

**Eidgenössisches Verkehrs- und Energiewirtschaftsdepartement
Bundesamt für Strassenbau**

**Département fédéral des transports, des communications et de l'énergie
Office fédéral des routes**

**Dipartimento federale dei trasporti, delle comunicazioni e delle energie
Ufficio federale delle strade**

Profondeur de pénétration du gel, mesures à Payerne (VD)

Frosttiefe, Messungen in Payerne (VD)

**Service cantonal des routes Vaud
J. Ed. Bonjour**

**Travail de recherche 23/84 sur proposition de
l'Union des professionnels suisses de la route (VSS)**

Novembre 1985

Table des matières

	Résumé	
	Zusammenfassung	
Chap. I	INTRODUCTION	
	1. Présentation	2
	2. Situation et constitution	4
	3. Appareillage	4
Chap. II	AIR et COUCHES D'USURE	
	4. Indice de gel I_G	8
	5. Températures de l'air: sous abri et plein air	9
	6. Températures de la couche d'usure (tapis)	16
	a. températures moyennes nocturnes et diurnes	
	b. champs: de référence-avec béton de polystyrène	
	7. Valeurs de T_{gs}/T	30
Chap. III	PROFONDEURS	
	8. Des différents dispositifs de mesure	33
	9. Répartition verticale des températures	51
	10. Répartition transversale des températures	52
	11. Evolution des points caractéristiques 0 °C et -1 °C	57
	a. tautochrones	
	b. en fonction du calendrier	
	c. en fonction des températures négatives	
	12. Vitesse des évolutions en profondeur	67
	13. Température à 55 cm et profondeur des points	67
	14. Profondeur de cristallisation éventuelle de l'eau	71
	15. Analogies	73
Chap. IV	CORRELATIONS	
	16. Etat de l'atmosphère, de la chaussée et profondeurs	74
	17. Champs de "référence" et "champ II"	75
Chap. V	REFLEXIONS et CONCLUSIONS	78
	UEBERLEGUNGEN und SCHLUSSFOLGERUNGEN	82
	18. Rapports de recherches (bibliographie)	85
	19. Appendice: a. relation entre I_{G10} et I_G 30	86
	b. températures d'été	

Résumé

La synthèse des mesures effectuées à la RC No 516 à Payerne pour étudier les effets de la gelée sur la chaussée a donné des renseignements quelques fois très complets et positifs ou d'autres fois fragmentaires et très spécifiques, mais importants pour la conduite de recherches semblables.

Il s'agit d'une route cantonale secondaire aux abords d'une localité en basse altitude, qui comprend deux champs d'études, un de référence et l'autre avec une couche de béton de polystyrène.

Au cours de ces études, plusieurs appareillages ont été utilisés:

- thermographe mécanique sous abri

- capteurs individuels -thermosonde à ergots ou à bagues
- cryomètres -cryothermes -thermomètre à mercure

Leurs avantages et leurs inconvénients ont pu être testés sur une longue période de 8 ans. Une analyse des résultats obtenus a été possible valablement.

Les indices de gel I_G sont faibles, mais leurs valeurs, que les mesures soient faites sous abri ou en plein air, sont pratiquement égales pour ces deux manières de mesurer.

Les températures de surface (-5 cm) nocturnes et diurnes sont peu différentes dans les deux champs de recherche: référence ou "béton isolant" où elles peuvent aussi s'inverser. Mais leurs valeurs sont toutes comprises entre -5 °C et +5 °C. Le calcul d'un facteur T_{gs}/T montre qu'il est impossible d'obtenir la température de la surface de la chaussée à partir de celle de l'air, mesurée au même emplacement et surtout dans un autre endroit, par une opération simple.

L'indice de gel tel que défini dans la littérature et par les normes VSS n'est pas caractéristique pour la profondeur de pénétration. Il peut y avoir un grand indice de gel avec beaucoup de jours peu froids. Mais l'important c'est le nombre de jours très froids (-20 °C). Une partie intéressante est l'examen de l'évolution en profondeur des températures, en particulier des points 0 °C et -1 °C.

Il est apparu que dans ce cas précis de la RC No 516 et selon les "microconditions" existantes, le point 0 °C évolue dans la superstructure avec des vitesses variant entre 0 cm/heure et 10 cm/heure, en remontant et jusqu'à 6,5 cm/heure en descendant.

Une comparaison avec des recherches antérieures montre pour la RC No 516 une bonne similitude des constatations avec d'autres régions, du Canton de Vaud au moins.

Cette étude permet des conclusions importantes surtout pour la pratique de la conception des routes:

-pour le Canton de Vaud, mais certainement pour le Plateau suisse aussi, lorsqu'une route est construite selon les règles de l'art, il n'y a aucun danger de dégâts dus au gel pour les altitudes inférieures à 600 mètres.

Il est cependant possible que lors d'hiver exceptionnellement froids (tous les 25 ans) les couches supérieures du terrain soient atteintes. Il y aurait alors un risque de dégâts dus au gel en présence de sols très gélifs.

L'analyse de tous les résultats de cette étude permet de constater que les températures au cours d'un jour varient constamment jusqu'à 50 à 60 cm de profondeur, mais qu'au-dessous de ce niveau, une certaine stabilité se manifeste. Ce qui permet de trouver un facteur du dimensionnement fixant les profondeurs des points 0 °C et -1 °C en fonction de la température à 55 cm.

Un graphique donne ces renseignements et permet de situer l'emplacement examiné dans l'une des tranches de dégâts: probable ou aléatoire.

Zusammenfassung

Die Zusammenfassung der für die Kantonstrasse 516 in Payerne angewendeten Massnahmen zur Untersuchung der Auswirkungen des Frostes auf die Strasse hat einerseits sehr vollständige und positive Resultate ergeben, und der anderen Seite solche, die unvollständig und sehr spezifisch, jedoch für die Abwicklung künftiger Ueberlegungen wichtig sind.

Es handelt sich um eine kantonale Nebenstrasse in der Nähe einer Ortschaft mit niedriger Meereshöhe, mit zwei Untersuchungsfelder, d.h. einem Bezugsfeld und einem Feld mit Polystyrolbeton.

Bei dieser Untersuchung wurden mehrere Geräte verwendet, und zwar:

- Mechanischer Temperaturschreiber in Wetterhütte
- Temperaturegeber - Temperatursonde mit Spornen oder Ringen
- Frostsonden mit Glasampullen - Kryotherm(cryotherme)
- Quecksilberthermometer

Ihre Vor- und Nachteile konnten während 8 Jahren in der Praxis geprüft werden. Eine Untersuchung zeigt die Gültigkeit der erhaltenen Resultate.

Die Frostindizes I_G sind niedrig. Ihre Werte sind jedoch unabhängig davon, ob sie an einem geschützten Ort (Wetterhütte) oder im Freien gemessen wurden, praktisch gleich.

Die Oberflächentemperaturen (-5 cm) in der Nacht und am Tag unterscheiden sich in den beiden Untersuchungsfeldern (Bezugsfeld und "Isolierbeton") nur unwesentlich, und können sich dort auch umkehren. Ihre Werte liegen jedoch alle zwischen -5 °C und +5 °C. Die Berechnung des Faktors T_{gs}/T zeigt, dass es unmöglich ist, die Temperatur der Strassenoberfläche aus der am gleichen und vor allem aus der an einem anderen Ort gemessenen Lufttemperatur auf einfache Weise zu erhalten.

Der in der Literatur und in unseren Normen definierte Frostindex ist für die Frosttiefe nicht charakteristisch. Viele Tage ohne grosse Kälte können einen hohen Frostindex ergeben. Wichtig ist jedoch die Anzahl der sehr kalten Tage (-20 °C). Ein interessanter Teil ist die Tiefenentwicklung der Temperaturen, insbesondere der Punkte 0 °C und -1 °C. Es hat sich gezeigt, dass in diesem speziellen Fall der Kantonstrasse 516 und gemäss den vorliegenden "Mikro-

bedingungen" der Punkt 0 °C sich im Oberbau mit Geschwindigkeiten beim Anstieg zwischen 0 cm/Std und 10 cm/Std bewegt und bei der Abnahme mit bis zu 6,5 cm/Std.

Ein Vergleich mit früheren Untersuchungen zeigt für die Kantonsstrasse 516 eine gute Uebereinstimmung der Feststellungen mit anderen Regionen, zumindest des Kantons Waadt.

Diese Untersuchung gestattet wichtige Schlussfolgerungen, insbesondere für die Praxis der Projektierung von Strassen.

-Dies für den Kanton Waadt, jedoch sicher auch für das schweizerische Mittelland. Wenn eine Strasse nach den Regeln der Technik gebaut wird, besteht für Meereshöhen unter 600 m überhaupt keine Frostgefahr.

Es ist jedoch möglich, dass in einem aussergewöhnlich kalten Winter (alle 25 Jahre) die oberen Schichten des Untergrundes erreicht werden. In diesem Fall besteht die Gefahr von Frostschäden, wenn die Bodenmaterialien sehr frostgefährlich sind.

Die Analyse aller Resultate dieser Untersuchung lässt die Feststellung zu, dass die Temperaturen innerhalb eines Tages bis zu 50 bis 60 cm ständig wechseln, darunter jedoch eine gewisse Stabilität aufweisen. Dies ermöglicht die Festlegung eines Dimensionierungsfaktors, der die Tiefe der Punkte 0 °C und -1 °C in Funktion der Temperatur bei 55 cm festlegt.

Eine Darstellung liefert diese Angaben und ermöglicht die Zuordnung der kontrollierten Stelle zu einem der Schaden abschnitte "wahrscheinlich" oder "ungewiss".

Les recherches dont les résultats font l'objet de ce mémoire ont été accomplies en association avec le SERVICE des ROUTES du Canton de VAUD et avec la collaboration du Voyer d'arrondissement et de son personnel

Chap. I . INTRODUCTION

La synthèse des études effectuées sur la route cantonale No 516 à Payerne a montré que l'effet de la gelée n'a pas atteint le terrain. Ce rapport portera de ce fait principalement sur la répartition des températures, de même que sur la pénétration du froid, malheureusement uniquement dans la superstructure.

1.-Présentation.

Profitant de la construction par le Service des routes du Canton de Vaud de deux tronçons de route cantonale, qui pouvaient permettre l'érection de section d'essais, par décision des 14 juin 1973 et 30 janvier 1976, l'Office fédéral des routes, par le canal de la VSS accordait deux crédits de recherches.

Le premier de ces tronçons se trouvait à Payerne sur la RC No 516 (fig. 1) et il comprenait un champ de référence et un champ avec une couche de béton de polystyrène "béton isolant". Il a été mis en circulation en juillet 1973. Le second tronçon a été construit sur la RC No 702 aux Moulins, près de Château d'Oex[1].

Fig. 1

Vue générale en direction SW
11 décembre 1973 0715

- 1. Champ de référence
- 2. Champ avec béton de polystyrène
- 3. Armoire de mesure



Alors que ce rapport donne les principaux résultats de l'étude des effets de la gelée sur la chaussée de la RC No 516, les données des mesures de déflexions et de déformations ont déjà été publiées précédemment[3]. Dans ce fascicule figurent les valeurs des températures de l'air, des superstructures et du terrain et leurs répartitions. Les mesures effectuées pendant 8 ans sur ce tronçon, ce qui donne 4424 relevés au total, ont montré que le point 0 °C n'est pas descendu dans le terrain. Le milieu ambiant de cet emplacement n'est donc pas très favorable pour une étude répondant aux buts fixés au départ. Les mesures ont été stoppées au printemps 1981.

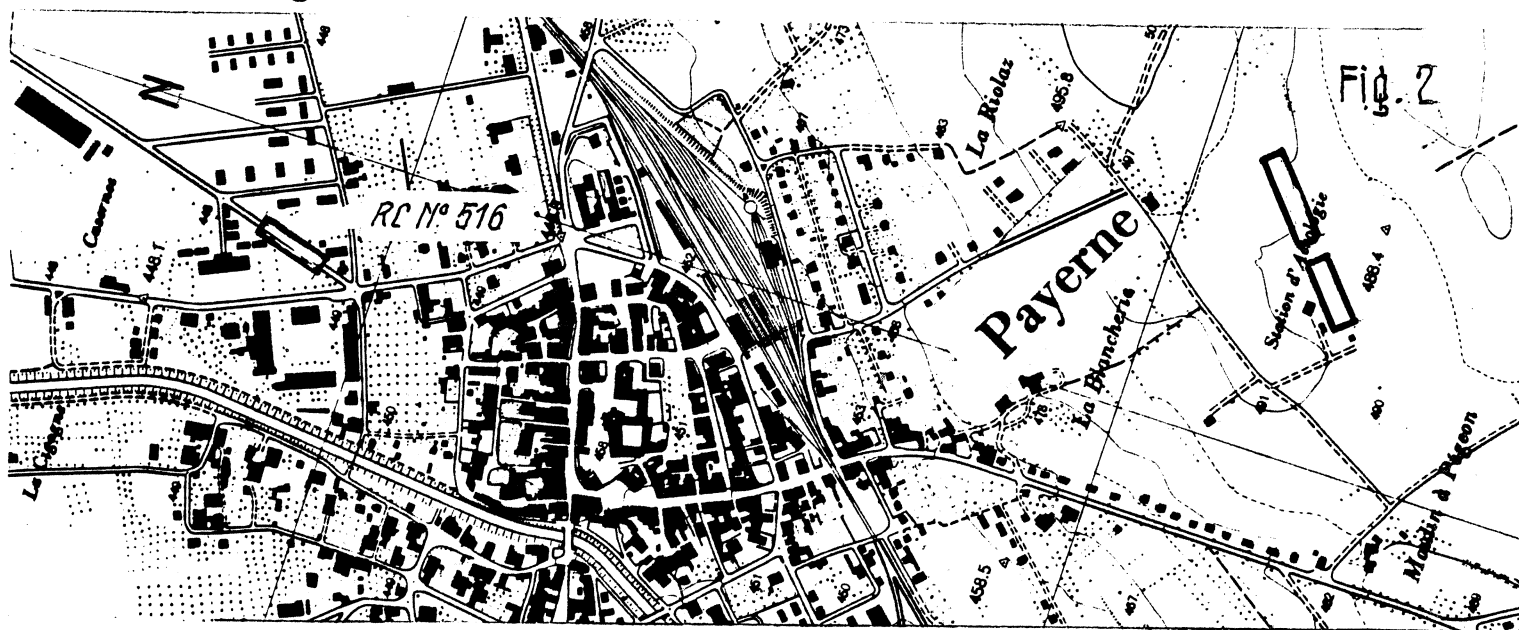
Les travaux exécutés ici sont donc surtout intéressants pour l'étude des corrélations entre l'air et les couches supérieures de la route et pour la répartition verticale des températures dans les superstructures et le terrain. D'autres tronçons d'étude existent dans la même période à la Station aérologique fédérale de Payerne, aux Moulins (Château d'Oex) et au Canton des Grisons[6]. Les données récoltées dans ces autres stations sont actuellement partiellement acquises. Les dépouillements permettront probablement d'affiner les considérations et les conclusions de ce rapport.

Les lectures étaient faites deux fois par jour, le matin entre 0700 et 0715 heures au moment où les températures sont les plus basses et le soir à 1700 heures. Ces relevés ont été effectués tous les jours de novembre à mars. Ils intéressent donc 8 périodes hivernales. L'entretien des installations a été assuré par Messieurs Henri Girod et Roger Widmer. Vu la facilité d'accès de ce tronçon et les possibilités apportées par le personnel du Voyer d'arrondissement, il a été possible de le surveiller et de l'observer au mieux, surtout parce que sa dotation en instruments de mesure était très complète.

2.-Situation et constitution.

La fig. 2 à l'échelle de 1:5000 montre la situation des deux champs construits à la sortie de Payerne, en direction du Pont Neuf et de Ressudens, à l'altitude de 449 m. La situation des champs de la Station aérologique y figure aussi.

Un plan plus détaillé est donné à la fig. 3 sur laquelle se trouve aussi une coupe type de chacun des champs avec les épaisseurs des couches constitutives et les détails d'appareillage.



Les données recueillies au cours de cette étude correspondent aux conditions réelles d'une route secondaire de plaine aux abords d'une localité.

3.-Appareillage.

Pour obtenir les valeurs des températures de l'air, des superstructures et du terrain, les principaux matériels existant au moment de la construction (1973) ont été mis en place. Il s'agit d'un thermomètre mécanique, de capteurs à résistance au platine individuels, de thermosondes, de cryomètres et de cryothermes [2].

Les températures de l'air ont été mesurées avec

- un thermographe mécanique sous abri, et
- un capteur à résistance au platine P_t 100, fixé au bâti de l'armoire de mesure[2], donc en plein air sans protection.

Les températures dans les superstructures et le terrain sont déterminées par

- des capteurs individuels à résistance au platine, posés dans la route au fur et à mesure de la construction, et
- des résistances au platine Degussa P_t 100 Type 2 100 Ω à 0 °C fixées dans deux thermosonde Wybo de 35 mm de diamètre (fig. 3) installées à demeure sous la chaussée dans chaque champ.

Tous ces dispositifs sont complétés par 3 cryomètres Wybo placés sur un profil en travers dans chaque champ. Ces deux systèmes étaient complétés sporadiquement par un cryotherme portatif, soit à un capteur, soit à 7 capteurs. L'utilisation du cryotherme permettait d'obtenir sur une profondeur égale à la longueur de la tige de l'appareil autant de points de mesure que désiré, en général dans cette étude tous les 7 cm à 12,5 cm. Les courbes dessinées à l'aide de ces nombreux points ont confirmé qu'il n'y a dans leur tracé, ni cassures, ni points d'inflexion.

Les éléments fixes sont reliés à une armoire dans laquelle les mesures sont effectuées, au début de l'étude avec

- un galvanomètre BASF gradué en °C, puis
- un indicateur numérique à affichage digital au 1/100 e °C.

La position en plan de tous ces appareils est illustrée à la fig. 3. Les profils type donnent la répartition en profondeur.

L'installation des matériels fixes a été effectuée par la Société BASF de Ludwigshafen et par Cryomètres Wybo de Lausanne. Le thermographe a été mis à disposition par la Station aérologique fédérale de Payerne.

La précision des capteurs utilisés, soit individuels, soit en thermosonde est comprise entre 0,05 Ω à 0,1 Ω , soit 0°2-0°3, en plus ou en moins. Les montages sont à 4 fils, ce qui permet d'éliminer les erreurs qui seraient dues à la longueur des conducteurs.

Les coupes de la fig. 3 montrent que les capteurs se trouvent à 5 niveaux différents, qui permettent de tracer les tautochrones, qui par intersection donneront les profondeurs pour toute température intéressante, en particulier celles des points 0 °C et -1 °C.

Les profondeurs du froid ayant été nettement plus faibles que celles escomptées, la pratique a montré qu'il manquait dans ce cas dans le champ de référence, un capteur au moins entre 19 cm et 65 cm; cette distance s'est révélée trop grande pour permettre de tracer exactement les tautochrones. Heureusement, l'utilisation du cryotherme permet de remédier à cet inconvénient.

L'installation a été complétée en été 1979 d'un dispositif permettant de lire un facteur de correction de presque toutes les imprécisions dans les lectures (résistances au platine, digital numérique, effets de la température extérieure, etc). Ce coefficient a été de 0°2 à 0°3, pouvant monter jusqu'à 1 °C.

Les questions de fiabilité des appareillages, de comparaison de précision sont traitées au par. 8 chap III.

Pour contrôler quelques fois les données des capteurs de surface, une mesure de température à l'aide d'un thermomètre à mercure de précision $1/10^e$ °C était effectuée dans un trou foré à proximité du capteur jusqu'à 4 cm.

référence

RC N° 516 Payerne

7

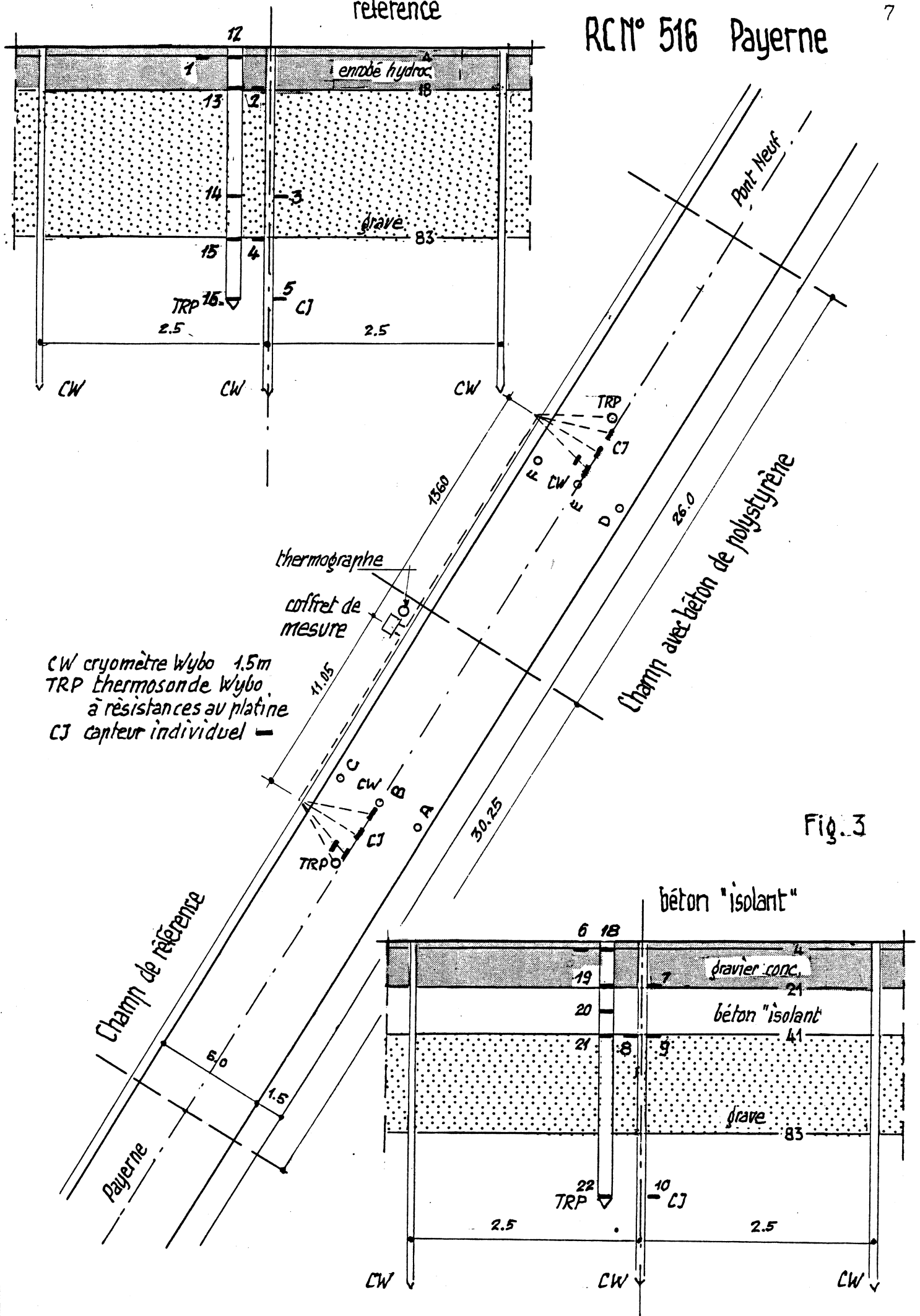


Fig. 3

Chap. II .- TEMPERATURES DE L'AIR et des COUCHES D'USURE.

Ce chapitre traite des déterminations des températures de l'air et de celles de la couche d'usure(tapis).Lorsque le programme de recherches a été discuté,une idée était d'examiner l'influence de la température de l'air sur la profondeur du gel.Et tout d'abord de trouver la relation - pour autant qu'elle existât - entre une température de l'air et celle de la couche d'usure au même moment.

Il était important en première approche de connaître un indice de gel I_G qui a été déterminé en utilisant les moyennes journalières diurnes et nocturnes des deux relevés faits chaque jour.Nocturne,car nous savons aussi par d'autres mandats de recherches,que pendant la journée les températures de surface sont inégalement réparties sur l'entier de la surface de la chaussée et,par contre,qu'elles deviennent égales durant la nuit où le froid est plus constant à son niveau le plus bas.

4.- Indice de gel I_G .

Les possibilités de l'installation ont permis de calculer pour les 8 hivers contrôlés,un indice de l'air basé sur deux relevés journaliers des températures sous abri météorologique et en plein air.

	sous abri	plein air		sous abri	plein air
	°C.j	°C.j		°C.j	°C.j
1973-1974	29,6	30,0	1977-1978	27,6	20,7
1974-1975	7,3	9,1	1978-1979	81,3	84,6
1975-1976	39,6	54,6	1979-1980	47,2	52,1
1976-1977	118,9	108,6	1980-1981	87,7	90,3

Les valeurs obtenues pour l'indice de gel pendant tous les hivers examinés sont donc très faibles.Les indices les plus grands sont ceux des hivers 1976-1977 et 1980-1981.Seuls les relevés faits pendant ces deux hivers seront examinés en détail.

Les valeurs de l'indice de gel figurant au tableau de la page précédente montrent que

la détermination de l'indice de gel de l'air I_G peut être faite indifféremment avec les températures de l'air mesurées sous abri ou en plein air

voir aussi [3]

5.-Températures de l'air:sous abri et en plein air.

Comme déjà noté au chap. I par. 3 les températures de l'air étaient mesurées par un thermographe mécanique sous abri météorologique et par une résistance au platine fixée en plein air au bâti de l'armoire de mesure[2]. Les lectures étaient faites à 0715 et 1700 heures chaque jour par Monsieur Charles Jomini, cantonnier chef, qui dessinait de suite les courbes sur la feuille des relevés.

Les tableaux des pages 10 à 15 donnent les valeurs obtenues par les deux opérations $N = \frac{1}{2}(1700 \text{ du jour précédent} + 0715)$ et $J = \frac{1}{2}(0715 + 1700)$ qui correspondent à ce qu'il est possible d'appeler températures moyennes nocturnes et diurnes. L'examen des résultats fait voir que

la température en plein air est toujours inférieure à celle sous abri et que la différence entre température nocturne et diurne n'est pas significative.

L'étude et le dépouillement des bandes enregistrées au thermographe pour les deux hivers étudiés indiquent pendant la journée, dans les périodes froides, deux phases différentes: de 10 h. à 16 h. (heures chaudes) et de 17 h. à 9 h. (heures froides). Les pages suivantes disent que la température moyenne des heures froides est inférieure d'environ 1 °C à celle des heures chaudes.

Températures de l'air: nocturnes et diurnes, sous abri et plein air
 Lufttemperaturen: Nacht und Tag, in Wetterhütte und Freiluft

N : $\frac{1700+0715}{2}$

J : $\frac{0715+1700}{2}$

novembre 1976

		sous abri				plein air +
			-10°	0°	5°-10°	
15	J				+	4°4
	N	6°0			+	4°9
16	J	6°4			+	5°0
	N	6°5			+	5°6
17	J	6°3			+	6°0
	N	5°7			+	6°4
18	J	4°6			+	5°0
	N	4°2			+	3°8
19	J	4°6			+	3°5
	N	4°6			+	2°5
20	J	3°6			+	1°9
	N	2°7			+	1°4
21	J	2°7			+	0°8
	N	3°2			+	1°0
22	J	2°6			+	2°0
	N	2°0			+	2°1
23	J	1°8			+	1°4
	N	0°5			+	0°1
24	J	1°9			+	1°3
	N	3°5			+	3°0
25	J	3°5			+	3°1
	N	3°2			+	3°1
26	J	3°3			+	3°4
	N	1°3			+	1°1
27	J	-0°6			+	-1°2
	N	0°4			+	0°0
28	J	2°8			+	2°5
	N	6°2			+	5°2
29	J	7°6			+	5°2
	N	8°1			+	5°5
30	J	8°8			+	5°5
	N	8°3			+	4°6

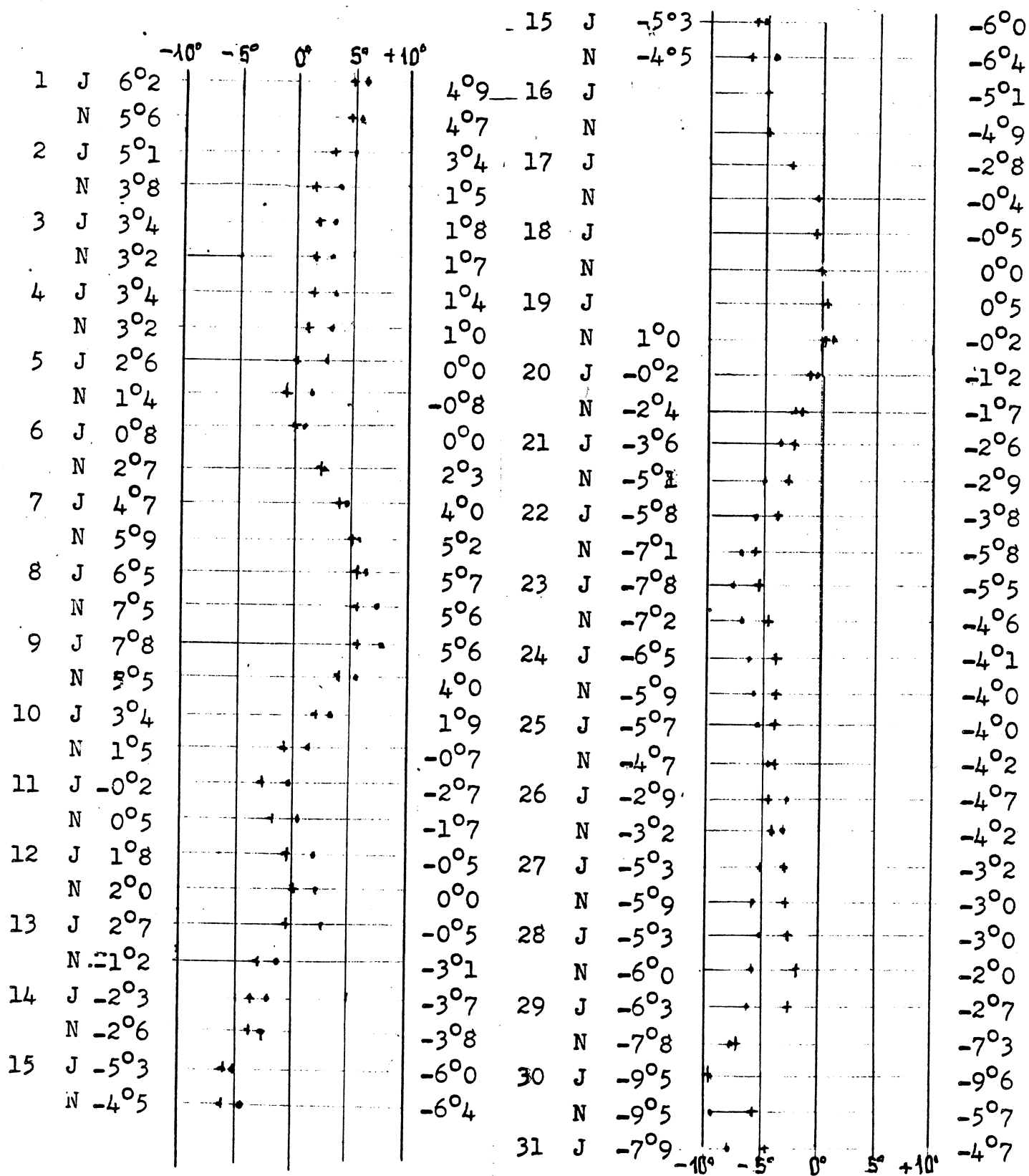
Températures de l'air: nocturnes et diurnes, sous abri et plein air
 Lufttemperaturen: Nacht und Tag, in Wetterhütte und Freiluft

N : 1700+0715
 2

décembre 1976

J : 0715+1700
 2

décembre 1976



sous abri
Wetterhütte

+ plein air
Freiluft

sous abri
Wetterhütte

+ plein air
Freiluft

RC No 516

Températures de l'air: nocturnes et diurnes, sous abri et plein air
 Lufttemperaturen: Nacht und Tag, in Wetterhütte und Freiluft

N : $\frac{1700+0715}{2}$

J : $\frac{0715+1700}{2}$

janvier 1977

janvier 1977

		-5°	0	5°			-5°	0	5°	
	N	-5°5	+		-5°7	N	0°4	+		0°5
1	J	-2°8	++		-2°4	17	J	-2°7	+	-2°6
	N	-0°5	+		-0°3		N	-6°0	+	-5°7
2	J	0°8	+		-0°8	18	J	-6°2	+	-4°5
	N	1°8	+		0°3		N	-4°6	+	-3°0
3	J	0°8	+		0°8	19	J	-1°2	+	-0°4
	N	1°3	+		0°1		N	-1°2	++	-0°4
4	J	1°0	+		0°4	20	J	-2°6	++	-1°7
	N	1°0	+		1°1		N	-2°0	+	-0°6
5	J	1°2	+		1°0	21	J	-3°3	++	-1°7
	N	1°2	+		1°0		N	-4°1	++	-2°3
6	J	0°6	+		0°0	22	J	-3°0	+	-1°0
	N	-1°2	++		-1°7		N	-1°1	++	0°4
7	J	-2°6	+		-3°2	23	J	-0°1	+	1°5
	N	-2°8	+		-3°6		N	0°4	++	1°8
8	J	-0°5	+		-2°1	24	J	1°1	+	0°8
	N	-1°2	+		-1°5		N	0°9	+	-0°1
9	J	-2°2	++		-1°5	25	J	2°1	+	1°9
	N	-0°3	+		0°0		N	4°8	+	4°5
10	J	0°7	+		1°0	26	J	5°7	+	5°3
	N	0°0	+		0°4		N	5°5	+	5°2
11	J	-1°0	+		-0°6	27	J	4°6	+	2°3
	N	-0°2	+		0°3		N	3°4	+	0°5
12	J	0°1	+		0°7	28	J	3°2	+	1°8
	N	-5°0	+		-2°4		N	3°0	+	2°3
13	J	-6°8	+		-3°8	29	J	3°2	+	2°5
	N	-5°2	+		-5°2		N	4°4	+	1°8
14	J	-4°4	++		-3°9	30	J	3°5	+	1°0
	N	-0°5	+		-0°4		N	2°6	+	1°1
15	J	1°1	+		0°5	31	J	-1°0	+	0°8
	N	1°2	+		0°8		N	0°6	+	0°8
16	J	1°2	+		1°4					

sous abri Hütte + plein air Freiluft

sous abri Hütte + plein air Freiluft

Températures de l'air: nocturnes et diurnes, sous abri et plein air
 Lufttemperaturen: Nacht und Tag, in Wetterhütte und Freiluft

N : 1700+0715
 2

J : 0715+1700
 2

décembre 1986

décembre 1980

			-10°	-5°	0°				-5°	0°	5°
1	J	-6°2		+		-6°3	17	J	-1°9	+	-1°5
	N	-8°0		++		-7°0		N	-0°2	+	0°2
2	J	-6°9		++		-6°3	18	J	-0°2	+	0°0
	N	-3°8		++		-4°3		N	-1°9	+	-1°5
3	J	-2°0		+		-2°0	19	J	-2°9	++	-1°8
	N	-2°4		+		-2°4		N	-4°7	++	-3°5
4	J	-2°1		+		-2°1	20	J	-3°5	++	-2°6
	N	-1°4		++		-0°8		N	0°5	+	1°0
5	J	-0°6		+		-1°0	21	J	1°4	++	2°0
	N	2°4			+	2°0		N	0°9	+	1°7
6	J	3°6			+	4°0	22	J	0°9	+	0°9
	N	1°2			+	0°7		N	1°1	+	0°5
7	J	-1°3		+		-1°4	23	J	3°0	++	2°3
	N	-2°8		+		-2°5		N	3°2	+	3°0
8	J	-6°0		+		-2°5	24	J	2°0	++	3°5
	N	-10°9		+		-6°9		N	0°4	++	2°0
9	J	-11°7		+		-10°2	25	J	-1°2	+	-1°4
	N	-11°0		+		-9°4		N	1°4	+	-0°2
10	J	-8°9		+		-8°8	26	J	2°2	++	0°3
	N	-6°7		+		-6°5		N	0°5	+	1°0
11	J	-5°4		++		-4°3	27	J	-0°1	+	-1°7
	N	-5°9		++		-5°5		N	-0°3	++	-2°0
12	J	-7°3		+		-4°8	28	J	-0°8	+	-3°0
	N	-6°0		+		-3°8		N	-1°8	+	-3°8
13	J	-3°8				-4°0	29	J	-3°2	++	-4°4
	N	1°3			+	-2°0		N	-4°3	++	-5°0
14	J	5°2			+	1°8	30	J	-4°6	+	-4°6
	N	7°6				6°9		N	-5°5	++	-4°6
15	J	5°7			+	5°6	31	J	-4°8	+	-4°5
	N	1°2			+	2°0		N	-0°2	+	-0°2
16	J	0°6			++	1°6					
	N	-0°8			+	1°8					

sous abri plein air
 Hütte Freiluft

sous abri plein air
 Hütte Freiluft

Températures de l'air: nocturnes et diurnes. sous abri et plein air
 Lufttemperaturen: Nacht und Tag, in Wetterhütte und Freiluft

N : $\frac{1700+0715}{2}$

J : $\frac{0715+1700}{2}$

janvier 1981

janvier 1981

		-10°	-5°	0°	5°			-10°	-5°	0°	5°
	N	-0°2		+		-0°2					
1	J	3°2		+		2°7	17	J	3°6	+	3°0
	N	2°6		++		1°3		N	2°7	+	2°0
2	J	1°8		+		-0°4	18	J	2°7	++	1°2
	N	3°7		++		2°2		N	2°1	+	1°0
3	J	4°8		++		4°0	19	J	2°8	+	1°7
	N	5°2		++		4°3		N	2°3	++	1°3
4	J	4°7		++		3°6	20	J	0°8	+	0°5
	N	2°3		++		1°0		N	-0°5	+	-0°8
5	J	1°4		++		0°7	21	J	-1°1	+	-0°9
	N	0°6		+		-0°2		N	-3°5	+	-2°9
6	J	-0°4		++		-1°2	22	J	-6°0	+	-4°1
	N	-2°8		+		-3°4		N	-7°0	++	-5°8
7	J	-2°8		++		-4°4	23	J	-7°2	+	-7°5
	N	-4°6		+		-7°2		N	-6°3	+	-6°8
8	J	-6°8		+		-9°3	24	J	-5°7	++	-7°0
	N	-7°0		+		-7°7		N	-6°0	+	-6°1
9	J	-5°8		+		-6°1	25	J	-3°9	+	-4°5
	N	-3°0		+		-3°1		N	-1°9	++	-2°6
10	J	-3°0		+		-2°6	26	J	1°0	+	-1°4
	N	-2°0		+		-1°5		N	0°2	+	-2°2
11	J	-0°9		+		-0°7	27	J	-2°5	+	-3°1
	N	-1°1		++		-2°1		N	-3°4	+	-3°7
12	J	-1°6		+		-1°5	28	J	-2°5	+	-2°8
	N	-1°9		++		-0°9		N	-3°8	+	-4°5
13	J	-2°9		+		-2°3	29	J	-5°0	+	-6°2
	N	-6°5		+		-6°0		N	-5°4	+	-6°2
14	J	-6°0		+		-6°0	30	J	-7°0	+	-6°7
	N	-0°2		+		0°0		N	-6°6	+	-6°8
15	J	1°2		+		1°2	31	J	-7°1	++	-5°3
	N	-1°2		+		-1°3		N	-7°3	+	-3°5
16	J	-1°5		+		-1°6					
	N	1°7		+		1°5					

sous abri
Hütte

o

+ plein air
Freiluft

sous abri/ Hütte o + plein air/Freiluft

RC No 516

Températures de l'air: nocturnes et diurnes, sous abri et plein air
 Lufttemperaturen: Nacht und Tag, in Wetterhütte und Freiluft

1700+0715
 N : $\frac{\quad}{2}$

0715+1700
 J : $\frac{\quad}{2}$

février 1981

février 1981

		-10°	-5°	0°	5°			-5°	0°	5°	
1	J	-7°2	+			-7°0	16	J	-1°8	+	-5°7
	N	-7°0	+			-6°8		N	-1°8	+	-5°5
2	J	-6°4	+	+		-4°3	17	J	-3°9	+	-3°7
	N	-6°5	+	+		-0°5		N	-2°4	+	-2°1
3	J	-2°3		+	+	2°0	18	J	-1°9	+	-1°8
	N	4°2			+	5°0		N	-3°9	+	-4°4
4	J	3°5			+	4°2	19	J	-4°0	+	-4°5
	N	1°2		+		1°5		N	-3°3	+	-3°5
5	J	0°0		+		0°0	20	J	-2°3	+	-2°0
	N	0°0		+		0°8		N	-0°9	+	-0°4
6	J	1°3		+		2°0	21	J	-1°6	+	-1°8
	N	4°5		+		2°9		N	-4°8	+	-5°5
7	J	4°0		+		4°3	22	J	-4°8	+	-4°7
	N	1°8		+		2°2		N	-2°4	+	-2°2
8	J	-1°0		+		-0°1	23	J	-1°0	+	-1°5
	N	-0°8		+		0°0		N	0°6	+	0°0
9	J	-0°3		+		1°4	24	J	0°9	+	0°5
	N	2°8		+		4°5		N	-0°2	+	-0°6
10	J	3°6		+		4°1	25	J	-1°0	+	-1°6
	N	-0°7		+		-0°4		N	0°1	+	-0°5
11	J	-1°3		+		0°0	26	J	1°0	+	1°5
	N	-1°1		+		-0°1		N	-1°2	+	-0°1
12	J	-1°2		+		-1°6	27	J	-1°8	+	-1°6
	N	-2°7		+		-2°3		N	0°5	+	-0°2
13	J	-2°9		+		-2°5	28	J	0°3	+	-0°8
	N	-3°5		+		-4°0		N	1°4	+	0°6
14	J	-3°3	+			-4°8					
	N	-2°8	+			-4°8					
15	J	-2°1	+			-4°8					
	N	-1°8	+			-3°8					

sous abri plein air
 Hütte Freiluft

sous abri plein air
 Hütte Freiluft

6. Températures de la couche d'usure (tapis)

L'installation existante permet de connaître à 5 cm sous la surface de la chaussée pour chaque champ, deux valeurs de leur température de surface, mesurées le matin et le soir.

Elles sont données par

référence	béton de polystyrène
capteur No 1 individuel résistance No 12 thermo- sonde à ergots	capteur No 6 individuel résistance No 18 thermo- sonde à bagues

Les relevés, disposés comme suit, conduisent aux températures moyennes N et J

	champ de référence							
jour	0				00			
heure	0715		1700		0715		1700	
capteur	No 1	No 12	No 1	No 12	No 1	No 12	No 1	No 12
moyenne horaire	$\frac{1+12}{2}$		$\frac{1+12}{2}$		$\frac{1+12}{2}$		$\frac{1+12}{2}$	
moyenne J et N	J		N		J		N	

	champ avec béton de polystyrène							
jour	0				00			
heure	0715		1700		0715		1700	
capteur	No 6	No 18	No 6	No 18	No 6	No 18	No 6	No 18
moyenne horaire	$\frac{6+18}{2}$		$\frac{6+18}{2}$		$\frac{6+18}{2}$		$\frac{6+18}{2}$	
moyenne J et N	J		N		J		N	

Comme pour tous les autres dépouillements seuls les relevés des hivers 1976-1977 et 1980-1981 ont été examinés. Ceux du premier hiver ont été lus au coffret avec les imprécisions des appareils. Pour les deux hivers 1979-1980 et 1980-1981 un dispositif a été installé qui permettait de connaître un facteur de correction de ces imprécisions. Ce paragraphe comprend donc 1976-1977 sans corrections et 1980-1981 avec corrections. Ce qui ne paraît pas modifier les constatations qui peuvent être faites avec l'une ou l'autre solution.

a.-températures moyennes nocturnes N et diurnes J.

Les températures moyennes N et J sont reportées sur les graphiques des pages 18 à 25. Il est remarquable qu'une ligne joignant les points + des températures nocturnes est plus régulière qu'une ligne identique pour les points ° J. Les températures du jour alternent de part et d'autre de ces segments; elles sont donc plus influencées par les variations de l'air. De toutes façons tous les points N et J sont très proches d'un tracé régulier, donc des températures de la couche d'usure peu différentes la nuit et le jour, en moyenne.

Les graphiques des pages 18 à 25 montrent que durant les hivers représentés les températures de la couche d'usure ont varié uniquement entre +5° et -5 °C. Et ceci pour les 2 champs.

b.- champ de référence - champ avec béton de polystyrène.

Avec les températures moyennes nocturnes et diurnes des deux champs de référence et avec béton de polystyrène, il est possible d'établir les tableaux des pages 26 à 29. L'analyse de ces chiffres au même moment montre que

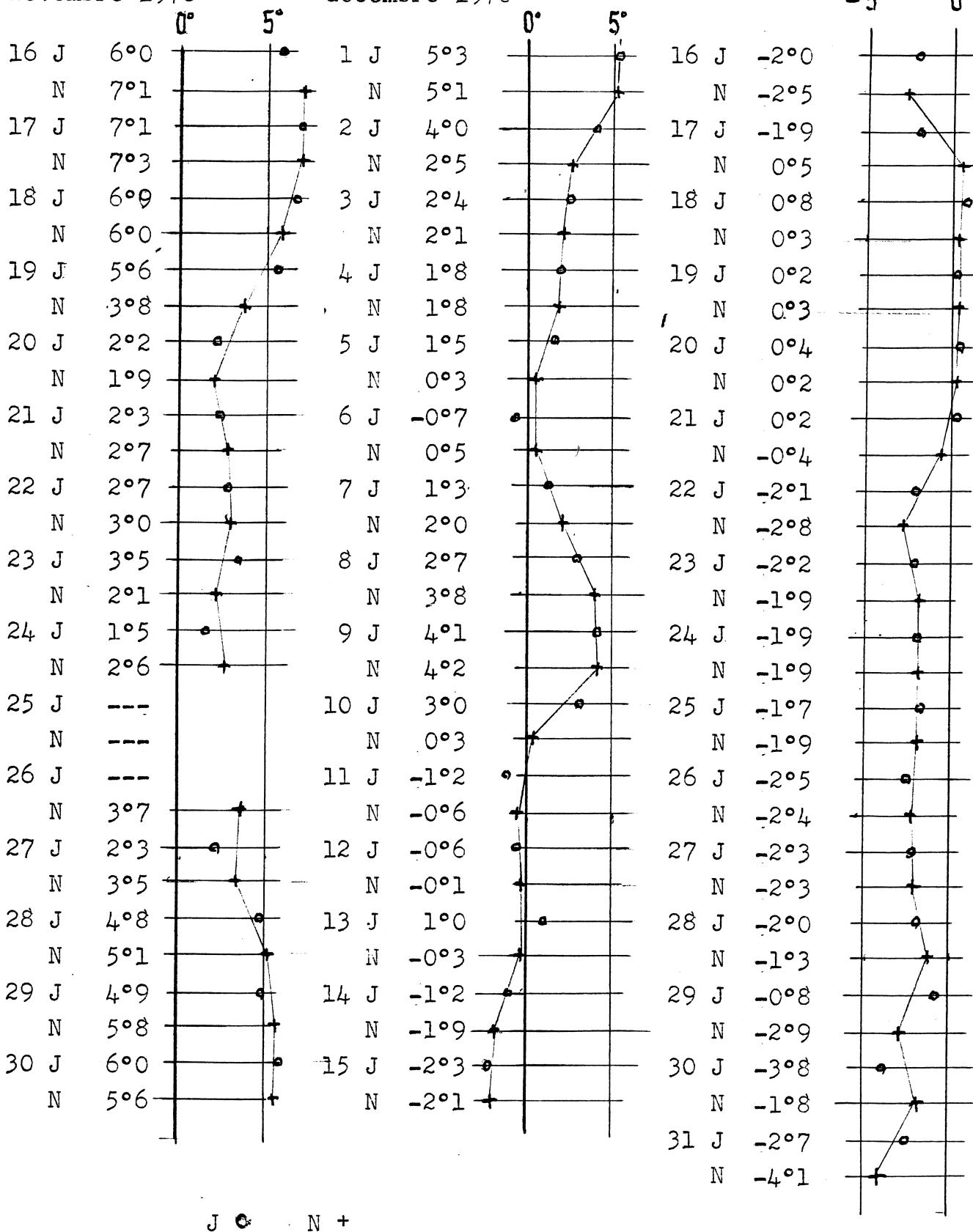
la différence de température de surface des champs de référence et avec béton de polystyrène est faible et peut s'inverser.

