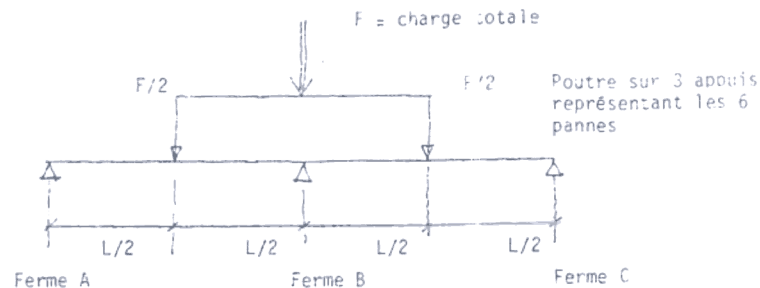


ETUDE DE COMPORTEMENT D'UNE CHARPENTE DE BOIS TRIANGLEE
CHARGE SYMETRIQUEMENT ET ASYMETRIQUEMENT

Laszlo Demeter

TABLE 1: Comparaison du pourcentage de charge reprise pour chaque ferme selon le type de panne



TYPE DE PANNE	% DE F A CHAQUE APPUI			OBSERVATION
	A	B	C	
A) CONTINUE				
Aluminium 5/8" x 5/8"	30.5	39	30.5	Théorie
	31.5	36.3	32.2	Essai
Bois	24	52	24	Théorie
$E_B = 1.7 \times 10^6$ psi				
B) PORTEE SIMPLE	25	50	25	

On utilise des jauges de contraintes reliées à un appareil électronique de lectures et des micro-mètres : le premier mesure les efforts développés dans les éléments structuraux et le deuxième indique les déformations (mouvements horizontaux et verticaux).

La maquette de la charpente étudiée consiste en trois fermes reliées entre elles par une poutre faîtière et trois pannes courantes sur chaque versant. Les fermes sont constituées de deux membrures inclinées (arbalétrier), d'un entrain retroussé, et de la partie supérieure du poinçon. Les pannes courantes sont en aluminium pour permettre le chargement par vérin à air comprimé.

Au niveau de la sablière, la maquette a un appui fixe d'un côté et libre de l'autre pour permettre le mouvement horizontal de toute la structure. On a utilisé un lubrifiant pour diminuer la friction à l'appui libre.

Les jauges utilisées sont de type micro-mesure.

Préparation et installation des jauges : nettoyage, étamage des extrémités de la jauge de contrainte, séparation des fils, soudage, collage, et connexion au relais terminal, à l'enregistreur automatique, vérification du bon fonctionnement des jauges à l'aide d'un ohmmètre.

Avant l'expérience, l'application d'une couche de shellac sur la maquette afin de protéger le bois contre l'effet de la variation de l'humidité.

Pour faciliter la compilation des résultats, les jauges et les micromètres sont numérotés (voir croquis).

L'on a effectué un test de flexion afin de vérifier le module d'élasticité du bois utilisé, ce qui a donné une idée de l'ordre de grandeur du chargement pour provoquer la rupture lors de l'expérience sur la maquette. Les calculs ont donné un module d'élasticité $E = 1,500,000$ lb/po. ca.

La première partie de l'expérience consiste en un chargement asymétrique de la maquette pour simuler le comportement d'un toit soumis à des charges de vent ou de neige asymétriques. A cette étape, on ne s'est pas rendu à la rupture des éléments structuraux. La maquette est chargée progressivement, et à chaque changement de charge d'environ 90 Newtons, on prend la lecture de chacun des micro-mètres et l'enregistreur automatique prend lui aussi, la lecture de chacune des jauges. On a déchargé la maquette par étape après s'être rendu à 445 Newtons.

A l'expérience, au chargement symétrique, l'on s'est rendu à la rupture qui a lieu à 3160 Newtons. Les résultats des lectures apparaissent aux tables ci-jointes.

