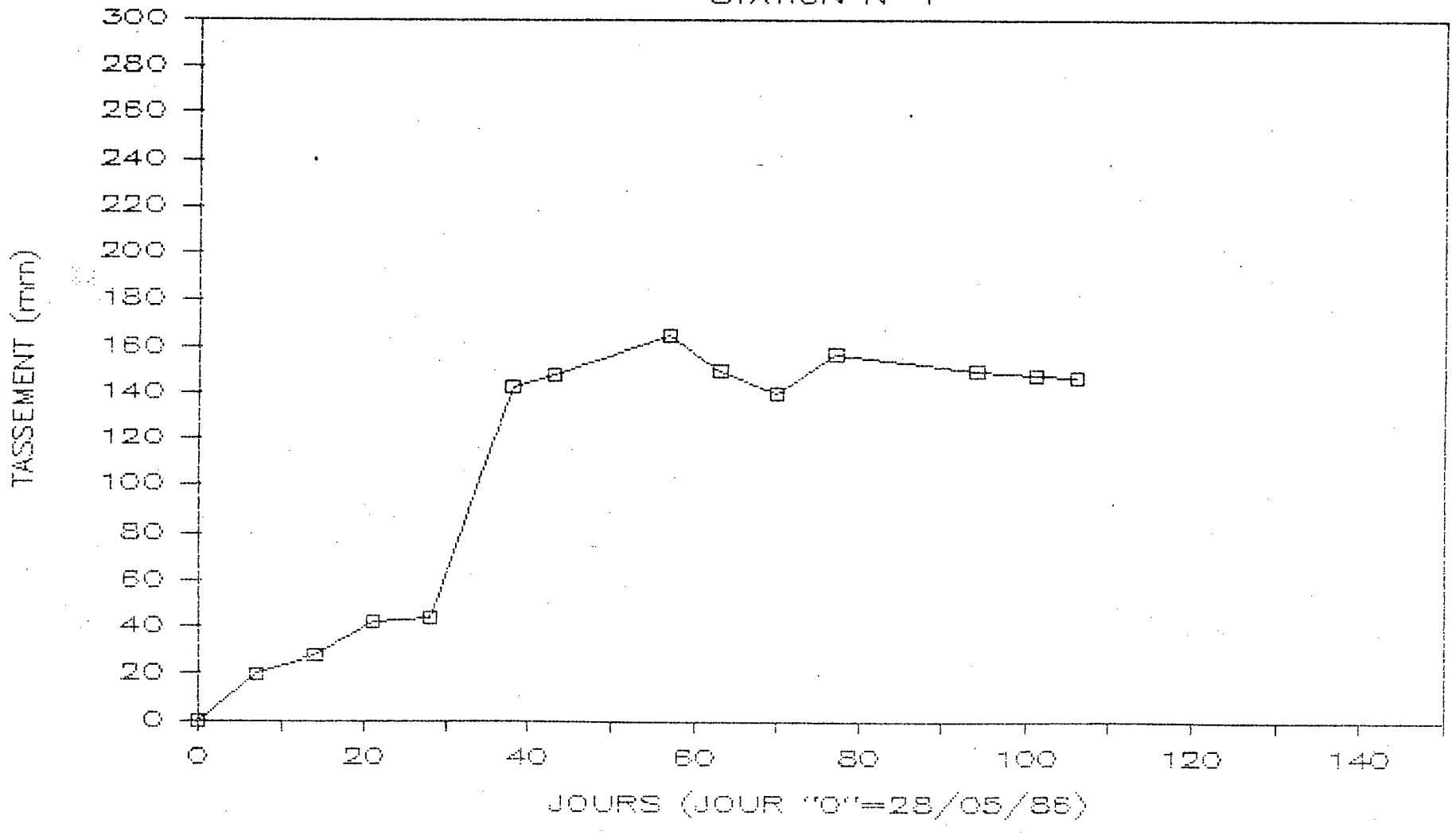


Annexe 2

Lecture des repères de nivellement

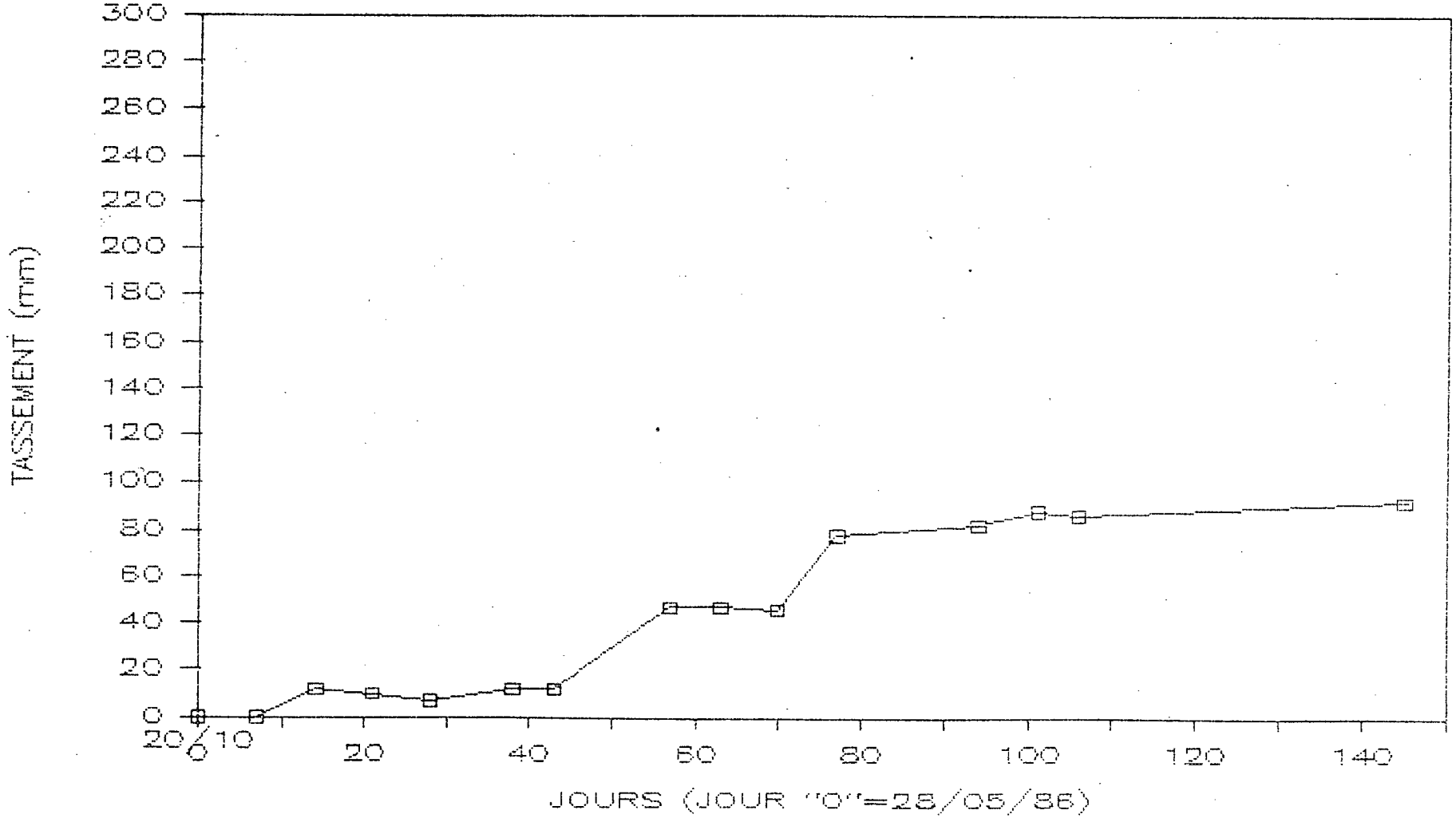
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-1