Températures de la couche d'usure (tapis)
Verschleisssschicht

Champ de référence

novembre 1976

décembre 1976

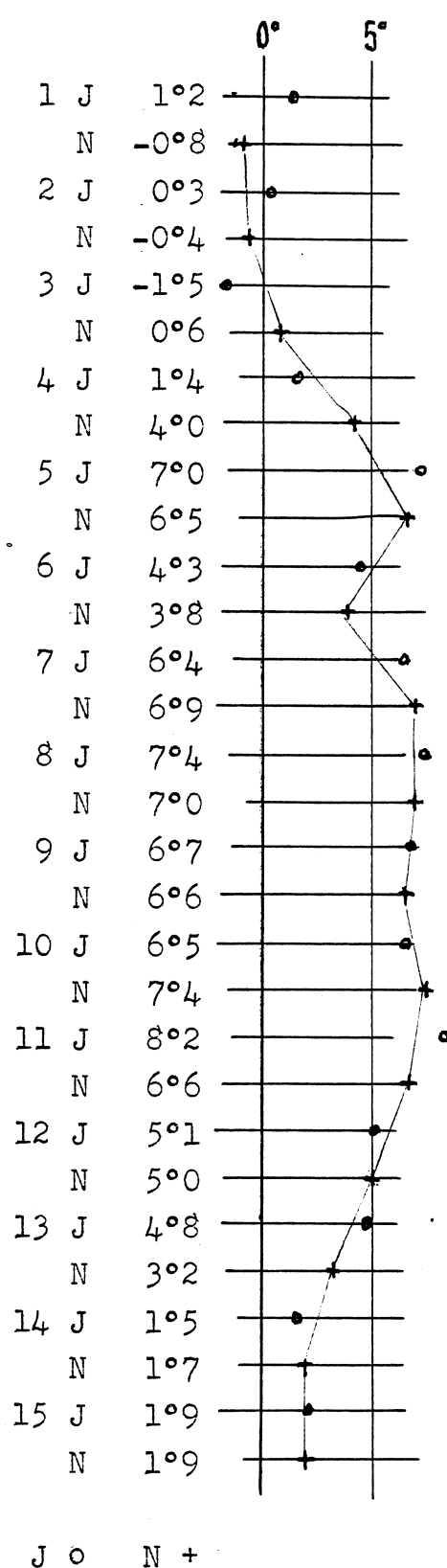
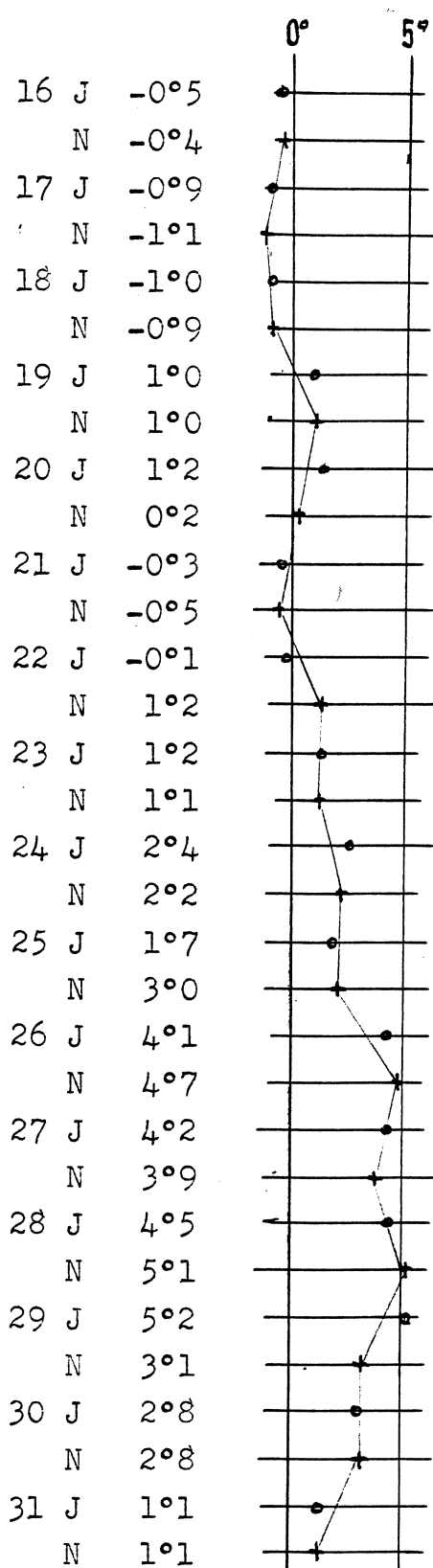
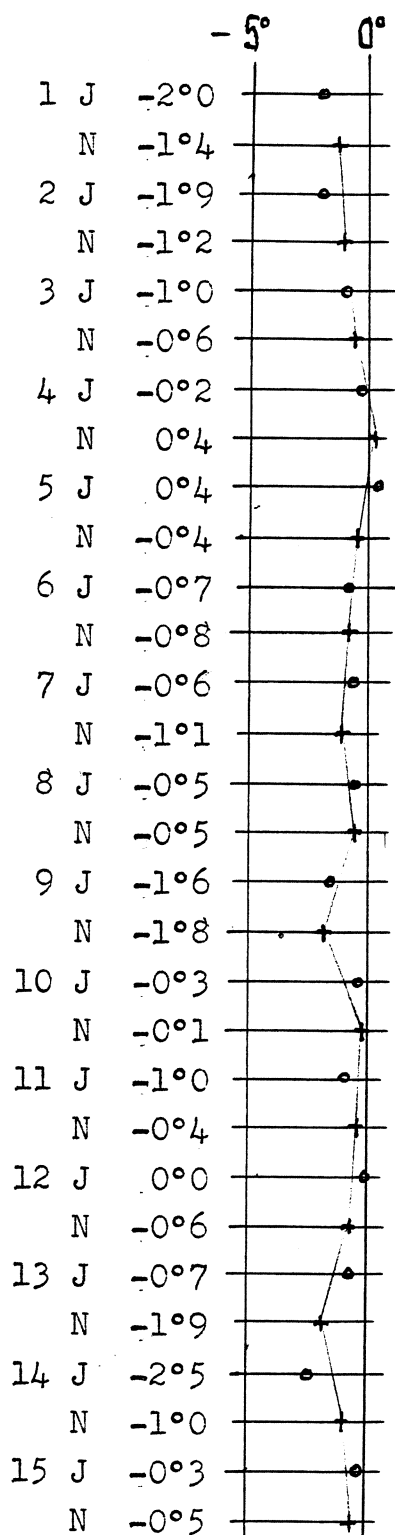


Températures de la couche d'usure (tapis)
Verchsleisssschicht

champ de référence

janvier 1977

février 1977

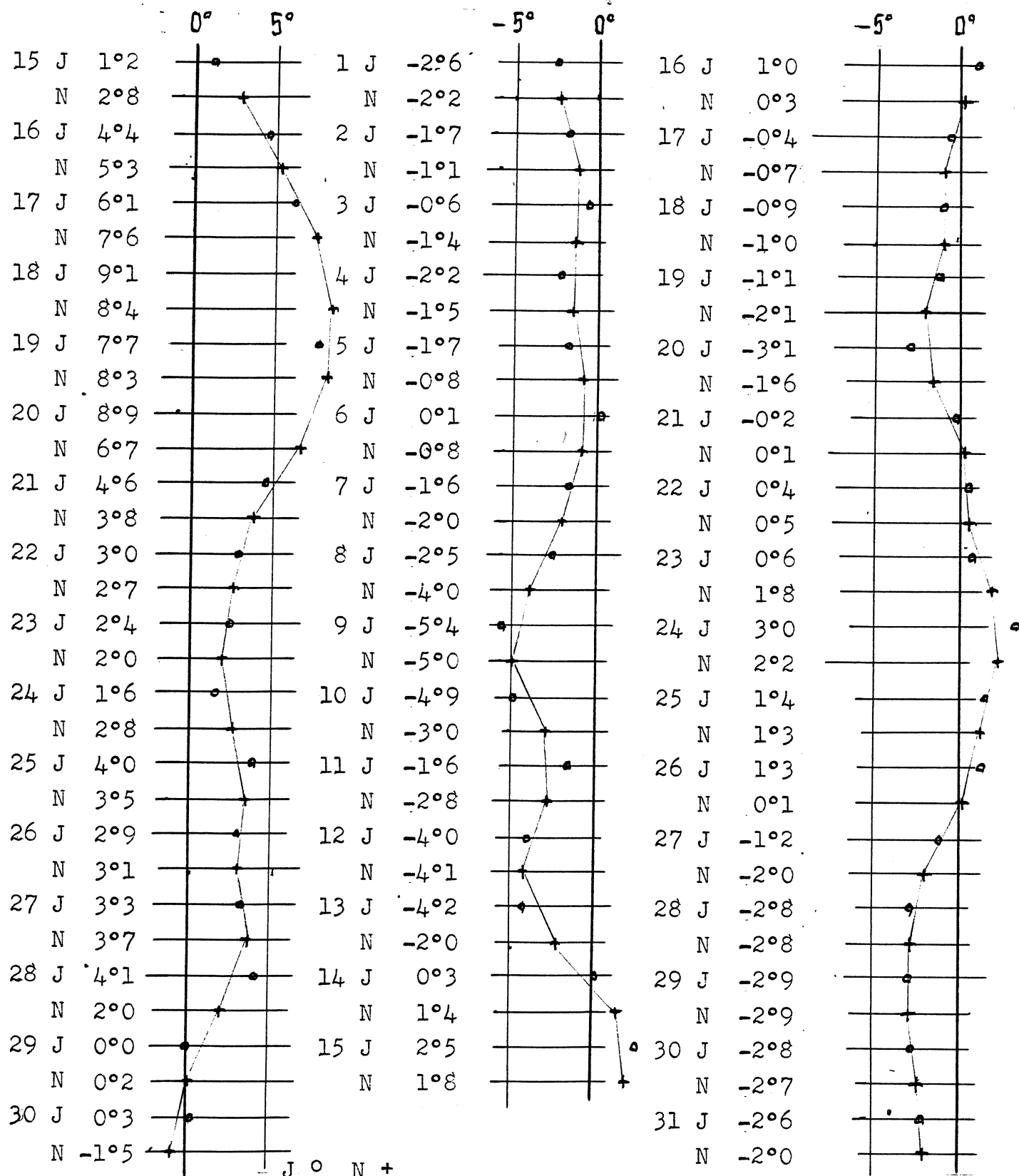


Températures de la couche d'usure (tapis)
Verschleisschicht

Champ de référence

novembre 1980

décembre 1980

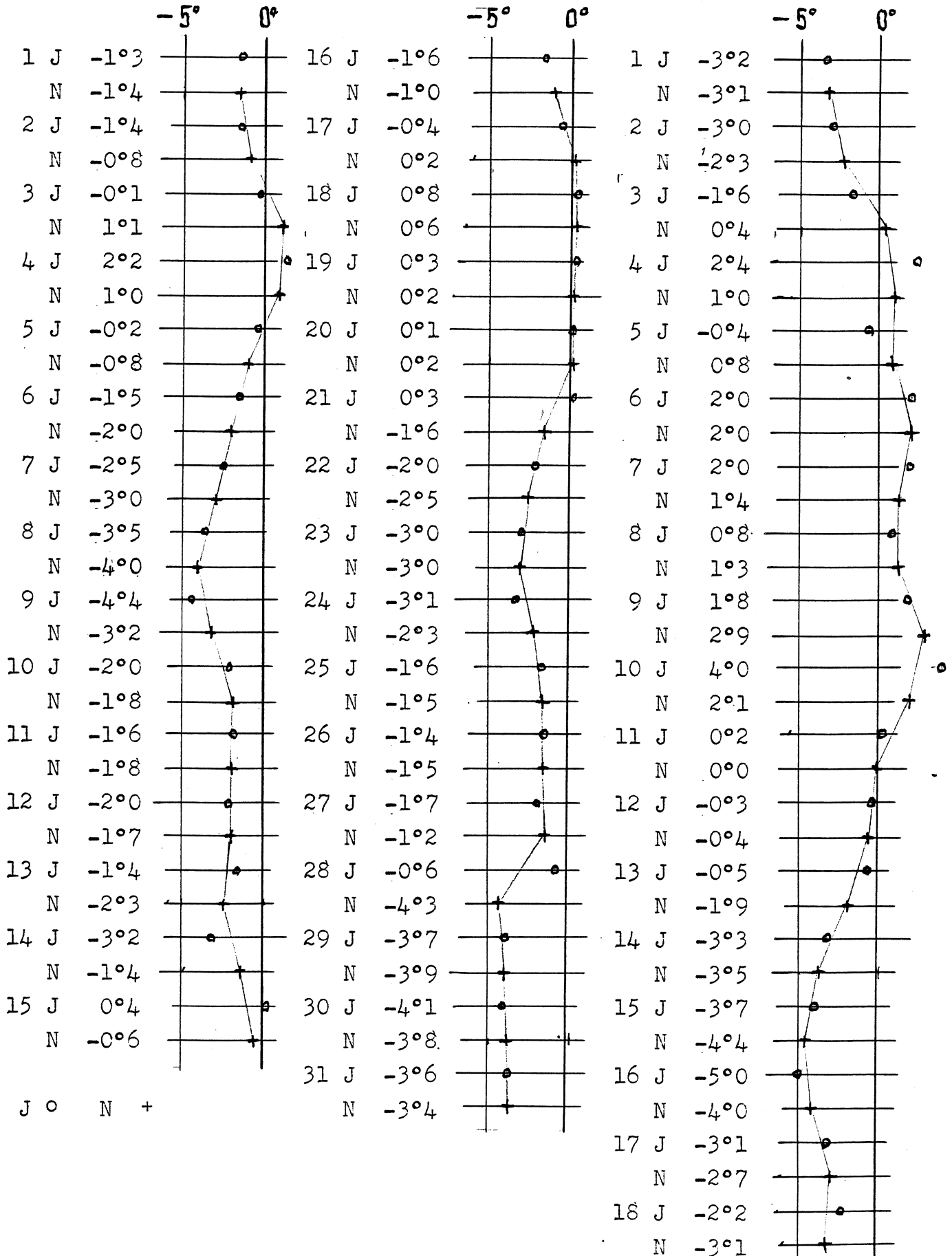


Températures de la couche d'usure (tapis)
Verschleisssschicht

Champ de référence

janvier 1981

février 1981

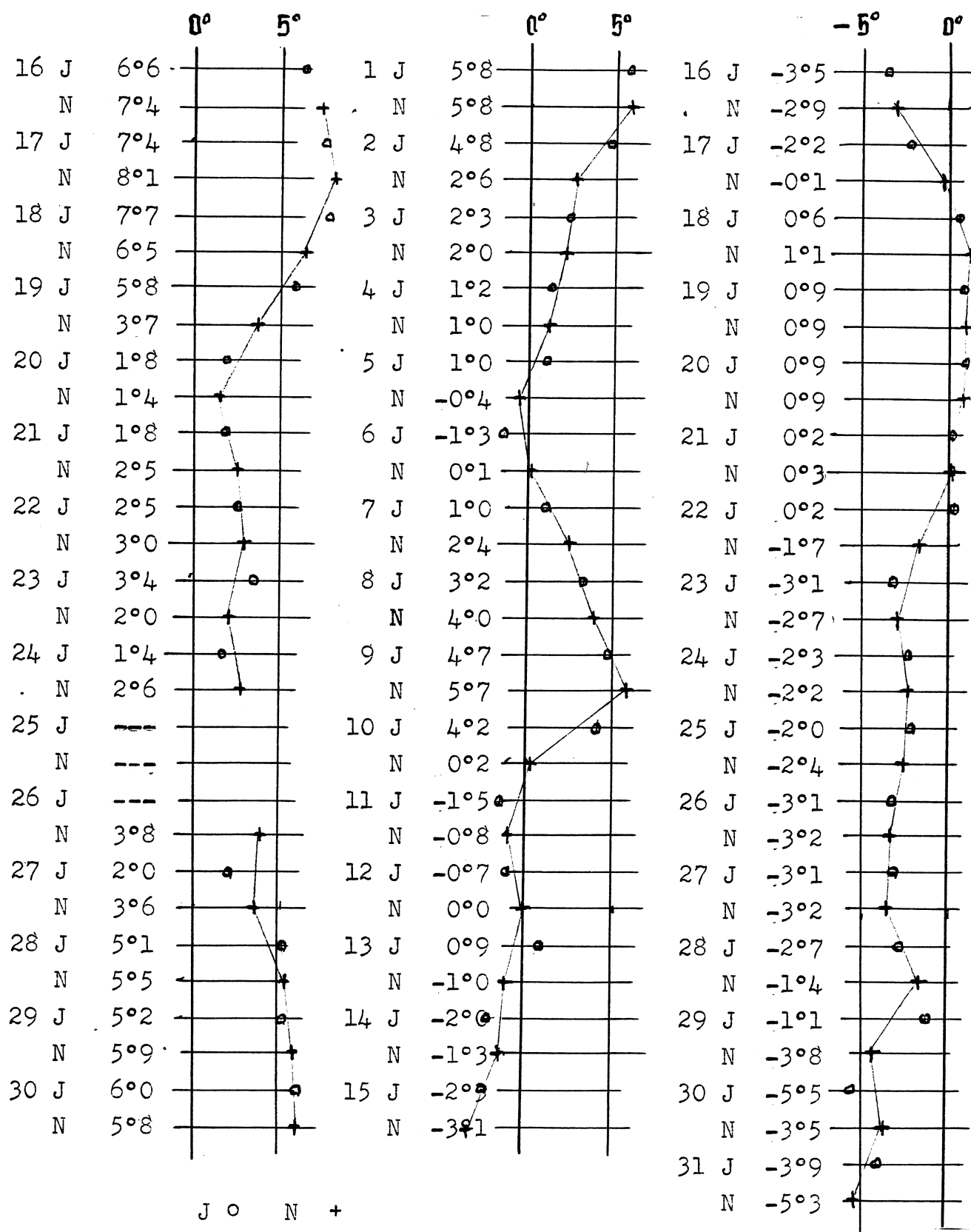


Températures de la couche d'usure (tapis.)
Verschleisssschicht

champ avec béton de polystyrène

novembre 1976

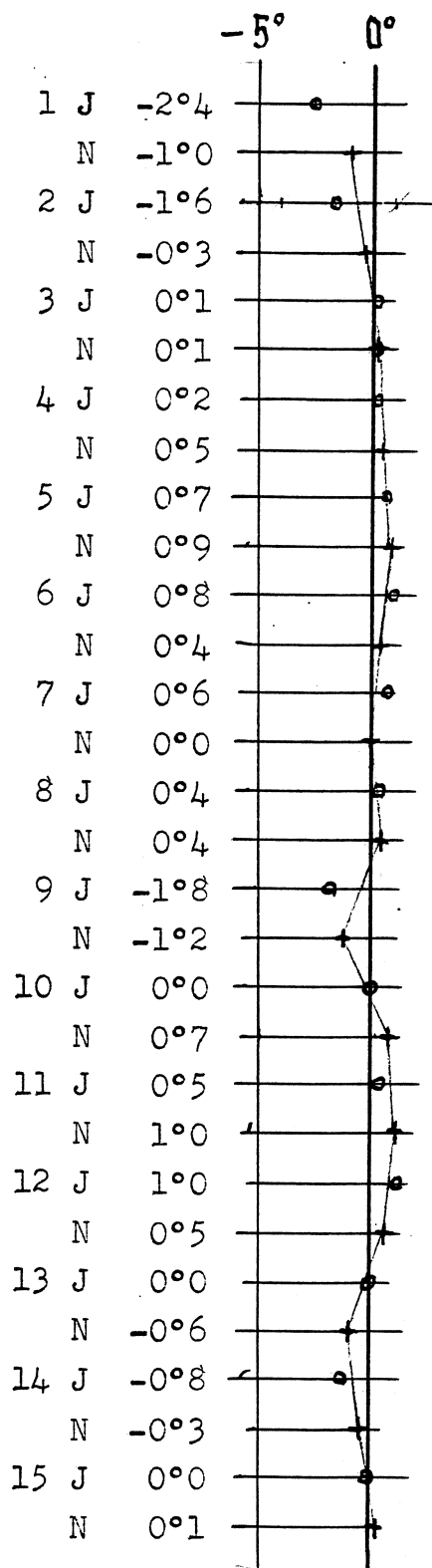
décembre 1976



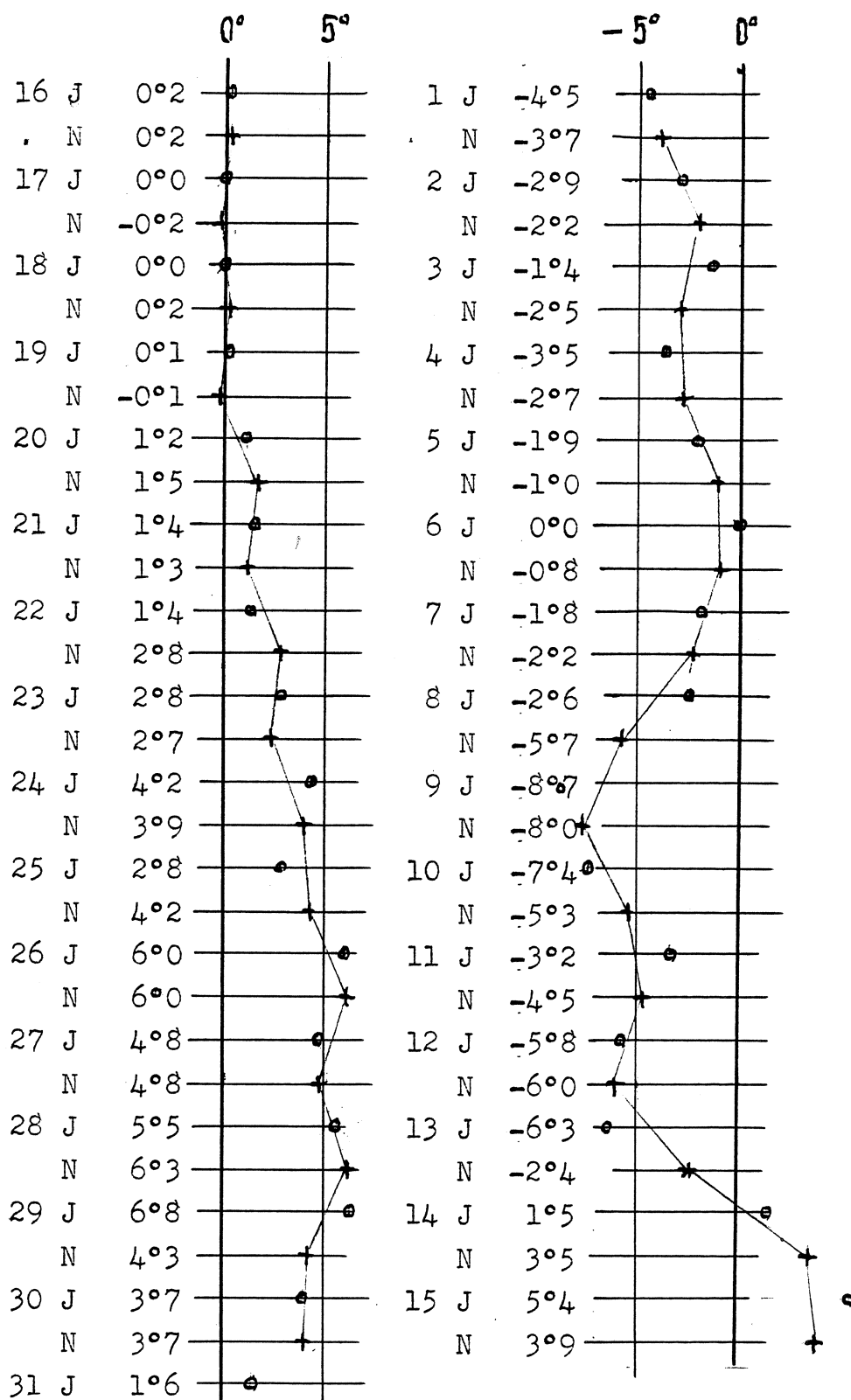
Températures de la couche d'usure (tapis)
Verschleisssschicht

champ avec béton de polystyrène

Janvier 1977



Décembre 1980

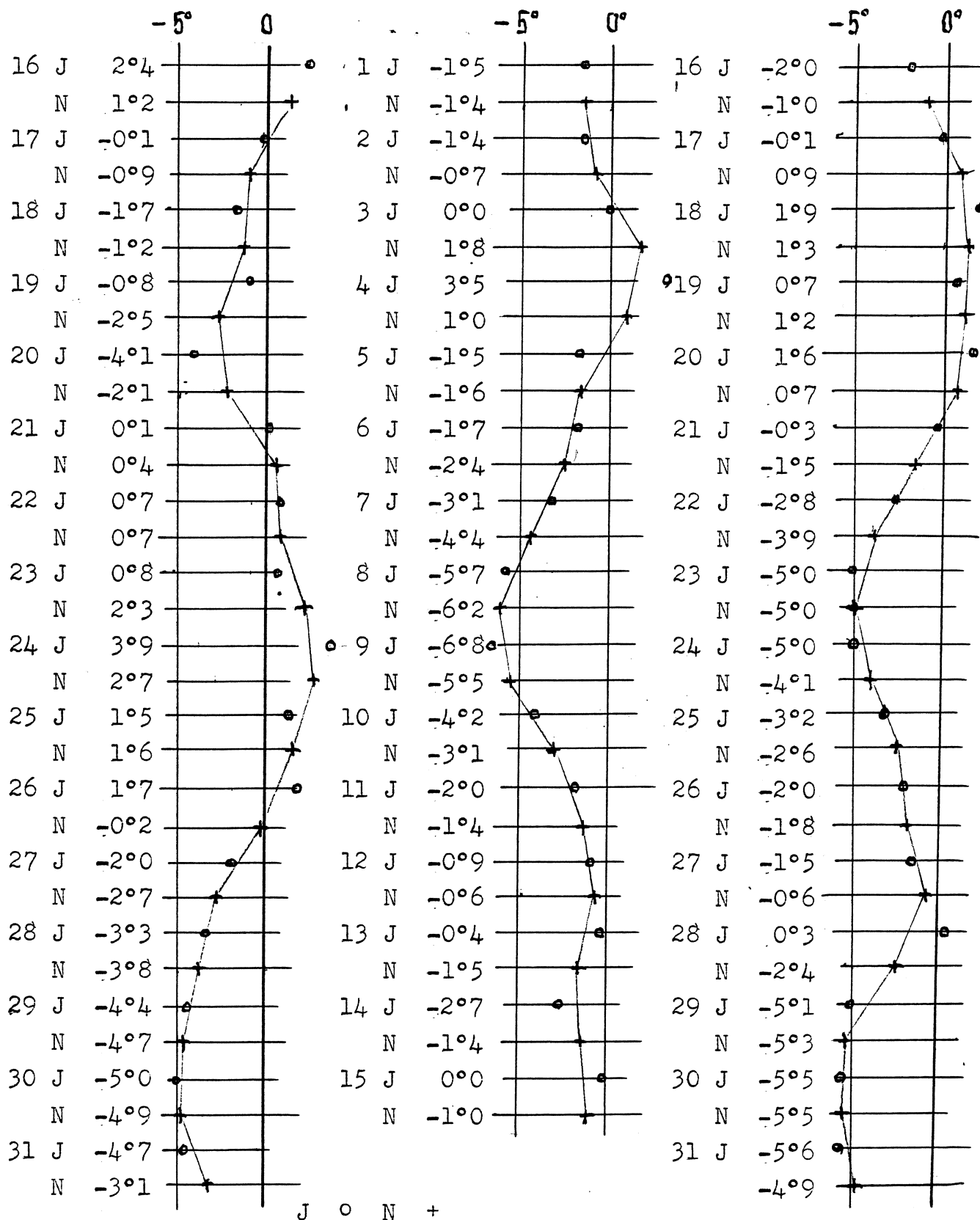


J O N +

couche d'usure (tapis)
Températures de la Verschleisssschicht
 champ avec béton de polystyrène

décembre 1980

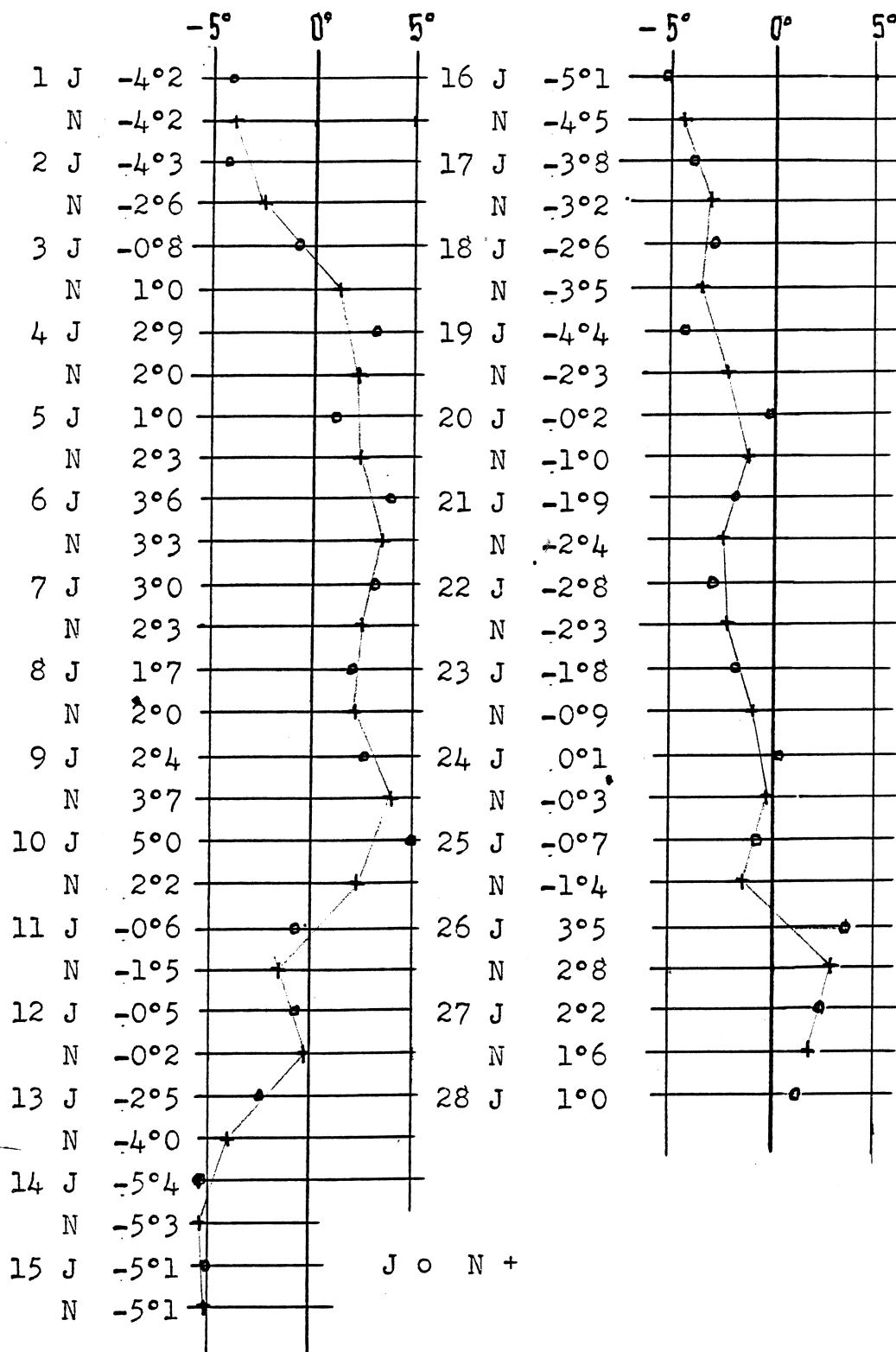
janvier 1981



Températures de la couche d'usure
Verschleisschicht

champ avec béton de polystyrène

février 1981



Température de la couche d'usure (tapis)
der Verschleisssschicht

Corrélation des températures N et J
Zusammenhang der Temperaturen N und J : référence - polystyrène

réf.	polystyr.	diff.	réf.	polystyr.	diff.	réf.	polystyr.	diff.
novembre 1976			décembre 1976			décembre 1976		
16 J	6°0	0°6	1 J	5°3	0°5	16 J	-2°0	-1°5
N	7°1	0°3	N	5°1	0°7	N	-2°5	-1°1
17 J	7°1	0°3	2 J	4°0	0°8	17 J	-1°9	0°3
N	7°3	0°8	N	2°5	0°1	N	0°5	-0°6
18 J	6°9	0°8	3 J	2°4	-0°1	18 J	0°8	-0°2
N	6°0	0°5	N	2°1	-0°1	N	0°3	1°1
19 J	5°6	0°2	4 J	1°8	-0°6	19 J	0°1	0°8
N	3°8	-0°1	N	1°8	-0°8	N	0°3	0°6
20 J	2°2	-0°4	5 J	1°5	0°1	20 J	0°4	0°5
N	1°9	-0°5	N	0°3	-0°7	N	0°2	0°4
21 J	2°3	-0°5	6 J	-1°7	-0°4	21 J	0°2	0°0
N	2°7	-0°2	N	0°5	-0°4	N	0°3	0°0
22 J	2°7	-0°2	7 J	1°3	-0°3	22 J	-0°4	0°6
N	3°0	0°0	N	2°0	-0°6	N	-2°1	-1°7
23 J	3°5	-0°1	8 J	2°7	0°5	23 J	-2°8	-0°3
N	2°1	-0°1	N	3°8	-0°2	N	-2°2	-0°5
24 J	1°5	-0°1	9 J	4°1	-0°6	24 J	-1°9	-0°4
N	2°6	0°0	N	4°2	1°5	N	-1°9	-0°3
25 J	---	---	10 J	3°0	1°5	25 J	-1°7	-0°3
N	---	---	N	0°3	-0°1	N	-2°1	-0°3
26 J	---	---	11 J	-1°2	0°3	26 J	-2°5	-0°6
N	3°7	0°2	N	-0°6	0°2	N	-2°4	-0°8
27 J	2°3	-0°3	12 J	-0°6	0°1	27 J	-2°3	-0°8
N	3°5	0°1	N	-0°1	0°1	N	-2°3	-0°9
28 J	4°8	0°3	13 J	1°0	-0°1	28 J	-2°0	-0°7
N	5°1	0°4	N	-0°3	-0°7	N	-1°3	-0°1
29 J	5°0	0°2	14 J	-1°2	-0°8	29 J	-0°8	-0°3
N	5°8	0°1	N	-1°9	-0°6	N	-2°9	-0°9
30 J	6°0	0°0	15 J	-2°3	0°0	30 J	-3°8	-1°7
			N	-2°1	-1°0	N	-1°8	-1°7
						31 J	-2°7	-1°2

das Zeichen - bedeutet: Polystyrène ist kälter

le signe - signifie polystyrène plus froid

Température de la couche d'usure (tapis)
der Verschleisssschicht

Corrélation des températures N et J : référence - polystyrène
Zusammenhang der Temperaturen N und J : référence - polystyrène

référence	polystyr.	diff.	référence	polystyr.	diff.	référence	polystyr.	diff.
janvier 1977			janvier 1977			février 1977		
1 J -2°0	-2°4	-0°4	16 J -0°5	0°2	0°7	1 J 1°2	1°5	1°5
N -1°4	-1°0	0°4	N -0°4	0°2	0°6	N -0°8	-0°5	-0°3
2 J -1°9	-1°6	0°3	17 J -0°9	0°0	0°9	2 J 0°3	0°2	-0°1
N -1°2	-0°3	0°9	N -1°1	-0°2	0°9	N -0°4	-0°8	-0°4
3 J -1°0	0°1	1°1	18 J -1°0	0°0	1°0	3 J -1°5	-1°8	-0°3
N -0°6	0°1	0°7	N -1°0	0°2	1°2	N 0°6	0°9	0°3
4 J -0°6	0°2	0°8	19 J -1°0	0°1	1°1	4 J 1°4	1°5	0°1
N -0°1	0°5	0°6	N 0°0	-0°1	-0°1	N 4°0	4°6	0°6
5 J 0°4	0°7	0°3	20 J 1°2	1°2	0°0	5 J 7°0	9°0	2°0
N 0°4	0°9	0°5	N 0°2	1°5	1°3	N 6°5	9°0	2°5
6 J -0°6	0°8	1°4	21 J -0°3	1°4	1°7	6 J 4°3	6°3	2°0
N -0°7	0°4	1°1	N -0°5	1°3	1°8	N 3°8	5°2	1°4
7 J -0°7	0°6	1°3	22 J -0°1	1°4	1°5	7 J 6°4	8°2	1°8
N -1°1	0°0	1°1	N 1°2	2°8	1°6	N 8°7	10°4	1°7
8 J -0°6	0°4	1°0	23 J 1°2	2°8	1°6	8 J 7°4	8°5	1°1
N -0°4	0°4	0°8	N 1°1	2°7	1°6	N 6°9	7°9	1°0
9 J -1°6	-1°8	-0°2	24 J 2°4	4°2	1°8	9 J 6°7	7°4	0°7
N -1°8	-1°2	0°6	N 2°2	3°9	1°7	N 6°5	7°7	1°2
10 J -0°3	0°0	0°3	25 J 1°7	2°8	1°1	10 J 6°5	7°9	1°4
N -0°1	0°7	0°8	N 3°0	4°2	1°2	N 6°6	7°8	1°2
11 J -1°0	0°5	1°5	26 J 4°1	6°0	1°9	11 J 8°2	9°8	1°6
N -0°4	1°0	1°4	N 4°7	6°0	1°3	N 7°2	8°7	1°5
12 J 0°0	1°0	1°0	27 J 4°2	4°8	0°6	12 J 5°1	6°1	1°0
N -0°6	0°5	1°1	N 3°9	4°8	0°9	N 4°0	4°4	0°4
13 J -0°6	0°0	0°6	28 J 4°5	5°5	1°0	13 J 4°8	5°6	0°8
N -1°8	-0°6	1°2	N 5°1	6°3	1°2	N 7°4	4°3	-3°1
14 J -2°5	-0°8	1°7	29 J 5°2	6°8	1°6	14 J 1°5	1°5	0°0
N -1°0	-0°3	0°7	N 3°1	4°3	1°2	N 1°5	1°3	-0°2
15 J -0°3	0°0	0°3	30 J 2°8	3°7	0°9	15 J 1°9	1°8	-0°1
N -0°5	0°1	0°6	N 2°8	3°7	0°9	N 2°3	2°4	0°1
			31 J 1°1	1°6	0°5			

das Zeichen - bedeutet: polystyrène ist kälter
le signe - signifie polystyrène plus froid

Température de la couche d'usure (tapis).
der Verschleisssschicht

Corrélation des températures N et J
Zusammenhang der Temperaturen N und J : référence - polystyrène

référence	polystyr.	différ.	référence	polystyr.	différ.	référence	polystyr.	différence
décembre 1980			décembre 1980			janvier 1981		
1 J -2°6	-4°5	-1°9	16 J 1°0	2°4	1°4	1 J -1°3	-1°5	-0°2
N -2°2	-3°7	-1°5	N 0°3	1°2	0°9	N -1°4	-1°4	0°0
2 J -1°7	-2°9	-1°2	17 J -0°4	-0°1	0°3	2 J -1°4	-1°4	0°0
N -1°1	-2°2	-1°1	N -0°7	-0°9	-0°2	N -0°8	-0°7	0°1
3 J -0°6	-1°4	-0°8	18 J -0°9	-1°7	-0°8	3 J -0°1	0°0	0°1
N -1°4	-2°5	-1°1	N -1°0	-1°2	-0°2	N 1°1	1°8	0°7
4 J -2°2	-3°5	-1°3	19 J -1°1	-0°8	0°3	4 J 2°2	3°5	1°3
N -2°0	-2°7	-0°7	N -2°1	-2°5	-0°4	N 1°0	1°0	0°0
5 J -1°7	-1°9	-0°2	20 J -3°1	-4°1	-1°0	5 J -0°2	-1°5	-1°3
N -0°8	-1°0	-0°2	N -1°6	-2°1	-0°5	N -0°8	-1°6	-0°8
6 J 0°1	0°0	0°1	21 J -0°2	0°1	0°3	6 J -1°5	-1°7	-0°2
N -0°8	-0°8	0°0	N 0°1	0°4	0°3	N -2°0	-2°4	-0°4
7 J -1°6	-1°8	-0°2	22 J 0°4	0°7	0°3	7 J -2°5	-3°1	-0°6
N -2°0	-2°2	-0°2	N 0°5	0°7	0°2	N -3°0	-4°4	-1°4
8 J -2°5	-2°6	-0°1	23 J 0°6	0°8	0°2	8 J -3°5	-5°7	-2°2
N -4°0	-5°7	-1°7	N 1°8	2°3	0°5	N -4°0	-6°2	-2°4
9 J -5°4	-8°7	-3°3	24 J 3°0	3°9	0°9	9 J -4°4	-6°8	-2°4
N -5°0	-8°0	-3°0	N 2°2	2°7	0°5	N -3°2	-5°5	-2°3
10 J -4°5	-7°4	-2°9	25 J 1°4	1°5	0°1	10 J -2°0	-4°2	-2°2
N -3°0	-5°3	-2°3	N 1°3	1°6	0°3	N -1°8	-3°1	-1°3
11 J -1°6	-3°2	-1°6	26 J 1°3	1°7	0°4	11 J -1°6	-2°0	-0°4
N -2°8	-4°5	-1°7	N 0°1	-0°2	-0°3	N -1°8	-1°4	0°4
12 J -4°0	-5°8	-1°8	27 J -1°2	-2°0	-0°8	12 J -2°0	-0°9	1°1
N -4°1	-6°0	-1°9	N -2°0	-2°7	-0°7	N -1°7	-0°6	1°1
13 J -4°2	-6°3	-2°1	28 J -2°8	-3°3	-0°5	13 J -1°4	-0°4	1°0
N -2°0	-2°4	-0°4	N -2°8	-3°8	-1°0	N -2°3	-1°5	0°8
14 J 0°3	1°5	1°2	29 J -2°9	-4°4	-1°5	14 J -3°2	-2°7	0°5
N 1°4	3°5	2°1	N -2°9	-4°7	-1°8	N -1°4	-1°4	0°0
15 J 2°5	5°4	2°9	30 J -2°8	-5°0	-2°2	15 J 0°4	0°0	-0°4
N 1°8	3°9	2°1	N -2°7	-4°9	-2°2	N -0°6	-1°0	-0°4
			31 J -2°6	-4°7	-2°1			
			N -2°0	-3°1	-1°1			

Valeurs corrigées

Température de la couche d'usure (tapis)
der Verschleisssschicht

Corrélation des températures N et J
Zusammenhang der Temperaturen N und J : référence - polystyrène

référence	polystyr.	différ.	référence	polystyr.	différ.	référence	polystyr.	différence
janvier 1981			février 1981			février 1981		
16 J -1°6	-2°0	-0°4	1 J -3°2	-4°2	-1°0	16 J -5°0	-5°1	-0°1
N -1°0	-1°0	0°0	N -3°1	-4°2	-1°1	N -4°0	-4°5	-0°5
17 J -0°4	-0°1	0°3	2 J -3°0	-4°3	-1°3	17 J -3°1	-3°8	-0°7
N 0°2	0°9	0°7	N -2°3	-2°6	-0°3	N -2°7	-3°2	-0°5
18 J 0°8	1°9	1°1	3 J -1°6	-0°8	0°8	18 J -2°2	-2°6	-0°4
N 0°6	1°3	0°7	N 0°4	1°0	0°6	N -3°1	-3°5	-0°4
19 J 0°3	0°7	0°4	4 J 2°4	2°9	0°5	19 J -3°9	-4°4	-0°5
N 0°2	1°2	1°0	N 1°0	2°0	1°0	N -2°8	-2°3	0°5
20 J 0°1	1°6	1°5	5 J -0°4	1°0	1°4	20 J -1°6	-0°2	1°4
N 0°2	0°7	0°5	N 0°8	2°3	1°5	N -1°6	-1°0	0°6
21 J 0°3	-0°3	0°0	6 J 2°0	3°6	1°6	21 J -1°5	-1°9	-0°4
N -1°6	-1°5	0°1	N 2°0	3°3	1°3	N -1°6	-2°4	-0°8
22 J -2°0	-2°8	-0°8	7 J 2°0	3°0	1°0	22 J -1°8	-2°8	-1°0
N -2°5	-3°9	-1°4	N 1°4	2°3	0°9	N -1°5	-2°3	-0°8
23 J -3°0	-5°0	-2°0	8 J 0°8	1°7	0°9	23 J -1°1	-1°8	-0°7
N -3°0	-5°0	-2°0	N 1°3	2°0	0°7	N -0°9	-0°9	0°0
24 J -3°1	-5°0	-1°9	9 J 1°8	2°4	0°6	24 J -0°7	0°1	0°8
N -2°3	-4°1	-1°8	N 2°9	3°7	0°8	N -0°9	-0°3	0°6
25 J -1°6	-3°2	-1°6	10 J 4°0	5°0	1°0	25 J -1°2	-0°7	0°5
N -1°5	-2°6	-1°1	N 2°1	2°2	0°1	N 0°3	1°4	1°1
26 J -1°4	-2°0	-0°6	11 J 0°2	-0°6	-0°8	26 J 1°8	3°5	1°7
N -1°5	-1°8	-0°3	N 0°0	-0°8	-0°8	N 1°4	2°8	1°4
27 J -1°7	-1°5	0°2	12 J -0°3	-1°0	-0°7	27 J 0°9	2°2	1°3
N -1°2	-0°6	0°6	N -0°4	-1°8	-1°4	N 0°6	1°6	1°0
28 J -0°6	0°3	0°9	13 J -0°5	-2°5	-2°0	28 J 0°2	1°0	0°8
N -4°3	-2°4	1°9	N -1°9	-4°0	-2°1			
29 J -3°7	-5°1	-1°4	14 J -3°3	-5°4	-2°1			
N -3°9	-5°3	-1°4	N -3°5	-5°3	-2°2			
30 J -4°1	-5°5	-1°4	15 J -3°7	-5°1	-1°4			
N -3°8	-5°5	-1°7	N -4°4	-5°1	-0°7			
31 J -3°6	-5°6	-2°0						
N -3°4	-3°8	-0°4						

Valeurs corrigées

7.-Températures de l'air T et de la surface T_{gs} .

Comme cela a déjà été recherché dans d'autres études[6] les mesures effectuées permettent de calculer un facteur T_{gs}/T qui devrait permettre éventuellement de trouver une des température connaissant l'autre.

Les différences de températures de surface entre le champ de référence et celui avec béton de polystyrène(par. 6) étant relativement faibles, le calcul de T_{gs}/T est effectué uniquement pour le tronçon de référence, d'autant plus que la superstructure avec "béton isolant" est inhabituelle.