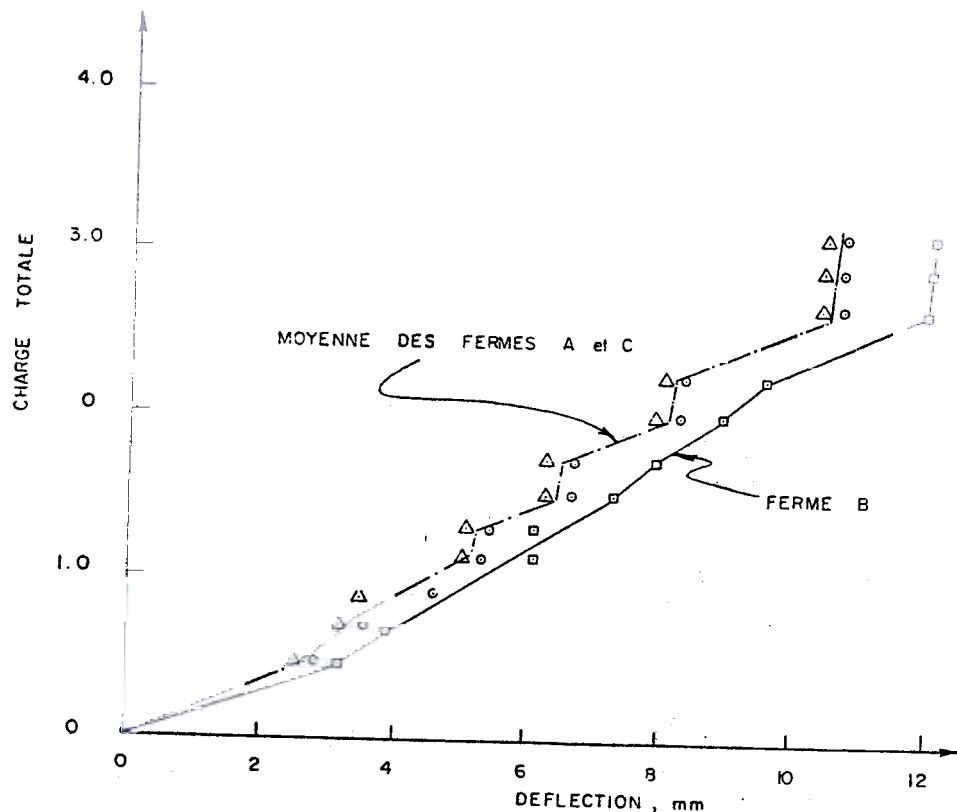


Fig. Courbes charges déformations de la faîtière.

Notons que la rupture s'est produite là où les fibres du bois ne passent pas dans le sens longitudinal de la pièce mais au contraire elle les croise obliquement. Ceci est probablement l'une des causes de la rupture à cet endroit. Cette faiblesse correspond à celle occasionnée par les noeuds dans une ferme réelle.

La présente est une étude poursuivie par le département de la restauration du Ministère des Affaires du Nord du Canada conjointement avec l'Ecole d'architecture de l'Université de Montréal. Les tests ont eu lieu au laboratoire de la structure de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Montréal.

1. Modification des pannes

Les pannes de bois, 5/8" x 1/2", étaient relativement plus faibles que les fermes du modèle. Pour éviter leur rupture prématurée, il aurait fallu doubler et même tripler le nombre de suspentes de charges activées par un vérin contral.

Ce mode de chargement, par vérin, est très supérieur au chargement réalisé par l'addition répétée de petites masses. Donc, pour limiter le temps de montage, on a préféré remplacer les pannes de bois par des pannes de même taille en aluminium.

Les pannes étant continues, la répartition des charges, appliquées à la mi-portée des pannes, sur les fermes dépend de deux (2) paramètres :

- le module d'élasticité des pannes,
- la raideur relative des trois fermes.

Nous avons donc affaire à des poutres sur trois appuis élastiques.

2. Vérification de la répartition des charges

Considérant que les trois fermes ont la même raideur, il a été calculé le 1% de charge totale répartie entre les trois fermes ; l'on a obtenu 30.5% sur chaque ferme extrême et 39% sur la ferme centrale.

La comparaison des flèches en faîtière, à chaque ferme indique que la répartition de charge (celle-ci étant proportionnelle aux raideurs) a été respectivement de 31.5%, 36.3%, 32.2%.

Ces résultats sont reportés à la Table I dans laquelle on a aussi indiqué la répartition de charge pour des pannes de bois continues ou en portée simple. L'effet de cette répartition sur les fermes est illustré par les courbes charges-flèches montrées à la Fig. 1.

OBSERVATION :

Le comportement observé des fermes A, B, et C, est quasi conforme aux répartitions théoriques des charges calculées.

Dans un essai futur de maquette à trois fermes, on pourrait envisager de déplacer le point d'application des suspentes légèrement vers les fermes d'extrémité et obtenir un chargement réparti 1/3, 1/3, 1/3 sur chacune des fermes. On obtiendrait ainsi un essai où les trois fermes seraient également sollicitées.