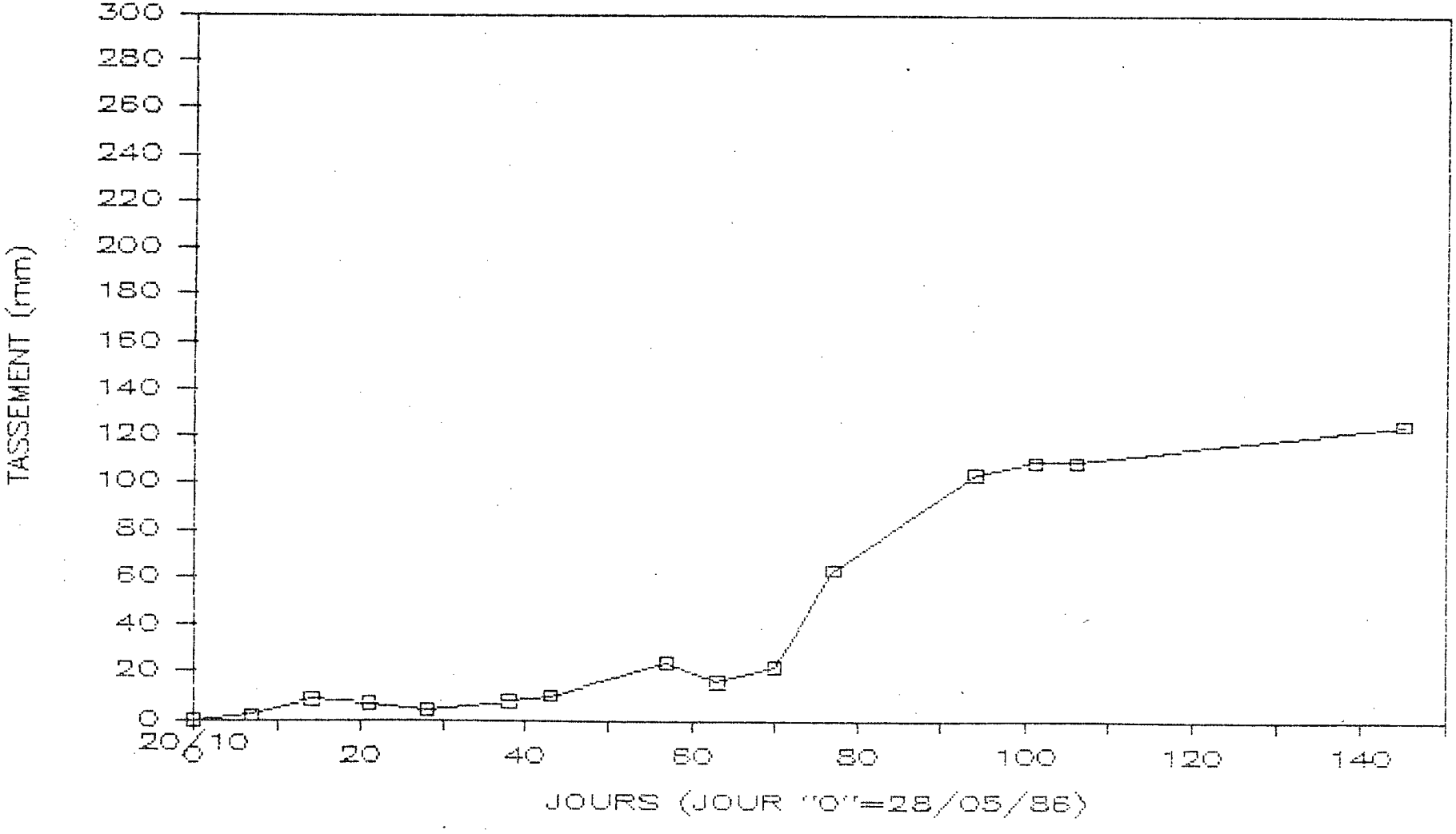
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-2