Gardant la subdivision des mesures en températures moyennes nocturnes et diurnes, les graphiques portent deux points par jour N et J, les déterminations de T_{gs}/T ayant été faites en adoptant pour T la température de plein air(et non pas celle sous abri), pour les hivers 1974-1975, 1976-1977, 1978-1979 et 1980-1981. Les calculs ont aussi été faits pour les hivers 1974-1975 et 1978-1979 qui ne comportent pratiquement pas de jours de gelée. L'examen des graphiques montre que les populations de points sont dispersées sans règle entre 0 et plus de 2, sans qu'il soit possible de trouver, même pour une période homogène, une unité dans le classement. Il semble possible d'admettre que le plus grand nombre de valeurs est compris entre

	$T > 0$	$T < 0$	
1974-1975	0,7 — 2	0 — -1	
1976-1977	0 — 2	1 — 1,8	
1978-1979	0,8 — 2	-0,2 — 0,8	
1980-1981	0,5 — 1,5	0,2 — 1	T en °C

Il en résulte qu'

il n'existe pas de relation simple
entre la température de l'air et
celle de la surface

Rappelons les valeurs trouvées au Passo del Maloja, pour les hivers 1976 à 1980

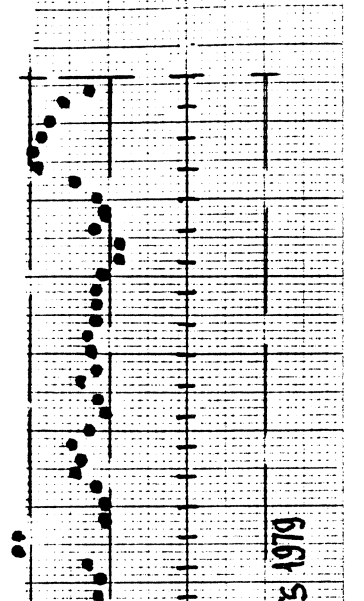
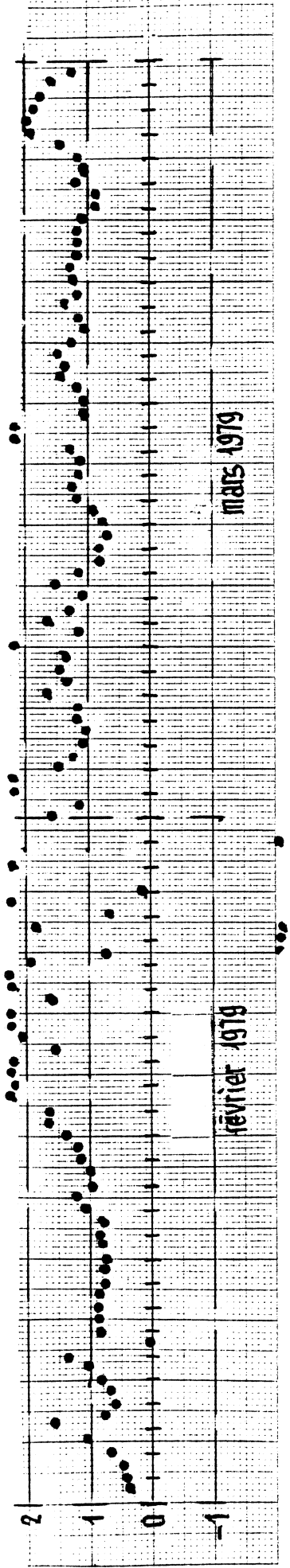
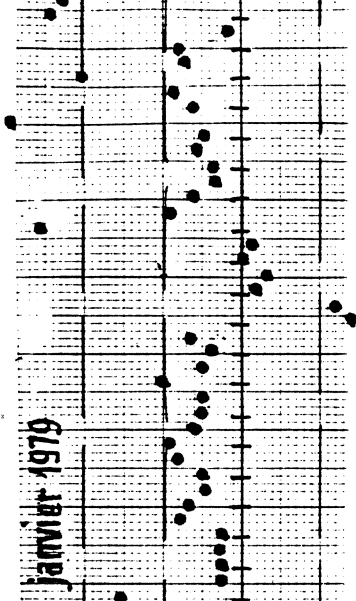
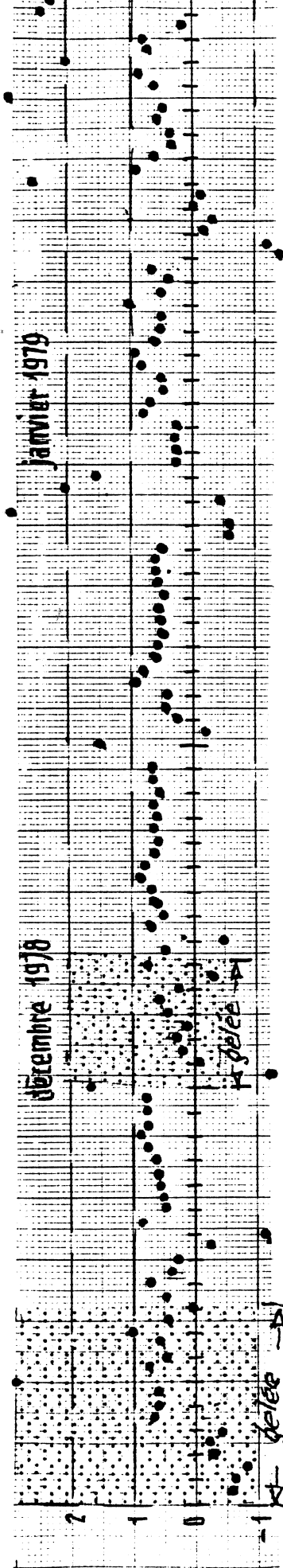
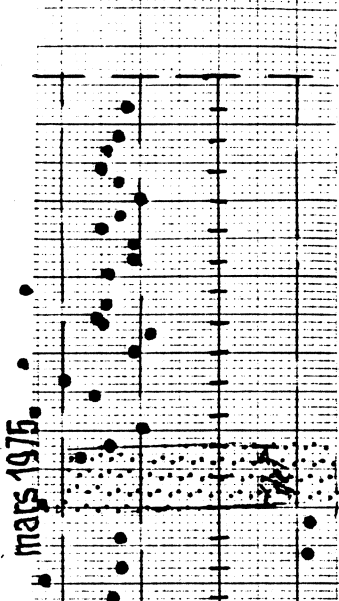
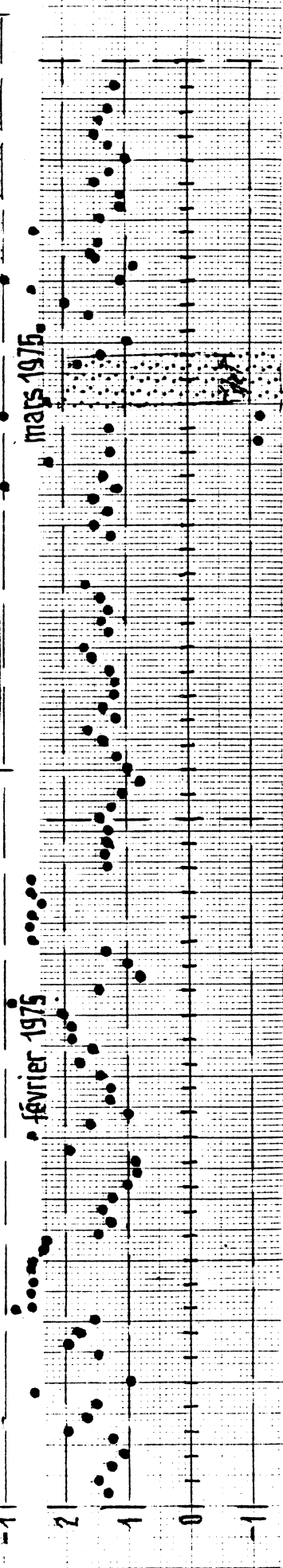
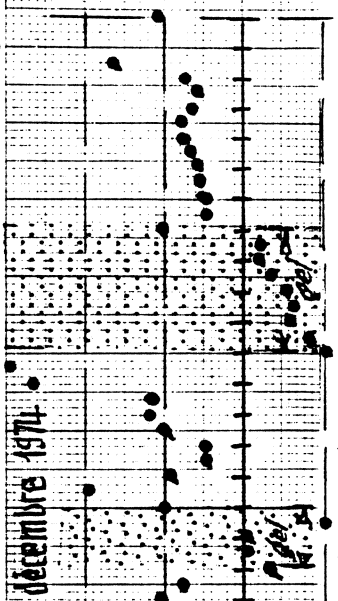
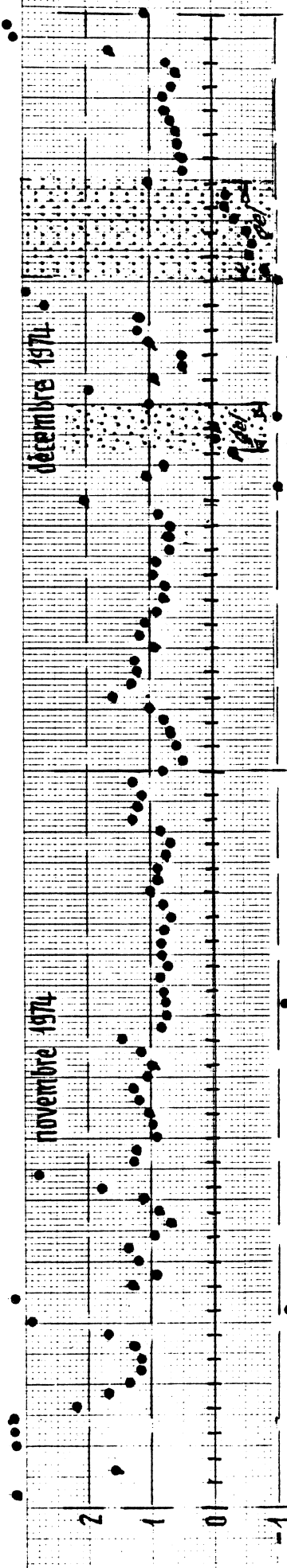
$T > 0$ T_{gs}/T 0,7 — 1,2 $T < 0$ T_{gs}/T 1 — 2,5

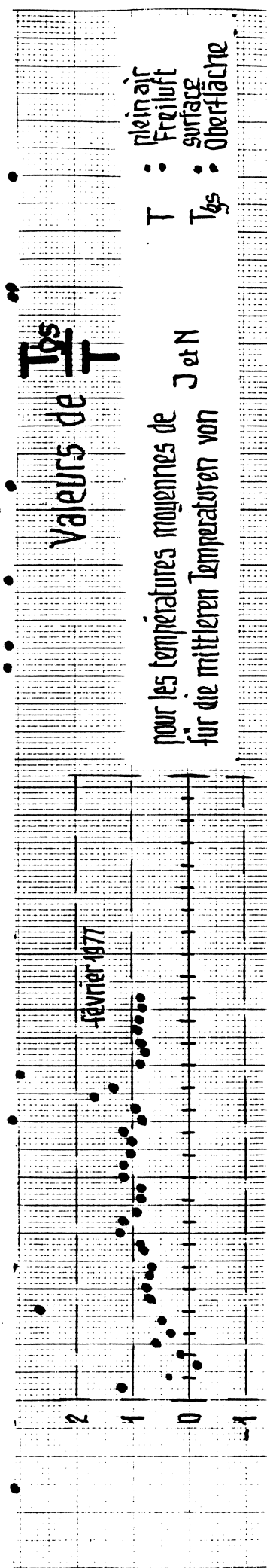
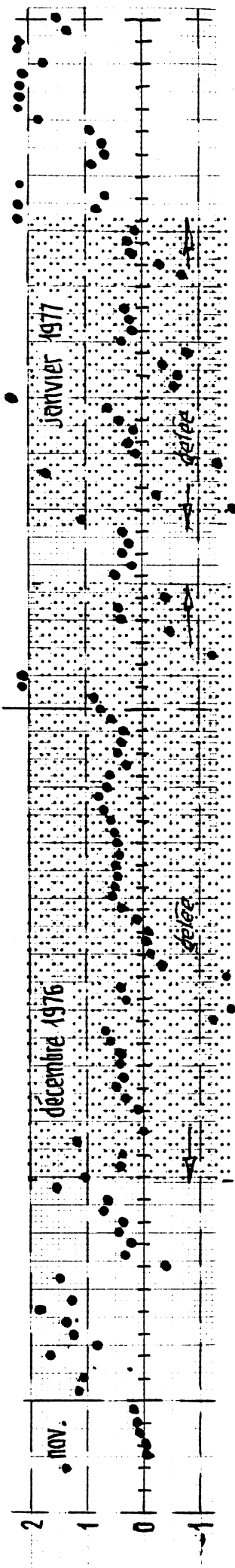
$\frac{T_{os}}{T}$ pour les températures moyennes de
für die mittleren Temperaturen von

J et N

T : plein air
Freiluft
T_{os} : surface
oberfläche

31

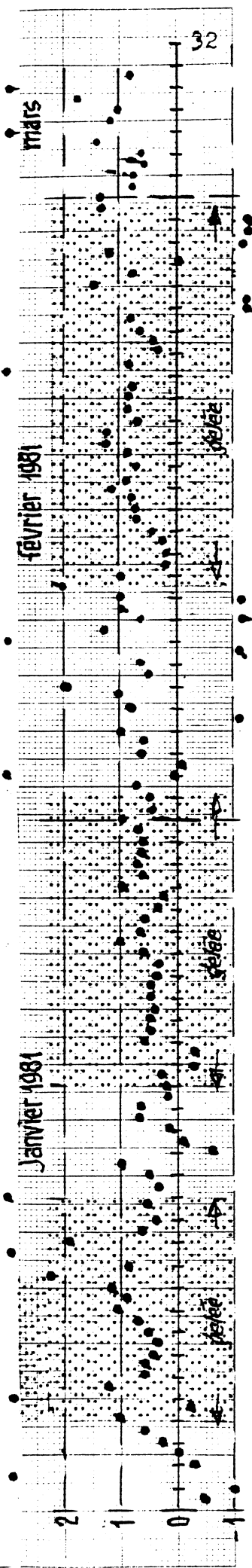
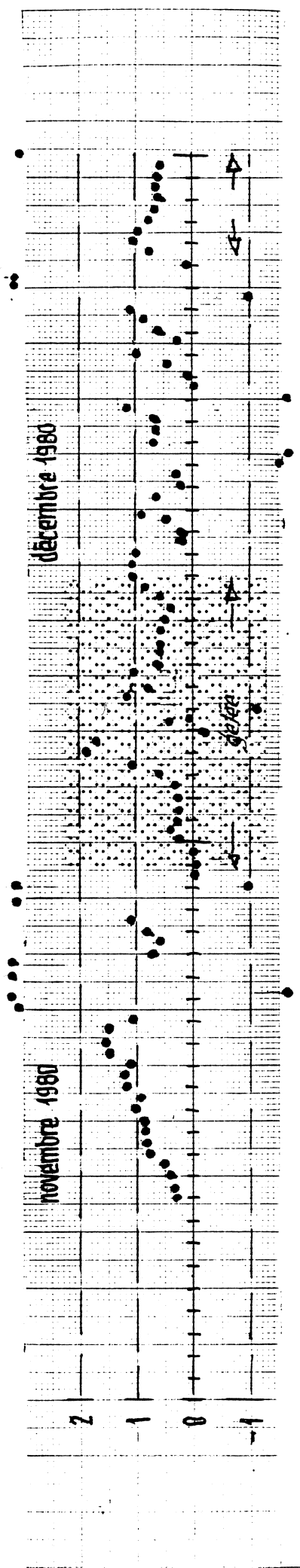




Valeurs de $\frac{T_{gs}}{T}$

pour les températures moyennes de J et N
für die mittleren Temperaturen von J und N

T : plein air
Freiluft
T_{gs} : surface
Oberfläche



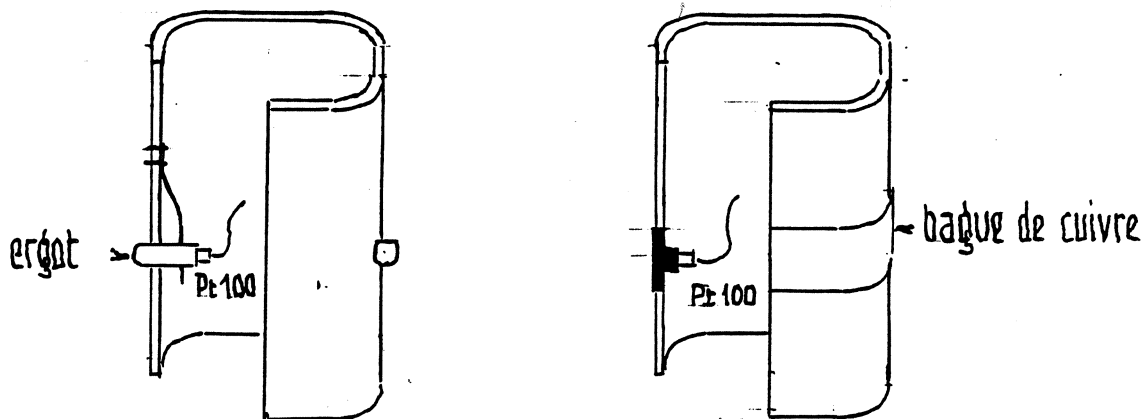
Chap. III . PROFONDEURS

8.-Des différents dispositifs de mesure.

a.définitions

Précédemment(chap. I par. 3) il a été précisé que si les mesures journalières de température dans la chaussée ont toutes été effectuées à l'aide de capteurs à résistance au platine P_t 100, ils étaient disposés dans chaque champ selon deux groupements différents fixés à demeure

- cinq thermoéléments individuels installés au fur et à mesure de la mise en place des différentes couches, et
- cinq thermoéléments correspondant aux mêmes profondeurs, placés dans une thermosonde Wybo de 35 mm de diamètre. Une dite à "ergots" dans le champ de référence et une dite "à bagues" dans le champ avec béton de polystyrène.



Ces arrangements permettent de comparer les résultats obtenus avec ces divers assemblages. Nous avons tracé pour cela, entre autres, les tautochrones correspondantes des deux champs de référence et avec béton de polystyrène, avec deux relevés journaliers le matin à 0715 heures et le soir à 1700 heures. Pour disposer de figures plus lisibles, les lectures du matin et du soir ont été décalées, alors qu'en vérité les 4 courbes devraient avoir la même origine.

Ces courbes correspondent à des relevés effectués pour les deux champs, du 28 décembre 1980 au 1er mars 1981. Les graphiques des pages 37 à 46 représentent avec des traits différents les capteurs individuels $\circ\text{---}\circ$ et les thermosondes $\triangle\text{---}\text{---}\triangle$.

b. capteurs individuels et thermosonde à ergots.

En examinant ces tautochrones du champ de référence, qui illustrent les relevés des capteurs individuels et de la thermosonde à ergots, il ressort que les courbes sont très proches (sauf quelques cas particuliers dus peut-être à une distorsion du capteur ou à une erreur de lecture) surtout au-dessous de 50 à 60 cm. Jusqu'à cette profondeur, les différents dispositifs de mesure réagissent plus ou moins vite. Au-dessous, où les variations sont plus lentes, les correspondances sont meilleures, certaines courbes se recouvrant même. Une autre similitude entre ces deux assemblages est cherchée en déterminant grâce à un dessin très précis, les profondeurs des points caractéristiques 0 °C et -1 °C, pour les périodes les plus froides de l'hiver 1980-1981. Les tableaux 47 et 48 donnent tous les chiffres obtenus. En comparant les deux premières colonnes 0 °C et les deux dernières -1 °C, il apparaît que la différence des profondeurs reste dans une marge de tolérance acceptable.

L'examen de ces graphiques montre que la correspondance entre les capteurs individuels et l'une ou l'autre des thermosondes est très bonne, surtout lorsque le froid est continu. Cette similitude est meilleure avec la thermosonde à bagues. Cette construction semble donc préférable à la thermosonde à ergots, car sa réponse est plus rapide et plus précise.

c. capteurs individuels et thermosonde à bagues.

La présence de béton isolant peu au-dessous de la surface ne permet pas une comparaison aussi complète et intéressante que dans le champ de référence.

d.exemples particuliers.

Au cours du dépouillement de tous les relevés de la RC No 516 quelques cas particuliers sont apparus, qui pourraient rendre attentif à certains risques dans la mise en valeur.

Des mesures ont été faites en utilisant au même moment en hiver et même en plein été, tous les assemblages disponibles, soit fixés à demeure, soit portatifs. Les résultats sont illustrés aux figures des pages 49 et 50 qui portent aussi des tableaux donnant les différences extrêmes des profondeurs correspondant à une température choisie. La différence maximum trouvée dans ce cas est de 22 cm (et même 38 cm en été). Donc nettement, plus que ce qui a été proposé comme acceptable, soit 8 cm [2] .

L'examen des figures ci-dessous montre le 18 février 1981 un exemple d'une grande ambiguïté. La profondeur 0 °C peut être admise de 14 cm ou de 40 cm ou de 64 cm. En introduisant à 17 cm et à 64 cm de profondeur une imprécision de 0°3 (lignes fines) due par exemple à la résistance au platine ou aux appareillages, la profondeur se fixe uniquement à 14 cm. De même le 17 février la ligne fine donne pour le 0 °C, 79 cm contre 94 cm et pour le point -1 °C, 46 cm contre 26 cm.

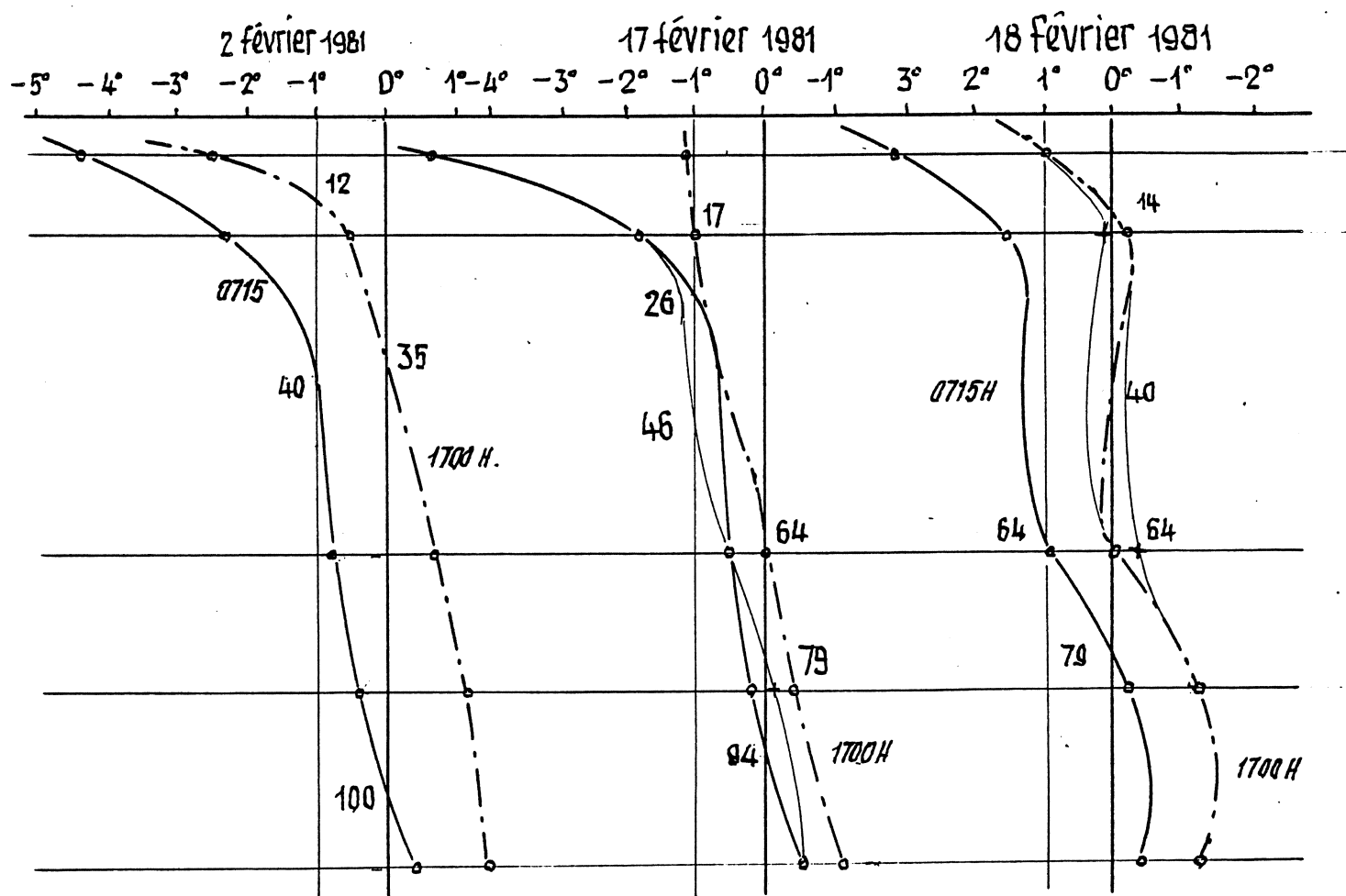
Bon! S'il y a de très nombreux points de mesure, les difficultés relevées ne sont pas graves. Mais dans un cas contraire et avec un peu de déveine un dépouillement inexact peut fausser les conclusions.

Pour résumer, il semble bien que

pour des études de répartition des températures sous une chaussée, il est possible d'utiliser indifféremment des capteurs individuels, des thermosondes à ergots ou à bagues ou des cryothermes.

Cette constatation a conduit dans cette étude, pour trouver la profondeur des points caractéristiques, à tracer des courbes passant par les points venant de la moyenne: capteur individuel + thermosonde. En procédant de cette façon, certaines fautes, soit d'appareils, soit de précision, soit de lecture erronée sont corrigées.

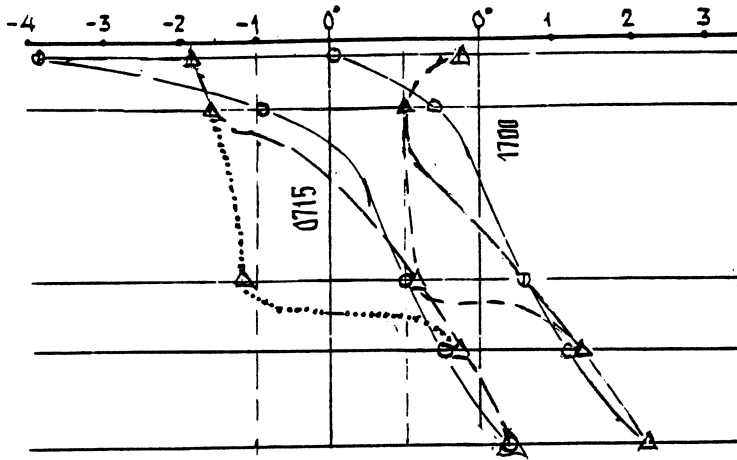
Comme complément pour permettre une comparaison une série de courbes ont été tracées qui viennent uniquement des capteurs individuels. Les différences entre les deux possibilités de dessiner les courbes, soit avec la moyenne capteur individuel + thermosonde, soit avec les capteurs individuels seuls sont pratiquement nulles, surtout pour l'hiver 1976-1977. Durant l'hiver 1980-1981 ces différences sont plus élevées, atteignant même 1 °C. S'agit-il d'un vieillissement des appareillages?



28 décembre 1980

référence RC 516

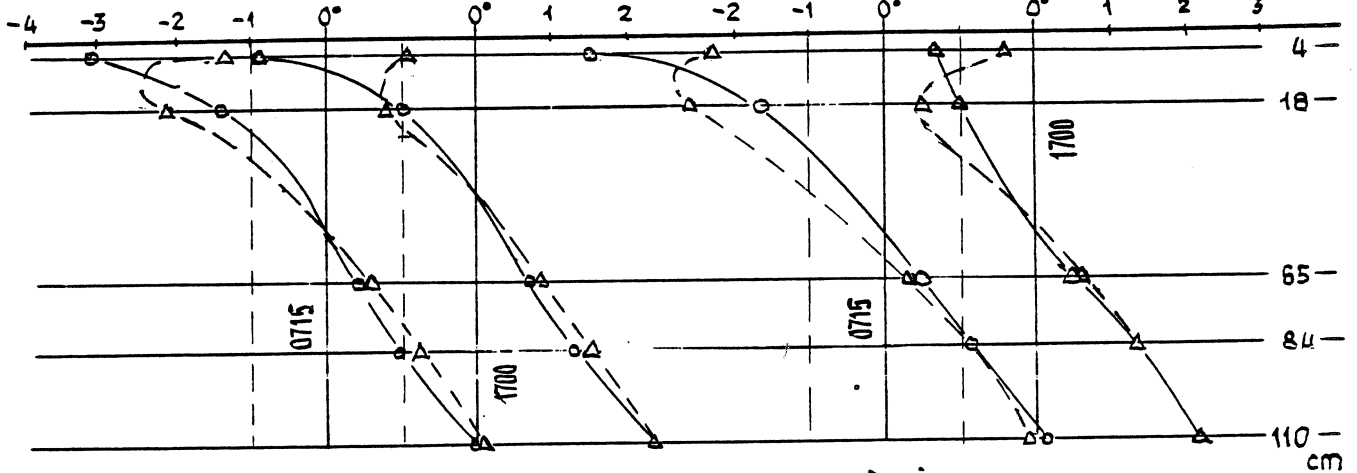
1980 - 1981



○ — ○ caneur individuel
 Temperaturgeber
 Δ - - Δ thermosonde à ergots
 Temperatursonde mit Spornen

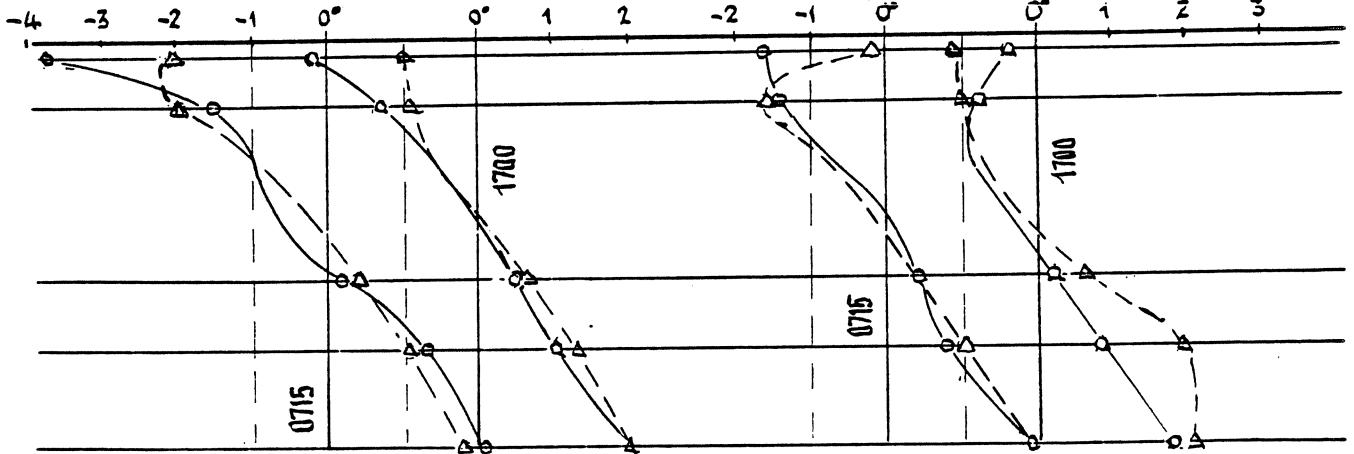
29 décembre 1980

30 décembre 1980



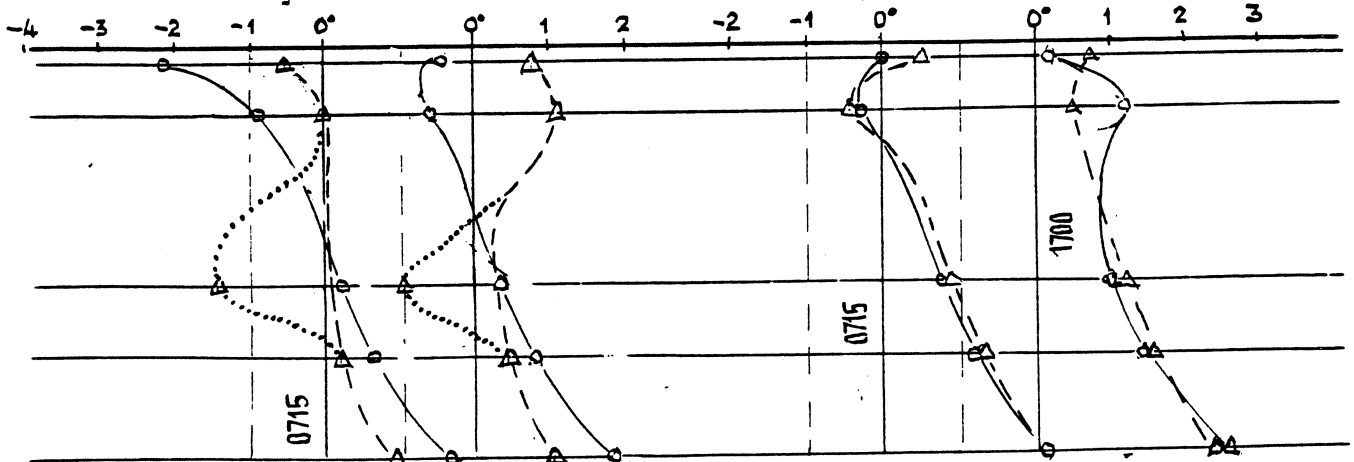
31 décembre 1980

1 janvier 1981



2 janvier 1981

3 janvier 1981

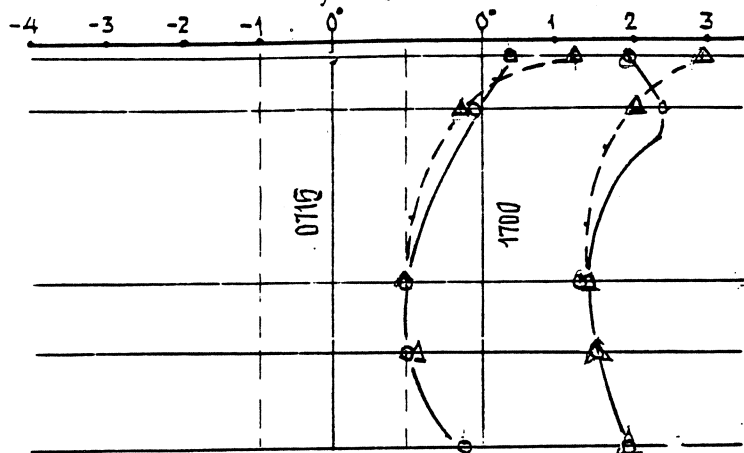


référence RC 516

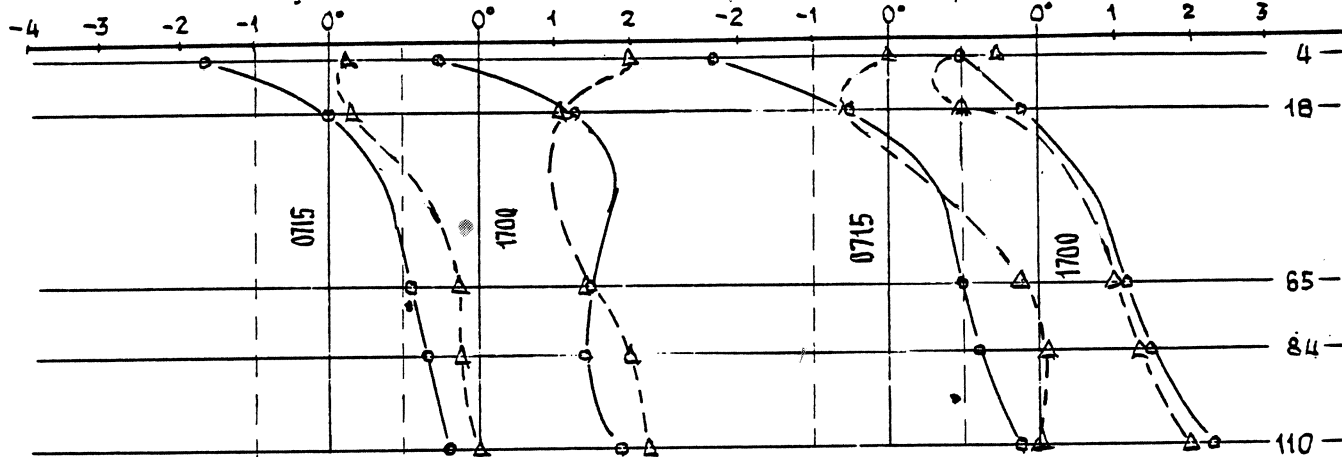
1980 - 1981

○ — ○ capteur individuel
 Températuregeber
 △ - - - △ thermosonde à ergots
 Temperatursonde mit Spornen

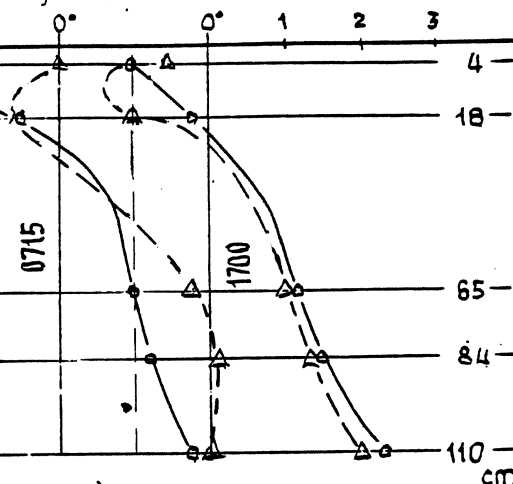
4 janvier 1981



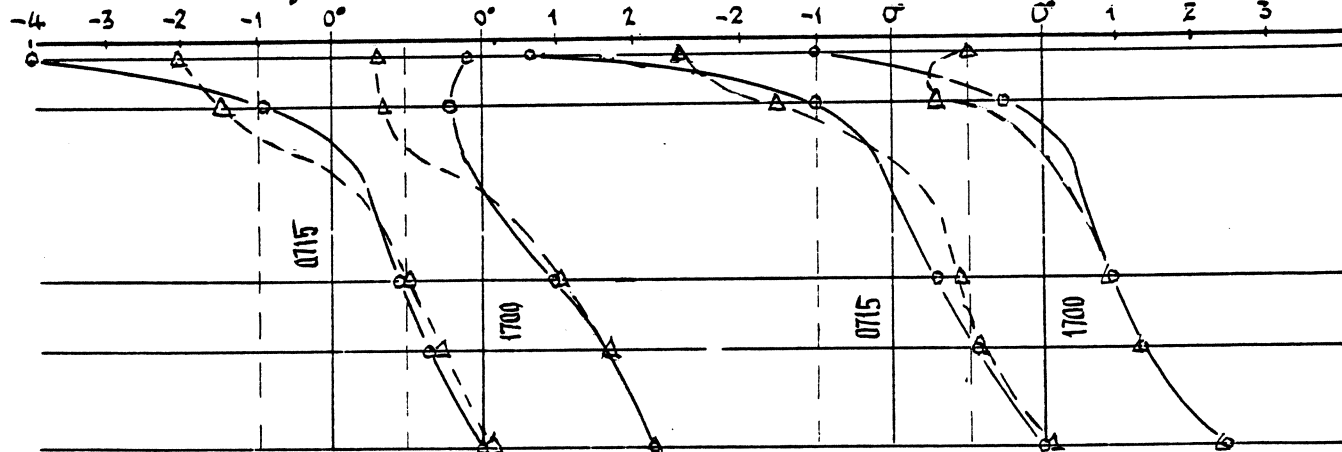
5 janvier 1981



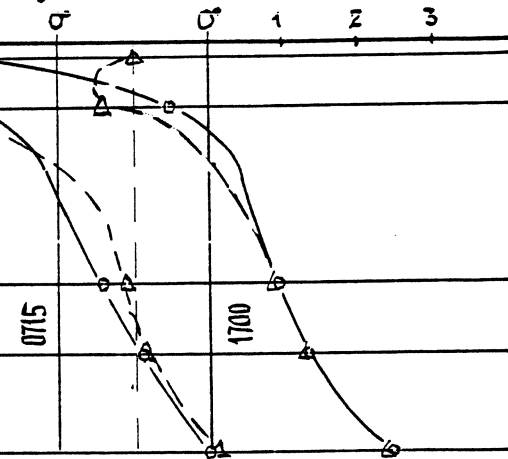
6 janvier 1981



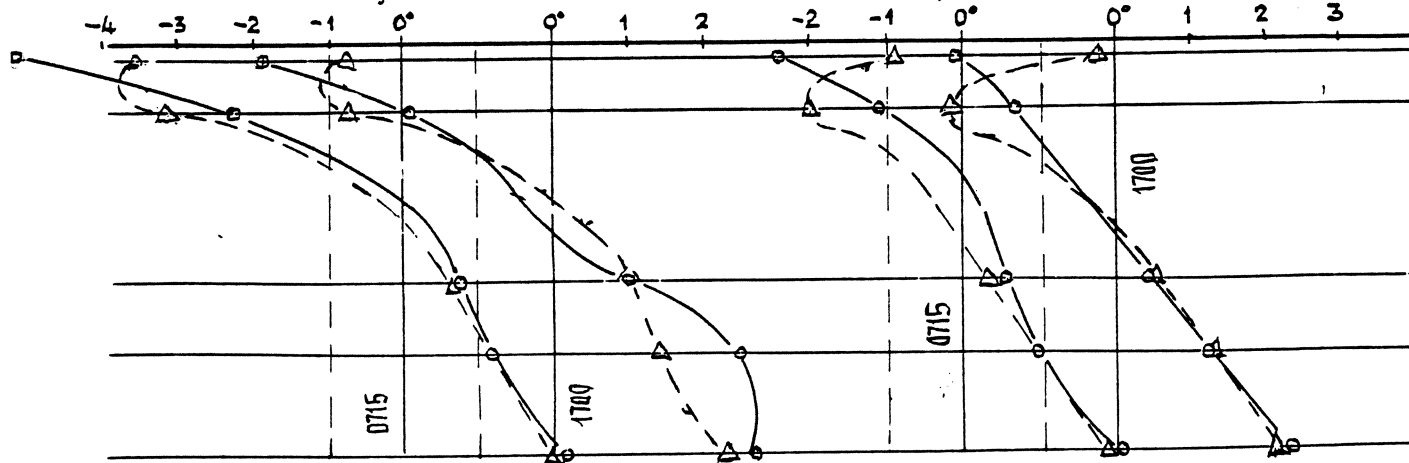
7 janvier 1981



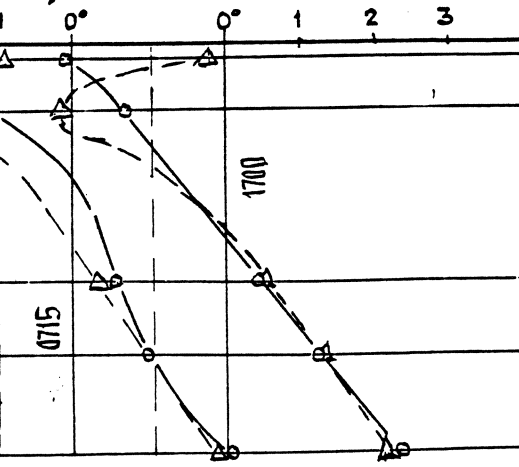
8 janvier 1981



9 janvier 1981

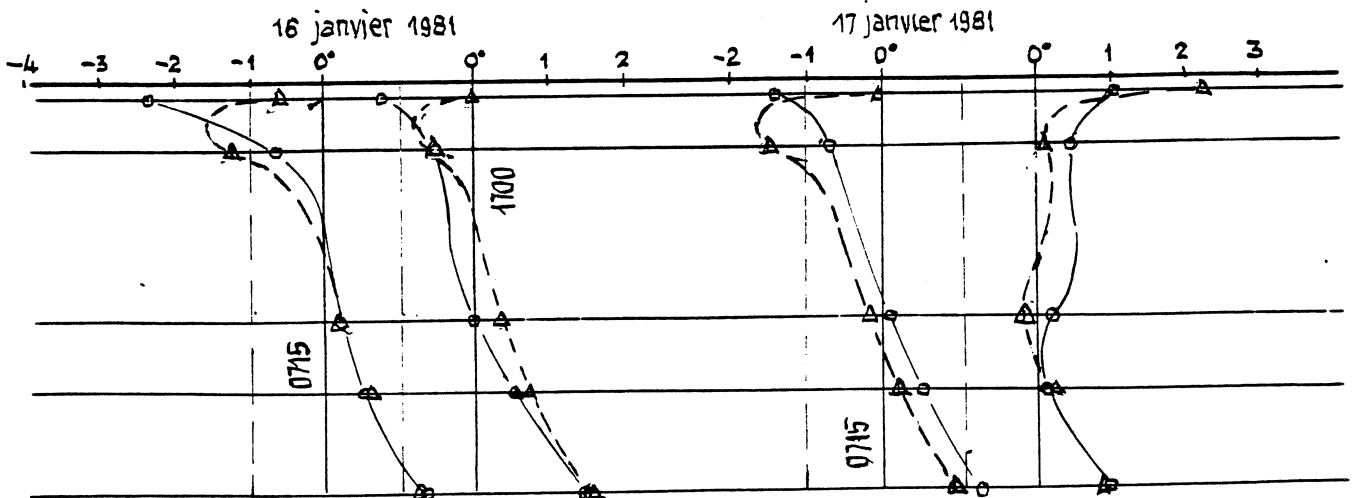
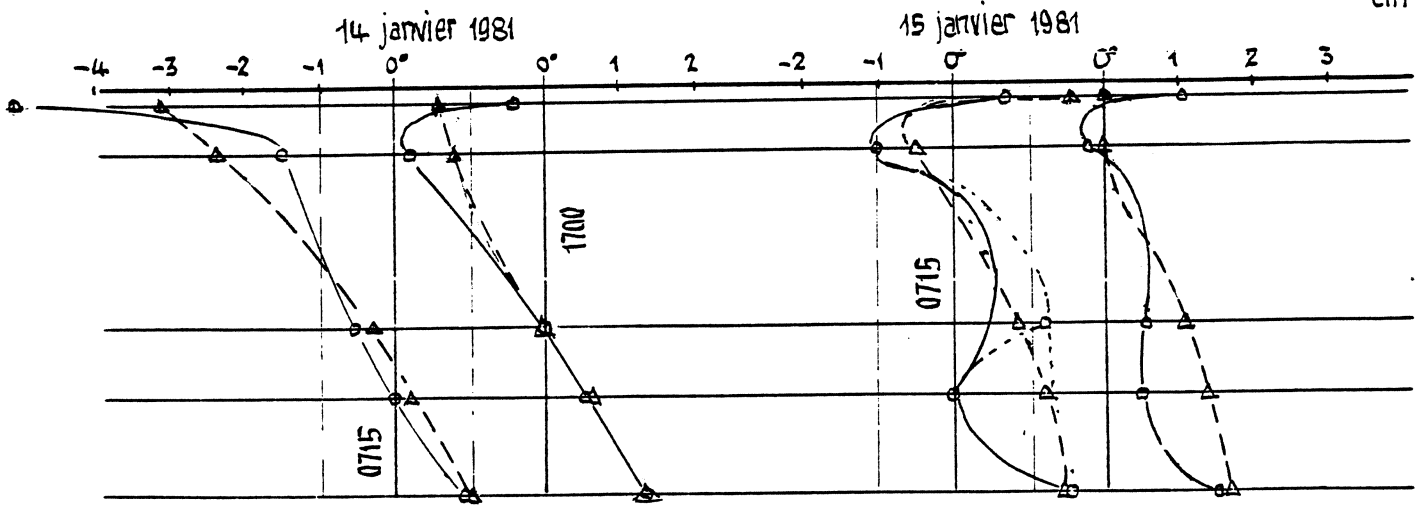
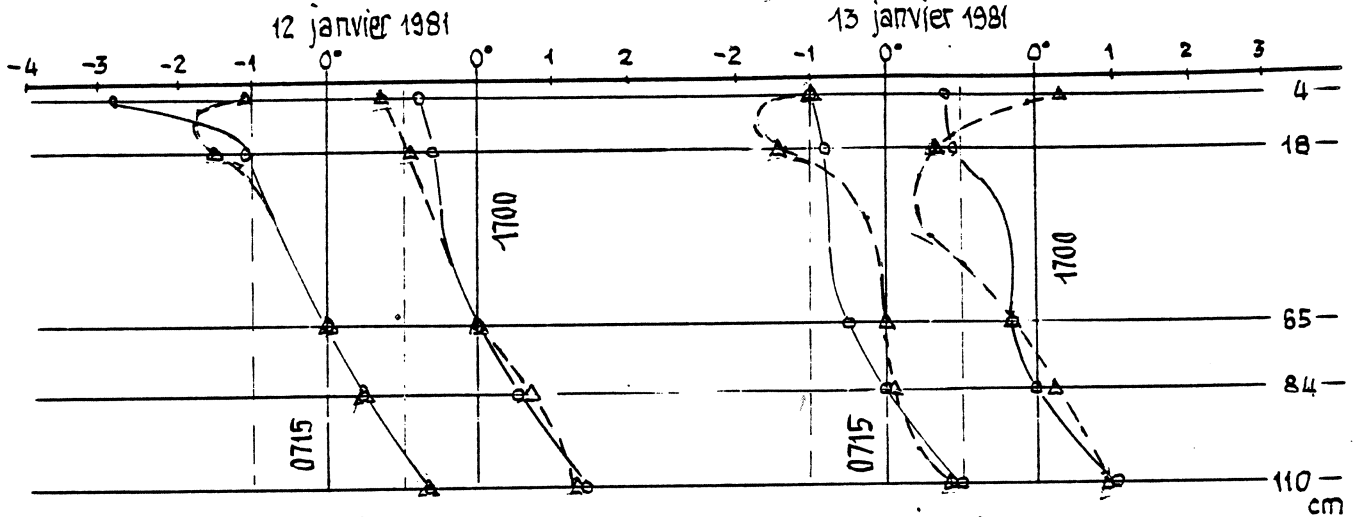
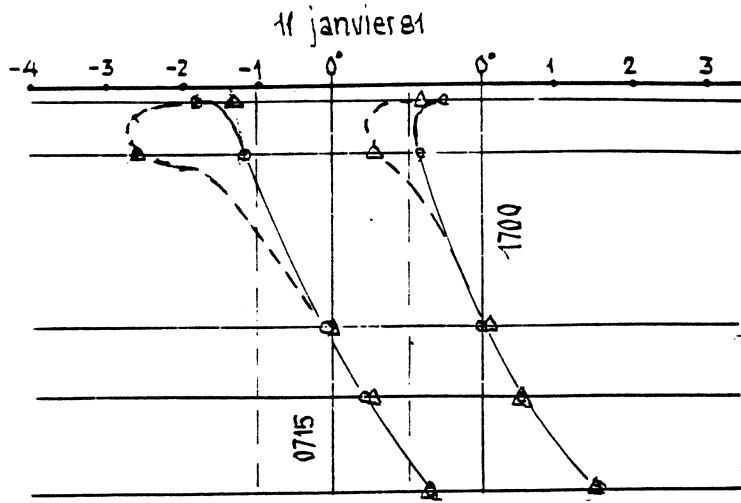


10 janvier 1981



référence RC 516

1980 - 1981

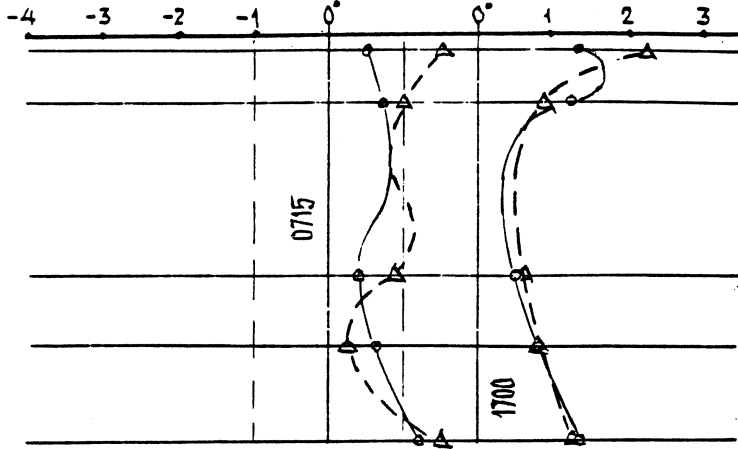


référence RC 516

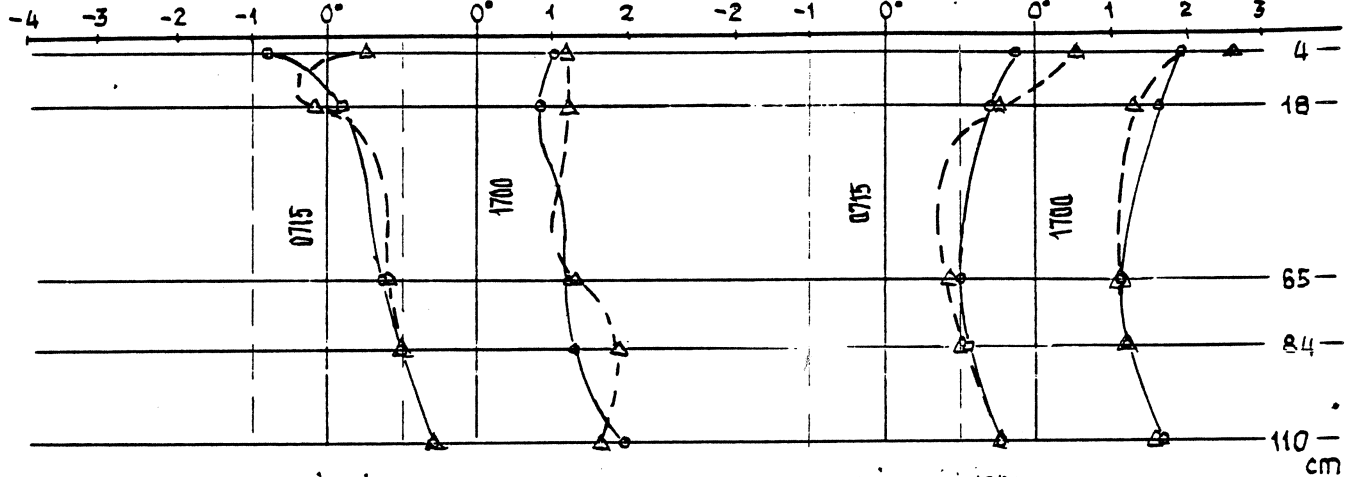
1980 - 1981

○ — ○ capteur individuel
températuregeber
△ - - - △ thermosonde à ergots
Temperatursonde mit Spornen

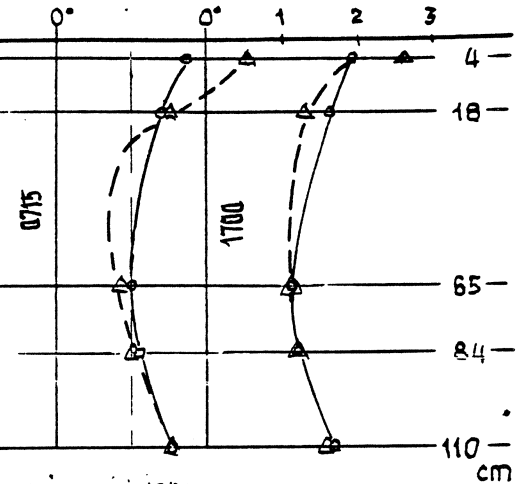
18 janvier 1981



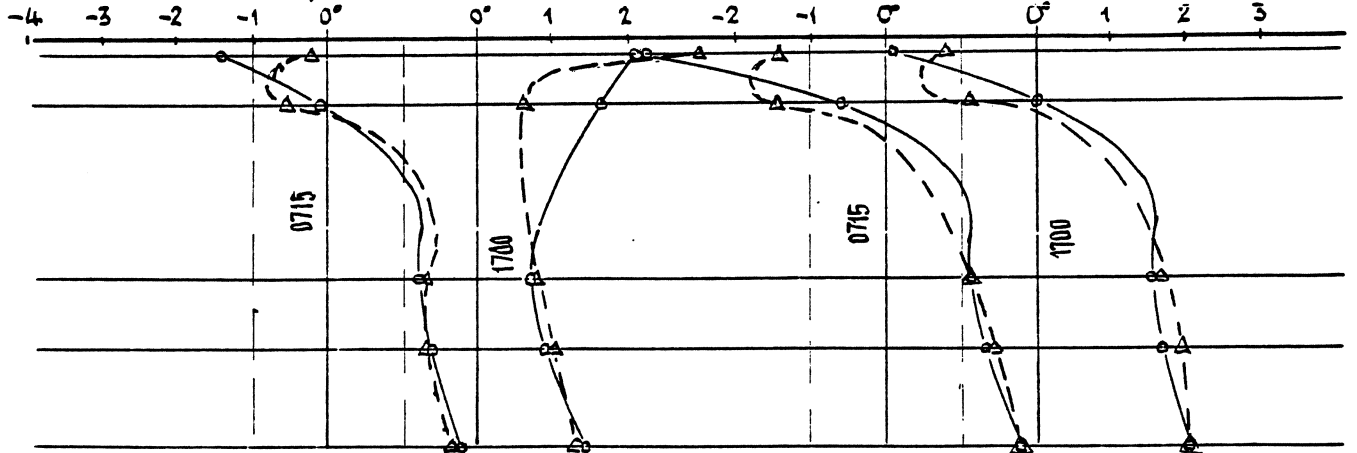
19 janvier 1981



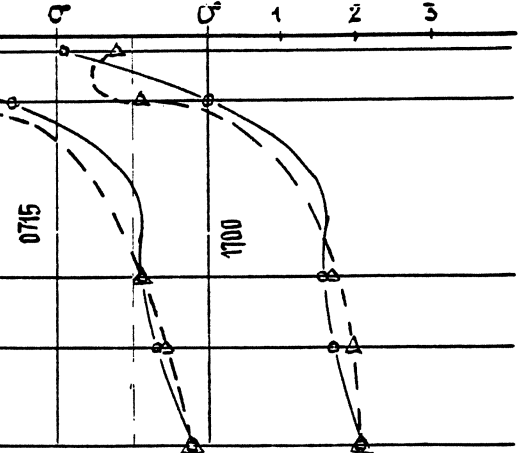
20 janvier 1981



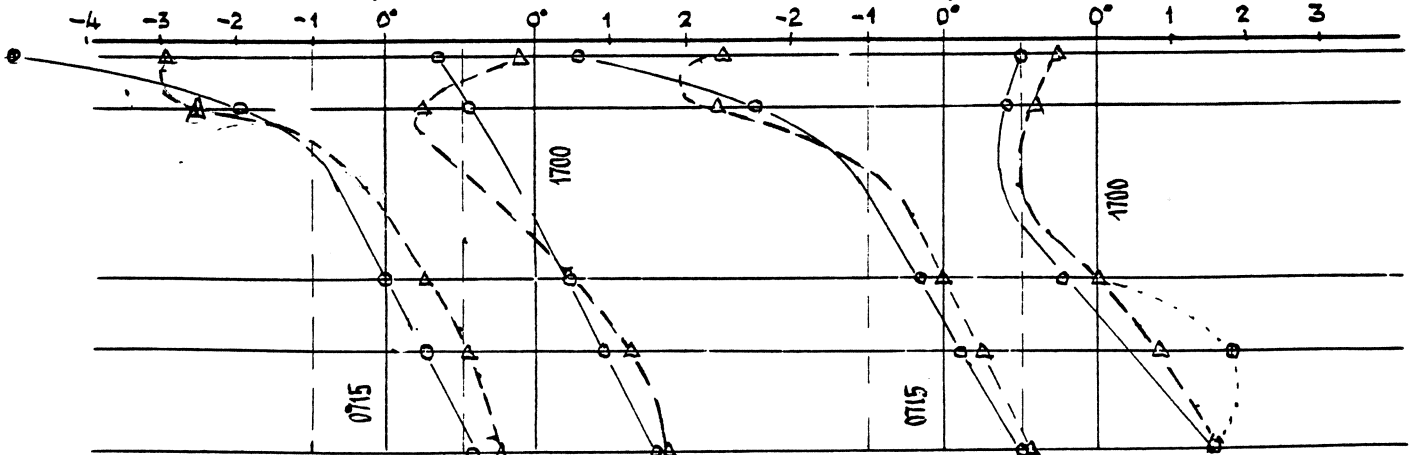
21 janvier 1981



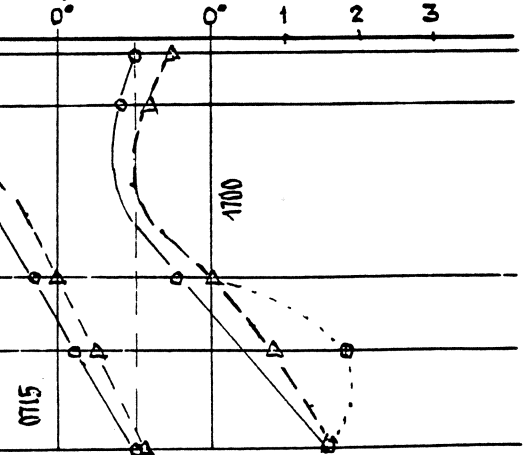
22 janvier 1981



23 janvier 1981

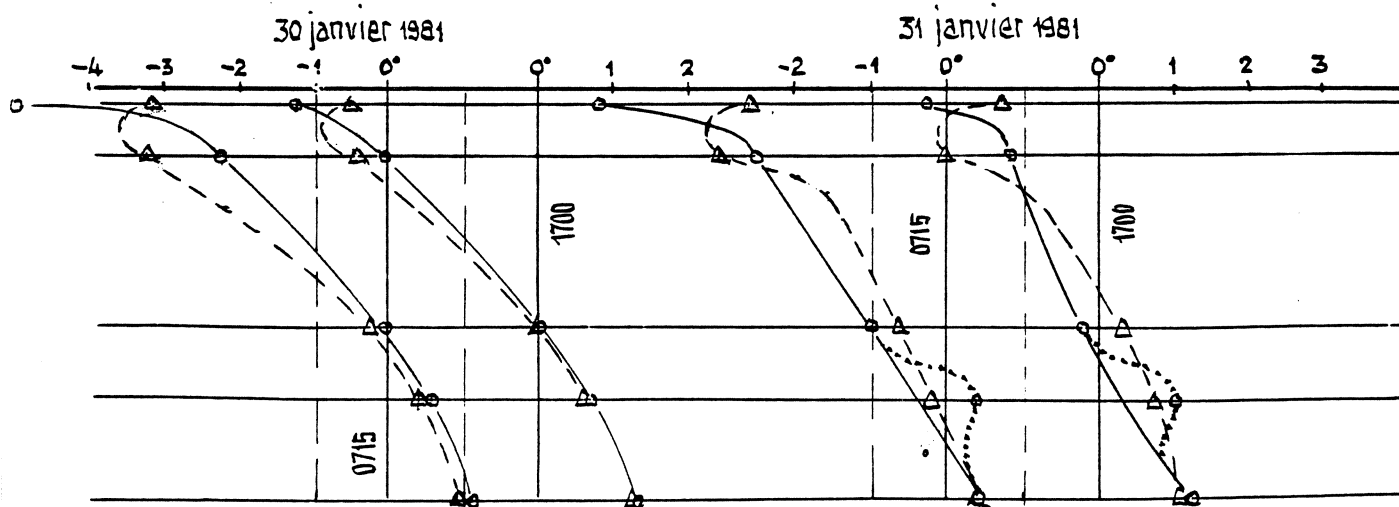
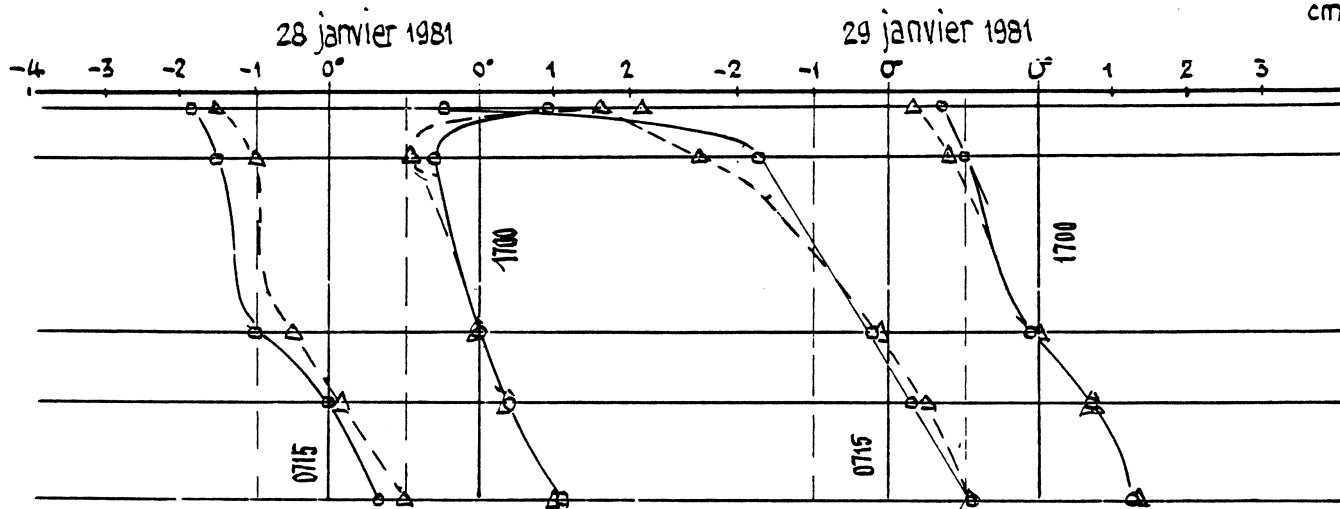
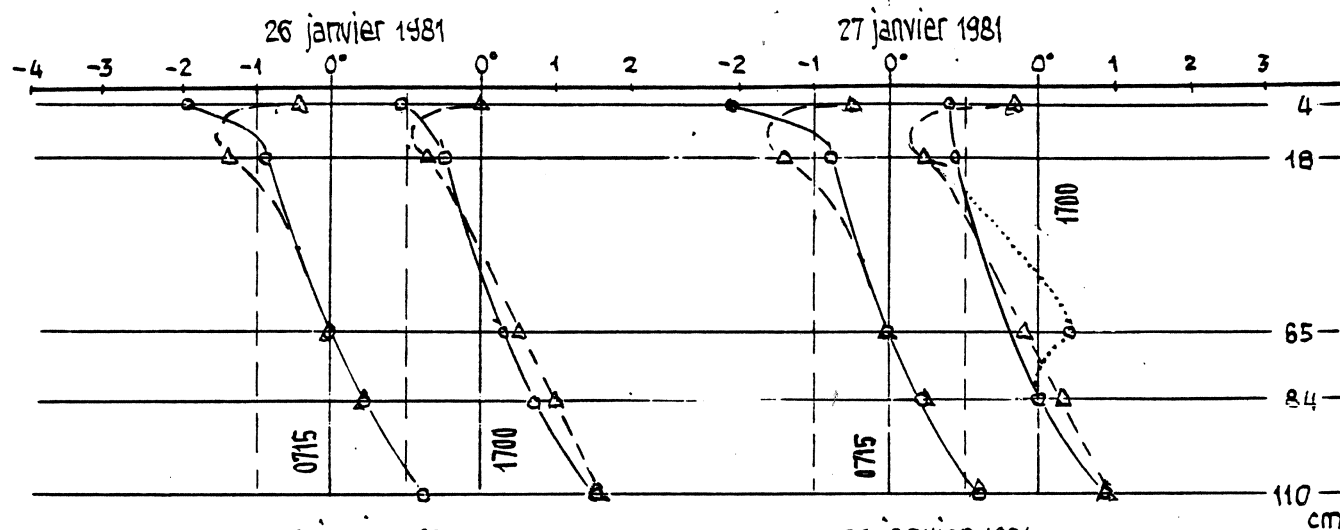
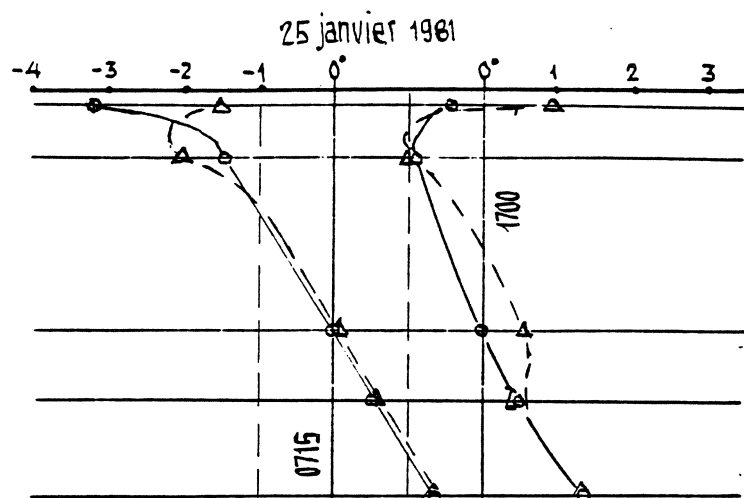


24 janvier 1981



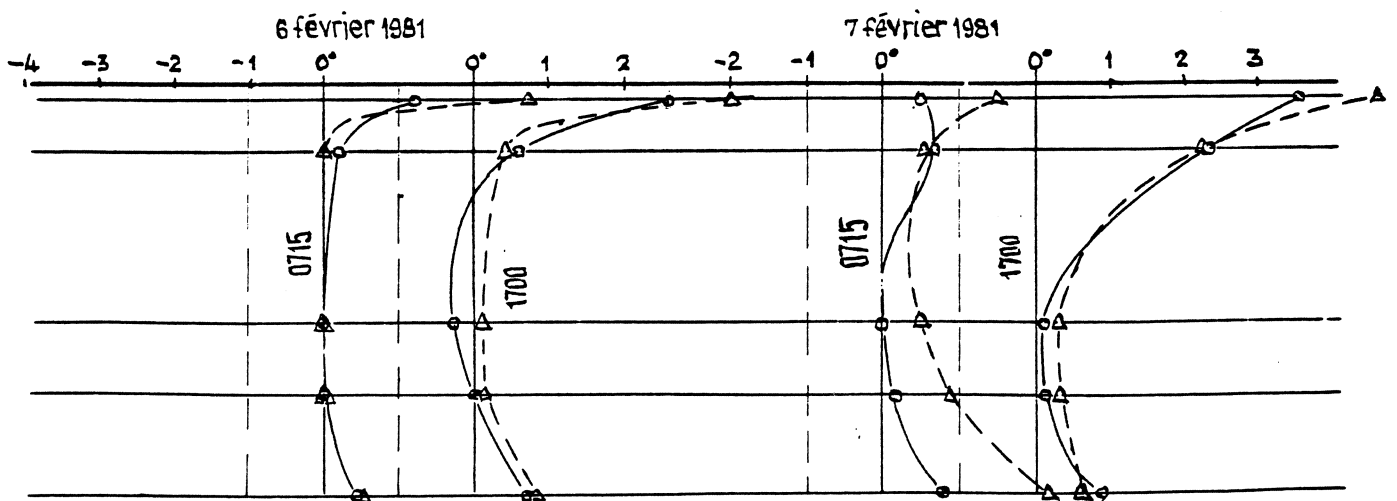
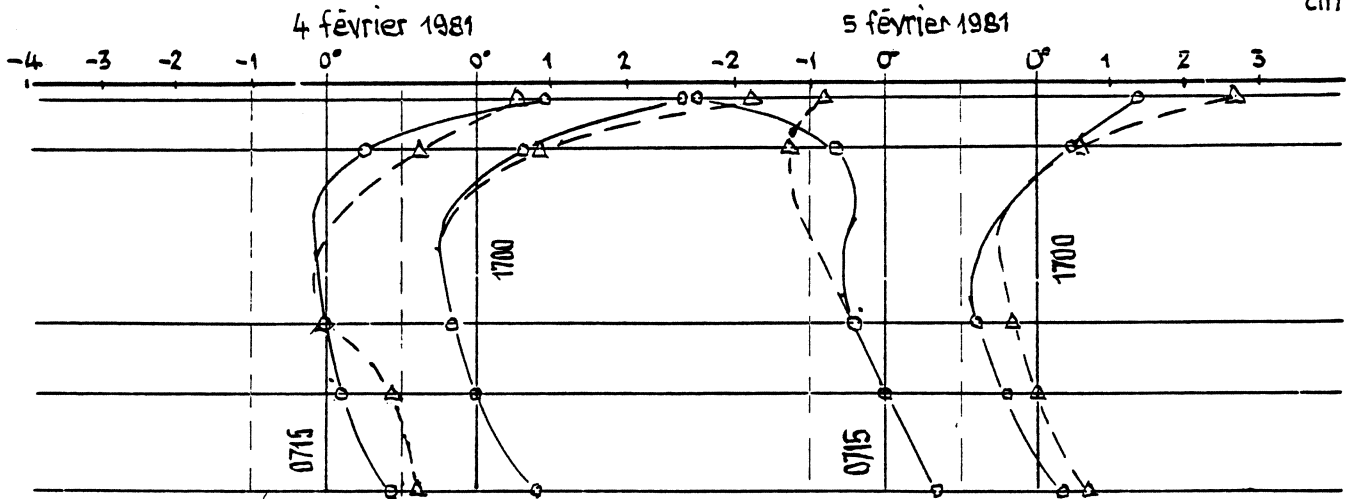
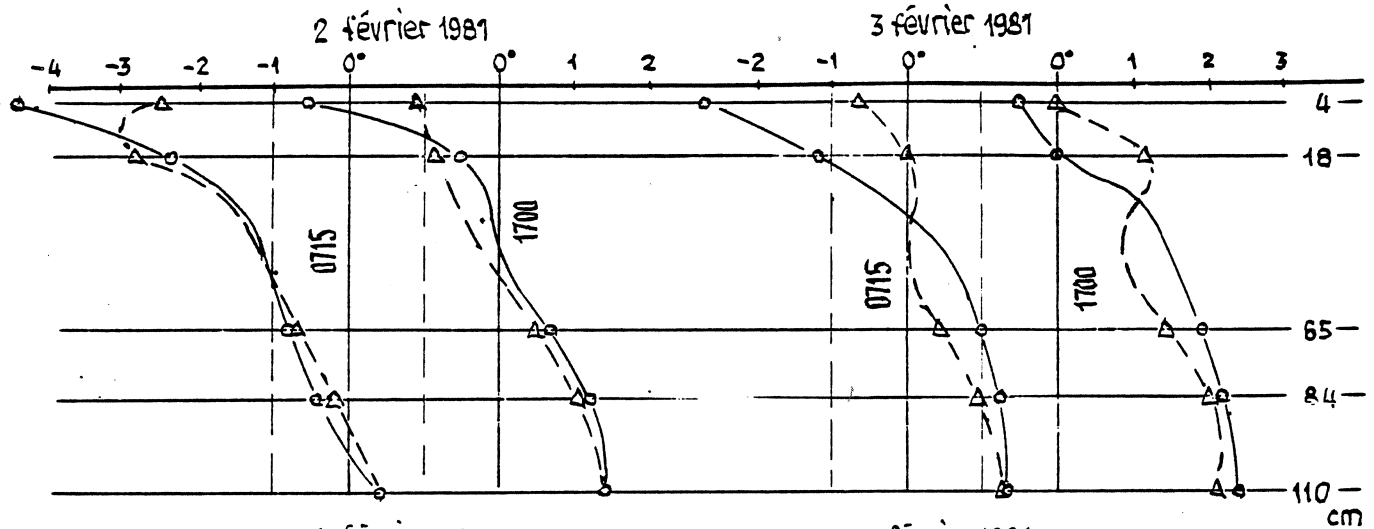
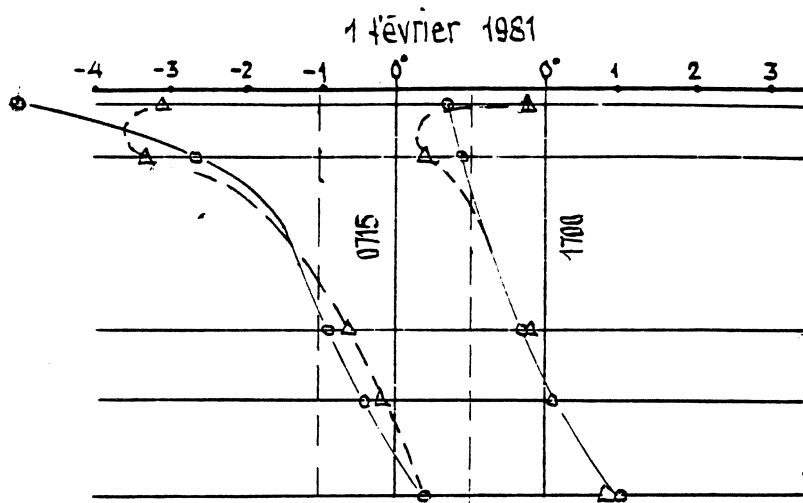
référence RC 516

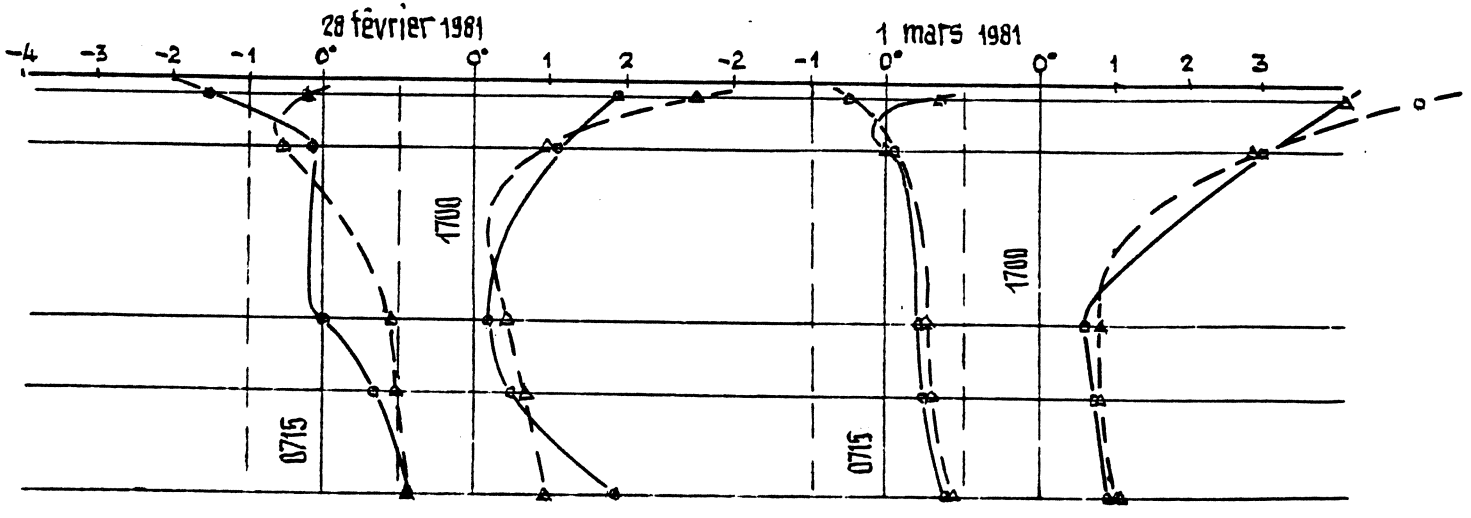
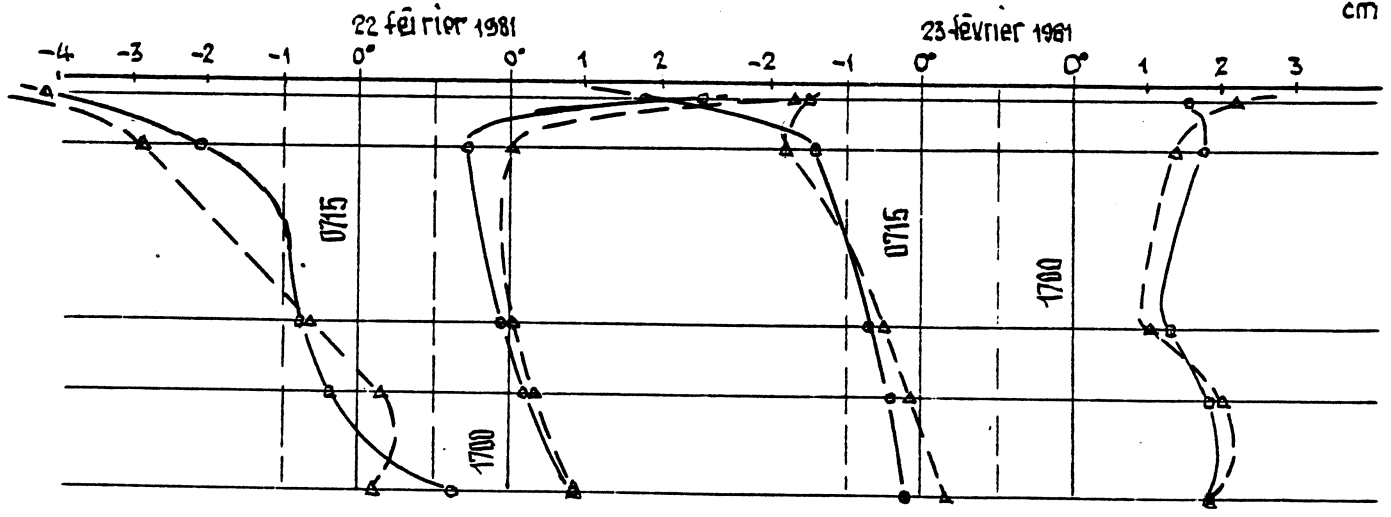
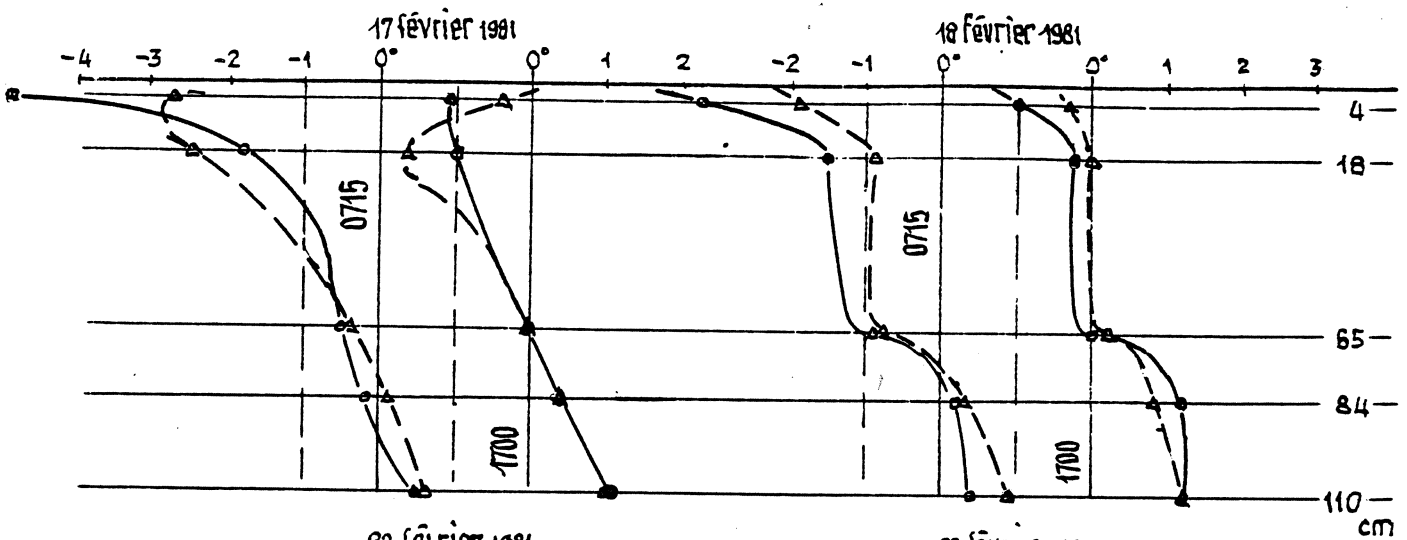
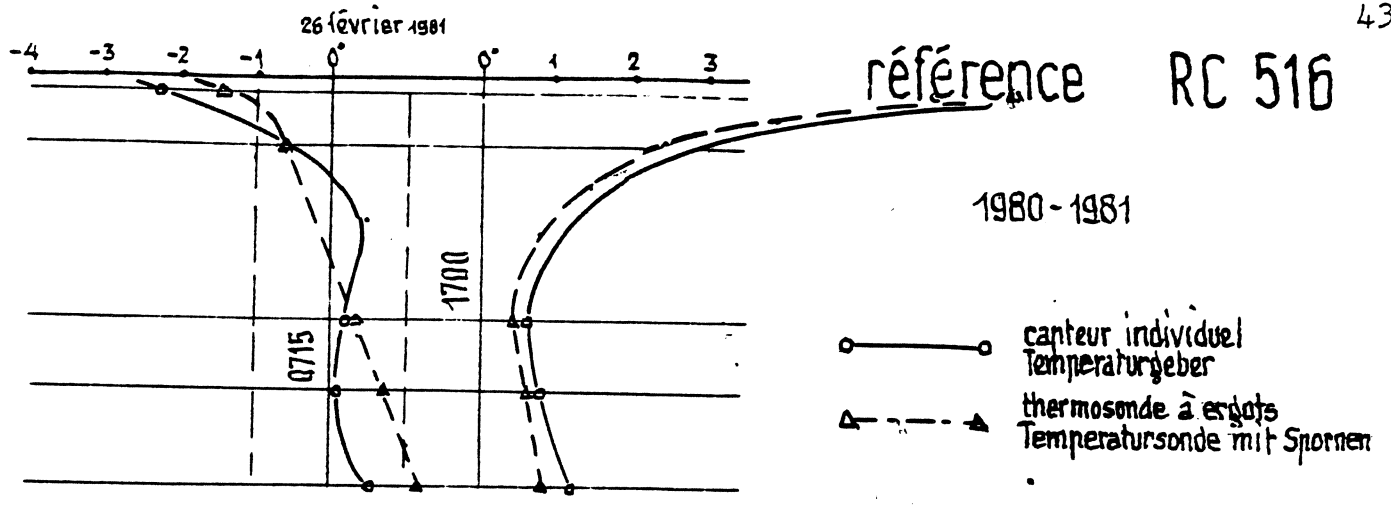
1980-1981



référence RC 516

1980-1981

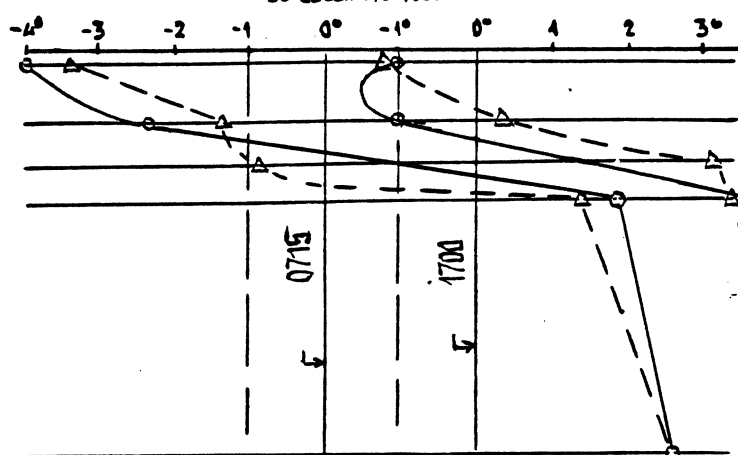




28 décembre 1980

béton de
polystyrène

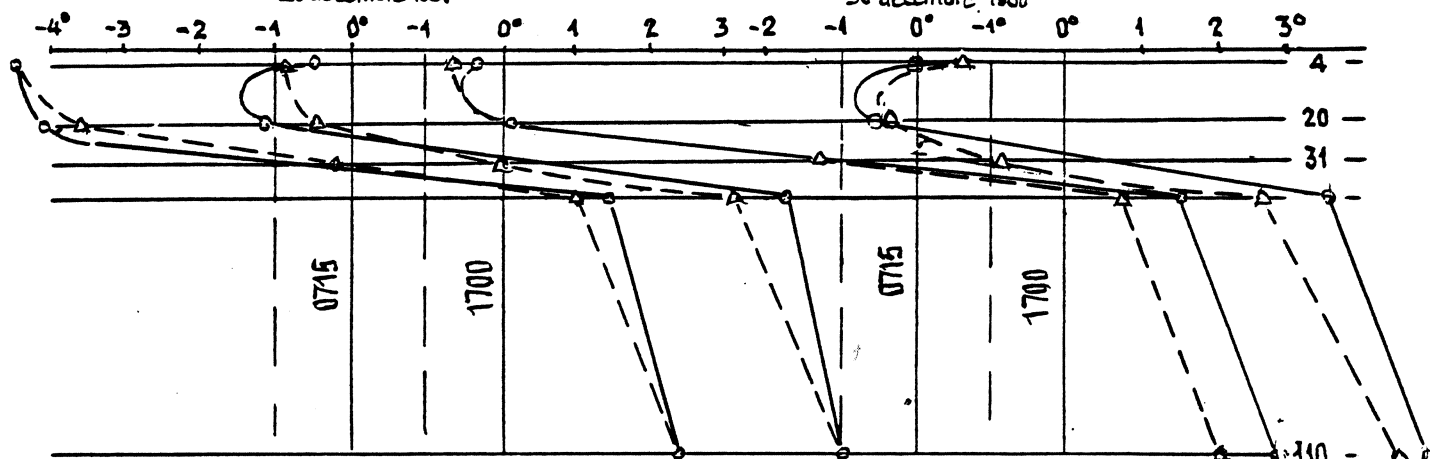
RC 516



○ — ○ capteur individuel
 Temperaturgeber
 — — — — — thermosonde à bagues
 Temperatursonde mit Ringer

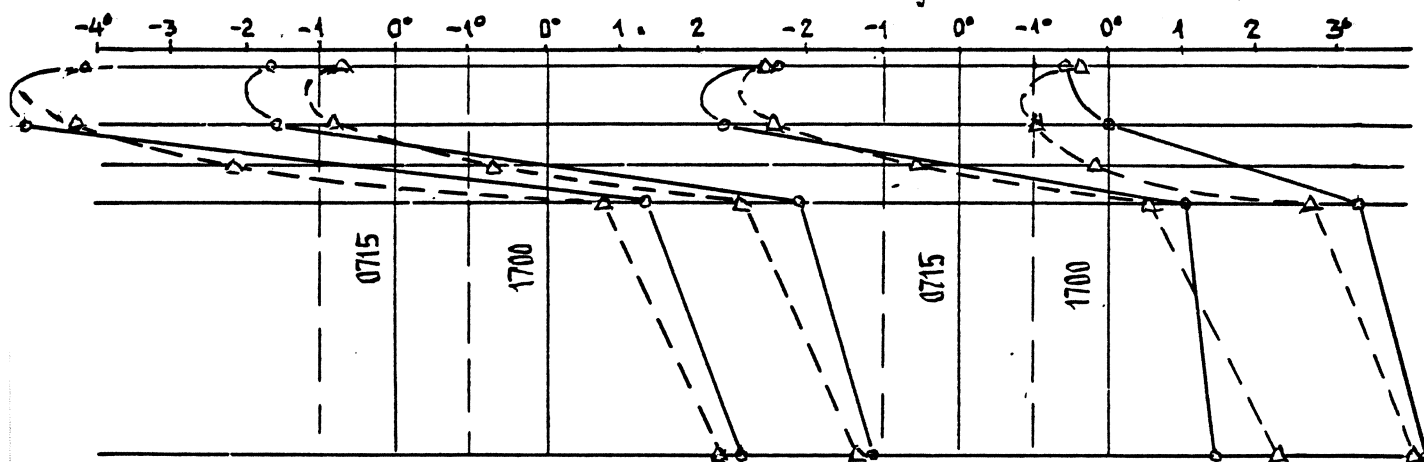
29 décembre 1980

30 décembre 1980



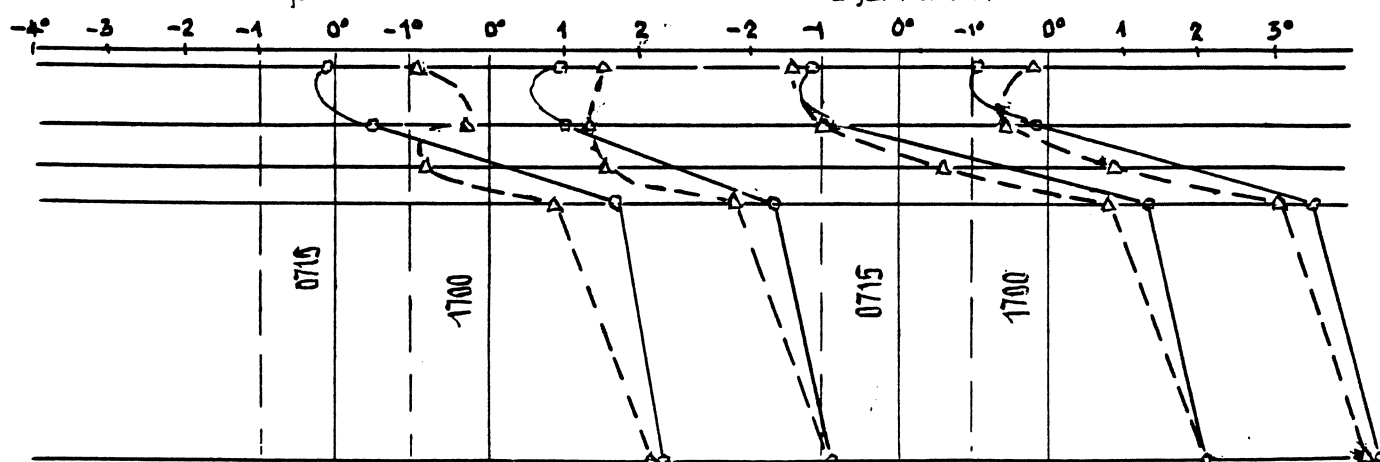
31 décembre 1980

1 janvier 1981



3 janvier 1981

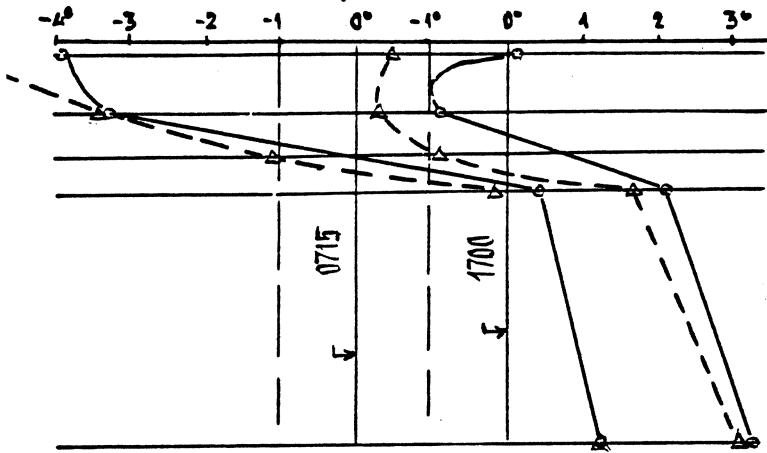
2 janvier 1981



25 janvier 1981

béton de
polystyrène

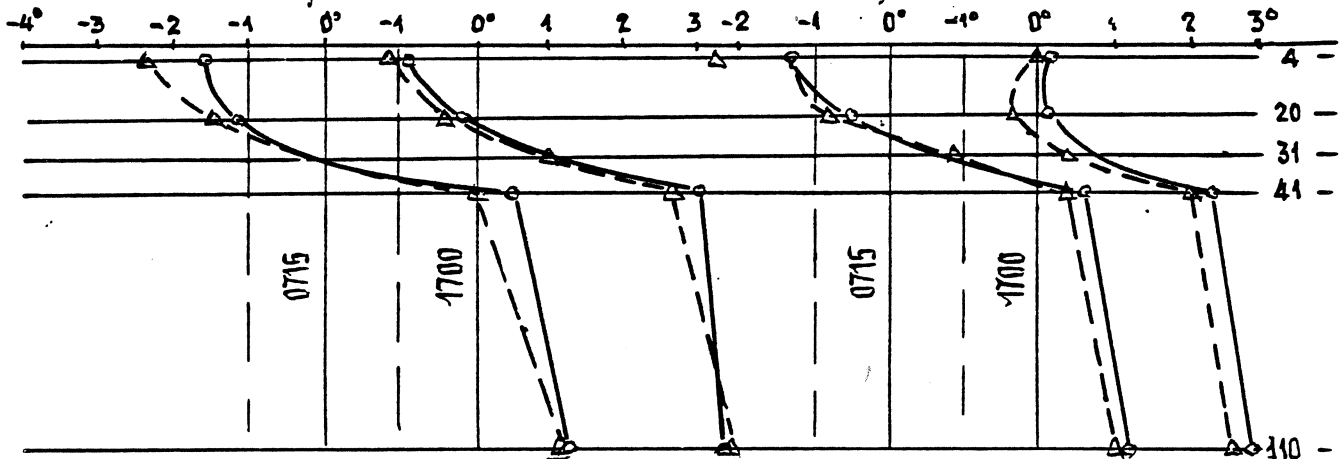
RC 516



○ — ○ capteur individuel
Temperaturgeber
△ - - - △ thermosonde à bobines
Temperatursonde mit Ringen

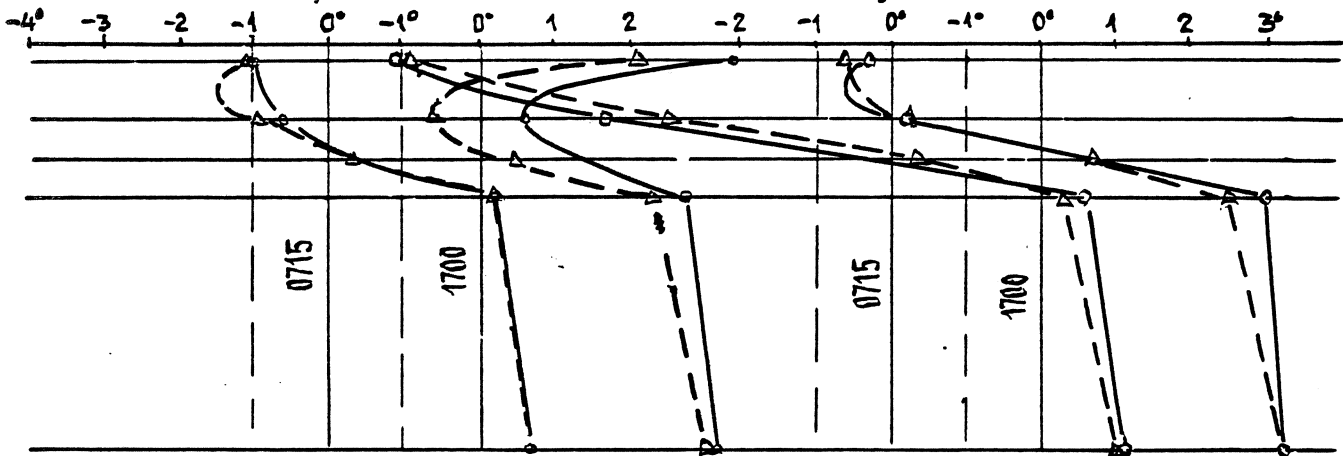
26 janvier 1981

27 janvier 1981



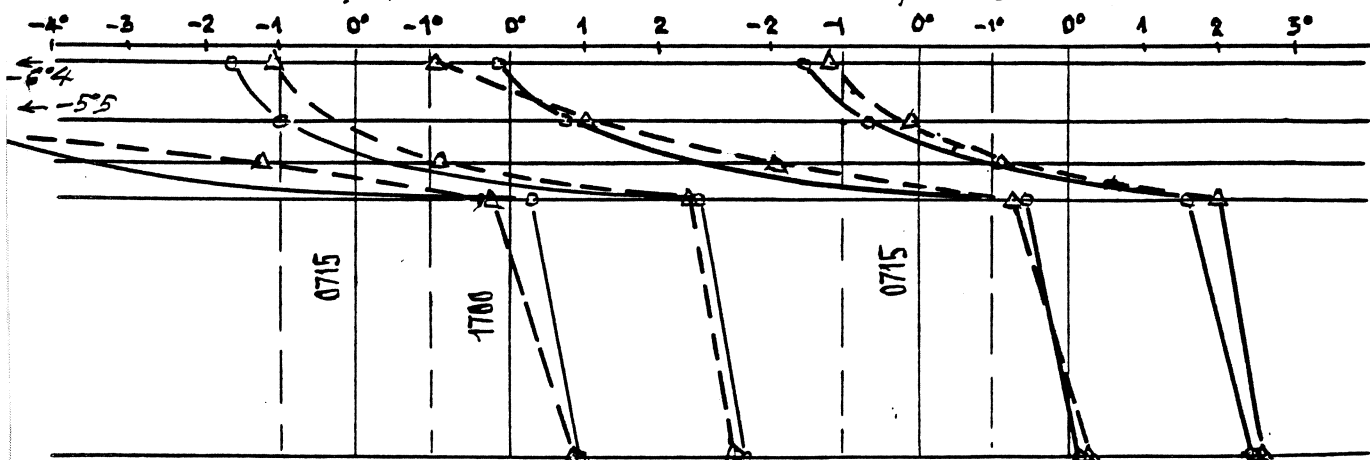
28 janvier 1981

29 janvier 1981



30 janvier 1981

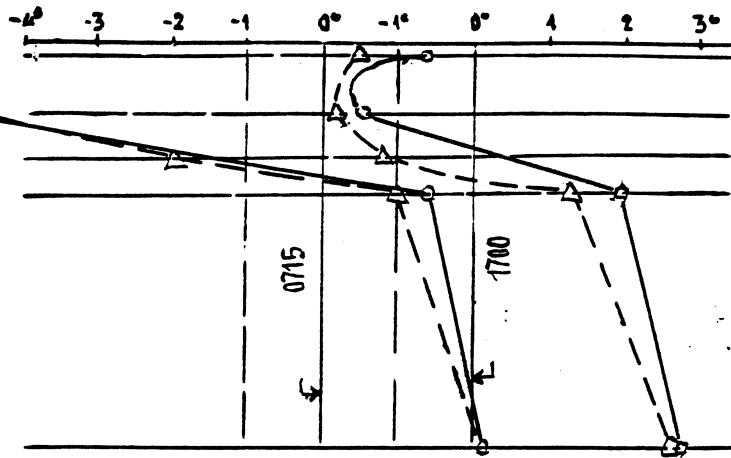
31 janvier 1981



béton de
polystyrène

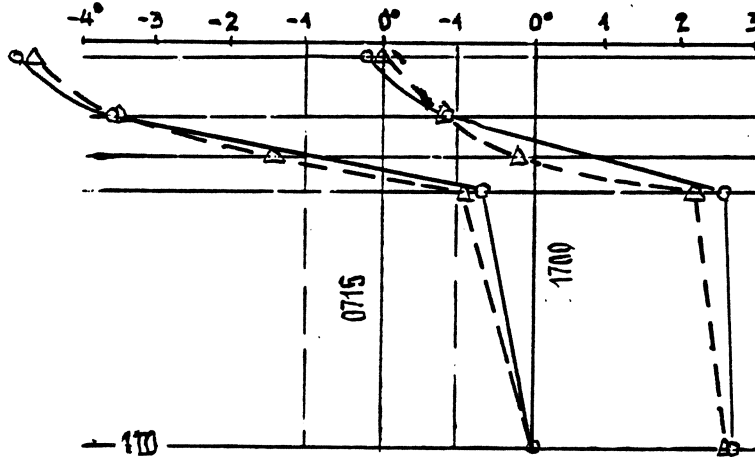
RC 516

1 février 1981

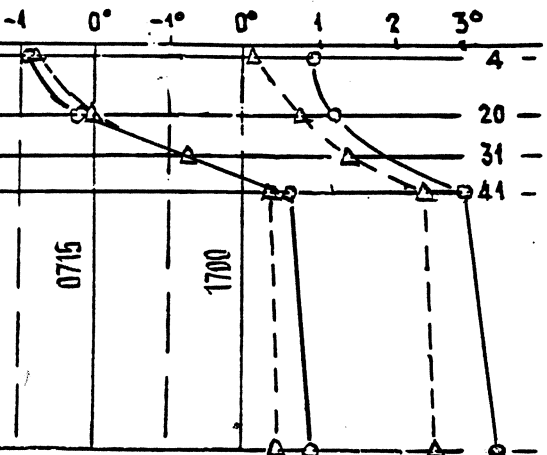


○ — ○ capteur individuel
Températuregeber
△ - - △ thermosonde à bagues
Temperatursonde mit Ringen