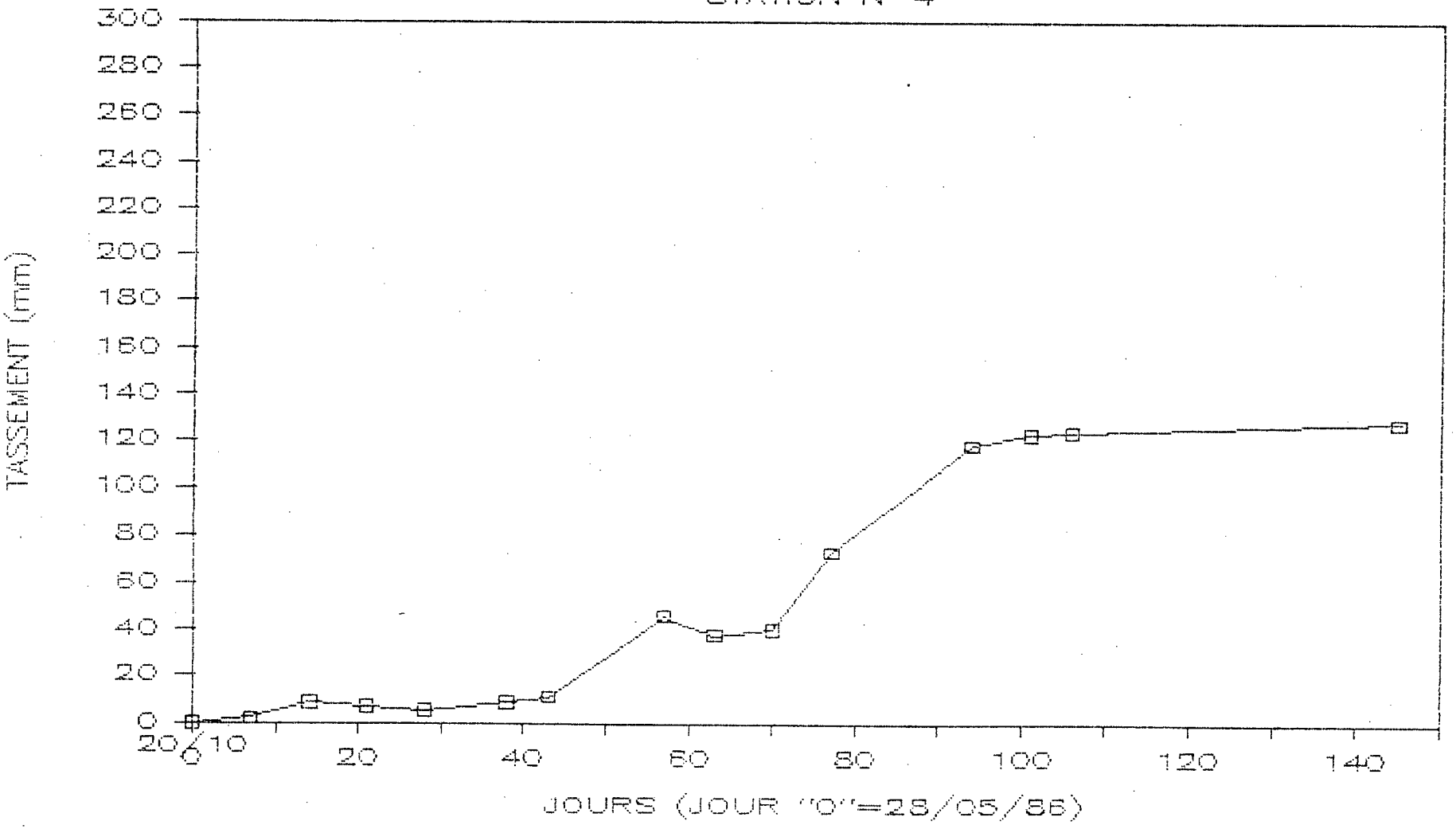
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N—3



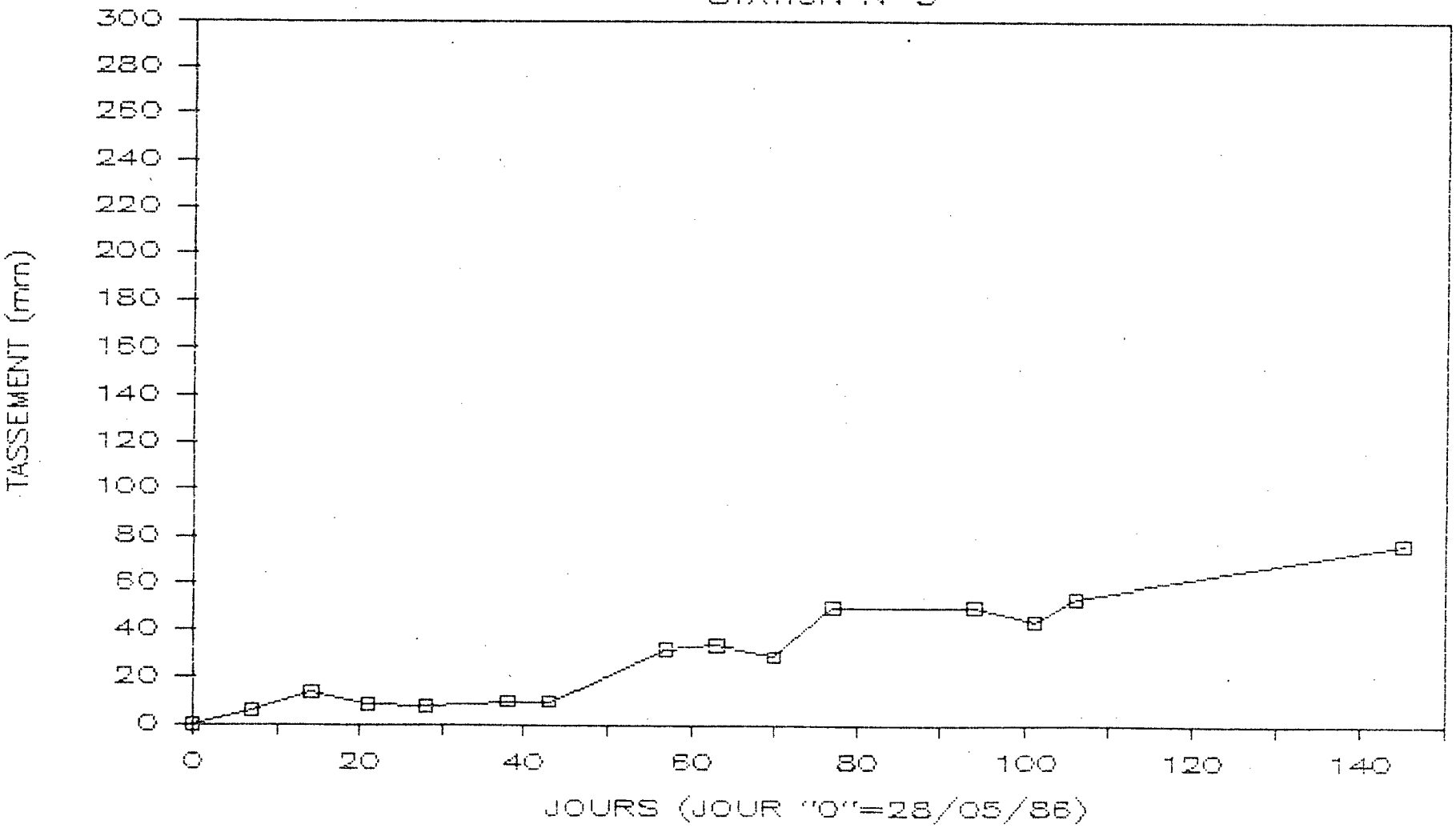
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-4