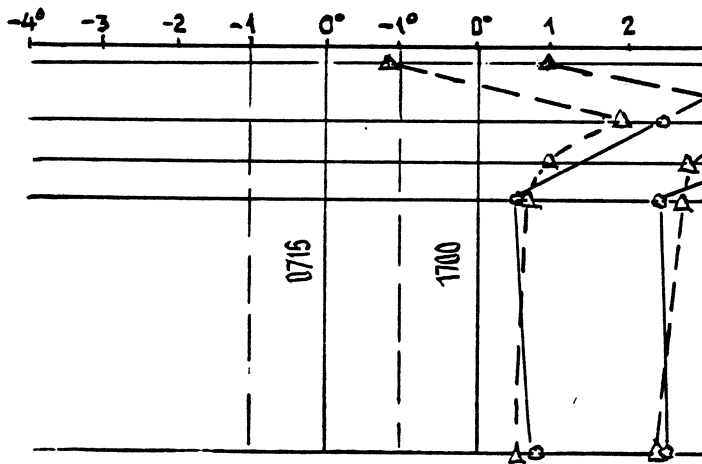
2 février 1981



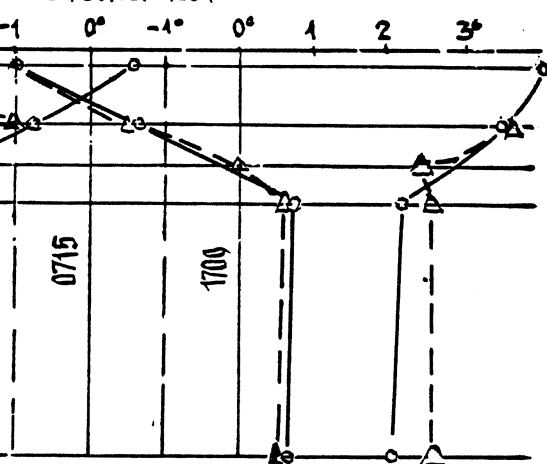
3 février 1981



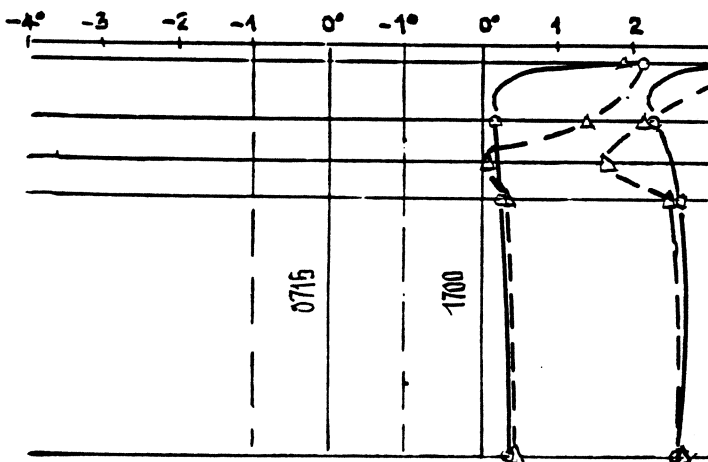
4 février 1981



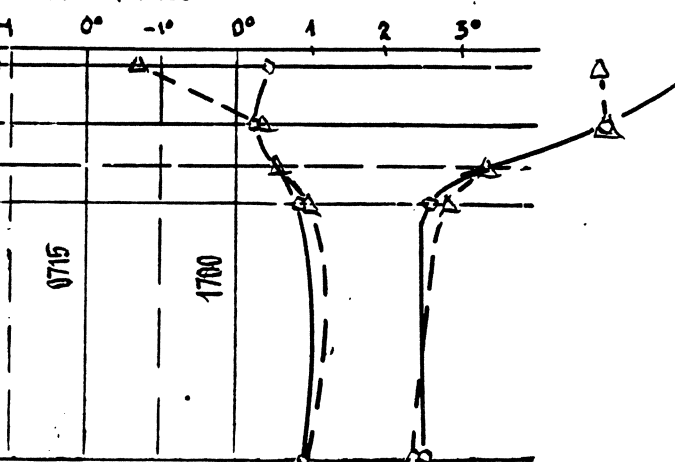
5 février 1981



6 février 1981



7 février 1981



a et c capteur individuel / Temperaturegeber

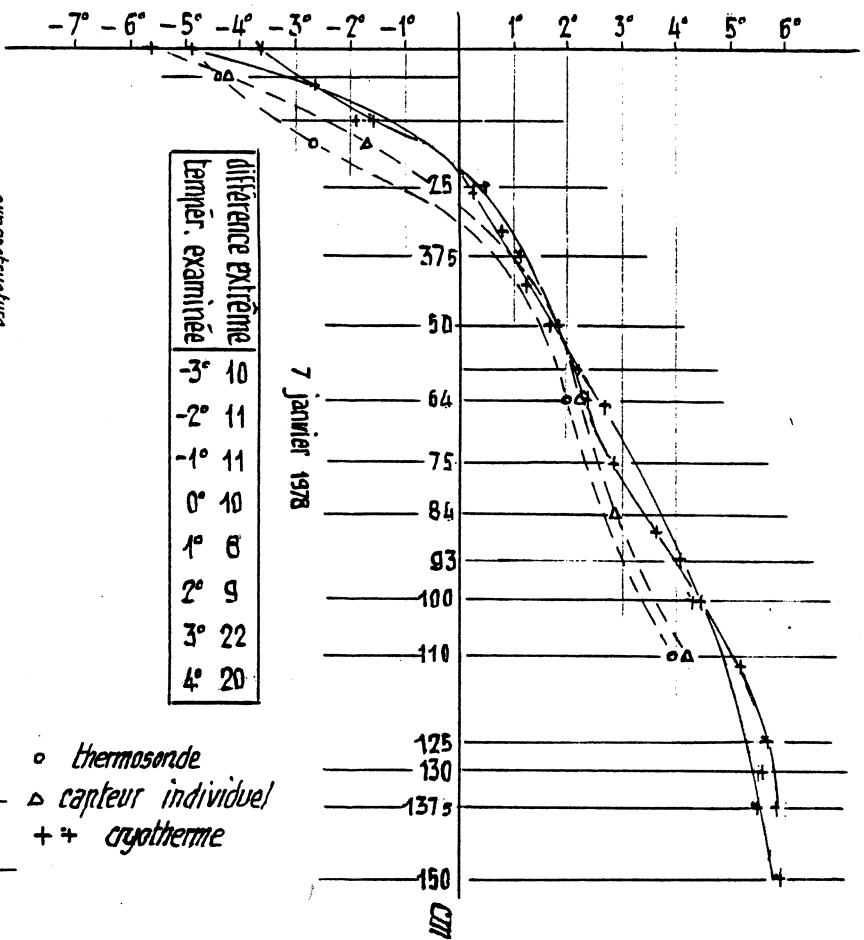
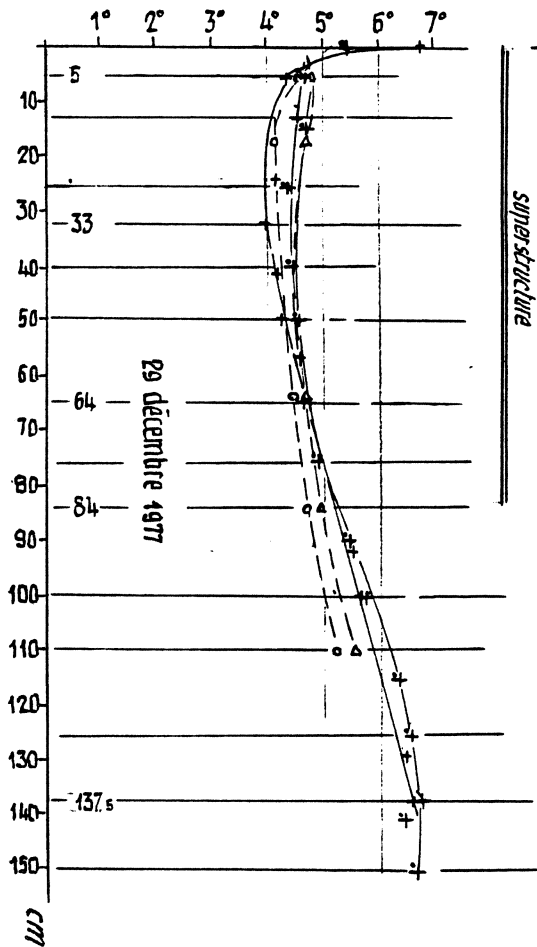
b et d $\frac{1}{2}$ (capteur individuel + thermosonde)

		a	b	c	d
		0 °C	0 °C	-1 °C	-1 °C
11 décembre 1980	0715	38	43	24	34
	1700	57	55	15	12
12 décembre 1980	0715	84	78	45	46
	1700	64	65	26	37
13 décembre 1980	0715	88	82	58	55
	1700	64	73	9	38
14 décembre 1980	0715	84	76	18	38
	1700	64	55	27	0
15 décembre 1980	0715	0	0	0	0
9 janvier 1981	0715	32	41	23	31
	1700	45	48	26	31
10 janvier 1981	0715	41	48	18	30
	1700	52	57	22	38
11 janvier 1981	0715	68	67	24	34
	1700	64	67	0	31
12 janvier 1981	0715	64	64	18	29
	1700	64	64	0	5
13 janvier 1981	0715	84	85	5	5
	1700	84	77	25	40
14 janvier 1981	0715	84	79	42	45
	1700	64	64	31	45
15 janvier 1981	0715	37	50	17	0
	1700	0	0	0	0
24 janvier 1981	0715	70	72	41	44
	1700	72	68	57	41
25 janvier 1981	0715	64	64	23	35
	1700	64	40	0	0
26 janvier 1981	0715	64	64	16	20
	1700	36	42	6	0
27 janvier 1981	0715	64	66	15	20
	1700	51	49	26	0
28 janvier 1981	0715	84	82	58	41
	1700	64	62	0	0

a et c capteur individuel / Temperaturgeber

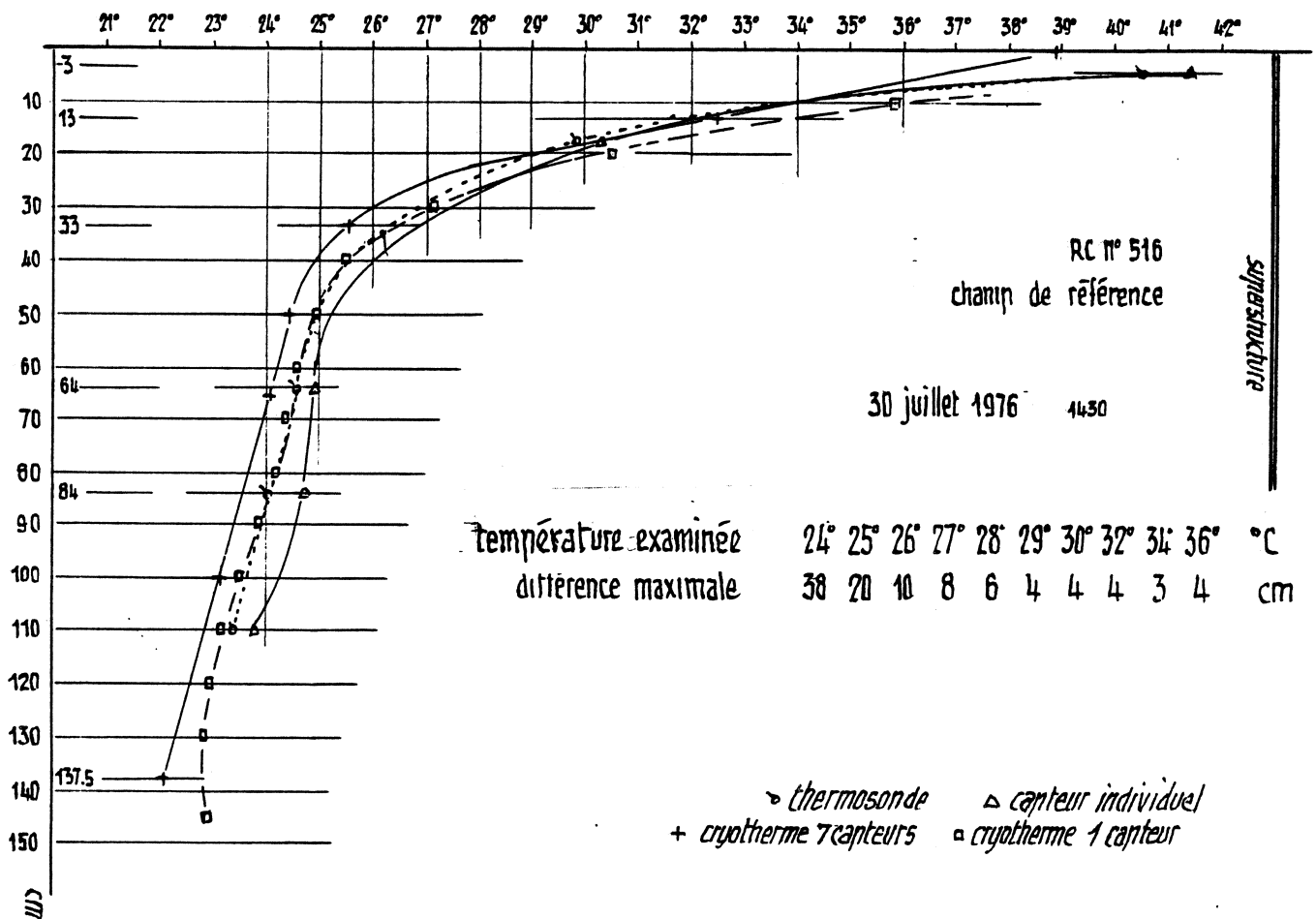
b et d $\frac{1}{2}$ (capteur individuel+thermosonde)

		a	b	c	d
		0 °C	0 °C	-1 °C	-1 °C
29 janvier 1981	0715	70	70	34	42
	1700	66	63	17	21
30 janvier 1981	0715	64	68	35	42
	1700	64	64	37	38
31 janvier 1981	0715	73	82	64	62
	1700	65	65	19	48
1er février 1981	0715	99	96	58	55
	1700	62	76	22	32
2 février 1981	0715	100	96	50	54
	1700	34	42	12	13
3 février 1981	0715	30	32	20	10
	1700	17	7	0	0
12 février 1981	0715	29	34	16	20
	1700	0	0	0	0
13 février 1981	0715	64	64	25	24
	1700	23	35	0	0
14 février 1981	0715	34	31	19	22
	1700	28	31	9	4
15 février 1981	0715	32	51	22	31
	1700	35	37	16	17
16 février 1981	0715	75	72	49	53
	1700	79	75	17	15
17 février 1981	0715	94	85	24	41
	1700	64	65	22	27
18 février 1981	0715	82	80	59	62
	1700	65	61	5	4
19 février 1981	0715	96	90	26	56
	1700	64	64	33	26
20 février 1981	0715	72	74	17	34
	1700	64	64	13	17
21 février 1981	0715	73	77	27	19
	1700	64	64	10	0
22 février 1981	0715	100	96	54	0
	1700	70	69	0	0
23 février 1981	0715	102	98	38	39
	1700	0	0	0	0



différence extrême	tempér. examinée
-3°	10
-2°	11
-1°	11
0°	10
1°	8
2°	9
3°	22
4°	20

○ thermosonde
 △ capteur individuel
 ++ cryotherme



température examinée
 différence maximale

24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	32°	34°	36°	°C
38	20	10	8	6	4	4	4	3	4	cm

○ thermosonde
 + cryotherme 7 capteurs
 △ capteur individuel
 □ cryotherme 1 capteur

RC N° 516 champ de référence

cryotherme A

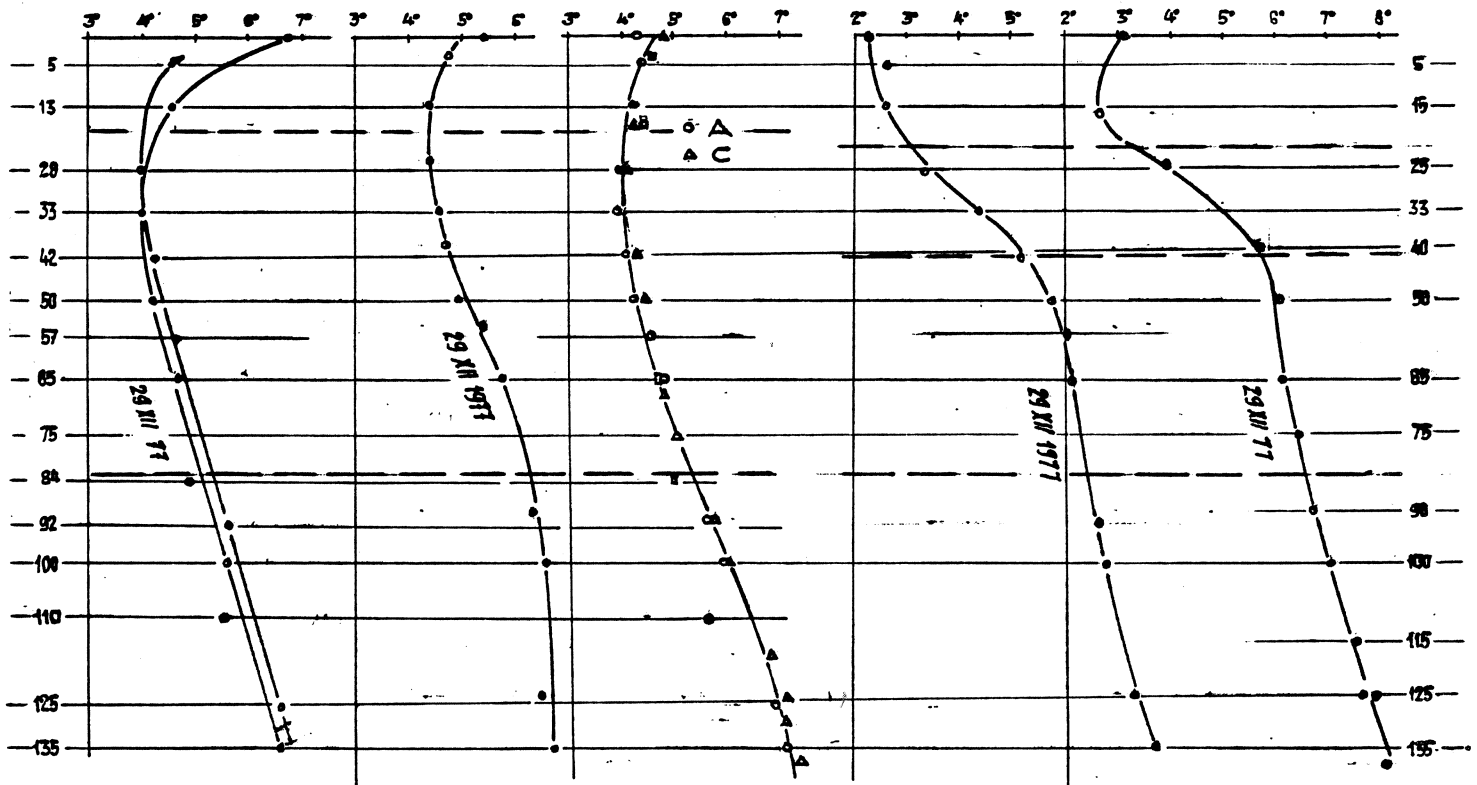
C

A+C

champ de béton de polystyrène

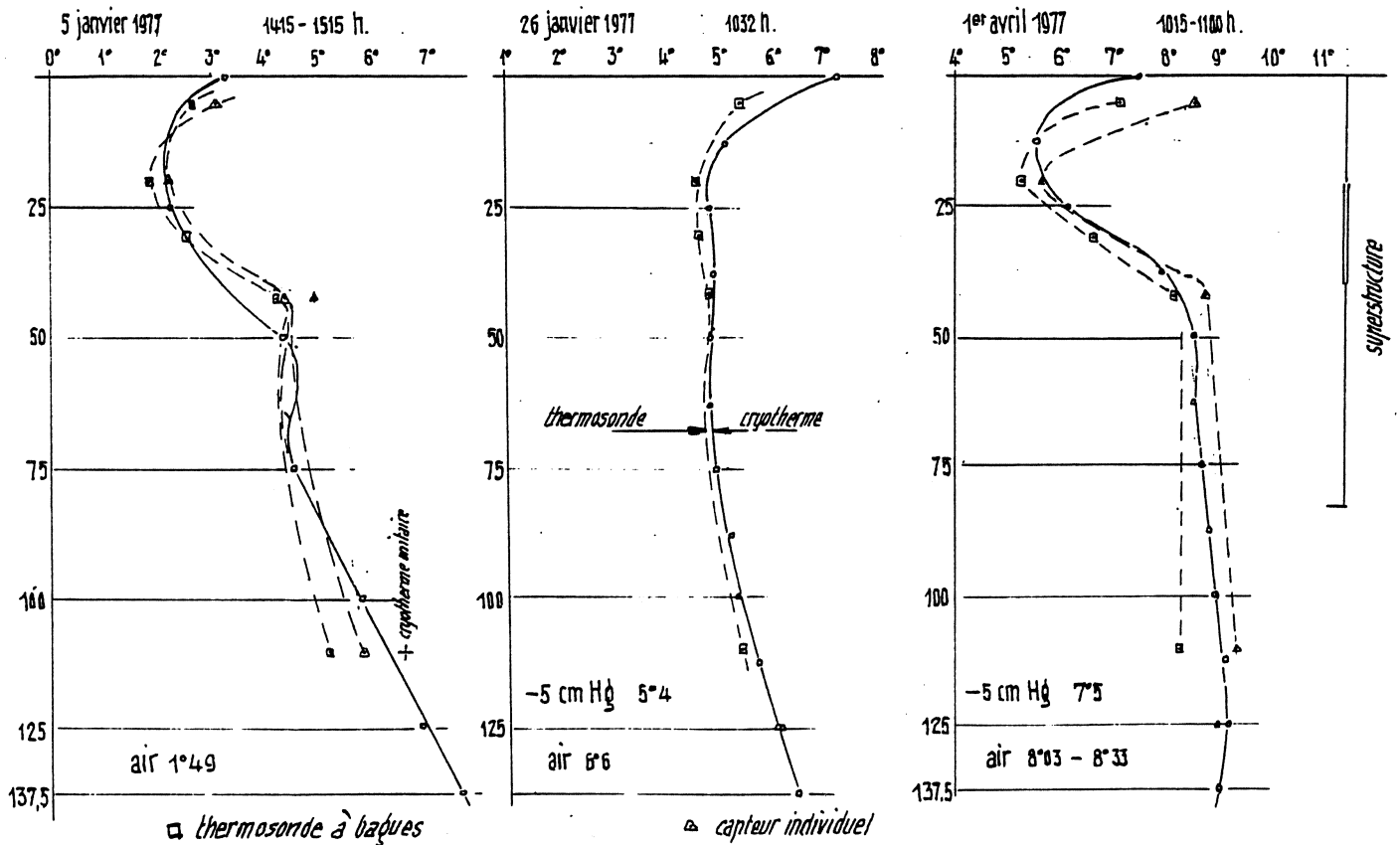
F

D



champ avec béton de polystyrène

RC N° 516

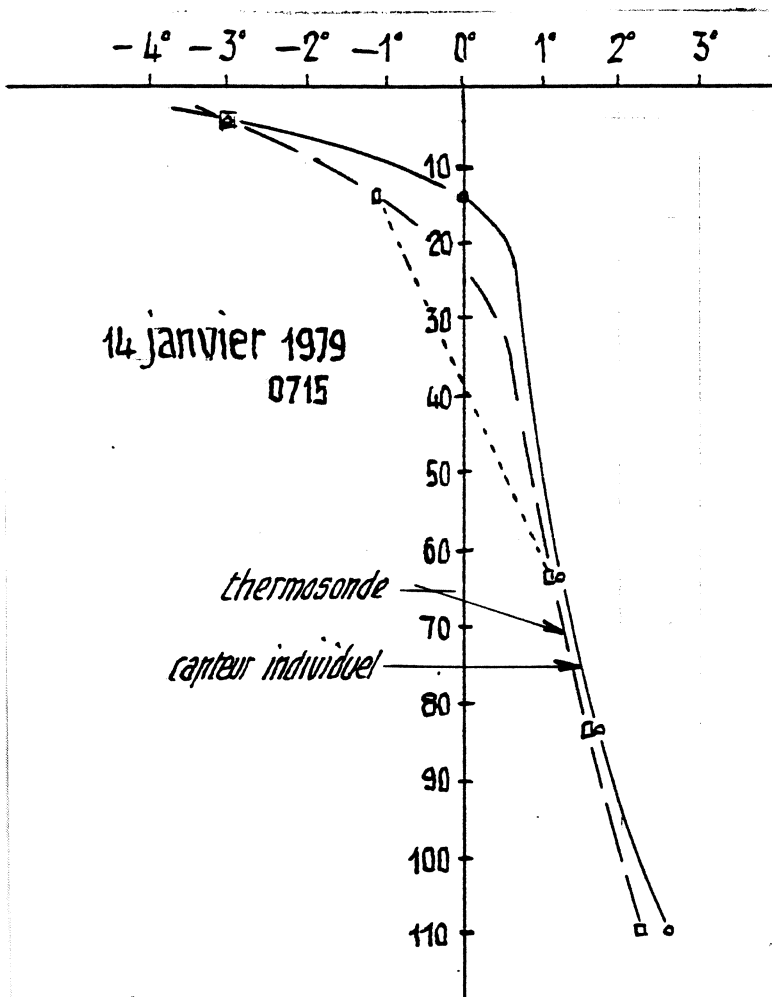


9.-Répartition verticale des températures.

De nombreuses illustrations de répartition verticale des températures figurent aux autres paragraphes de ce rapport (par. 8 par.11). La synthèse de l'examen de toutes ces tautochrones peut sembler-t-il, se concrétiser comme suit

pour obtenir la profondeur exacte d'un point caractéristique, il faut pouvoir tracer la tautochrone avec un nombre assez grand de points (tous les 25 cm) ou dessiner avec précision la courbe liant des points éloignés.

Mais plusieurs cas (extrêmes peut être) de la détermination des points caractéristiques sont apparus délicats. La figure en donne un exemple parmi d'autres (voir aussi la figure page 36)



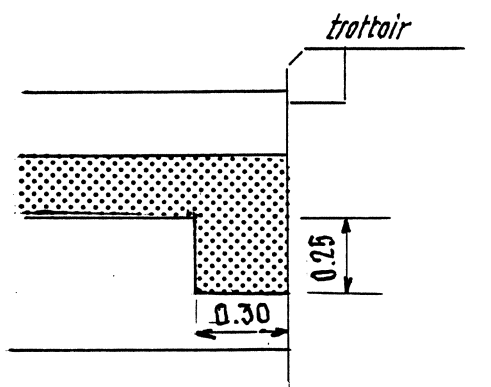
Le 14 janvier 1979 en reliant les points par des droites la profondeur du point 0 °C est de 14 cm ou de 40 cm. Donc, si les points relevés sont joints par des droites ou si le tracé des courbes de répartition est fait sans soins avec un nombre de points insuffisant, l'erreur sur la profondeur du point caractéristique peut être très grande.

La manière dont est tracée une courbe de répartition verticale des températures peut conduire à des imprécisions ou à des erreurs sur la profondeur cherchée.

10.- Répartition transversale des températures.

Dans chacun des deux champs 3 cryomètres ont été mis en place dans un profil en travers de la route (fig. 3). Ils donnaient la possibilité, grâce à l'emploi simultané de 2 cryothermes de mesurer les températures au même moment dans les deux bords de la chaussée. Les mesures au coffret fixe donnaient les températures à l'axe, de telle façon qu'une section complète jusqu'à 1,5 m de profondeur était explorée. Dans le cadre général des études entreprises, il était plus utile de dépouiller en priorité plus complètement les relevés du champ de référence.

Les graphiques des pages 54, 55 et 56 donnent dans leur partie inférieure les tautochrones déterminées à l'aide des cryothermes et des capteurs, puis dans la partie supérieure, l'allure des températures dans un profil en travers lors de trois jours de l'hiver 1977-1978, le 16 décembre et le 29 décembre avec des températures partout positives et le 7 janvier 1978 avec des températures négatives. Ces figures montrent que dans le champ de référence les valeurs sont plus basses à l'axe et qu'elles sont pratiquement



égales sur les bords, même du côté trottoir. Le talon de "béton isolant" (fig. ci-contre) a peut être joué un rôle dans cette égalité des températures.

Remarquons que le 7 janvier 1978 au point 0 °C à l'axe correspondent +0°6 au bord Jura et + 0°55 au bord Alpes.

De toutes façons le point 0 °C reste dans la superstructure.

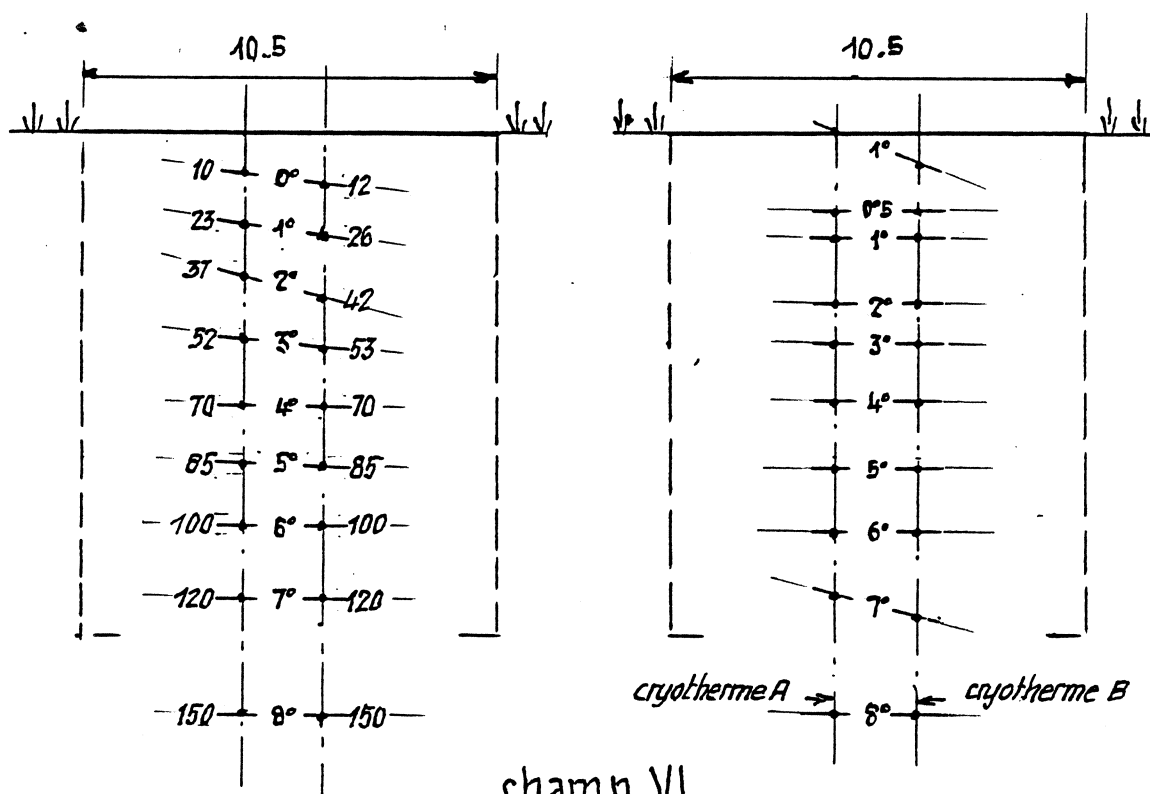
lors d'une campagne de recherches, s'il est installé un seul ensemble vertical de capteurs, il est juste qu'il soit à l'axe de la chaussée.

Dans le champ avec du béton de polystyrène, l'allure des isothermes est différente avec une concentration dans la couche isolante et ensuite des températures plus élevées à l'axe.

Le dessin des tautochrones à l'axe porte deux courbes, celle venant des capteurs individuels (en traits pleins) et celle venant de la thermosonde (en traitillés).

Il serait intéressant que d'autres mesures semblables soient effectuées pour contrôler ou contredire ces constatations.

Mais par contre, des mesures ont été effectuées à la Station aérologique fédérale au même moment avec 2 cryothermes de construction identique. Ces relevés ont été faits dans le champ VI ayant une superstructure composées uniquement de 130 cm de grave, dont la surface est jointive et au niveau des champs environnants. Les isothermes tirées de ces mesures sont dessinées à la figure ci-dessous. Les courbes isothermiques sont horizontales.

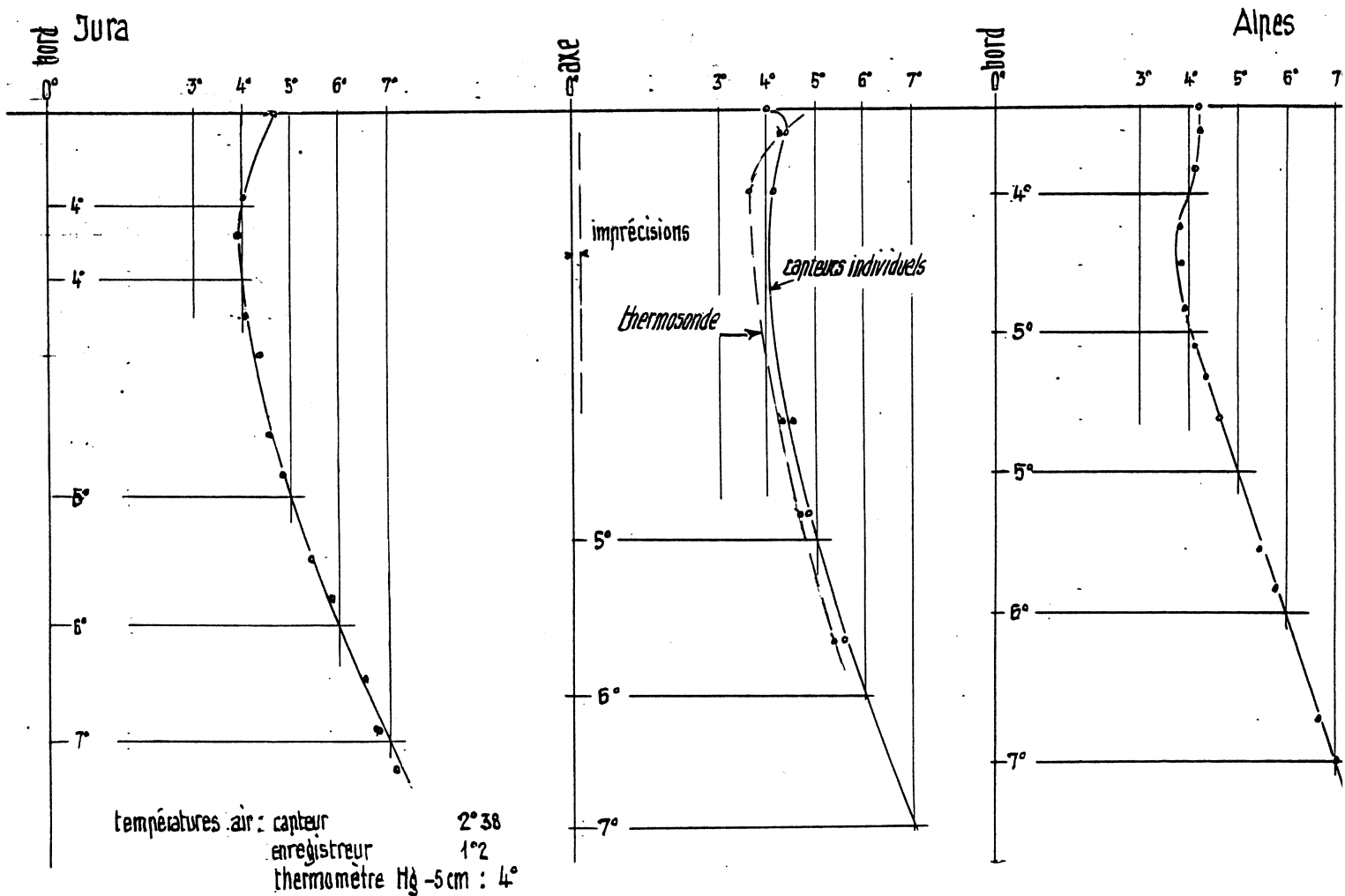
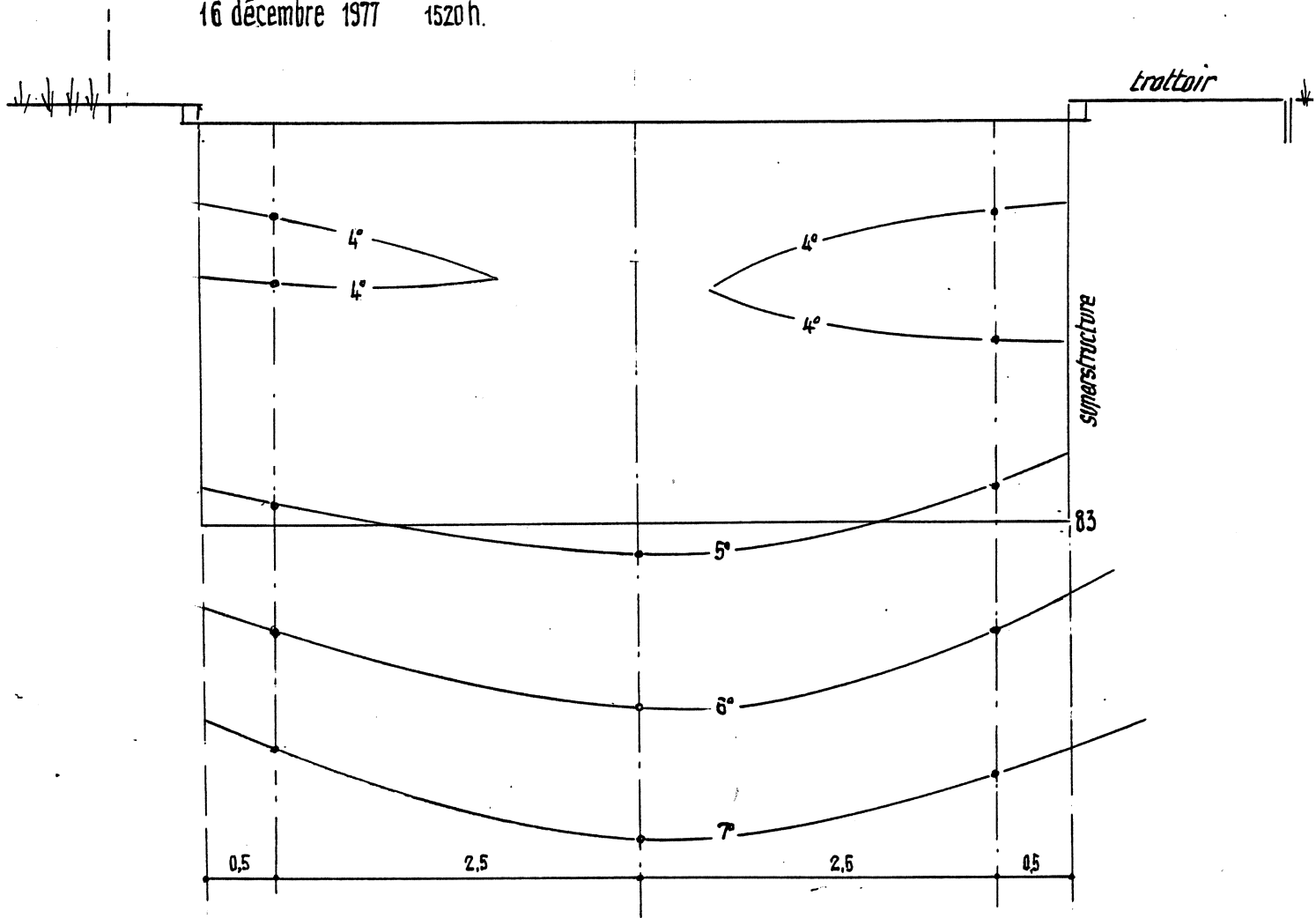


champ VI
Station aérologique

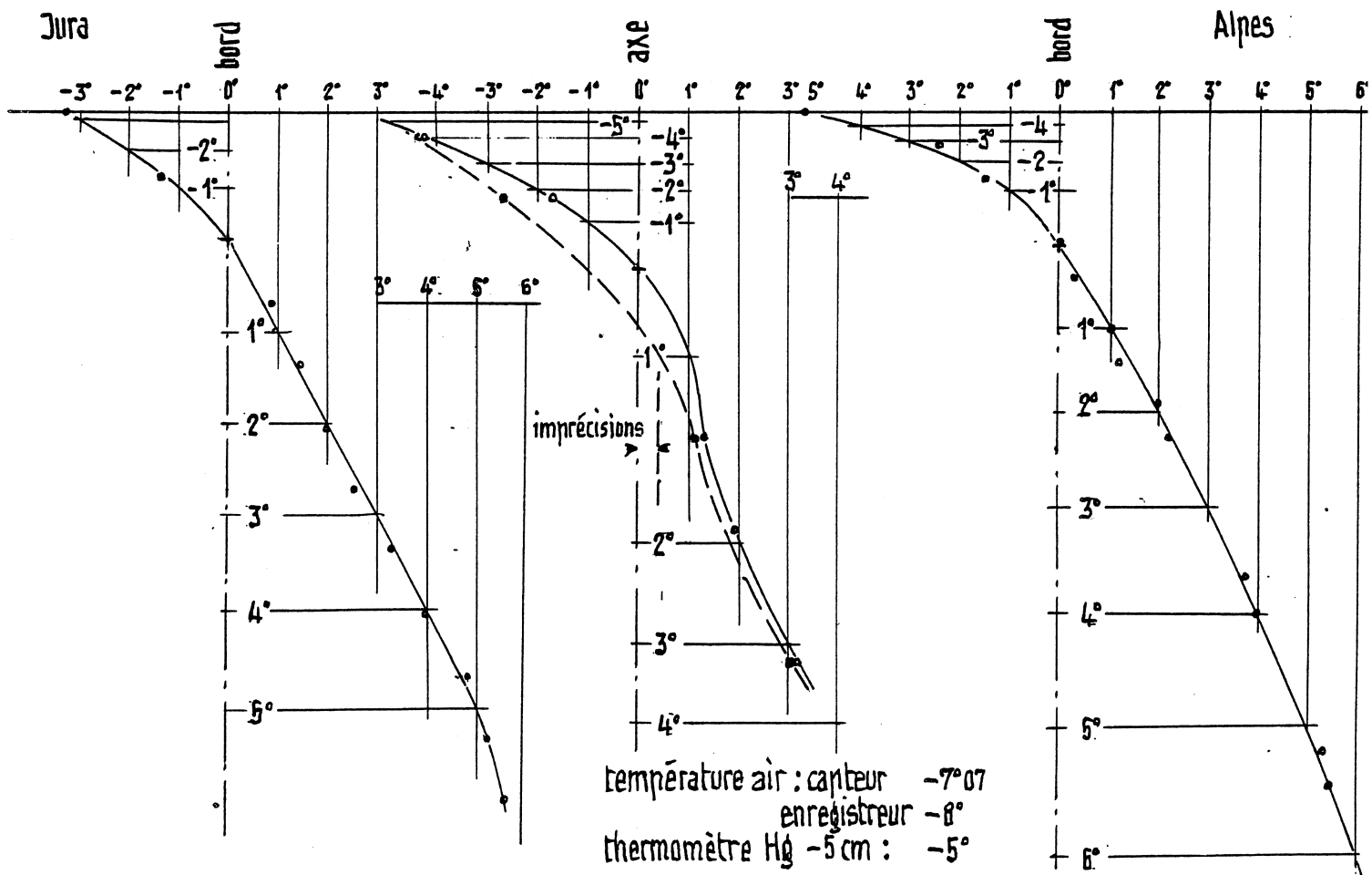
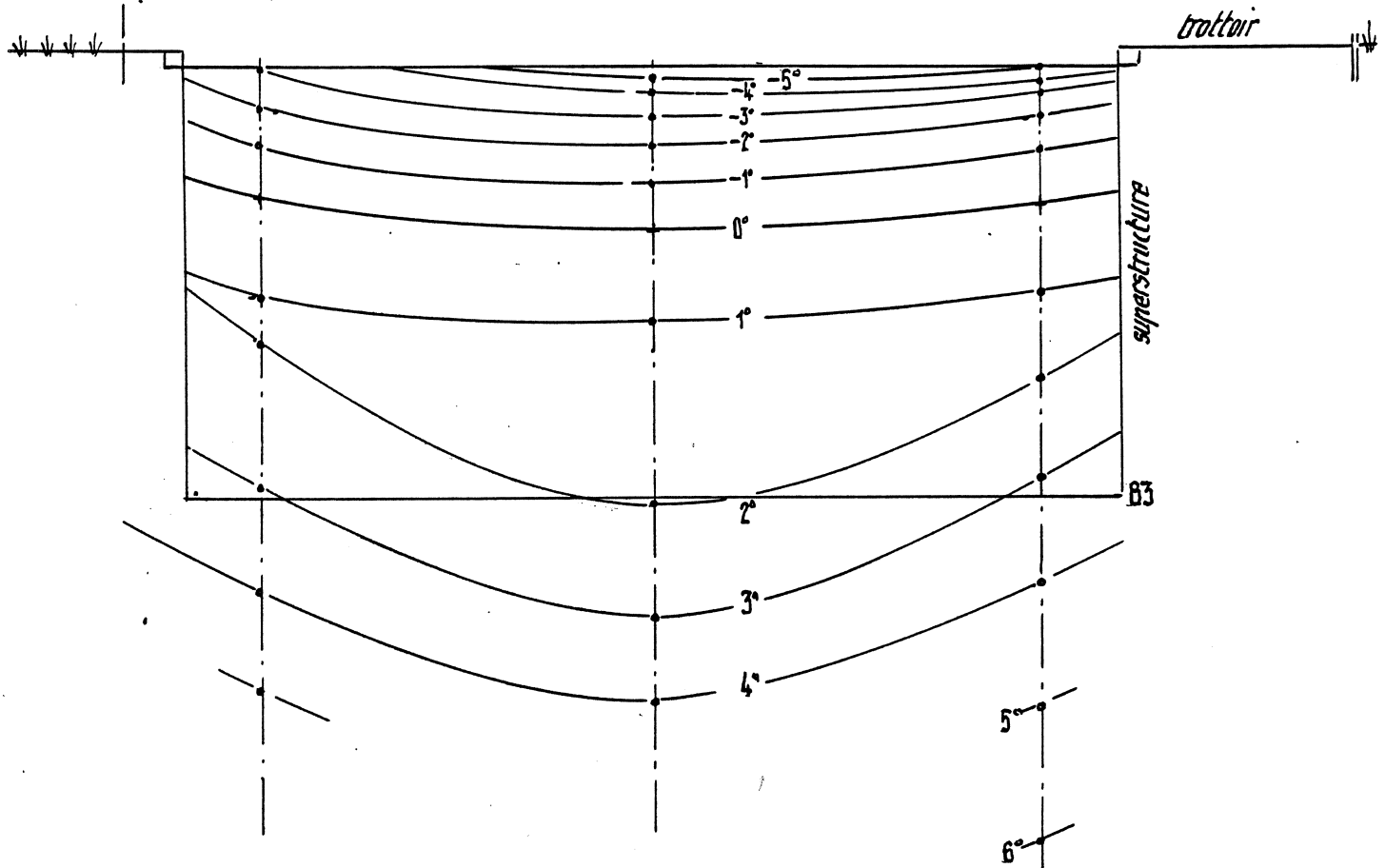
2 XII 1977
0958 heure

2 XII 1977
1132 heure

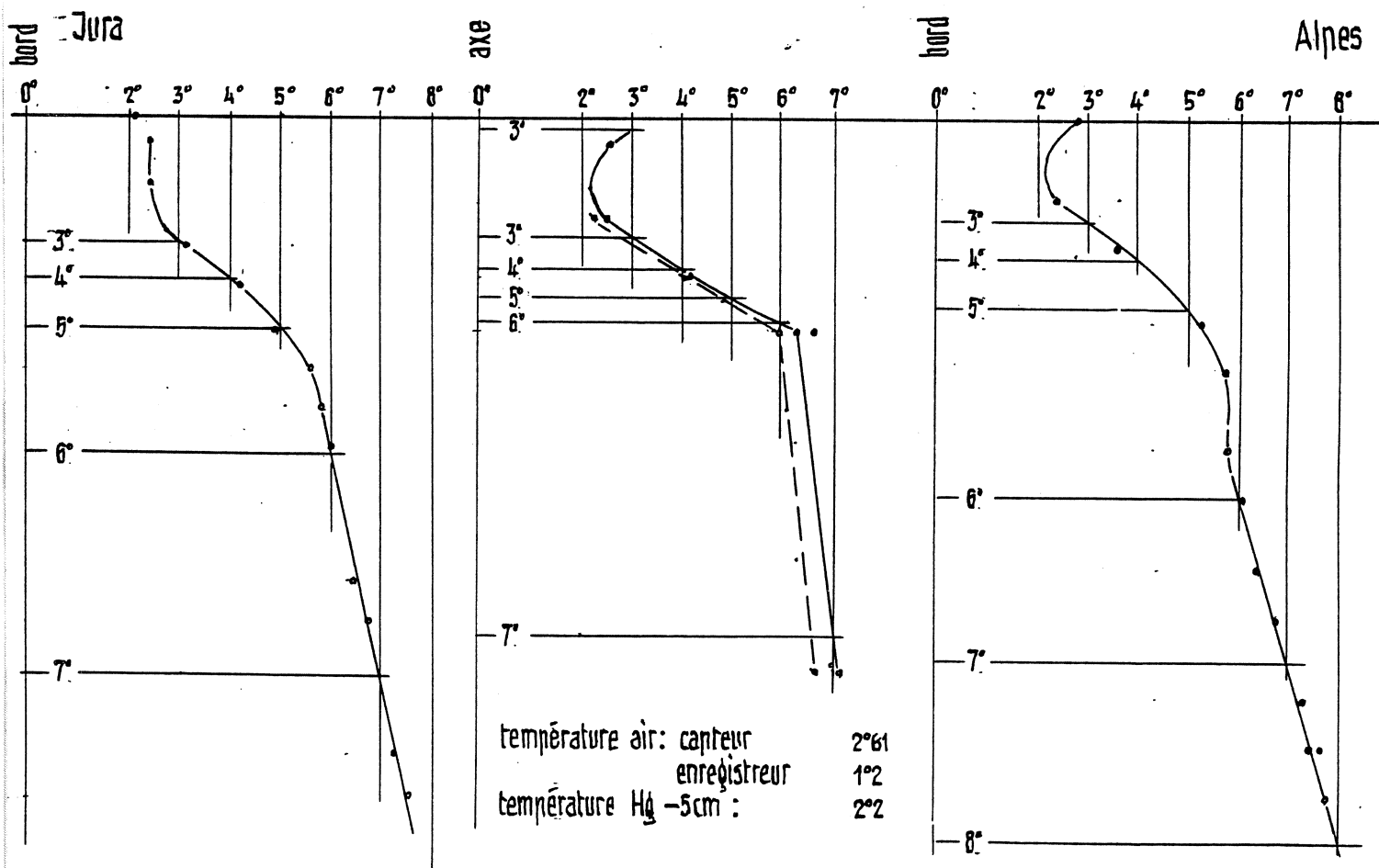
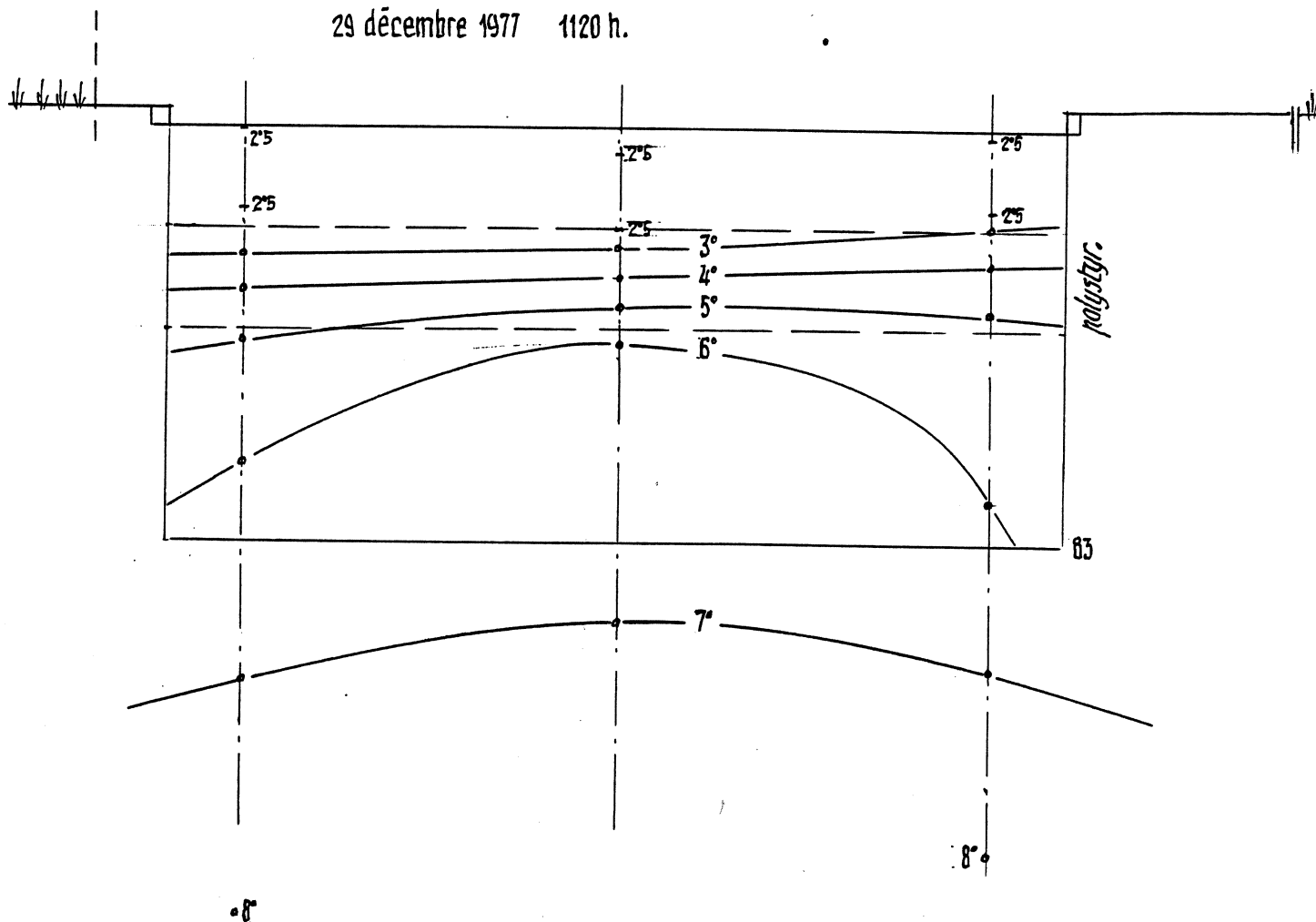
16 décembre 1977 1520 h.