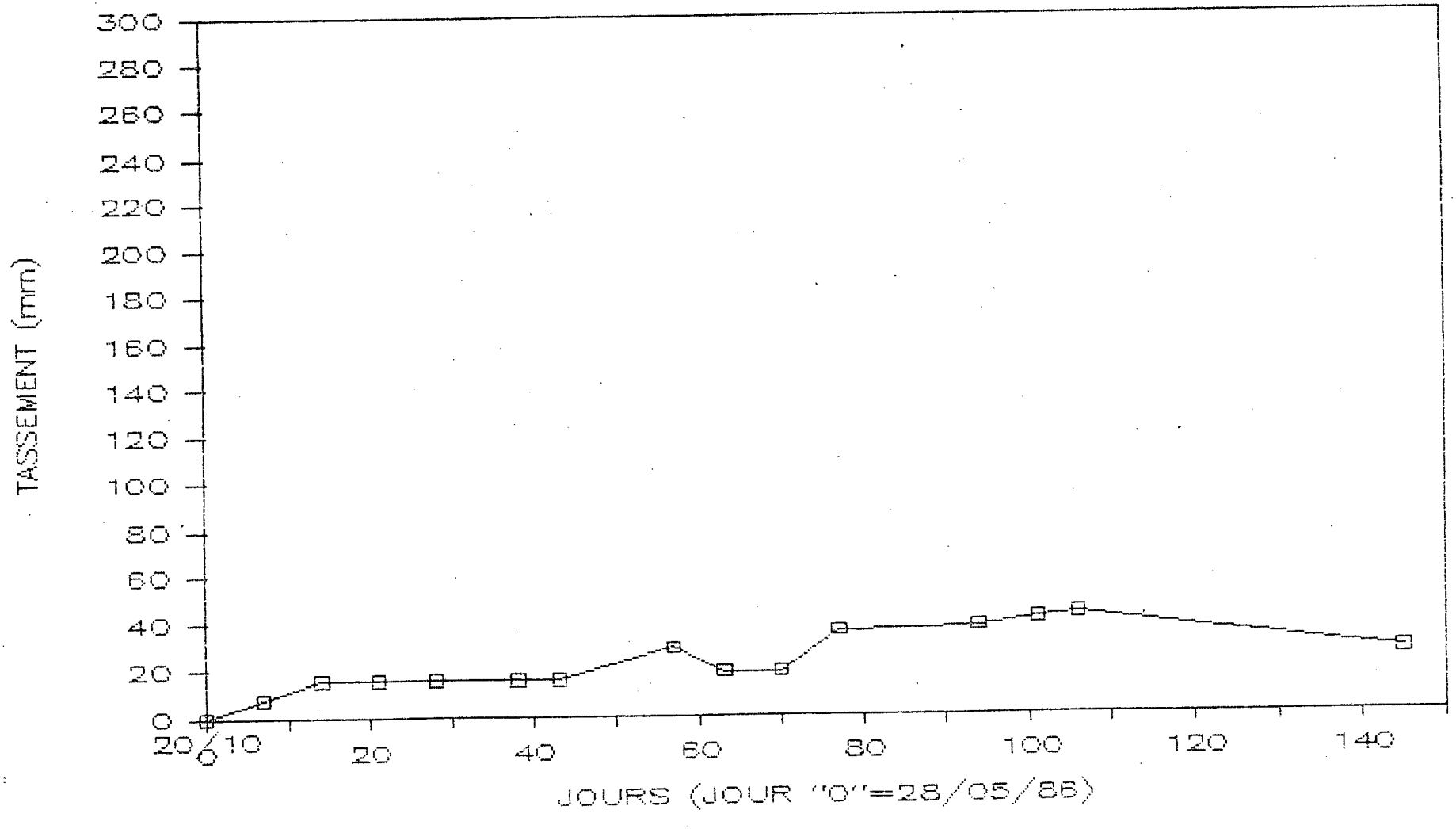
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-5