7 janvier 1978 1035h.



29 décembre 1977 1120 h.



11.-Evolutions des points caractéristiques 0 °C et -1 °C.

Un des buts de cette étude était de trouver les profondeurs sous la chaussée des points caractéristiques dont la population permettrait de connaître les nappes isothermiques[2]. Ces points étaient déterminés par l'intersection de la courbe des températures en fonction de la profondeur et la verticale correspondant à la température désirée. Le point 0 °C a évidemment été choisi en premier lieu, puis pour obtenir une similitude avec les profondeurs données par les cryomètres, le point -1 °C (puisque la cristallisation se produit normalement au-dessous de zéro °C).

a. tautochrones

Alors qu'au par. 8 tous les relevés effectués avec les capteurs individuels et les thermosondes ont été représentés, ce qui donnait 4 courbes pour chaque mesure, pour la facilité de la détermination des profondeurs, les graphiques non publiés ne portent que 2 courbes par jour à 0715 et à 1700 heures. Sur la base des constatations faites au par. 8 le choix a été fait d'admettre pour le tronçon de référence, les moyennes des capteurs et des thermosondes et pour le champ avec béton de polystyrène les données de la thermosonde à bagues. Possédant ces courbes, il était facile de déterminer les profondeurs, qui ont été reportées aux par. b et c.

Des déterminations de contrôle menées pour le tronçon de référence en utilisant uniquement les données des capteurs individuels ont montré des profondeurs légèrement plus faibles.

b. en fonction du calendrier.

Sur les deux graphiques des pages 60 et 61 figurent les profondeurs des points 0 °C et -1 °C reportés deux fois par jour: au milieu de celui-ci (12 h) celles déterminées aux relevés de 1700 heures et au milieu de la nuit (24 h) celles venant des relevés de 0715 heures.

Une première confirmation valable pour les deux champs est que

les points 0 °C n'ont pas atteint le terrain, même durant l'hiver le plus froid au cours de ces recherches.

Les surfaces comprises entre les isothermes 0 °C et -1 °C donnent les profondeurs où la formation et le développement des lentilles de glace ne sont pas certaines. Les conditions ponctuelles régnant dans ces zones seront décisives pour le déclenchement ou non de ces phénomènes. A l'intérieur de cette tranche de glaciation aléatoire, où les lentilles peuvent-elles se former? Probablement à des niveaux différents, selon les "microconditions" du milieu. En rappelant que les mesures effectuées dans de nombreux autres tronçons avec les cryomètres ont montré que les nappes isothermiques étaient fluctuantes et pas nécessairement parallèles à la surface de roulement (voir aussi par. 10).

b1. champ de référence. - Les profondeurs, que ce soit celles du point 0 °C ou du point -1 °C varient beaucoup en 24 heures (pour ces tronçons de recherches en tous cas). Entre la profondeur du point 0 °C et celle du point -1 °C il y a des différences pouvant s'élever à 70 cm, mais en moyenne les profondeurs du point -1 °C approchent la moitié de celles du 0 °C.

b2. champ avec béton de polystyrène. - Le graphique montre clairement que, même pendant l'hiver le plus froid, le point 0 °C est resté dans le "béton isolant", sans jamais pénétrer dans la fondation. Le rôle isolant de ce matériau est ainsi démontré, surtout si une comparaison est faite avec le champ de référence.

c. en fonction des températures négatives.

Les figures des pages 62 à 66 donnent les profondeurs des points 0 °C et -1 °C en corrélation avec les températures du plein air et celles de la couche d'usure (-5 cm), mesurées à l'instant précis (0715 ou 1700 h.) du relevé. Ces dessins présentent deux parties,

la moitié, supérieure avec les températures moyennes diurnes $\frac{1}{2}(0715+1700)$ et l'inférieure avec les températures moyennes nocturnes $\frac{1}{2}(1700 \text{ du jour précédent}+0715)$.

Il serait permis d'imaginer que les profondeurs croitraient proportionnellement à l'abaissement des températures négatives. Les graphiques semblent montrer que ce n'est pas le cas, même s'il est possible de distinguer une tendance à des profondeurs plus grandes avec des températures plus basses. De toute manière, les points sont répartis sans aucune règle dans toute l'épaisseur de la superstructure, que la référence soit la température moyenne du plein air ou celle de la couche d'usure.

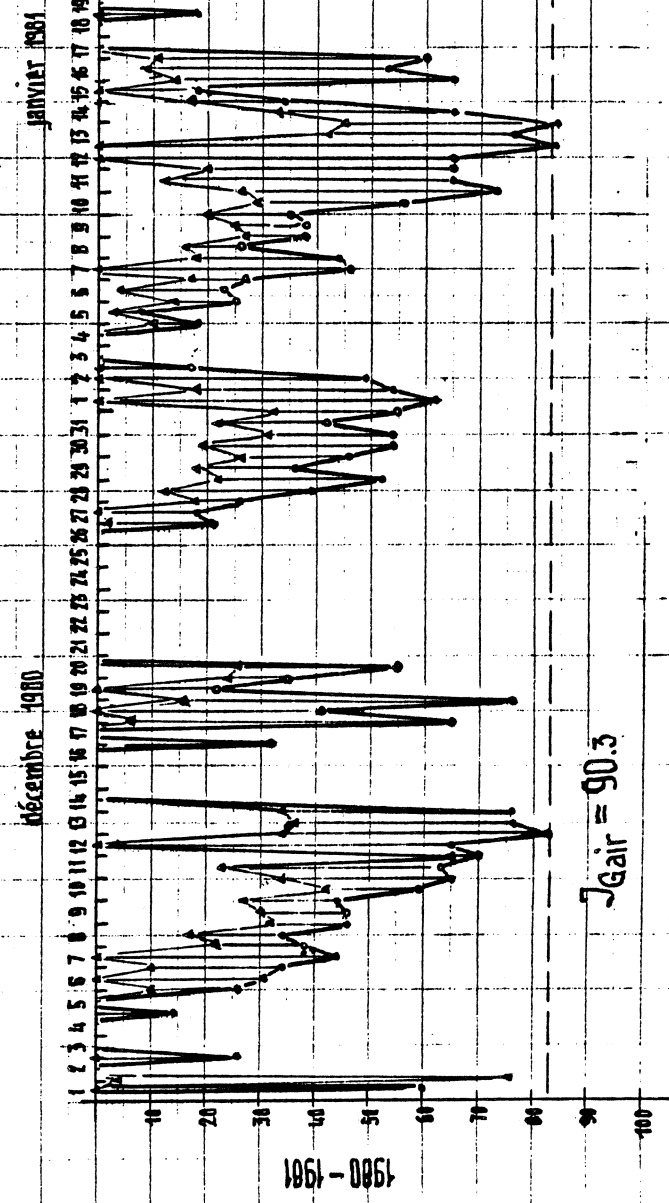
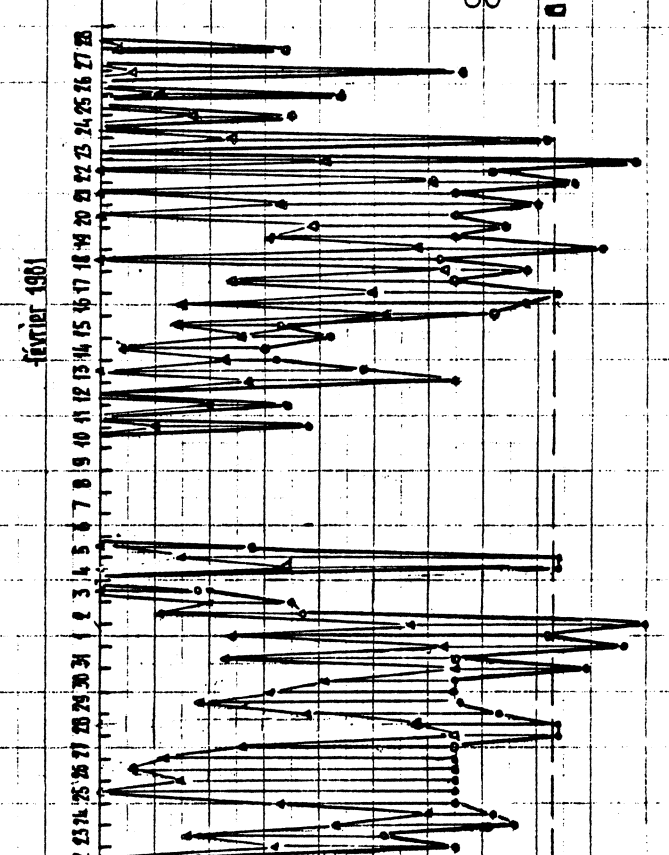
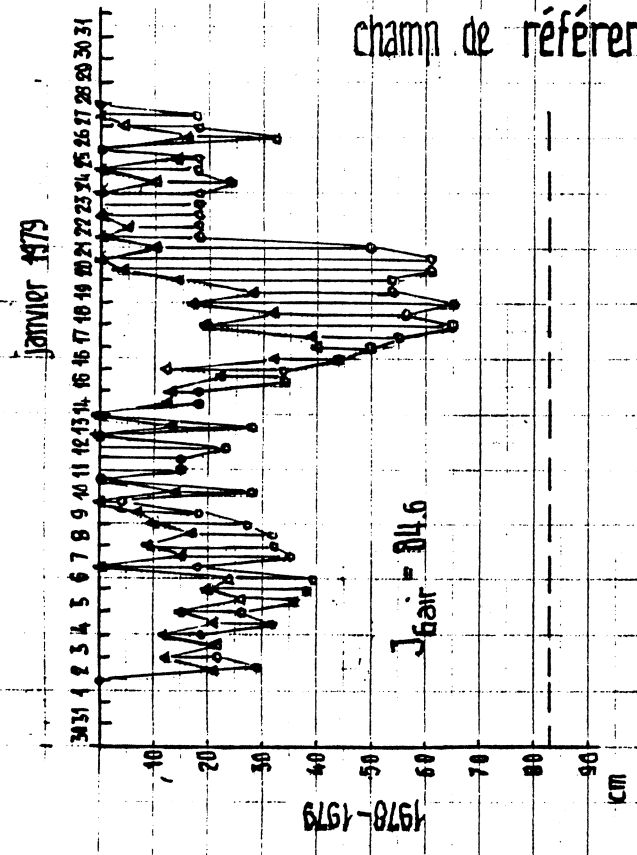
Cette représentation n'est peut-être pas très frappante, surtout parce que les profondeurs données sont celles existant au moment de la mesure de la température du plein air ou de la couche d'usure. Il n'est pas tenu compte du décalage dû au temps nécessaire à la pénétration du froid en profondeur. Bien qu'il y aie rattrapage, il semble cependant

il n'y a pas nécessairement augmentation proportionnelle des profondeurs des points caractéristiques avec l'abaissement des températures négatives de l'air ou de la couche d'usure.

Cependant l'impression est que les résultats obtenus avec les températures de la couche d'usure sont plus cohérents qu'en se basant sur celles de l'air.

Dans le champ de "béton isolant" l'effet de la couche isolante est nettement perceptible.

champ de référence



RC N° 516 Payerne

champ avec béton de polystyrène

Profondeurs des points

• 0°C ▲ -1°C

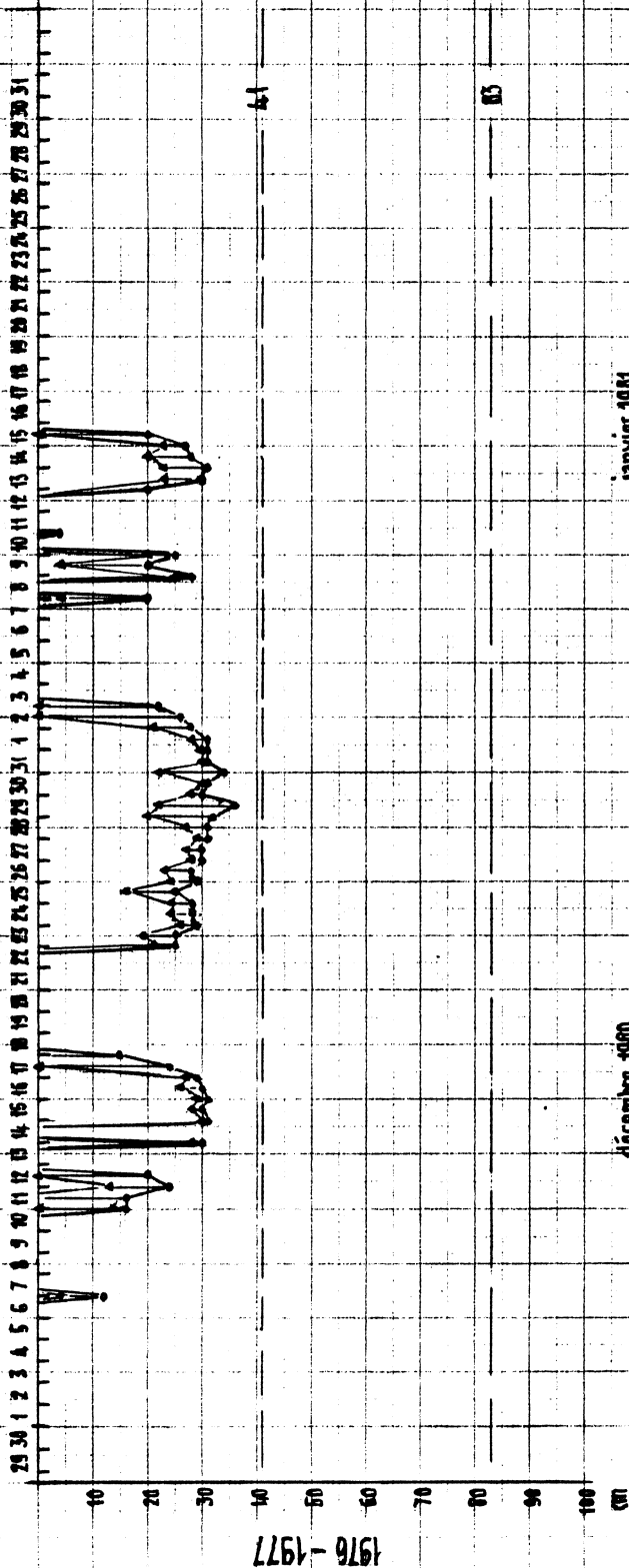
à l'axe du champ

— 0°C

— -1°C

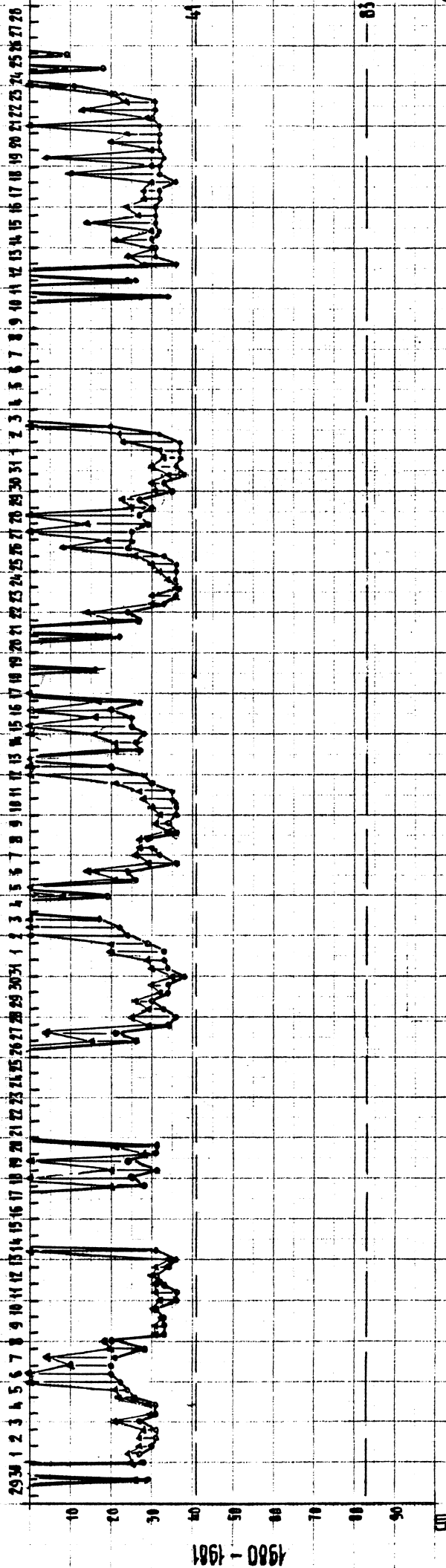
janvier 1977

décembre 1976



janvier 1981

décembre 1980



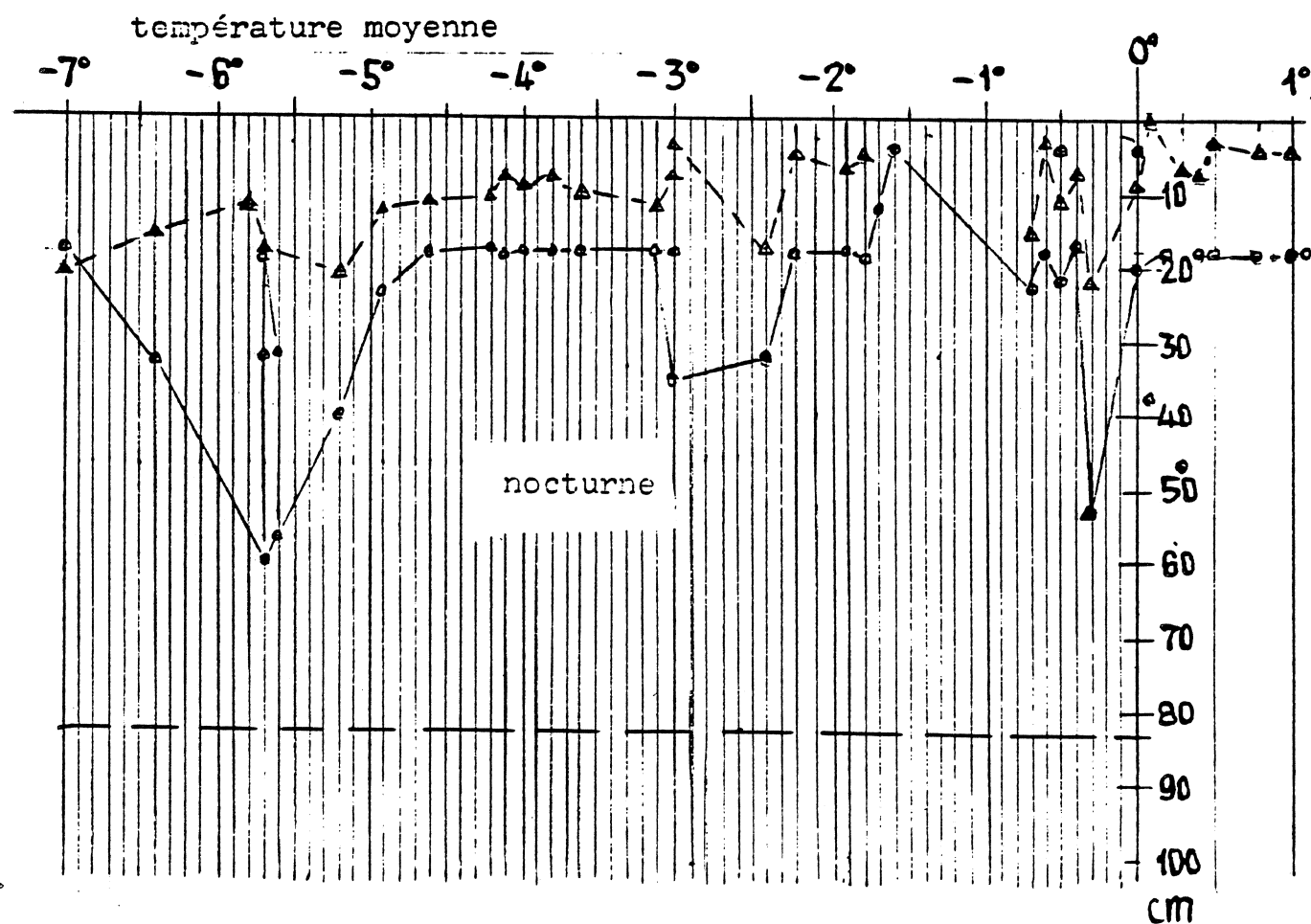
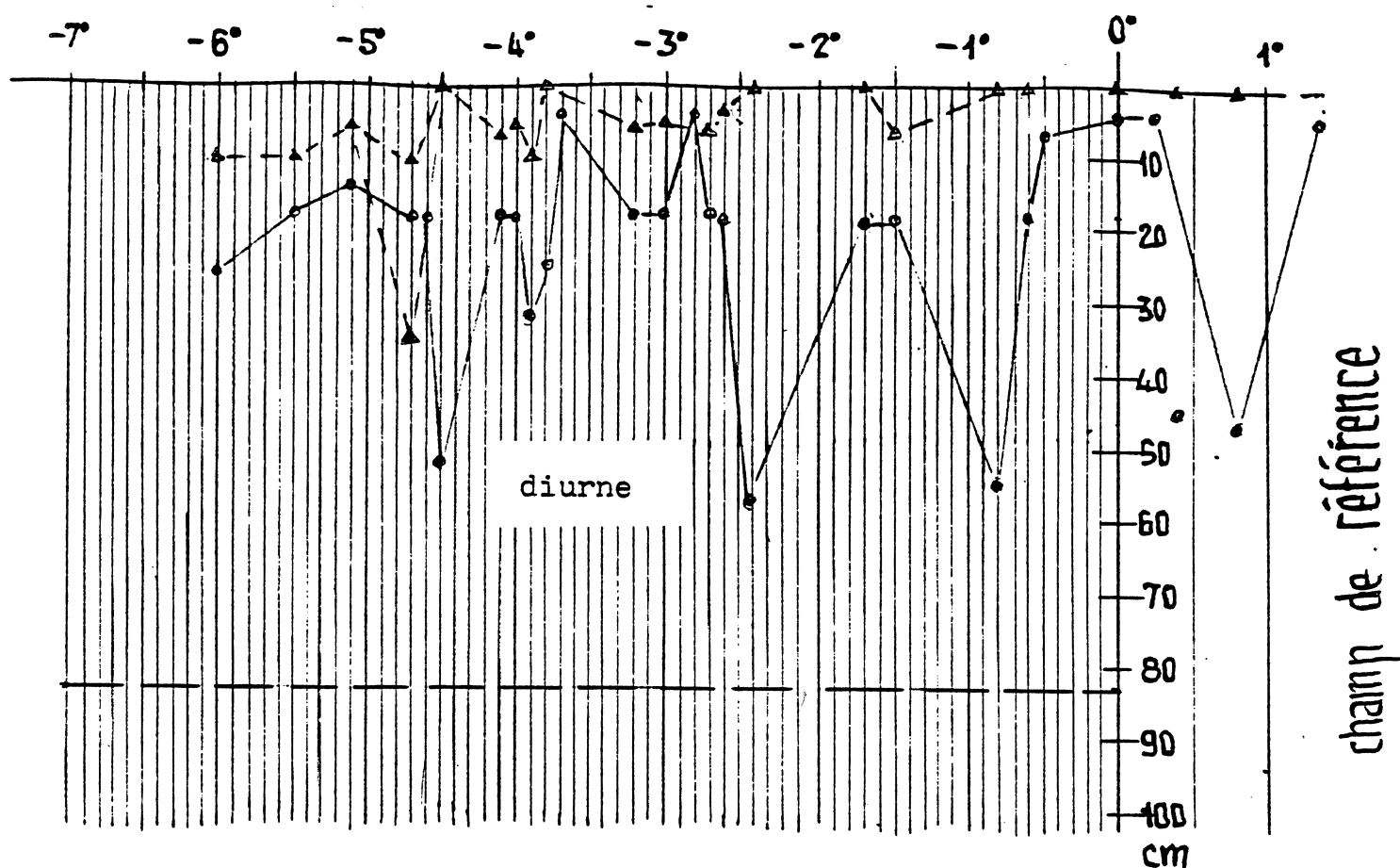
PROFONDEUR DES POINTS 0 °C ET -1°C

RC No 516

en fonction de la température moyenne de

PLEIN AIR

décembre 1976 janvier 1977

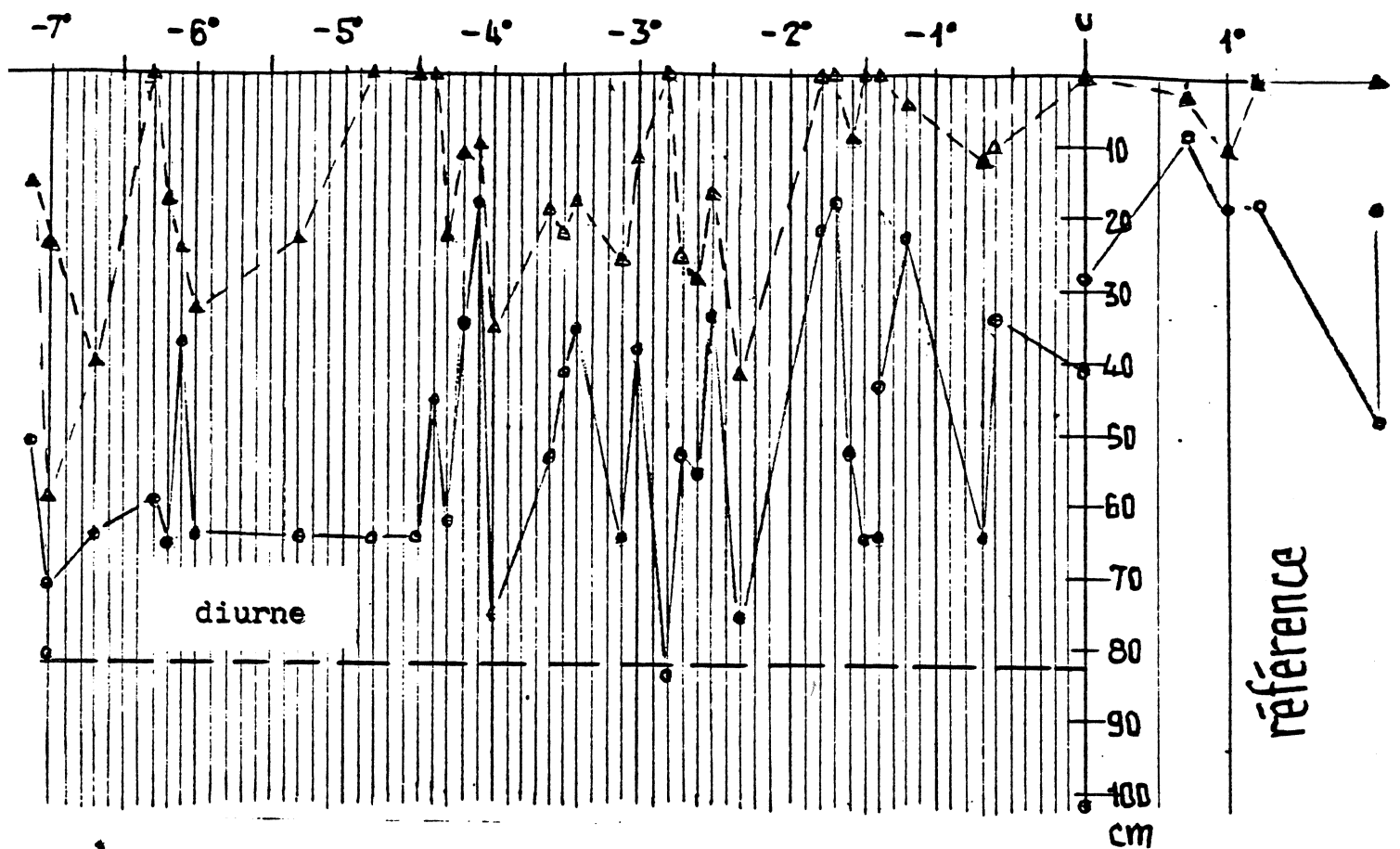


○ 0°C △ -1°C

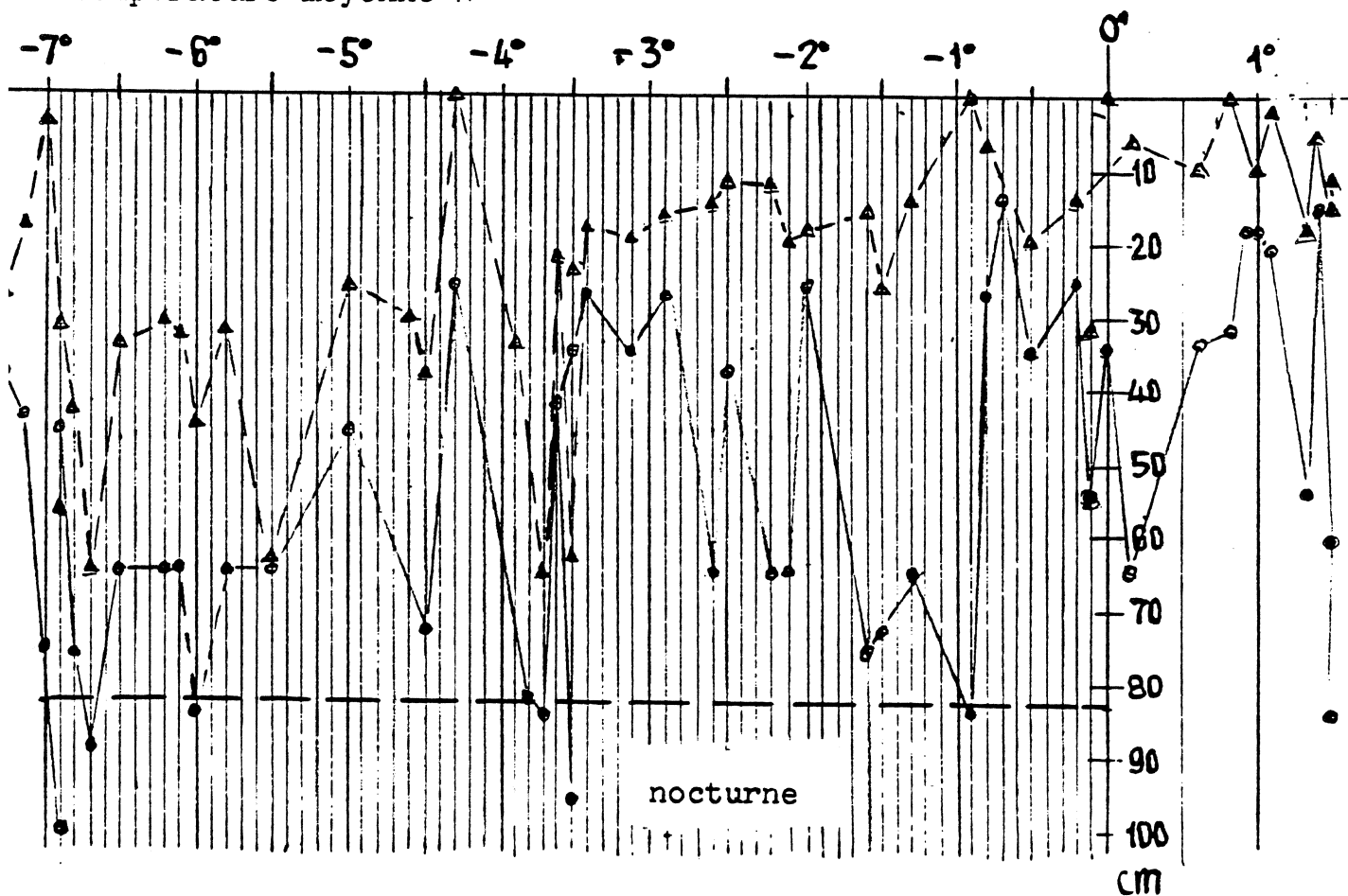
en fonction de la température moyenne de

PLEIN AIR

décembre 1980 janvier février 1981



température moyenne



• 0°C

Δ -1°C

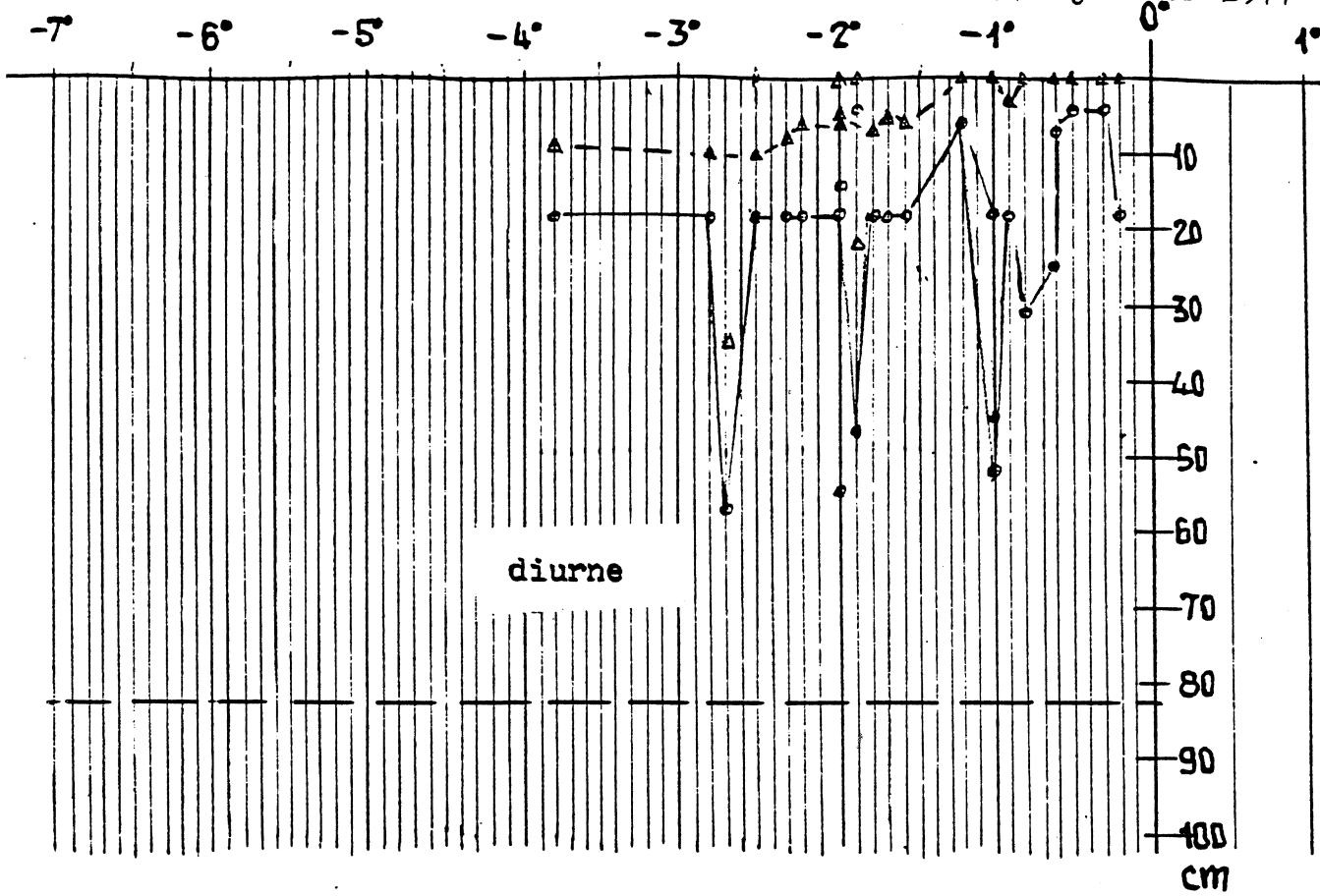
PROFONDEUR DES POINTS 0 °C et -1 °C

RC No 516

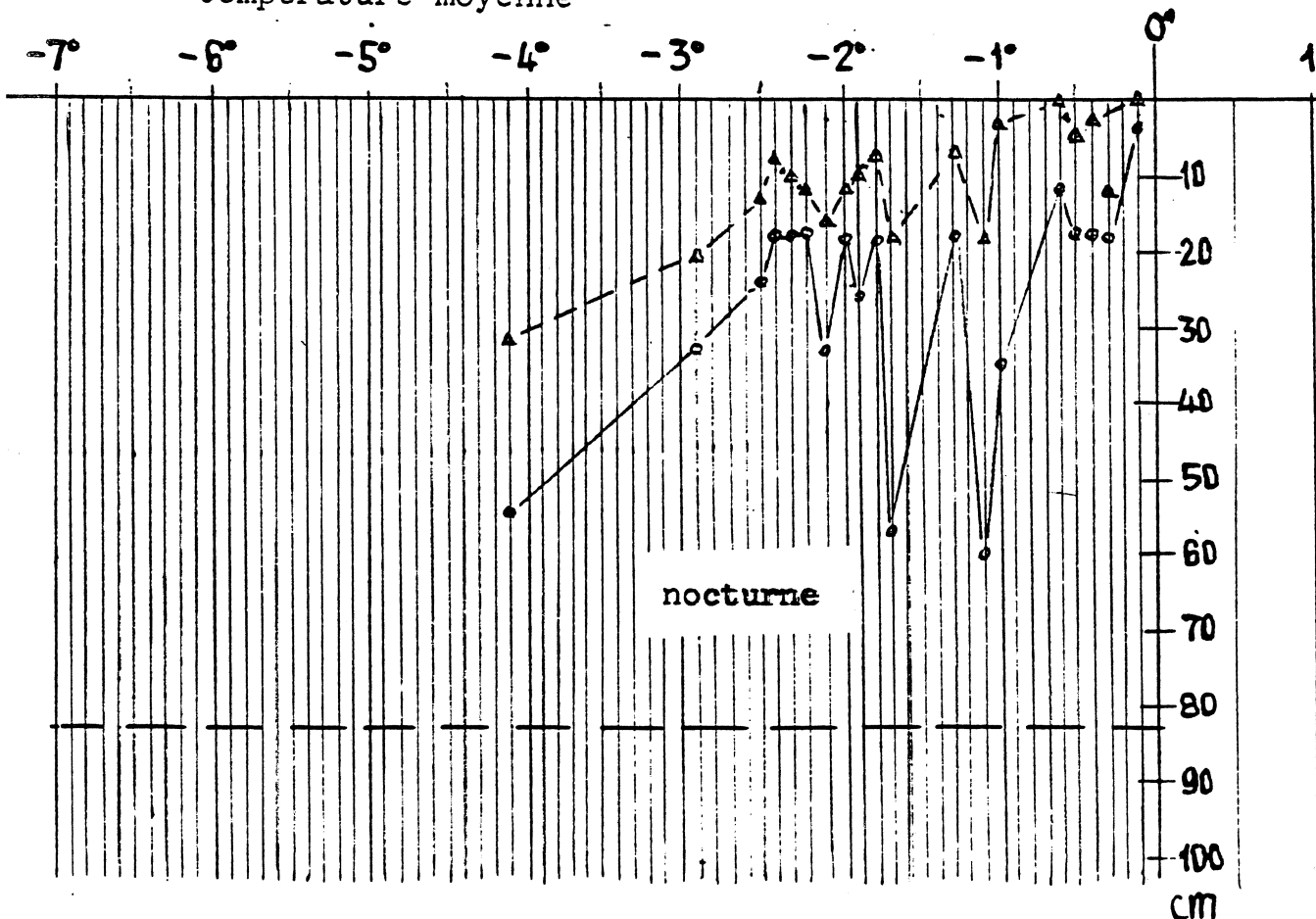
en fonction de la température moyenne de la

COUCHE D'USURE

décembre 1976 janvier 1977



température moyenne



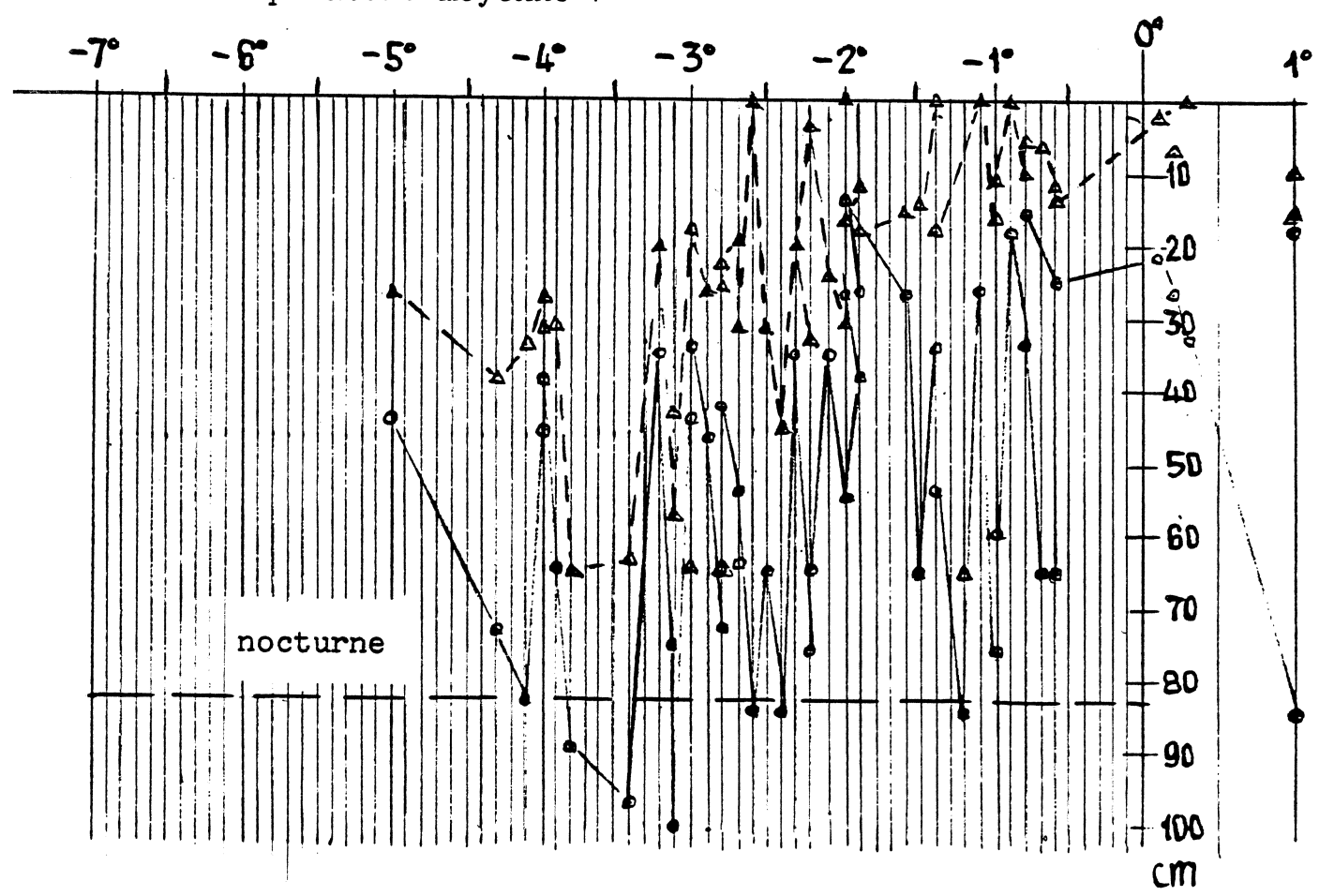
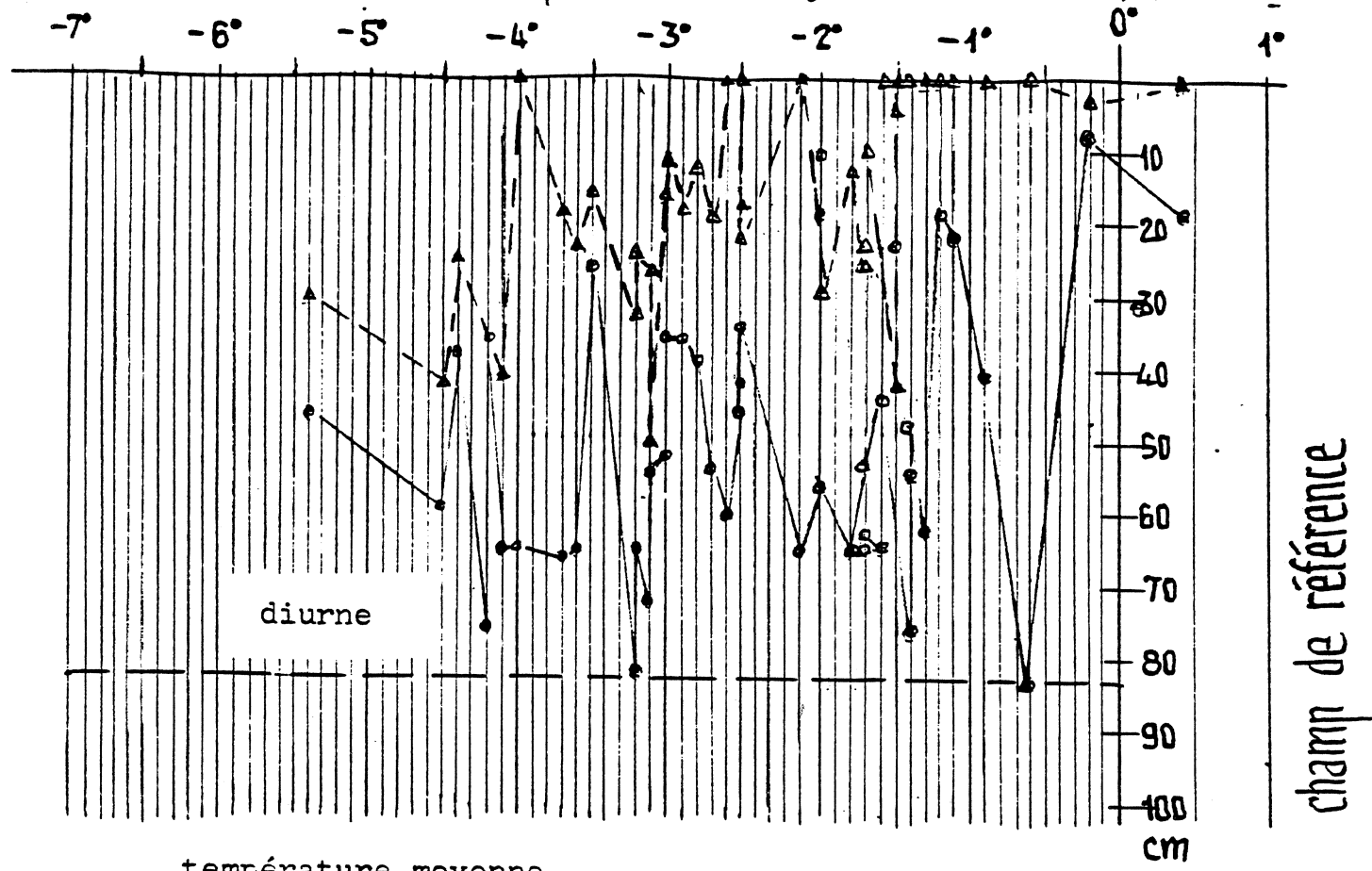
○ 0 °C