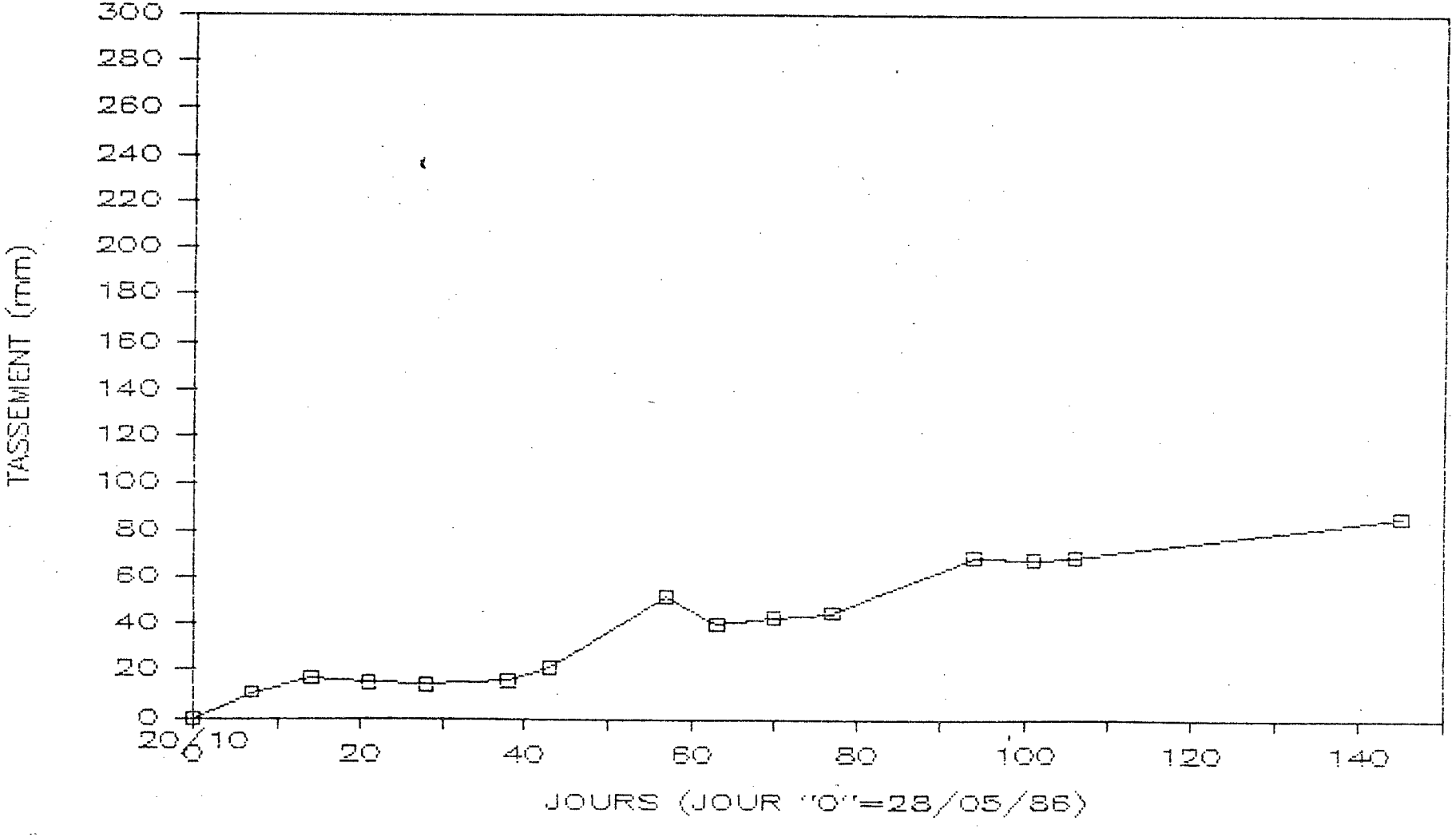
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-6



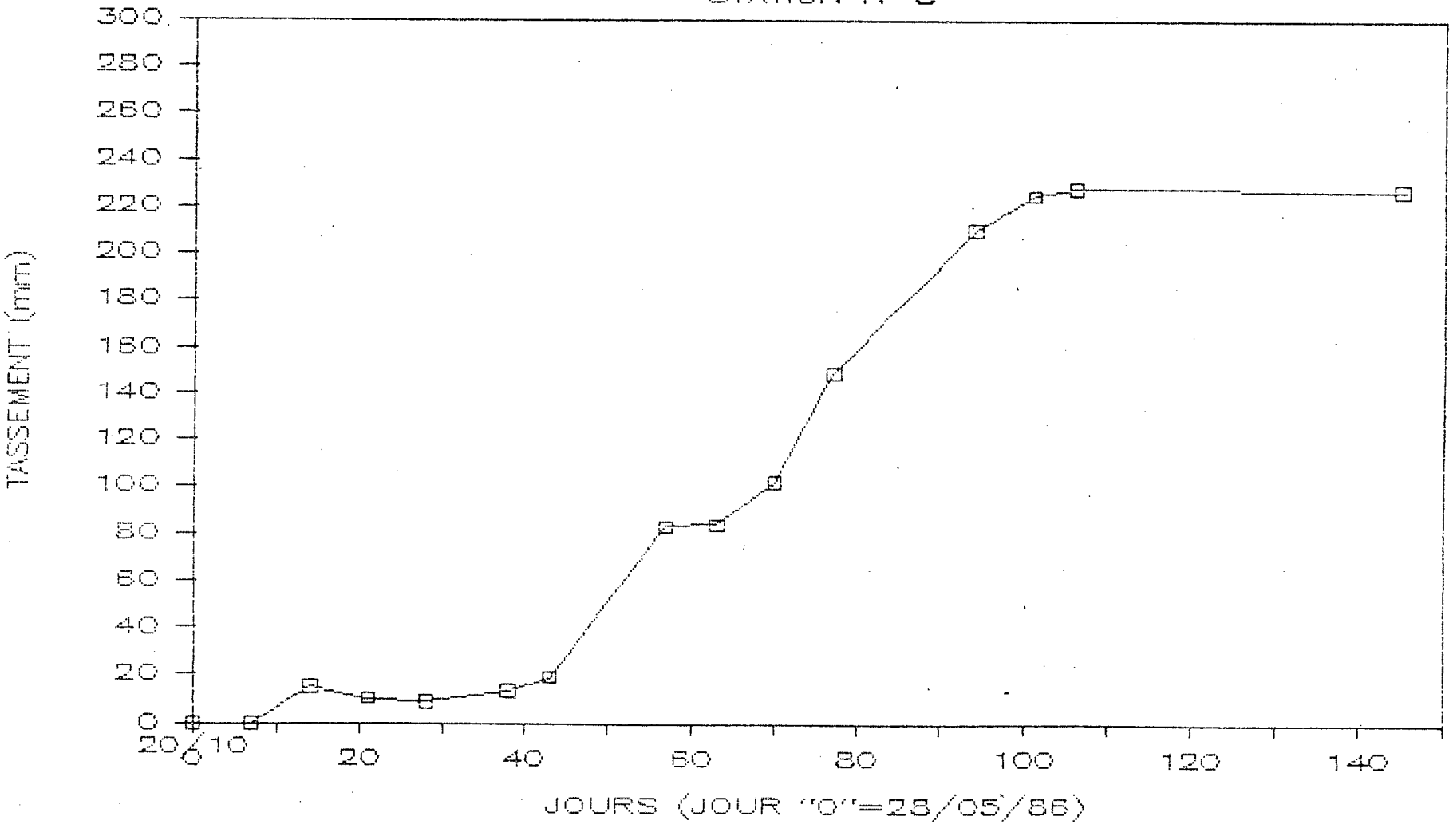
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-7