△ -1 °C

en fonction de la température moyenne de la

COUCHE D'USURE

décembre 1980 janvier février 1981



○ 0°C △ -1°C

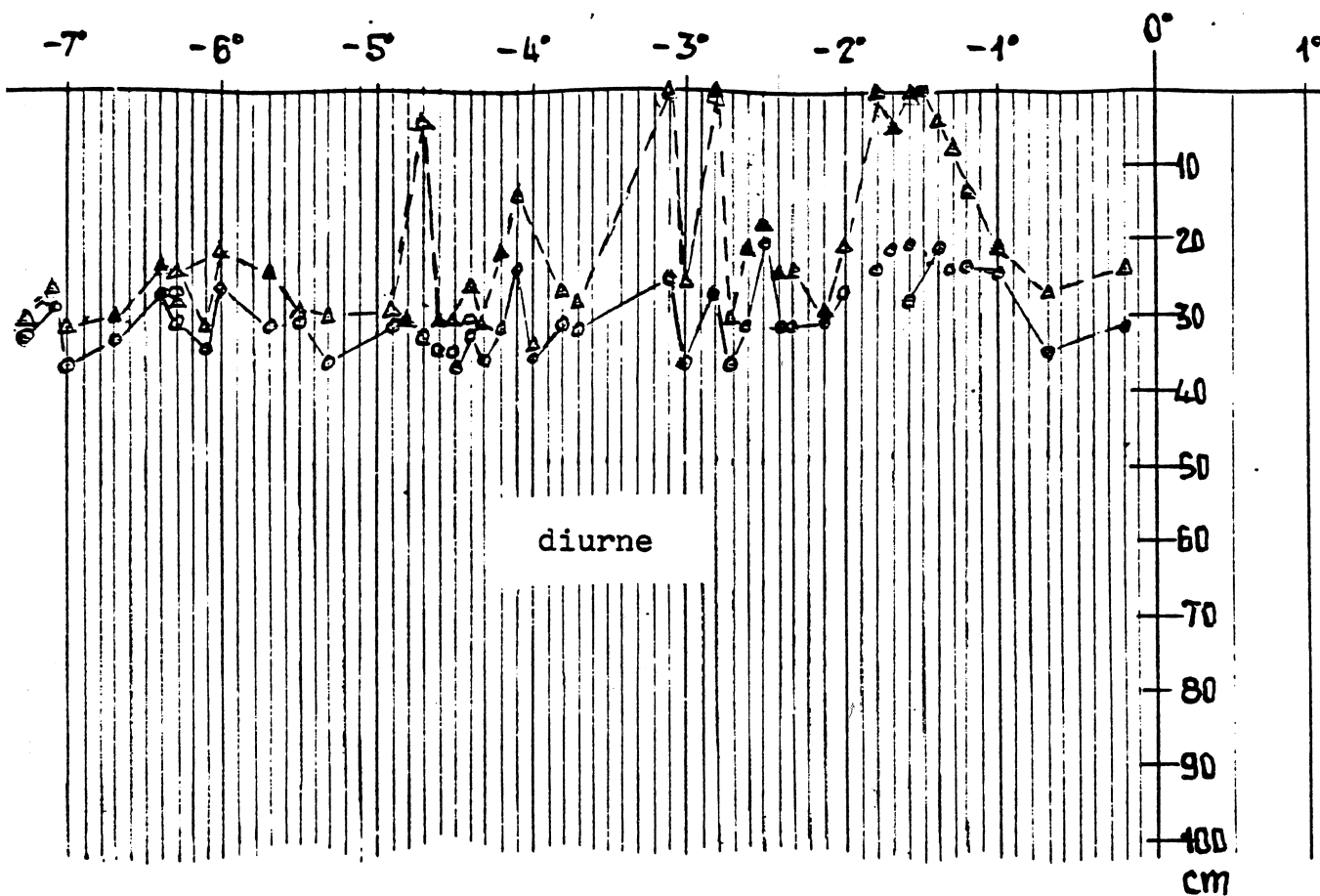
PROFONDEUR DES POINTS 0 °C et -1 °C

RC No 516

en fonction de la température moyenne de

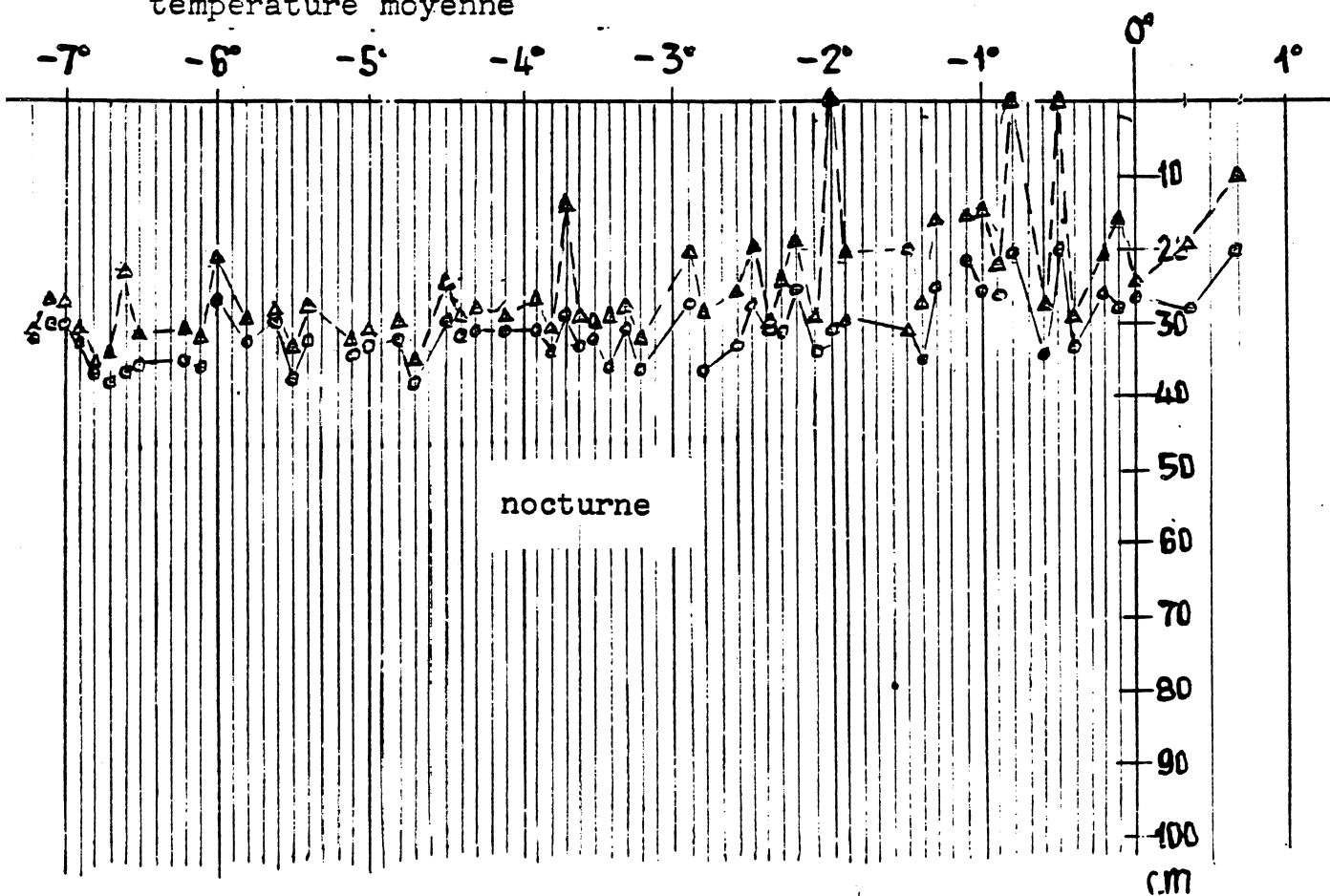
PLEIN AIR

décembre 1980 janvier février 1981



champ avec béton de polystyrène

température moyenne



○ 0°C

△ -1°C

12.-Vitesse des évolutions en profondeur.

Les tautochrones à 0715 et 1700 heures permettent donc de connaître la profondeur, en particulier, des points 0 °C et -1 °C, ce qui permet de déterminer les mouvements de ces points pendant la nuit(0715) et pendant le jour(1700 h.). Dans certaines situations, ces profondeurs sont constantes, mais il est possible d'évaluer les déplacements les plus grands. Ils se sont révélés en février 1981 comme le montre le graphique de la page 69 et le tableau de la page 48 . Le maximum est atteint les 22, 23 et 24 février 1981, qui donne

descend de 6,5 cm/h		+2° et -2°1
le point 0 °C	l'air variant entre	
remonte de 10 cm/h		-5°2 et +2°

Mouvements freinés à la descente, mais accélérés à la montée par le flux thermique du terrain.

Lorsque les variations du zéro °C sont si rapides, il est peu vraisemblable que pendant ce court laps de temps des lentilles aient pu se former et surtout croître. Ces indications sont valables pour des mouvements dans la superstructure. Dans le terrain les variations sont probablement différentes.

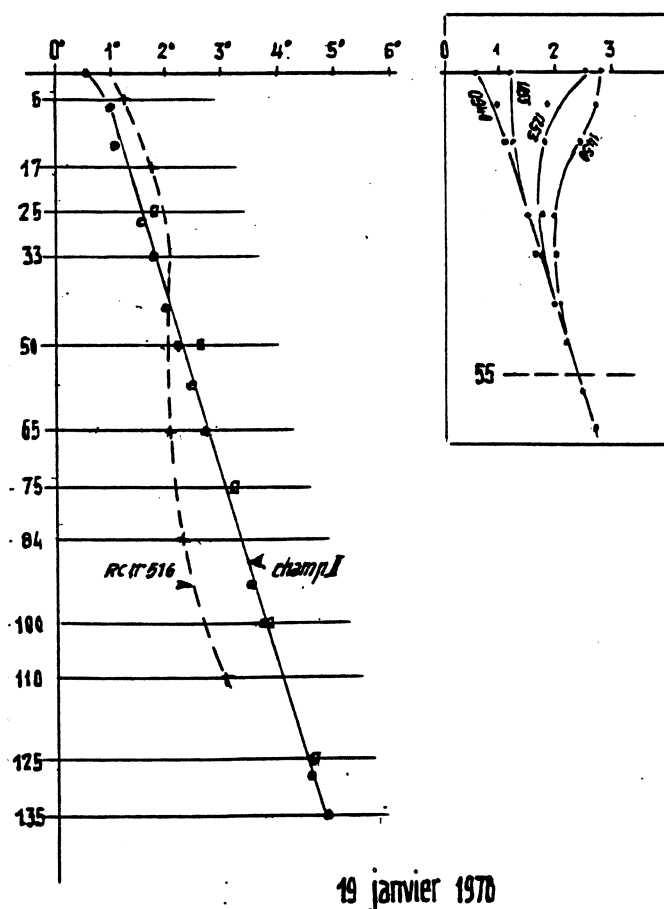
13.-Températures à 55 cm et profondeur des points.

Un examen de toutes les tautochrones dessinées fait ressortir qu'au-dessous de 55 cm environ les courbes ont tendance à se recouvrir. La figure de la page 68 donnant les mesures effectuées au cours d'une journée montre que les températures sont très variables au-dessus de 55 cm.

Répétant une procédure déjà mise en pratique dans une étude à Davos[6] visant à déterminer les températures négatives à 55 cm sous la surface et les profondeurs correspondantes, il est possible d'établir un graphique donnant les profondeurs des points 0 °C et -1 °C en fonction des températures à 55 cm. Les lignes obtenues délimitent des tranches de chaussée à propriétés bien spécifiques.

Ici les températures à 55 cm étaient négatives aux périodes suivantes: 10 décembre 1980-13 décembre 1980, 11 janvier 1981-14 janvier 1981, 23 janvier 1981-3 février 1981, 15 février 1981-24 février 1981 et de plus elles étaient très proches de zéro, comme le montre la liste suivante:

0°0	1	-0°2	11
0°1	2	-0°3	9
0°2	0	-0°4	4
0°3	1	-0°5	4
0°4	0	-0°6	6
0°5	1	-0°7	1
0°6	0	-0°8	2
0°7	0	-0°9	1
0°8	1	-1°0	2
0°9	0	-1°1	1
1°0	1	-1°2	3

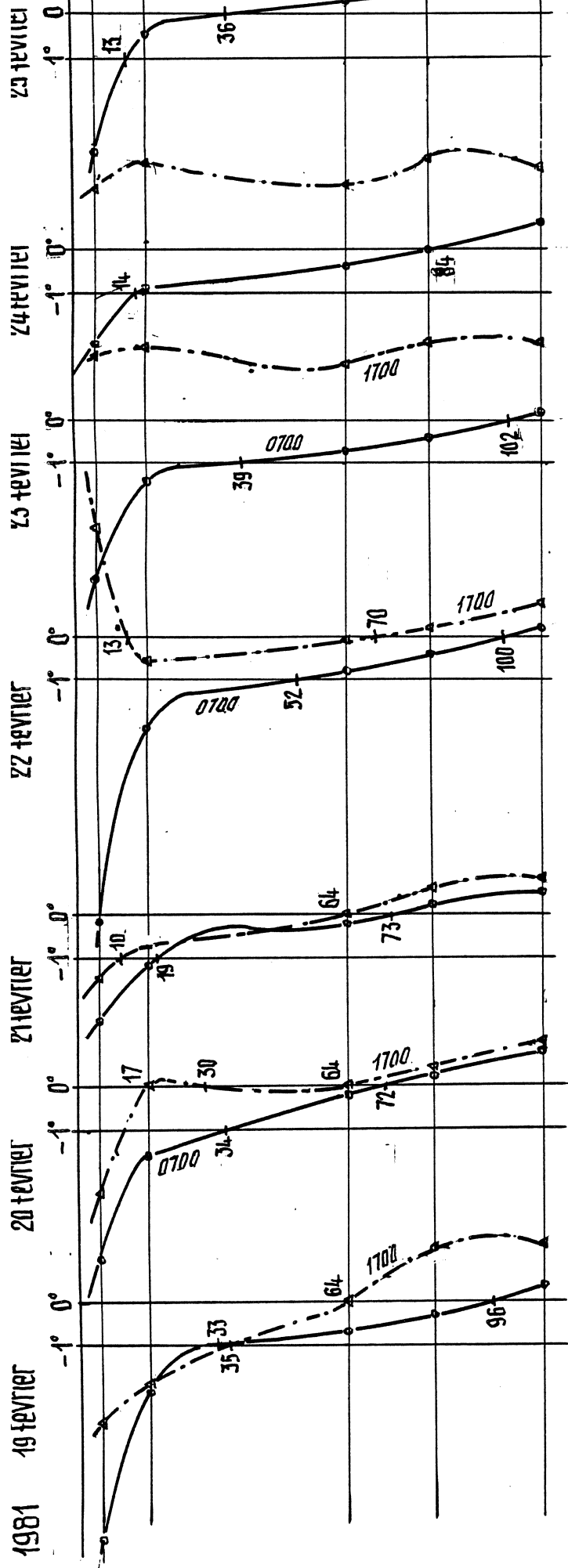


Donc toutes ces valeurs sont concentrées entre -0°2 et -0°6. Ces résultats permettent de préciser le graphique établi avec les résultats de l'étude de Davos et qui est répété à la page 80 avec une proposition de correction des courbes obtenues alors.

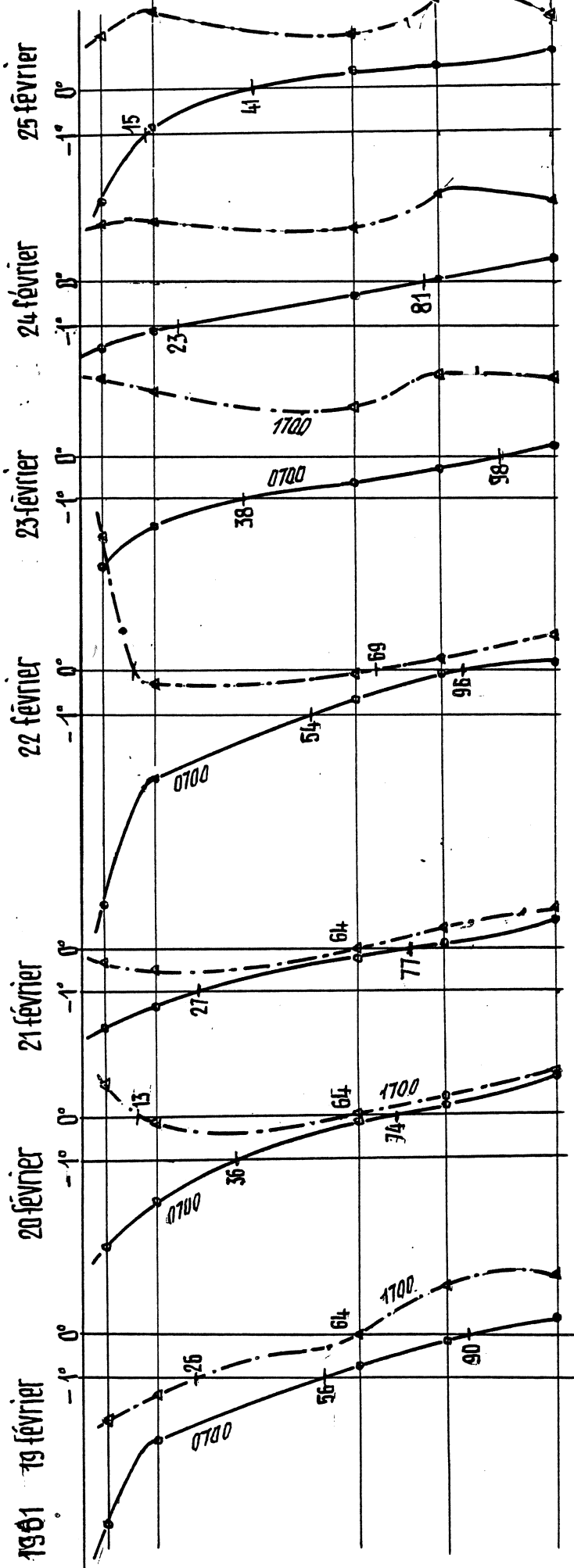
En comparant les figures donnant les profondeurs en fonction de la température du plein air ou de la couche d'usure et celles donnant ces profondeurs en fonction des températures à 55 cm, il est remarquable que dans les deux premiers cas il y a dispersion complète, alors que dans la figure de ce paragraphe les points sont très régulièrement alignés

les températures à 55 cm de profondeur sous la chaussée sont prépondérantes pour établir la profondeur des points caractéristiques.

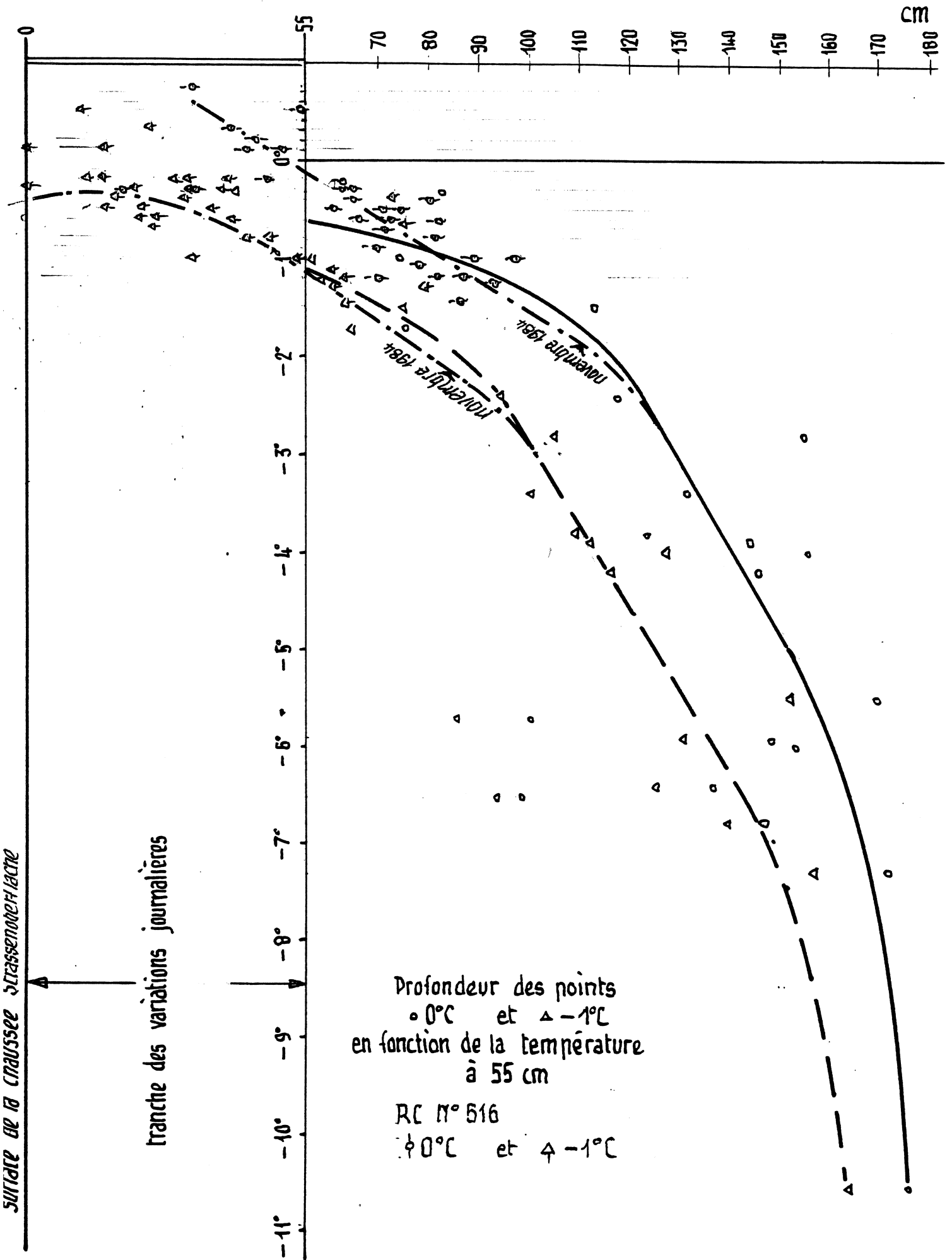
capteurs individuels



capteurs indiv. + thermosonde



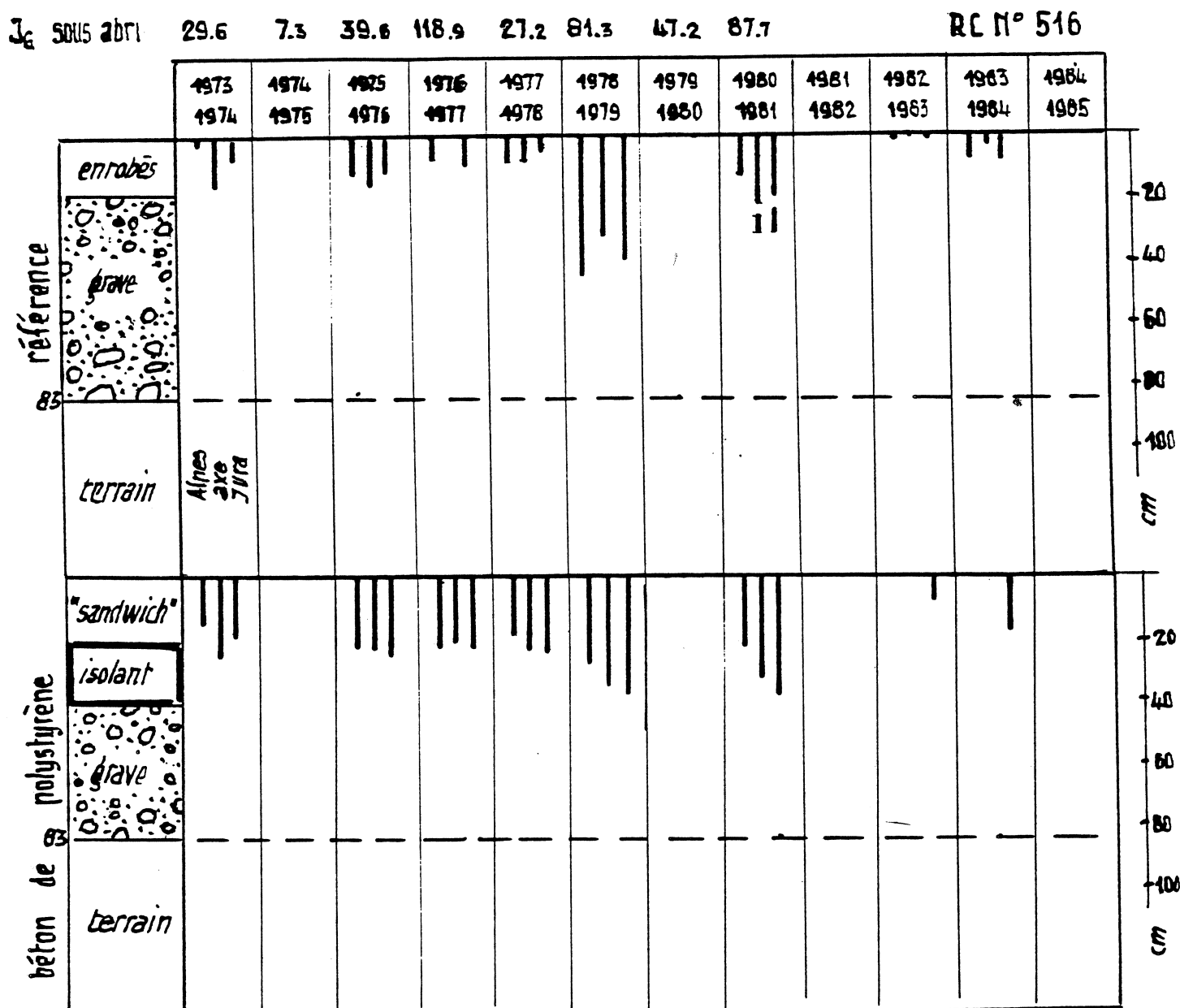
tranche des variations journalières



14.-Profondeurs de cristallisation éventuelle de l'eau.

Si les conditions de gélivité pour la formation et le développement de lentilles de glace dans le terrain étaient présentes, les relevés des cryomètres donneraient leurs profondeurs. Ce n'est pas le cas ici puisque les points les plus bas sont restés dans la superstructure, comme le montre le graphique ci-dessous.

Ces profondeurs sont très faibles, bien éloignées d'atteindre le terrain.



Les colonnes vides correspondent à des hivers où les profondeurs étaient trop faibles pour être mesurées valablement.

Une remarque intéressante peut être faite en étudiant les résultats de l'hiver 1976-1977. L'indice de gel de l'air sous abri $I_G=118,9$ est le plus élevé décelé à ce tronçon et, par contre les profondeurs des points $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ sont faibles. Les profondeurs données par les cryomètres aussi sont faibles et correspondent assez bien à celles du point $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ces profondeurs sont inférieures à celles de l'hiver 1978-1979 dont le I_G est légèrement plus faible. Pour l'hiver 1980-1981 dont l'indice de gel de l'air est de $87,7\text{ }^{\circ}\text{C.j}$, plus faible mais légèrement, que celui de 1976-1977, les profondeurs des points caractéristiques sont les plus grandes. Mais l'hiver 1976-1977 a comporté 45 jours de gelée continue alors qu'en 1980-1981 ce phénomène a compris 3 périodes: 11 jours, 13 jours et 13 jours, au total 37 jours séparés par un réchauffement.

Les plus grandes profondeurs se produiront lorsque la durée de la gelée est longue, mais surtout des températures très basses.

En comparant les profondeurs des points $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ et $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ obtenues à l'aide des relevés de température et celles venant des cryomètres, il est honnête d'admettre que

la profondeur du risque de formation et de développement de lentilles de glace correspond à celle

- des points $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour une superstructure classique
- des points $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ pour une superstructure avec une couche isolante

Un fort indice de l'air sous abri ne donnera pas nécessairement une grande profondeur des températures négatives.

15.-Analogies.

Des mesures de profondeur du gel ont été faites dans les routes vaudoises entre 1959 et 1965[7]. Ces relevés comprennent donc l'hiver 1962-1963, le plus froid de ces 25 dernières années.

Les résultats pour des altitudes semblables à celle de la RC No 516 et de la Station aérologique de Payerne étaient

		1959- 1960	1960- 1961	1961- 1962	1962- 1963	1963- 1964	1964- 1965	
Yverdon-Yvonand	430 m	44	20	40	--	--	--	cm
	430 m	32	0	40	80	--	--	cm
Essert-Ependes	454 m	55	18	34	91	35	23	cm
	450 m	46	18	30	88	35	28	cm

Dans le même rapport, il est possible de choisir les stations ayant une altitude de 600 m-650 m environ

Belmont-Lausanne	632 m	50	18	25	100	--	--	cm
	586 m	43	0	32	80	30	35	cm
Les Thioleyres-	634 m	42	55	22	100	55	31	cm
Palézieux	631 m	36	40	27	100	45	44	cm
Ogens-Prahins	635 m	53	--	30	100	60	45	cm
	650 m	69	10	22	100	45	31	cm
Déviation	633 m	42	0	20	102	25	20	cm
d'Assens	631 m	30	33	38	107	25	20	cm
	625 m	34	0	38	87	25	20	cm

Comme limite supérieure pour cette similitude, des mesures exécutées à La Roche FG a une altitude de 752 m ont donné

Le Stoutz	NE	SW		NE	SW		NE	SW
1978-1979	89 cm	88 cm	1979-1980	80 cm	55 cm	1980-1981	91 cm	104 cm

En supposant une superstructure de 83 cm (ce qui n'était pas le cas pour ces divers tronçons)

il faut un hiver très exceptionnellement froid pour qu'au dessous de 600 m le gel "frôle" le terrain.

Chap. IV.- CORRELATIONS.

16. Etat de l'atmosphère, de la chaussée et profondeurs maximas.

Lors de chaque relevé, l'état de l'atmosphère et de la surface de la chaussée était noté d'une manière simplifiée, pour donner le tableau suivant:

soleil, peu nuageux: SO couvert, nuageux: C pluie: P neige: N brouillard: B sec: S mouillé, humide: M verglas: V neige: N

	décem. 1976				janv. 1977				janv. 1979				décem. 1980				janv. 1981				févr. 1981			
	0715		1700		0715		1700		0715		1700		0715		1700		0715		1700		0715		1700	
1	P	M	P	M	SO	V	P	M	C	S	C	S	C	S	SO	V	B	S	P	M	B	S	B	S
2	P	M	P	M	SO	V	P	V	B	S	SO	S	SO	S	N	N	N	N	N	N	B	S	B	S
3	P	M	C	M	B	V	B	V	SO	V	SO	V	N	N	N	N	N	M	N	M	B	S	P	M
4	SO	M	C	M	C	V	B	S	SO	S	SO	S	N	N	SO	N	P	M	P	M	P	M	P	M
5	N	M	SO	M	B	S	B	S	SO	S	C	M	N	N	N	M	N	V	N	S	N	N	-	
6	SO	V	N	M	B	S	B	S	C	M	B	S	N	M	C	M	N	N	N	N	N	M	N	M
7	P	M	P	M	B	S	B	S	B	S	B	S	N	V	-		SO	V	SO	V	N	M	N	S
8	P	M	P	M	C	S	C	S	B	S	P	V	N	N	SO	S	-	-	-	-	B	V	B	S
9	P	M	P	M	B	S	N	M	P	M	P	M	SO	S	SO	S	SO	V	SO	S	B	M	SO	S
10	P	M	SO	M	N	V	SO	S	SO	V	C	S	SO	S	SO	S	B	S	N	N	P	M	N	S
11	N	V	SO	V	N	N	-		C	V	C	N	SO	S	SO	S	B	N	B	M	SO	S	SO	S
12	SO	M	SO	S	-	-	-		C	N	C	NV	SO	S	SO	S	B	V	SO	M	SO	S	SO	S
13	C	S	SO	S	C	V	SO	M	SO	S	SO	S	B	S	C	S	N	N	N	N	SO	S	SO	S
14	SO	S	SO	S	N	V	N	V	SO	S	SO	S	P	M	P	M	B	V	N	S	SO	S	SO	S
15	B	S	B	S	-	-	-		SO	S	SO	S	P	M	P	M	N	N	N	N	SO	S	SO	S
16	B	S	B	S	C	V	N	N	SO	S	SO	S	SO	M	SO	S	SO	N	N	M	SO	S	SO	S
17	P	M	B	M	SO	V	SO	V	SO	S	SO	S	SO	S	SO	S	P	M	P	M	SO	S	B	S
18	B	M	B	M	B	V	N	N	SO	S	B	S	N	N	N	N	P	M	P	M	N	N	SO	S
19	B	M	B	M	N	N	SO	M	B	S	B	S	SO	V	SO	M	P	M	P	M	B	S	B	S
20	B	M	B	M	B	V	B	M	P	V	P	V	SO	S	P	M	P	M	P	M	B	S	SO	S
21	B	M	B	M	B	V	B	M	B	N	B	M	P	M	P	M	N	V	SO	S	B	S	SO	S
22	B	S	B	S	N	N	B	M	B	M	B	M	P	M	P	M	SO	S	SO	S	SO	S	SO	S
23	B	S	B	S	C	M	SO	M	B	M	B	M	P	M	P	M	SO	S	SO	S	B	S	SO	S
24	B	S	B	S	B	M	B	M	P	M	C	S	C	M	SO	S	B	S	B	S	N	N	SO	S
25	B	S	B	S	B	M	B	M	SO	S	SO	S	-	-	-	-	B	S	SO	S	B	S	SO	S
26	SO	S	SO	S	P	M	P	M	B	S	P	M	-	-	-	-	B	S	SO	S	B	S	SO	S
27	C	S	SO	S	P	M	SO	S	C	N	P	M	-	-	-	-	B	S	B	S	B	S	N	N
28	N	N	N	V	SO	S	SO	S	P	M	P	M	-	-	-	-	B	S	B	S	N	N	PN	M
29	N	N	SO	S	N	M	P	M	SO	V	SO	V	SO	S	SO	S	SO	S	SO	S	-	-	-	-
30	SO	S	SO	S	SO	S	SO	S	P	M	C	M	SO	S	SO	S	B	S	B	S	-	-	-	-
31	P	V	SO	V	N	M	P	M	C	N	SO	M	SO	S	SO	S	B	S	B	S	-	-	-	-

Dans ce tableau, les périodes où le froid est descendu le plus profondément sont encadrées. Il en ressort que dans

la moitié des cas, les plus grandes profondeurs du point 0 °C se produisent lorsque le temps est clair et la chaussée sèche.

17. Champs de "référence" et "champ II".

Déjà en 1961, des champs d'étude ont été construits à la Station aérologique fédérale de Payerne (fig. 2), à l'altitude de 488 m. La superstructure du champ II de cette station a été composée d'une couche de mélanges hydrocarbonés de 18 cm, soit 11 cm d'enrobés et 7 cm de couche d'usure (tapis) surmontant une couche de grave de 65 cm d'épaisseur, donnant au total 83 cm.

Lors de la construction du champ de référence de la RC No 516 à l'altitude de 449 m, des épaisseurs exactement semblables ont été choisies. Cette corrélation devait permettre de déceler -si elles existaient- des différences entre deux superstructures identiques, relativement proches, situées dans la même région, la vallée de La Broye, à des altitudes différant de 39 m, mais avec d'autres microclimats. Rappelons que sur les champs de la Station aérologique ne circulent que des véhicules légers privés.

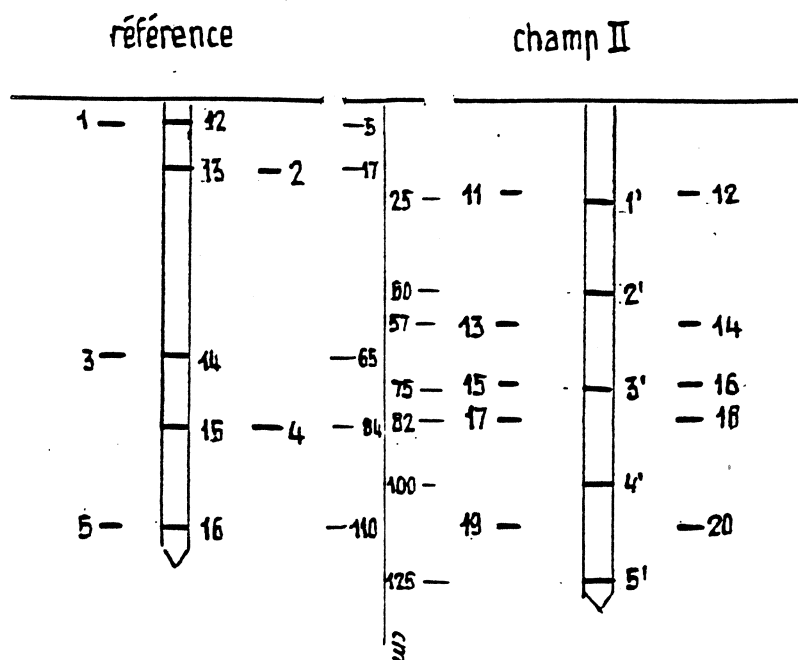
A titre indicatif, nous répétons les valeurs des déflexions trouvées sur le champ de référence de la RC No 516 et dans le champ identique II de la Station aérologique [3].

	rive	axe	axe	rive	12 mars 1975
RC No 516	48,2	36,5	36,3	44,3	moyenne 41,3 1/100 ^e mm
champ II	38	22	46	40	
	46	40	46	38	
	42	38	38	40	
	42,0	33,3	43,3	39,3	moyenne 39,5 1/100 ^e mm

Les déflexions moyennes sont donc identiques.

Pour les mesures de températures, les deux champs ont été équipés des mêmes genres de capteurs, soit des résistances individuelles et une thermosonde avec cinq points de mesure. Les deux croquis de la page suivante illustrent leurs arrangements.

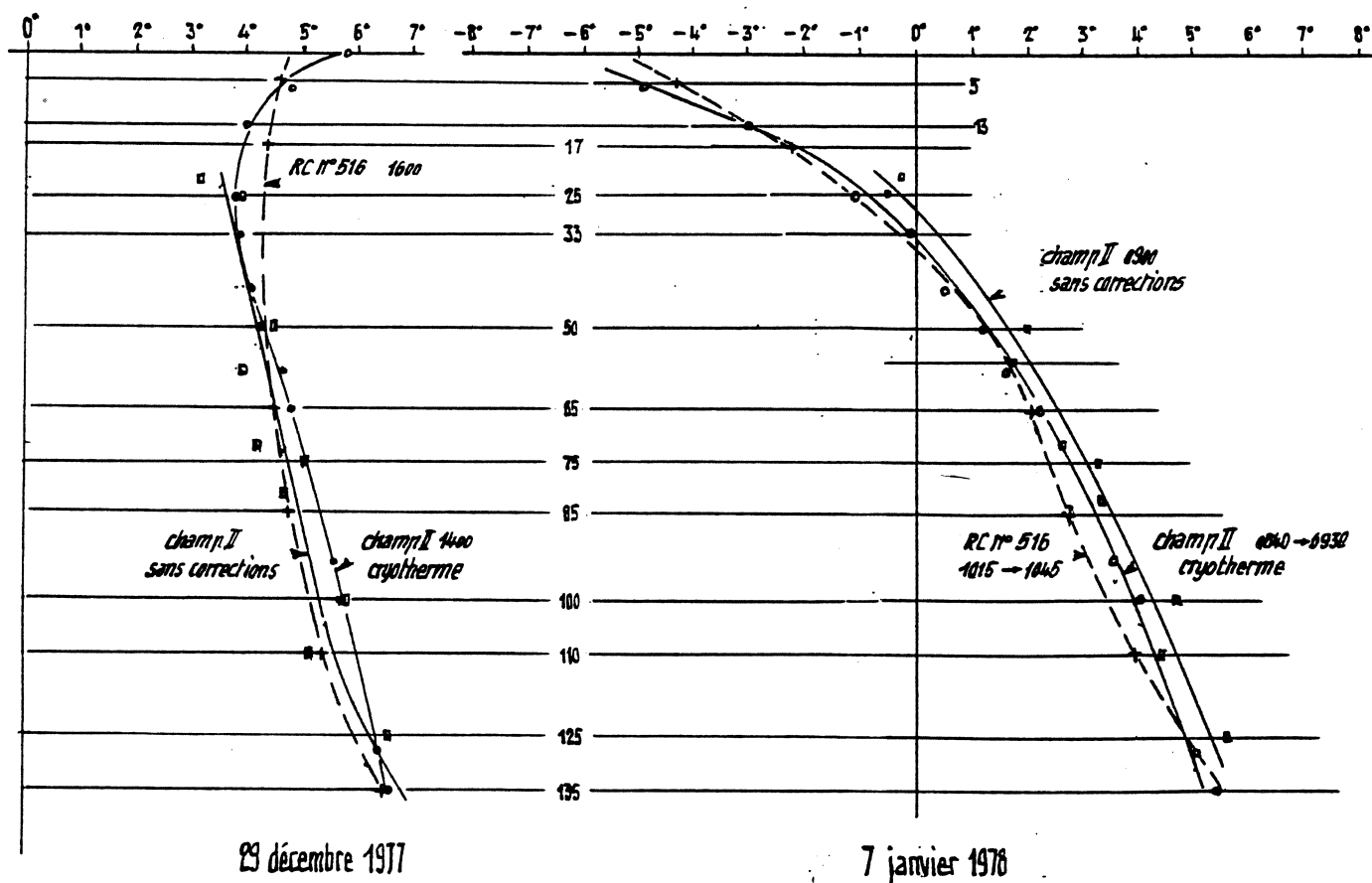
Des mesures précises ont été faites en même temps sur la route cantonale et au champ II, avec les appareils en place et avec un cryotherme donnant de nombreux points de mesure sur la profondeur. Pour compléter, il est intéressant de comparer les profondeurs de cristallisation de l'eau, d'après les données des cryomètres. Ici aussi une correspondance assez parfaite. (page 7)

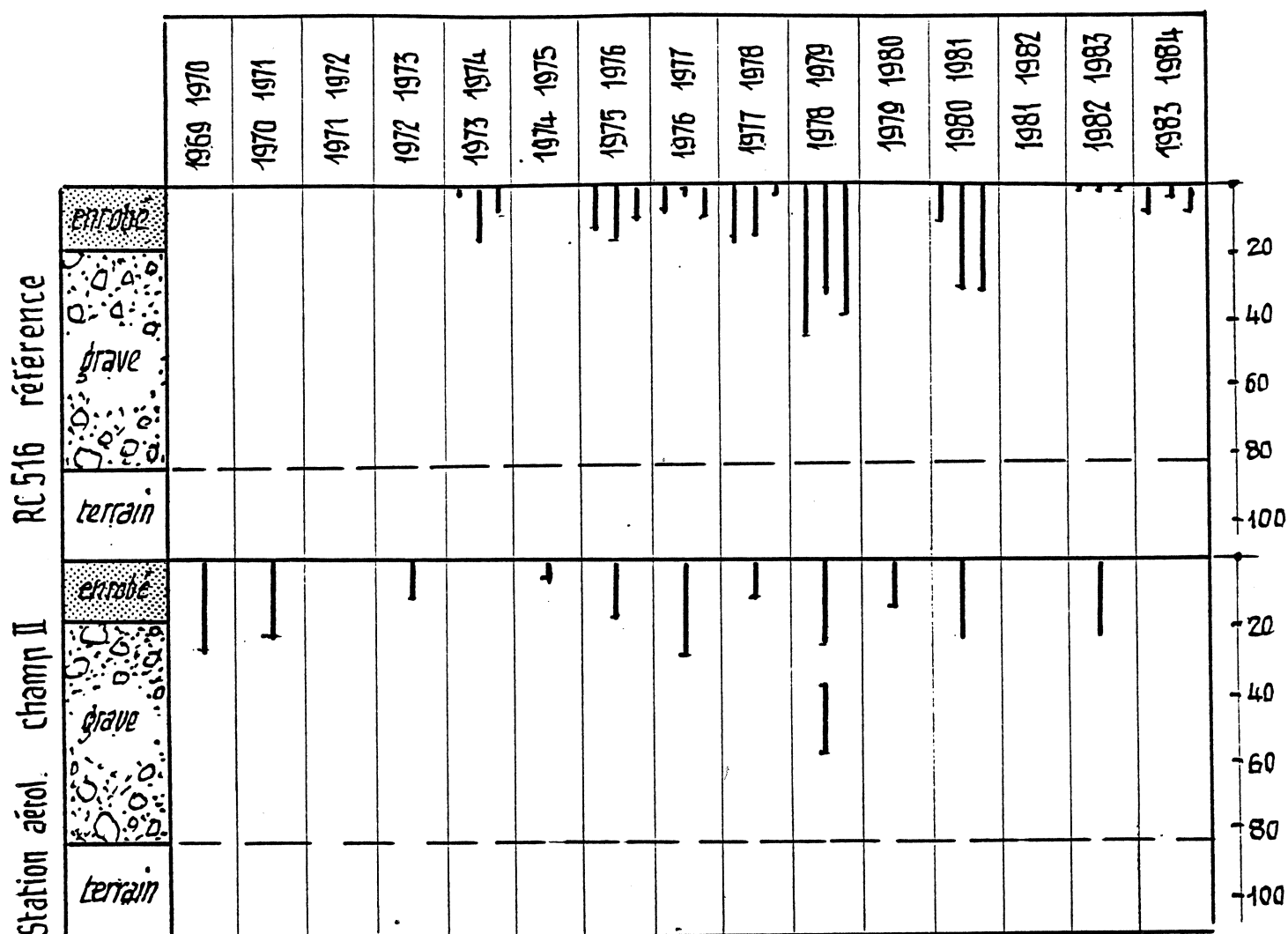


Les résultats de ces mesures sont illustrés aux figures ci-dessous. Ils montrent que les courbes se recouvrent presque exactement. Au même moment, la répartition des températures est identique dans les deux tronçons.

champ de référence (RC 516) - champ II (Station)

Payerne





Il ressort de toutes ces considérations que

deux superstructures de composition identique situées dans la même région présentent des caractéristiques semblables, soit de portance, soit de conductibilité thermique.