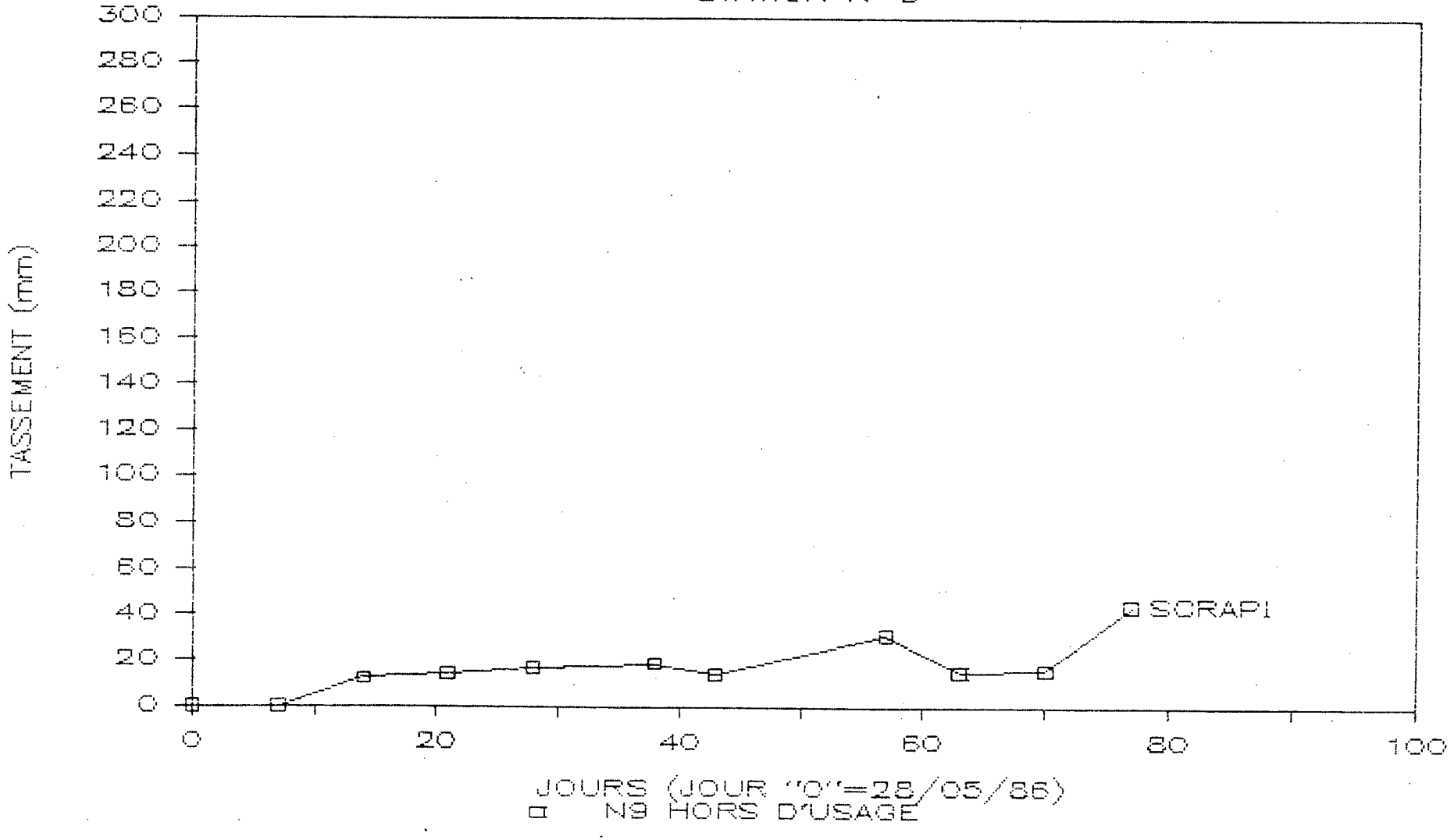
TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-8



TASSEMENT SOUS LA PISTE

STATION N-9



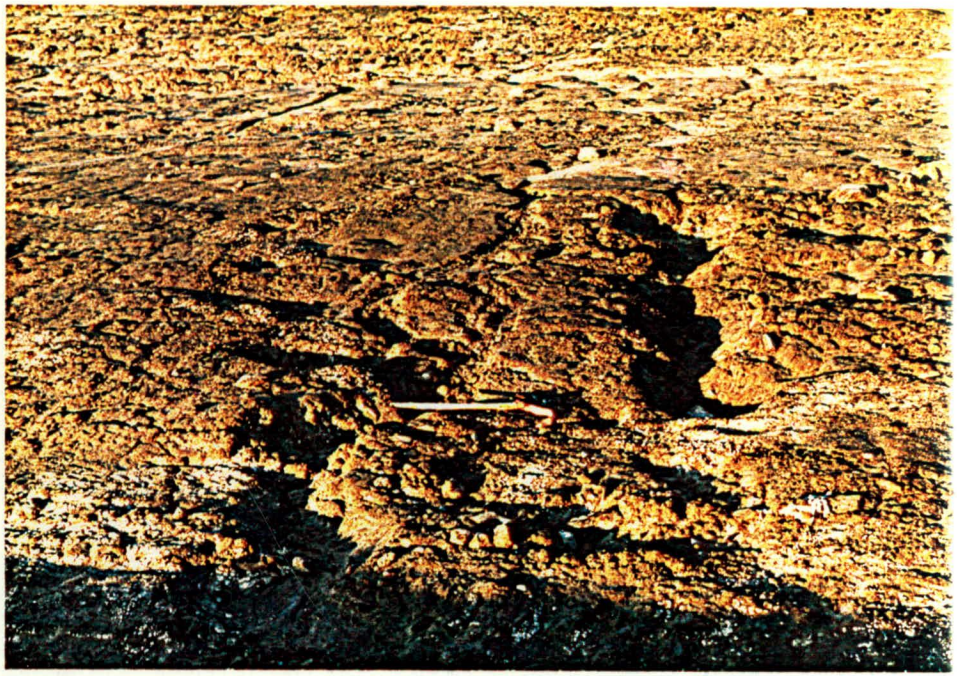
Annexe 3

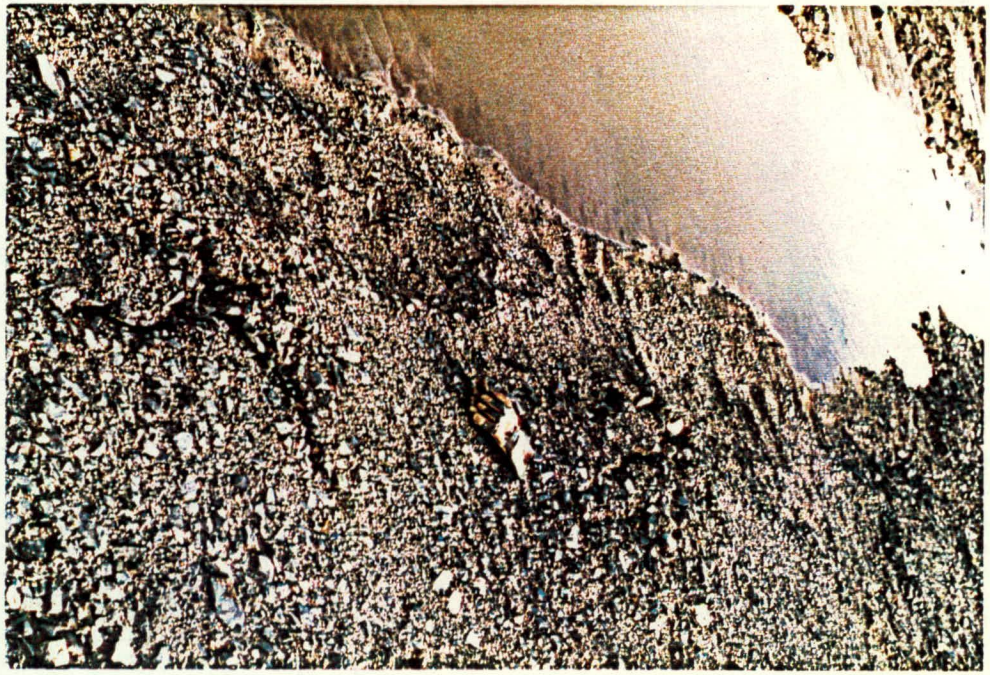
Photographies

1	2
3	

PISTE D'ATTERRISSAGE DE KANGIRSUK

Photo no	Description
1	Vue partielle de la section en déblai. La ligne piquetée correspond à la série d'instruments du chaînage 0+880.
2	Sol gélif riche en glace excavé au niveau de l'infrastructure.
3	Gondolage de la piste dans la section en déblai aux environs du chaînage 0+880.