Hiver 1984-1985..- Cet hiver figure parmi les plus froids connus depuis plusieurs années. Malheureusement les essais dans la RC No 516 avaient été stoppés. Mais les mesures effectuées à la Station aérologique de Payerne ont montré dans les cryomètres des profondeurs pratiquement égales à celles de l'hiver 1978-1979. Sur la base de ce qui précède nous pouvons admettre que dans la RC No 516 les maxima de l'hiver 1984-1985 sont identiques à ceux de l'hiver 1978-1979 ($I_G = 87,7$).

Chap. V.- REFLEXIONS ET CONCLUSIONS.

La synthèse des mesures effectuées à la Route Cantonale No 516 à Payerne pour étudier les effets de la gelée sur la chaussée a donné des renseignements quelques fois très complets et positifs ou d'autres fois fragmentaires et très spécifiques, mais importants pour le déroulement de réflexions futures.

Il s'agit d'une route cantonale secondaire aux abords d'une localité en basse altitude, qui comprend 2 champs d'études, un de référence et l'autre avec une couche de béton de polystyrène.

Les travaux étant terminés, il est regrettable que le gel n'aie jamais atteint le terrain. La connaissance de la formation de glace dans la route ne peut de ce fait pas être améliorée, mais par contre de nombreuses déductions en ressortent qui sont relatives aux appareillages, aux répartitions des températures sur la chaussée et dans la superstructure.

Les considérations les plus importantes sont inscrites dans les encadrés du texte.

Au cours de cette étude, plusieurs appareillages ont été utilisés:

- thermographe mécanique sous abri
- capteurs individuels - thermosonde à ergots ou à bagues
- cryomètres - cryothermes - thermomètres à mercure

Leurs avantages et leurs inconvénients ont pu être testés en pleine nature durant une longue période de 8 ans. Une analyse montre la validité des résultats obtenus.

Les indices de gel I_G sont faibles, mais leurs valeurs, que les mesures soient faites sous abri ou en plein air, sont pratiquement égales pour ces deux manières de mesurer.

Les températures de la surface (-5 cm) nocturnes et diurnes sont peu différentes dans les deux champs de recherches: référence ou "béton isolant" où elles peuvent aussi s'inverser. Mais leurs valeurs sont toutes comprises entre -5 ° et +5 °C. Le calcul du facteur T_{gs}/T montre qu'il est impossible d'obtenir la température de la surface de la chaussée à partir de celle de l'air, mesurée au même emplacement et surtout dans un autre endroit, par une opération simple.

L'indice de gel tel que défini dans la littérature et par nos normes n'est pas caractéristique pour la profondeur de pénétration. Il peut y avoir un grand indice de gel avec beaucoup de jours peu froids. Mais l'important c'est le nombre de jours très froids (-20°). Une partie intéressante est l'examen de l'évolution en profondeur des températures, en particulier des points 0°C et -1°C . Il est apparu que dans ce cas précis de la RC No 516 et selon les "microconditions" existantes, le point 0°C évolue dans la superstructure avec des vitesses variant entre 0 cm/heure et 10 cm/heure en remontant et jusqu'à 6,5 cm/heure en descendant.

Une comparaison avec des recherches antérieures montre pour la RC No 516 une bonne similitude des constatations avec d'autres régions, du Canton de Vaud au moins.

Cette étude permet des conclusions importantes surtout pour la pratique de la conception des routes:

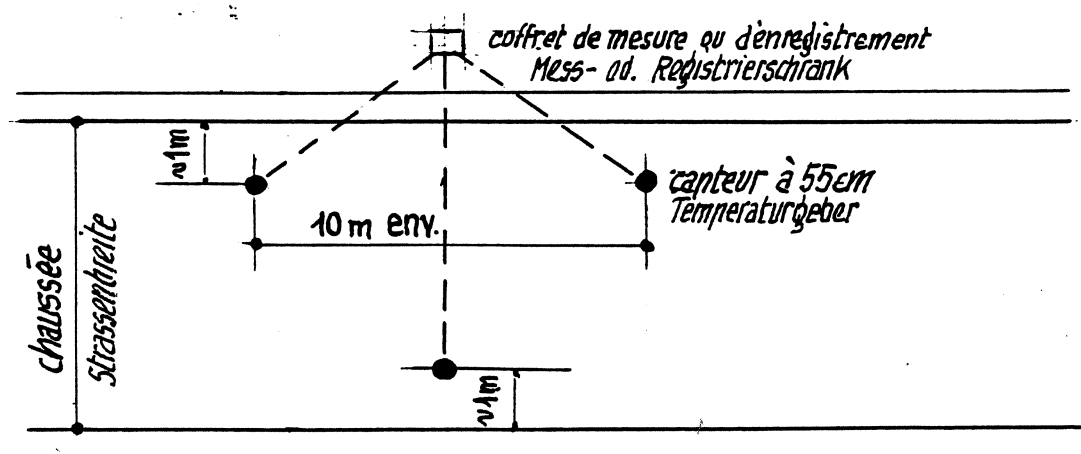
- pour le Canton de Vaud, mais certainement pour le Plateau suisse aussi, lorsqu'une route est construite selon les règles de l'art, il n'y a aucun danger dû au gel pour les altitudes inférieures à 600 m.

Il est cependant possible que lors d'hivers exceptionnellement froids (tous les 25 ans) les couches supérieures du terrain soient atteintes. Il y aurait alors un risque de dégâts dus au gel en présence de sols très gélifs.

- L'analyse de tous les résultats de cette étude permet de constater que les températures au cours d'un jour varient constamment jusqu'à 50 à 60 cm, mais qu'au-dessous de ce niveau, une certaine stabilité se manifeste. Ce qui permet de trouver un
- facteur du dimensionnement fixant les profondeurs des points 0°C et -1°C en fonction de la température à 55 cm.

Le graphique de la page 81 donne ces renseignements et permet de situer l'emplacement contrôlé dans l'une des tranches de dégâts: probable ou aléatoire.

La mesure des températures à 55 cm peut être faite avec facilité par des capteurs individuels insérés ou non dans une thermosonde de 35 mm de diamètre et de 60 cm de longueur. Les températures de la surface n'étant pas également réparties et les nappes isothermiques n'étant pas horizontales, il y a intérêt à poser 3 points de mesure sur l'entier du tronçon de chaussée examiné, selon le croquis ci-dessous par exemple:



Le graphique de la page 80 est basé sur la moyenne des températures de trois matins successifs (entre 6 h. et 8 heures), parce que nos études ont laissé entrevoir qu'il faut au moins 3 jours de gelée continus pour que des lentilles puissent croître.

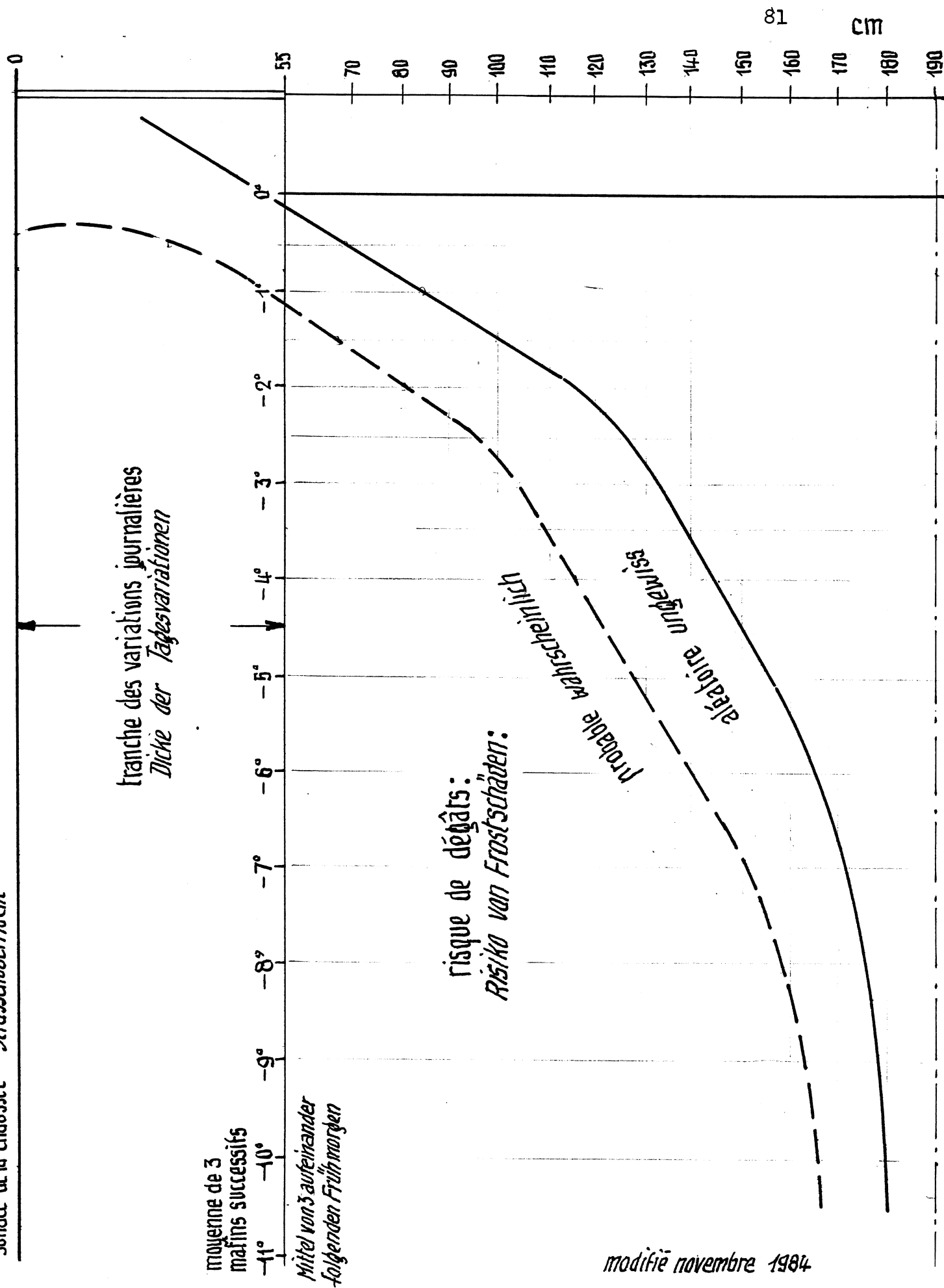
*
* * *

Un terme étant mis aux études du tronçon de la RC No 516 à Payerne, il est agréable de dire notre reconnaissance à toutes les personnes, principalement celles mentionnées dans le texte, ayant oeuvré amicalement à ces recherches.

Blonay, février 1985

Boujard

surface de la chaussée Strassenoberfläche



modifié novembre 1984

Kap. V.- UEBERLEGUNGEN UND SCHLUSSFOLGERUNGEN.

Die Zusammenfassung der für die Kantonstrasse 516 in Payerne angewendeten Massnahmen zur Untersuchung der Auswirkungen des Frostes auf die Strasse hat einerseits sehr vollständige und positive Resultate ergeben, und auf der anderen Seite solche, die unvollständig und sehr spezifisch, jedoch für die Abwicklung künftiger Ueberlegungen wichtig sind.

Es handelt sich um eine kantonale Nebenstrasse in der Nähe einer Ortschaft mit niedriger Meereshöhe, mit zwei Untersuchungsfeldern, d.h. einem Bezugsfeld und einem Feld mit Polystyrolbeton.

Da die Arbeiten beendet sind, ist es bedauerlich, dass der Frost den Untergrund nie erreicht hat. Damit wurde zur Kenntnis der Eisbildung in der Strasse nichts beigetragen. Es sind jedoch zahlreiche Rückschlüsse auf die verwendeten Geräte und die Temperaturverteilung im Boden und im Oberbau möglich.

Die wichtigsten Ueberlegungen sind im Text eingerahmt.

Bei dieser Untersuchung wurden mehrere Geräte verwendet, und zwar:

- Mechanischer Temperaturschreiber in Wetterhütte
- Temperaturgeber - Temperatursonde mit Spornen oder Ringen
- Frostsonden mit Glasampullen - Kryotherm (cryotherme)
- Quecksilberthermometer

Ihre Vor- und Nachteile konnten während 8 Jahren in der Praxis geprüft werden. Eine Untersuchung zeigt die Gültigkeit der erhaltenen Resultate.

Die Frostindizes I_G sind niedrig. Ihre Werte sind jedoch unabhängig davon, ob sie an einem geschützten Ort (canad. Hütte) oder im Freien gemessen wurden, praktisch gleich.

Die Oberflächentemperaturen (-5 cm) in der Nacht und am Tag unterscheiden sich in den beiden Untersuchungsfeldern (Bezugsfeld und "Isolierbeton") nur unwesentlich, und können sich dort auch umkehren. Ihre Werte liegen jedoch alle zwischen -5 °C und +5 °C. Die Berechnung des Faktors T_{gs}/T zeigt, dass es unmöglich ist, die Temperatur der Strassenoberfläche aus der am gleichen und vor allem aus der an einem anderen Ort gemessenen Lufttemperatur auf einfache Weise zu erhalten.

Der in der Literatur und in unseren Normen definierte Frostindex ist für die Frosttiefe nicht charakteristisch. Viele Tage ohne grosse Kälte können einen hohen Frostindex ergeben. Wichtig ist jedoch die Anzahl der sehr kalten Tage ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$). Ein interessanter Teil ist die Tiefenentwicklung der Temperaturen, insbesondere der Punkte $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es hat sich gezeigt, dass in diesem speziellen Fall der Kantonstrasse 516 und gemäss den vorliegenden "Mikrobedingungen" der Punkt $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ sich im Oberbau mit Geschwindigkeiten beim Anstieg zwischen 0 cm/h und 10 cm/h bewegt, und bei der Abnahme mit bis zu $6,5\text{ cm/Std.}$

Ein Vergleich mit früheren Untersuchungen zeigt für die Kantonstrasse 516 eine gute Uebereinstimmung der Feststellungen mit anderen Regionen, zumindest des Kantons Waadt.

Diese Untersuchung gestattet wichtige Schlussfolgerungen, insbesondere für die Praxis der Projektierung von Strassen.

- Dies für den Kanton Waadt, jedoch sicher auch für das schweizerische Mittelland. Wenn eine Strasse nach den Regeln der Technik gebaut wird, besteht für Meereshöhen unter 600 m überhaupt keine Frostgefahr.

Es ist jedoch möglich, dass in einem aussergewöhnlich kalten Winter (alle 25 Jahre) die oberen Schichten des Untergrundes erreicht werden. In diesem Fall besteht die Gefahr von Frostschäden, wenn die Bodenmaterialien sehr frostgefährlich sind.

Die Analyse aller Resultate dieser Untersuchung lässt die Feststellung zu, dass die Temperaturen innerhalb eines Tages bis zu 50 bis 60 cm ständig wechseln, darunter jedoch eine gewisse Stabilität aufweisen. Dies ermöglicht die Festlegung eines

- Dimensionierungsfaktors, der die Tiefe der Punkte $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ und $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ in Funktion der Temperatur bei 55 cm festlegt.

Die grafische Darstellung auf der Seite 80 liefert diese Angaben und ermöglicht die Zuordnung der kontrollierten Stelle zu einem der Schadenabschnitte "wahrscheinlich" oder "ungewiss".

Die Temperaturmessung in einer Tiefe von 55 cm lässt sich ohne weiteres mit Temperaturgebern durchführen, die in eine Frostsonde mit einem Durchmesser von 35 mm und eine Länge von 60 cm eingebaut sind oder nicht. Da die Oberflächentemperaturen nicht gleichmässig verteilt und die Isothermen nicht horizontal sind, sollten 3 Messpunkte über das gesamte untersuchte Strassenstück verteilt werden. Siehe zum Beispiel Skizze Seite 79.

Die Grafik auf der Seite 80 beruht auf dem Mittelwert der Temperatur von drei aufeinanderfolgenden Frühmorgen (zwischen 6 und 8 Uhr), weil unsere Untersuchungen durchblick liessen, dass mindestens 3 aufeinanderfolgende Frosttage nötig sind, damit die Eislin sen wachsen können.

*
* *

Da die Strecke der Kantonstrasse 516 bei Payerne nicht mehr weiter untersucht wird, möchten wir allen Beteiligten unseren Dank aussprechen, insbesondere jenen, die im Text erwähnt sind, und die freundlicher Weise zu diesen Forschungsarbeiten beigetragen haben.

Blonay, Februar 1985

Jean Ed Bonjour

3

18.-Rapports de recherches (bibliographie).

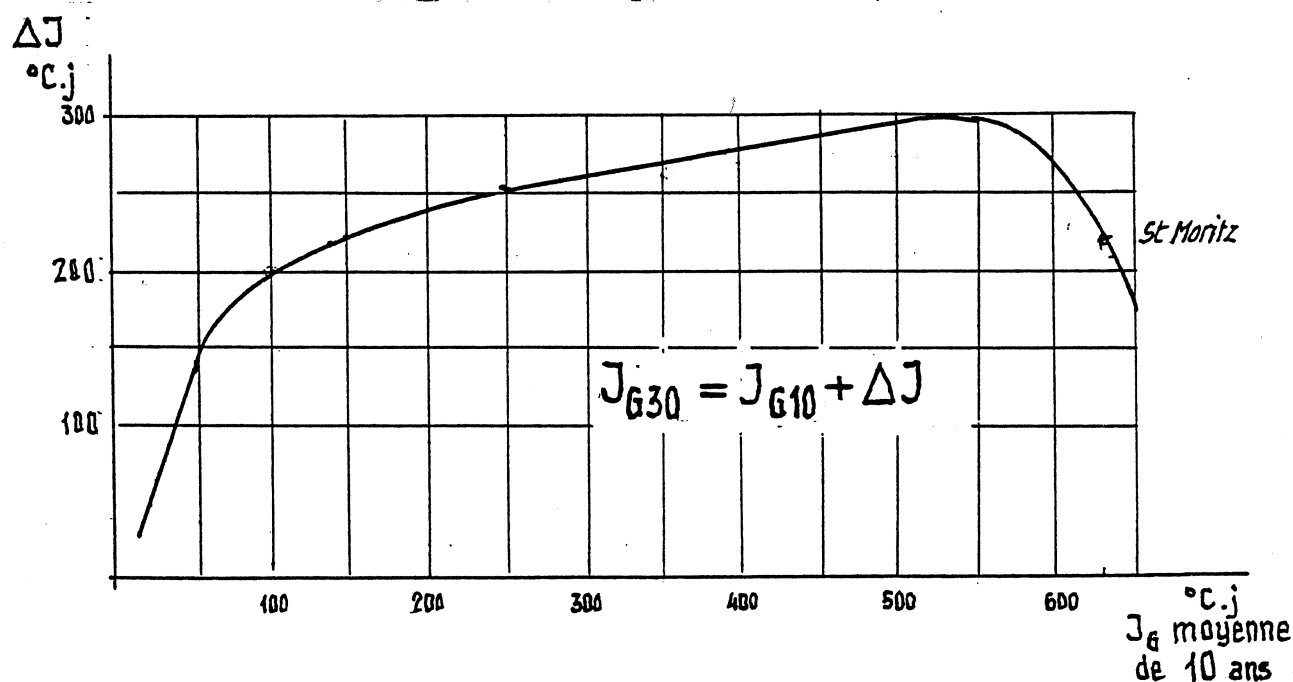
1. Jean Ed Bonjour
Utilisation de matériaux isolants artificiels
Strasse und Verkehr No 5 13 mai 1974
2. Jean Ed Bonjour
GEL Températures - Le cryotherme
Rapport VSS février 1977
3. Jean Ed Bonjour
Profondeur du gel et isolation thermique des chaussées
Tronçons d'essais de Payerne et des Moulins
Rapport VSS décembre 1980-mai 1981
4. Annalen der schweizerischen meteorologischen Zentralanstalt
5. VAWE / Balduzzi
Untersuchung der Frostverhältnissen von 35 schweizerischen
Stationen
Rapport VSS 28 Februar 1959
6. Jean Ed Bonjour
Profondeur de pénétration Davos - Haute Engadine
Rapport VSS décembre 1983 mai 1984
7. Laboratoire de géotechnique EPFL (I R S F)
Profondeur de pénétration du gel dans les routes vaudoises
Rapport VSS février 1966

19.- Appendice.

Conseil. - Lorsque des recherches de même type que celles faisant l'objet de ce rapport sont envisagées sur une longue période (10 ans), il s'est avéré utile de doubler chaque capteur, c'est à dire de prévoir par exemple 2 résistances au platine à chaque point de mesure.

Relation entre I_G 10 et I_G 30.

Les recherches bibliographiques des autres études effectuées par mandat de recherches dans ce domaine ont montré que pour obtenir l'indice de l'air moyen pendant une durée de 30 ans et que l'indice venant d'une période de 10 ans soit connu, il est possible d'utiliser avec une approximation valable le graphique ci-dessous, tiré des calculs exécutés pour les années 1946-1956 à Saint Moritz [5].



Températures d'été.

Comme complément à d'autres recherches routières en cours, des mesures ont été faites durant les mois les plus chauds : juillet et août 1978. Bien que les résultats n'entrent pas dans le cadre des recherches sur l'effet de la gelée, il a paru intéressant, peut-être utile, de les incorporer ici. Les résultats figurent aux graphiques des pages 86 à 89.

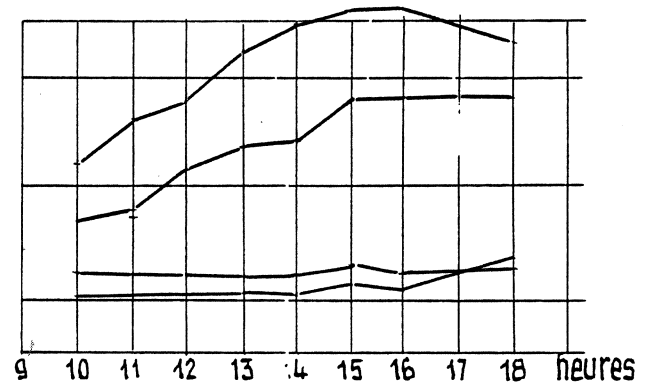
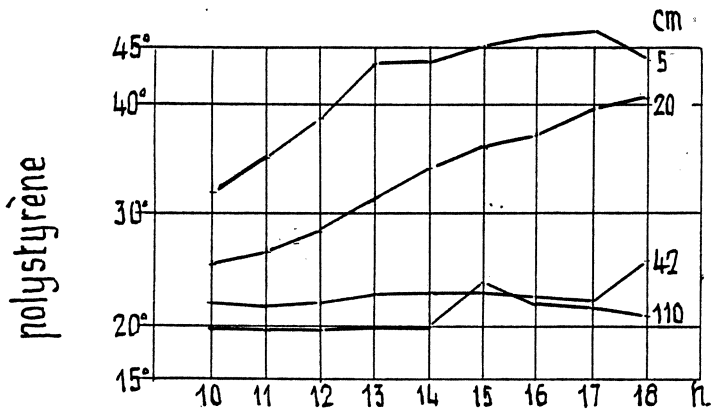
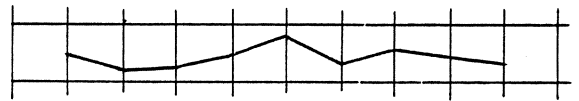
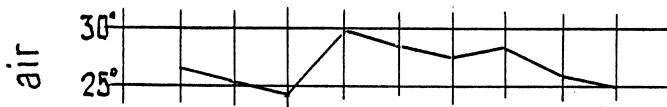
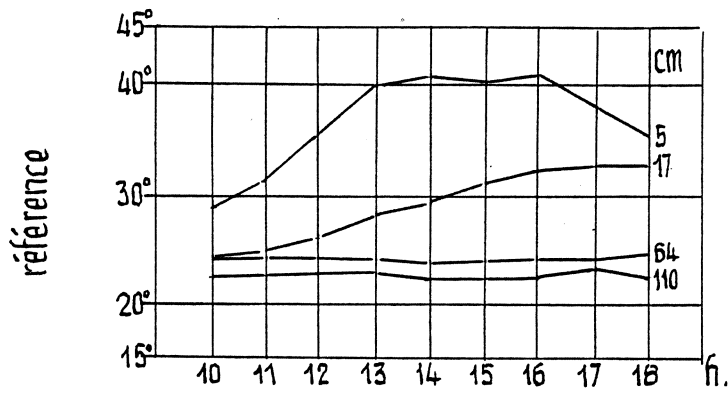
Ces relevés donnent les températures maxima pouvant intéresser une couche supérieure de la chaussée, ainsi que la situation des températures dans celle-ci.

24 juillet 1978

25 juillet 1978

GC n° 516

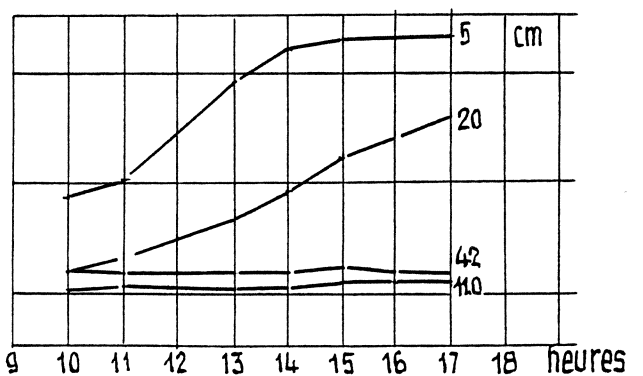
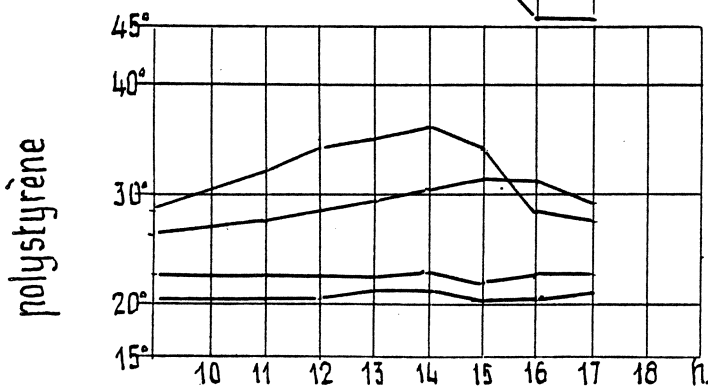
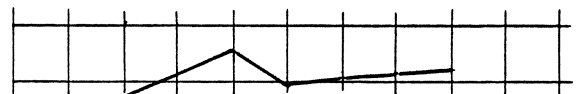
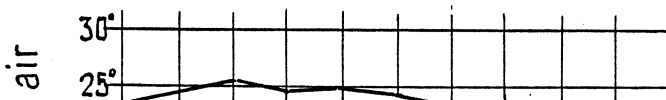
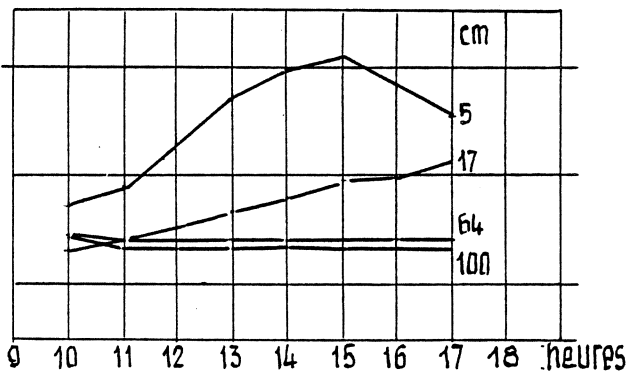
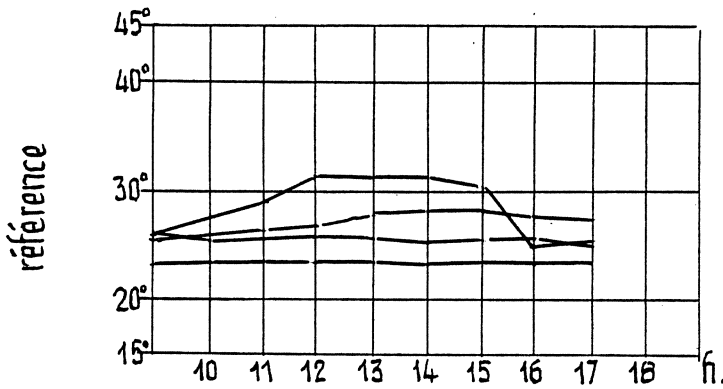
87



26 juillet 1978

27 juillet 1978

GC n° 516

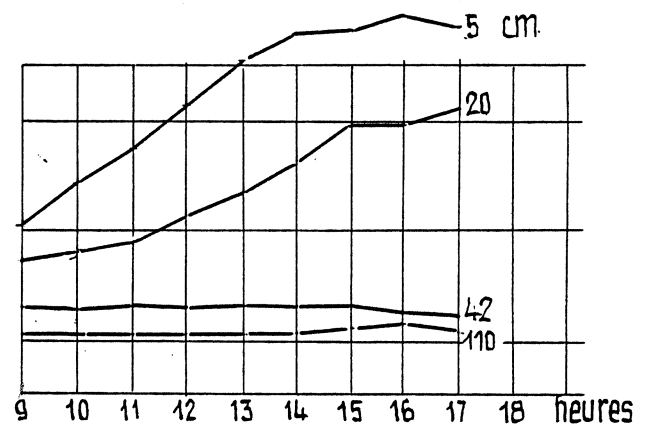
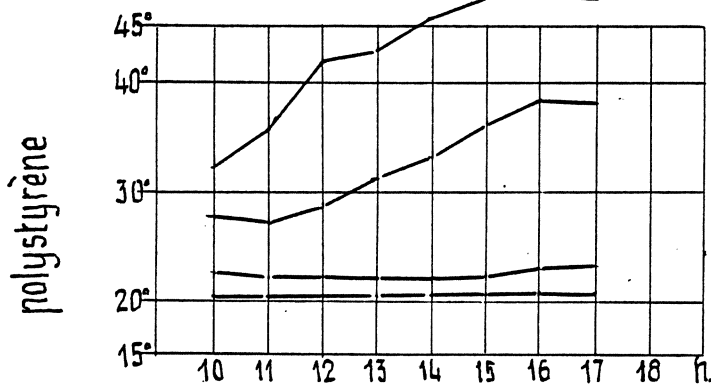
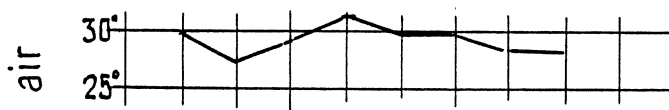
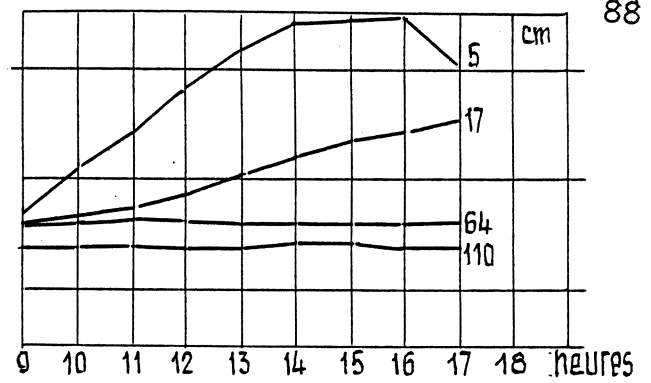
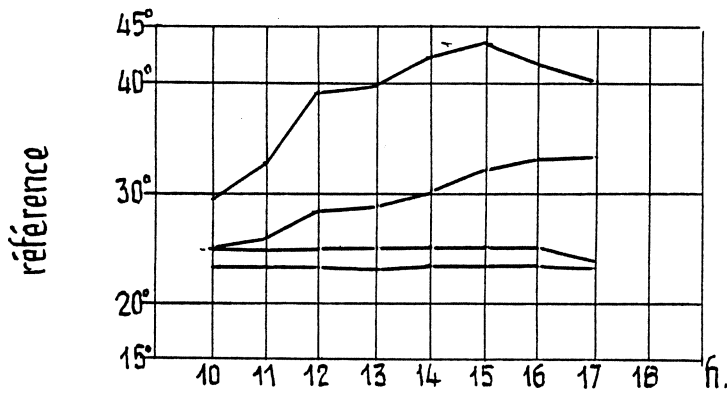


28 juillet 1978

29 juillet 1978

RC n° 516

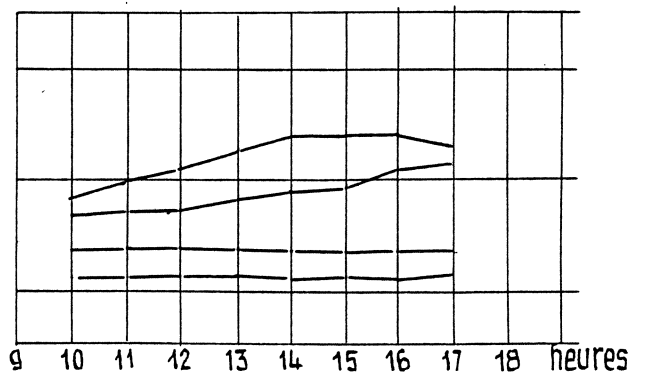
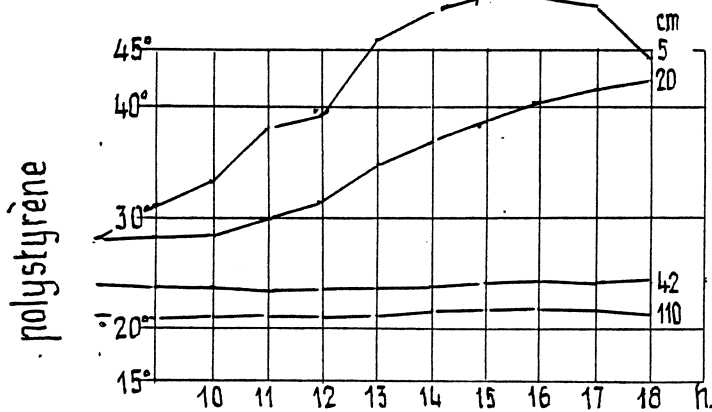
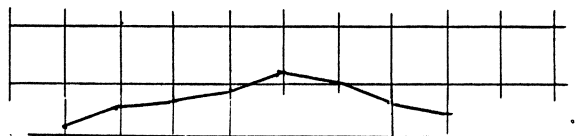
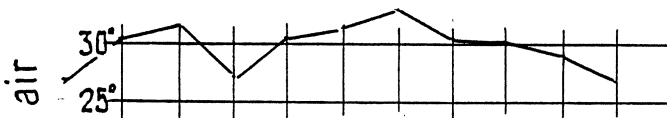
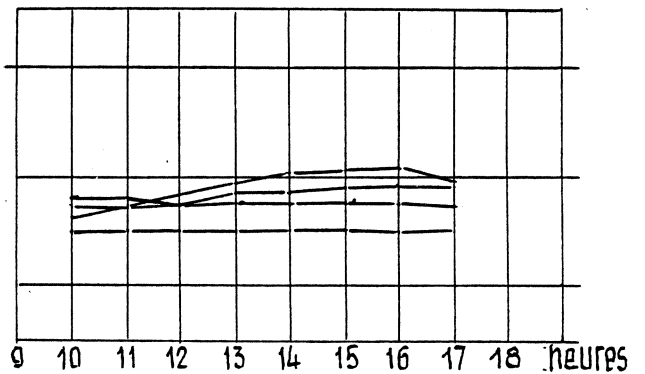
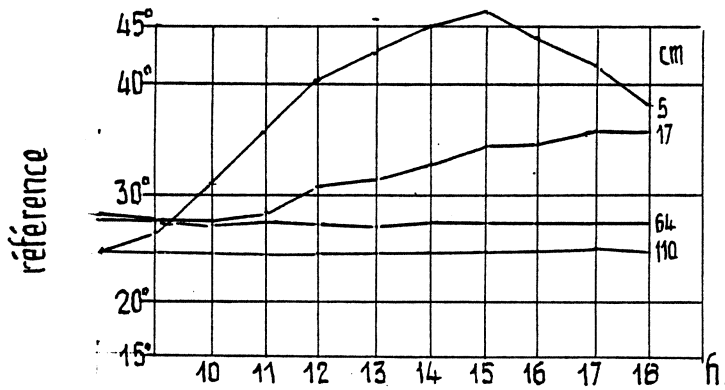
88



30 juillet 1978

31 juillet 1978

RC n° 516



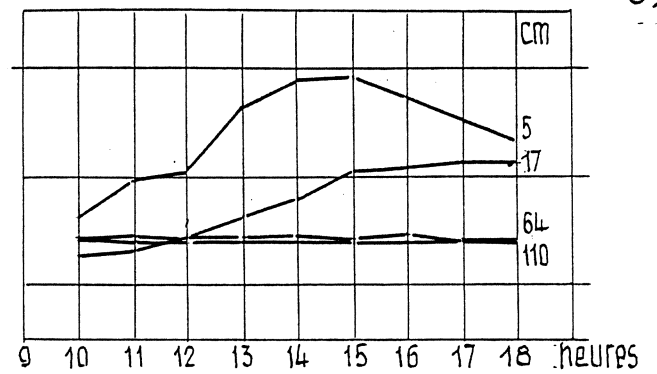
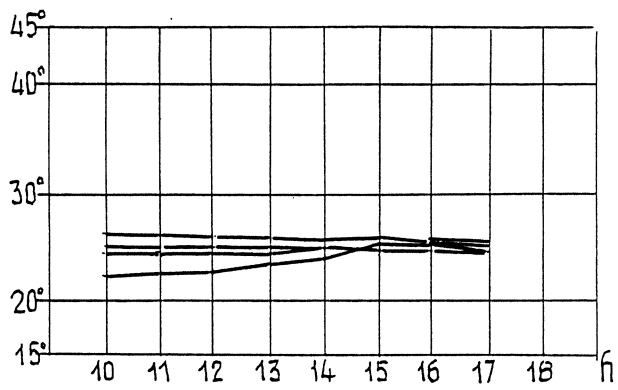
1 août 1978

2 août 1978

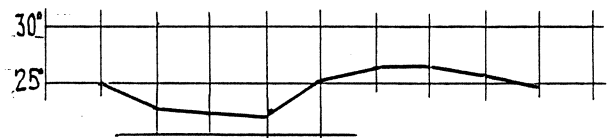
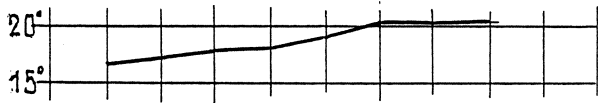
FC n° 516

89

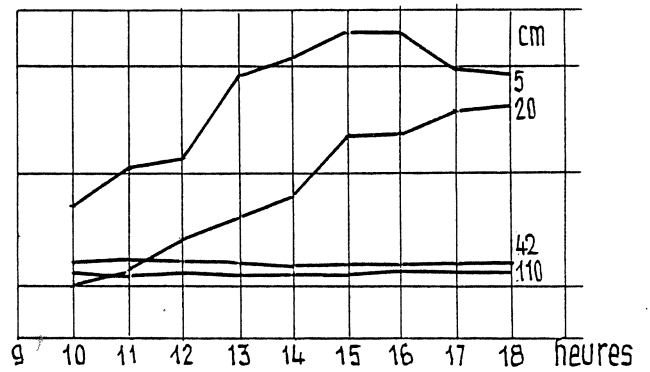
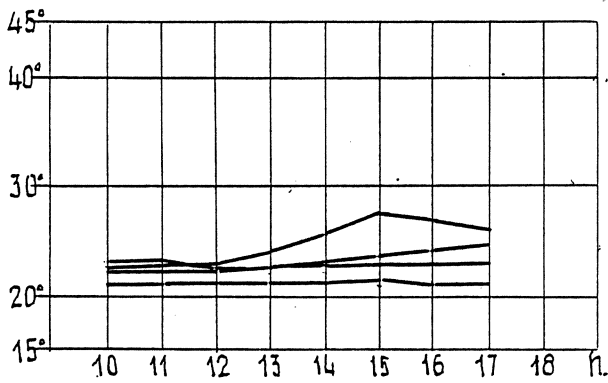
référence



air



polystyrène

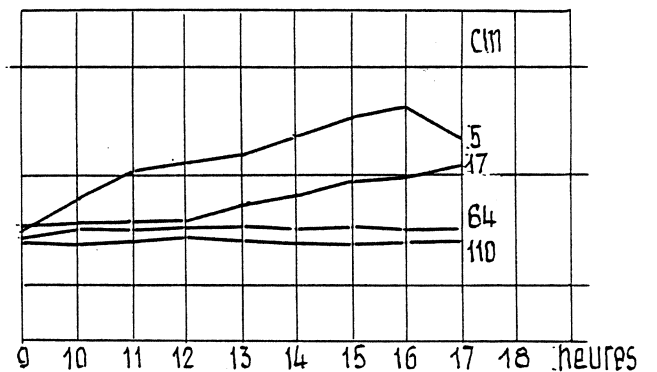
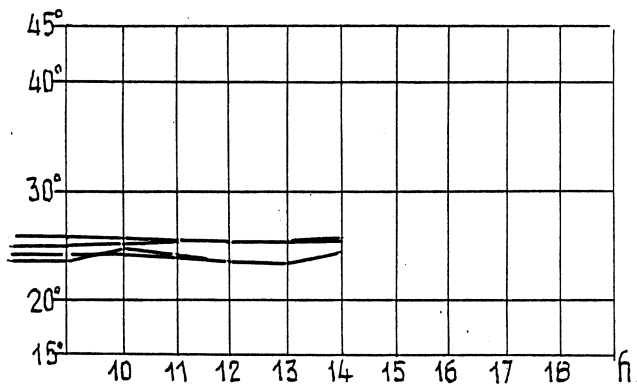


3 août 1978

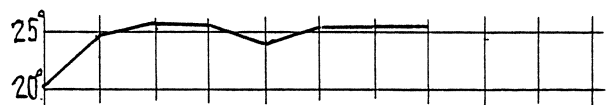
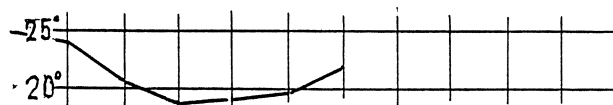
4 août 1978

FC n° 516

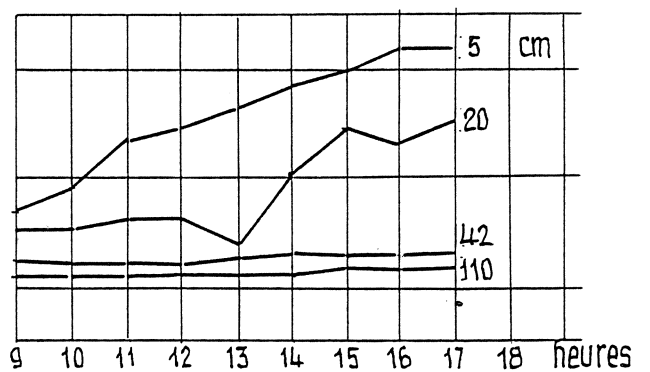
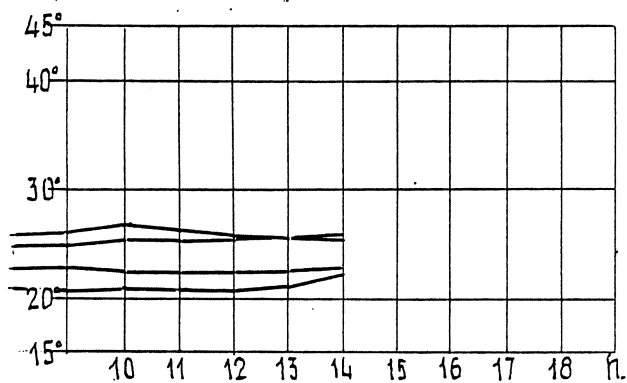
référence



air



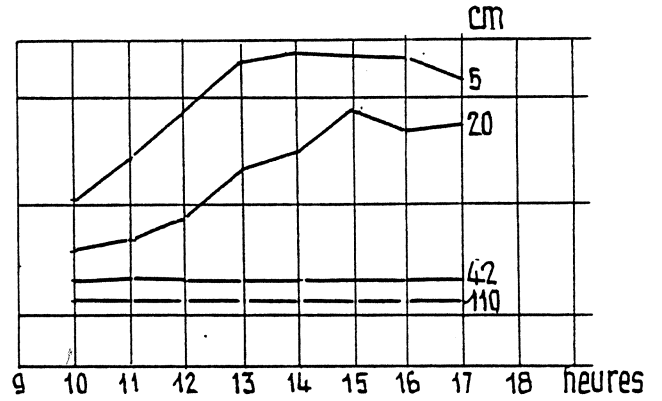
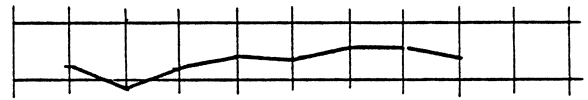
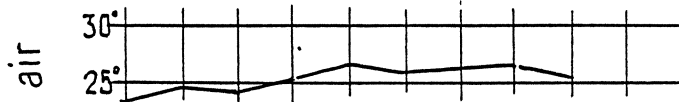
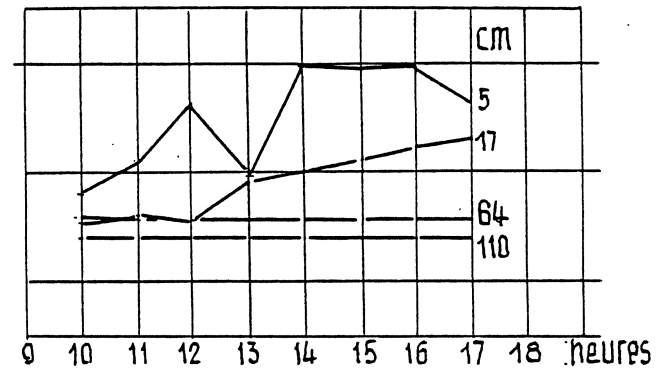
polystyrène



5 août 1978

6 août 1978

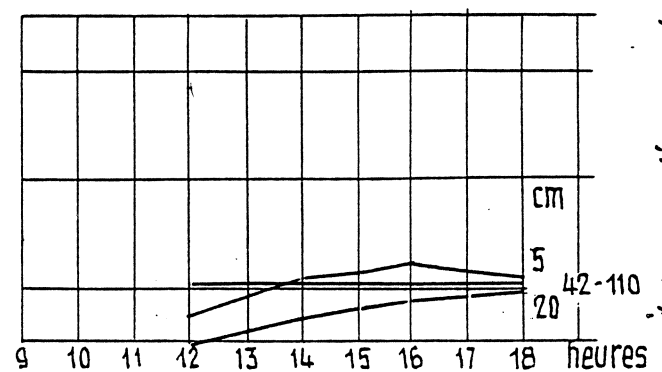
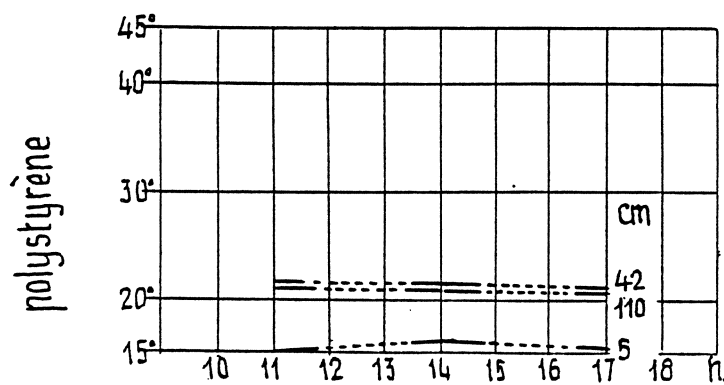
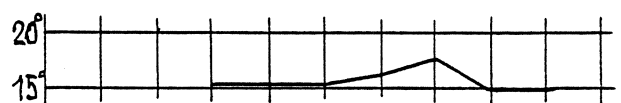
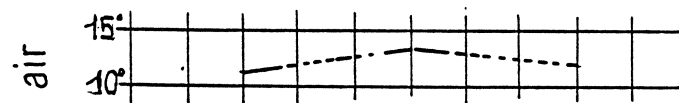
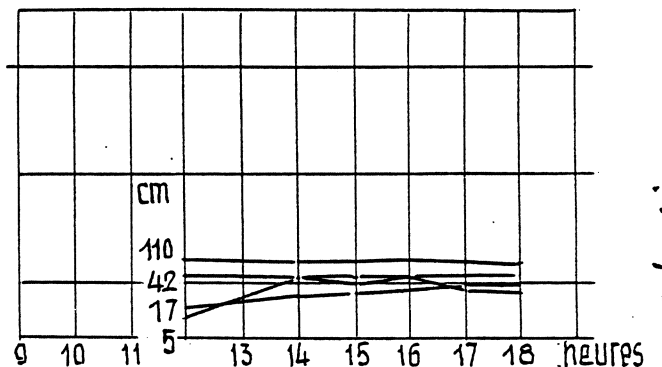
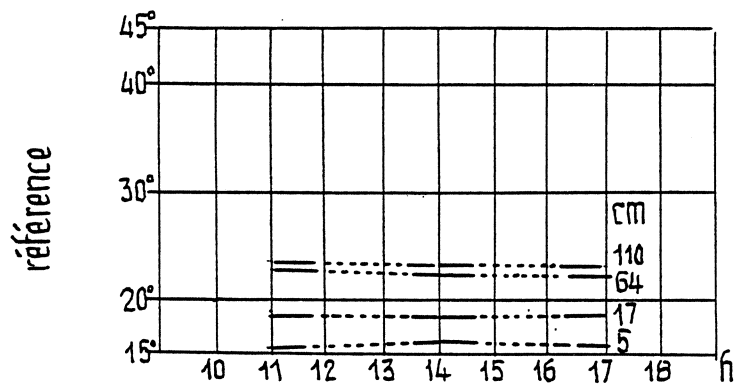
RC n° 516 90



8 août 1978

9 août 1978

RC n° 516



il n'y a pas d'erreurs dans le dessin de ces 2 graphiques