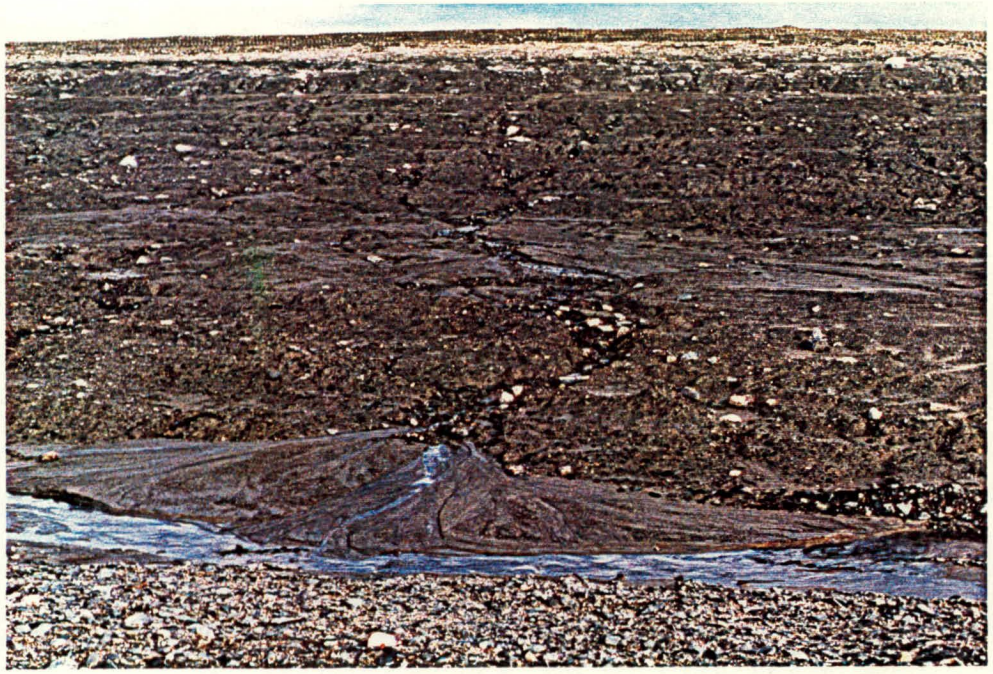


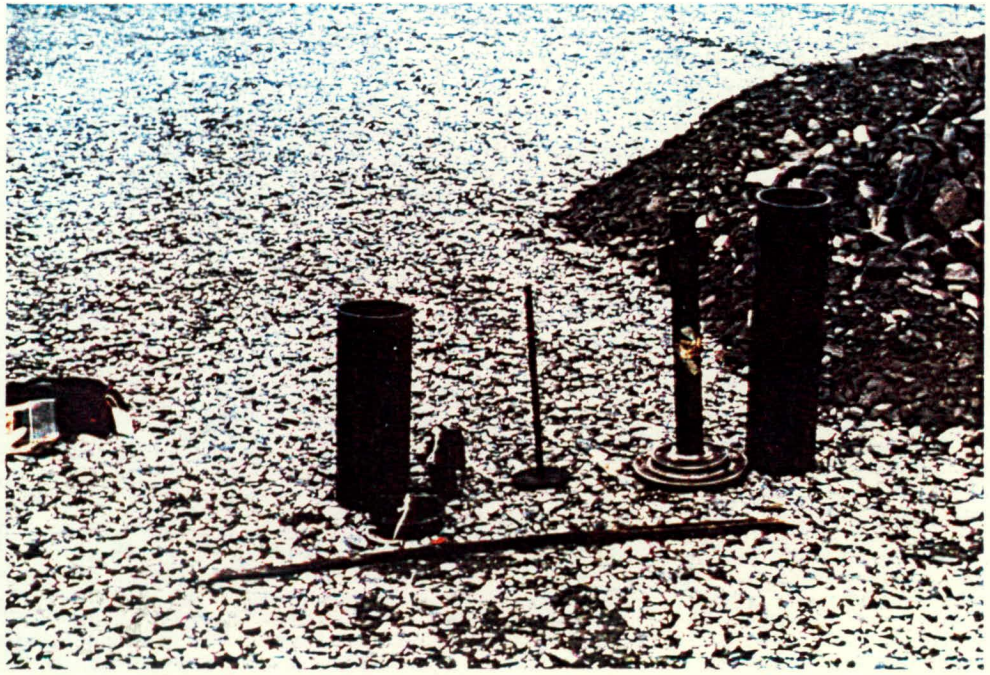


4	5
6	

PISTE D'ATTERRISSAGE DE KANGIRSUK

Photo no	Description
4 & 5	Affaissements du terrain naturel dans le talus de déblai lors de la fonte du pergélisol (0+845 - 40 m D). Note: le piquet mesure environ 60 cm.
6	Soulèvements par le gel (croissance de lentilles de glace) à proximité du fossé (0+950 - 25 m D).

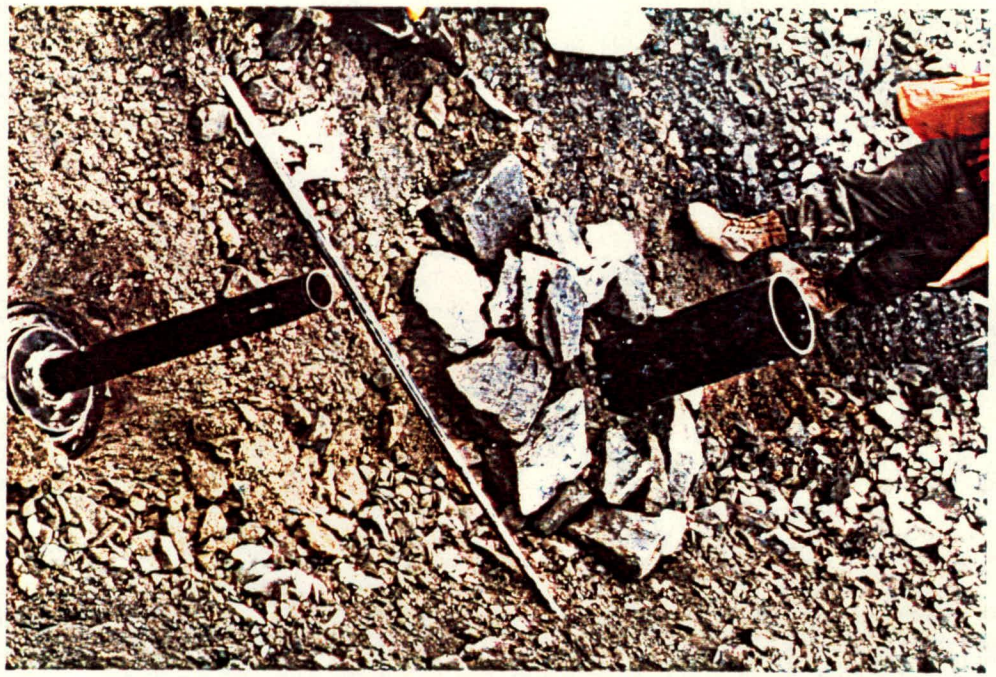


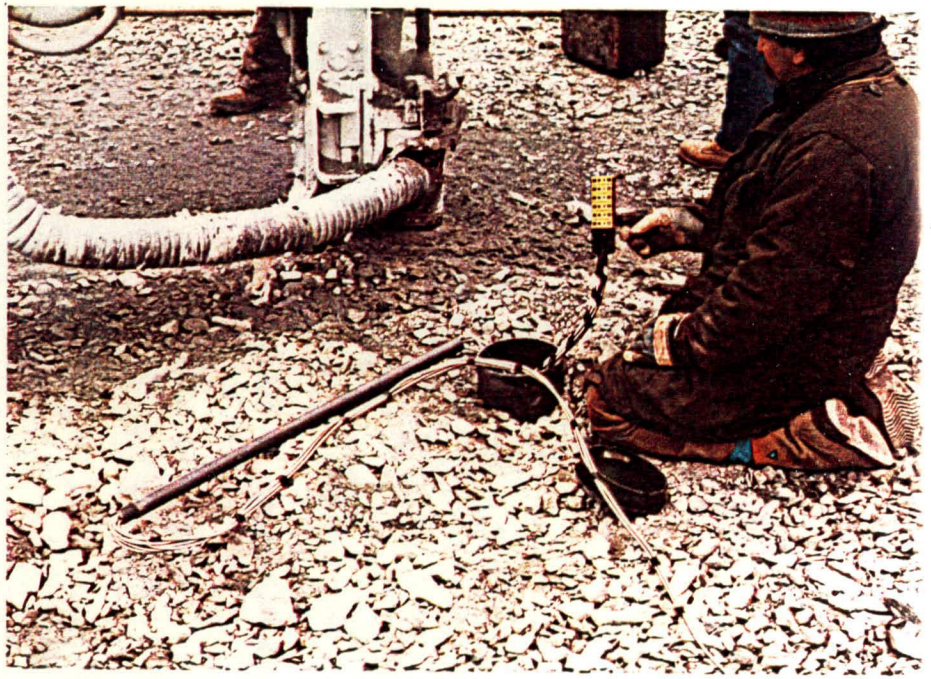


7	8
9	

PISTE D'ATTERRISSAGE DE KANGIRSUK

Photo no	Description
7 & 8	Erosion des talus de déblai et déposition du matériel dans le fossé.
9	Repères de nivellement et tube protecteur (à gauche), plaque de tassement à droite.





10	11
12	

PISTE D'ATTERRISSAGE DE KANGIRSUK

Photo no	Description
10	Installation d'une plaque et d'un repère de nivellement (avec tube protecteur) au niveau de l'infrastructure.
11	Installation d'une batterie de thermocouples à proximité d'un repère de nivellement.
12	Evaluation de la capacité de support par essai de plaque.

MINISTERE DES TRANSPORTS
QTR A 104 466