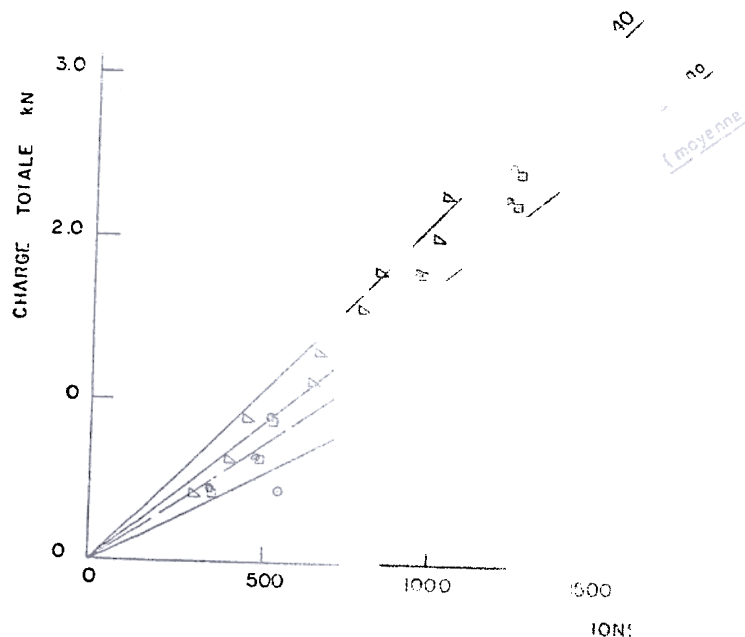


Fig. Courbes comparat

3. Blocage de l'appui libre

Malgré l'emploi de lubrifiant, le glissement de la sablière sur la surface plastifiée s'est fait par à-coups. Le tracé de certaines courbes de déplacement horizontal montre bien ce mouvement saccadé qui n'a pas toutefois bloqué les déplacements.

Nous avons réparé la ferme fracturée et répété le chargement en plaçant sous la sablière de l'appui libre en double feuillet de polyéthylène ; la friction observée est quasi-nulle. Pour un prochain essai, nous suggérons d'utiliser des feuillets de "Teflon" ce qui annulerait de façon pratique toute restrainte horizontale.

4. Etude des déformations

Après avoir examiné les déformations mesurées par les jauges de contrainte, l'on a constaté que la plupart des lectures de jauges symétriquement placées varient dans le même sens et de la même quantité.

Seules les jauges 39 et 40 comparées aux jauges 33 et 34 peuvent donner des difficultés d'interprétation ; en effet, dès le début du chargement, la jauge 39 a indiqué des déformations plus grandes que les jauges 33, 34 et 40.

La moyenne des lectures des jauges 39 et 40 est de l'ordre de 10 à 15% supérieure à la moyenne des déformations lues par les jauges symétriques 33 et 34 (voir fig. 2).

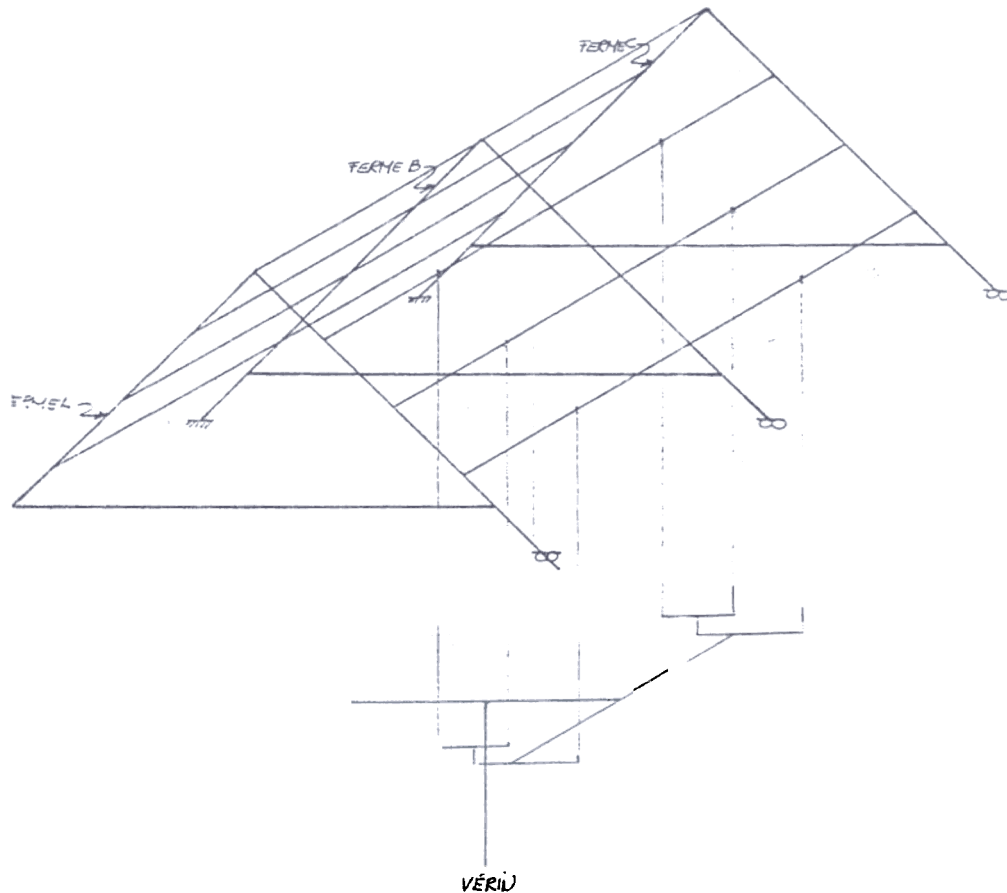
On notera la position de ces jauges (39 et 40) par rapport au sens très irrégulier du bois (fig. 2). Les jauges se trouvent à 4.2 po. du noeud ; la fissure commence d'un côté à 3.5 po. du noeud pour se terminer de l'autre côté à 5.0 po. du noeud.

5. Essais sur le bois de la maquette

5.1. Deux essais de flexion avec charge au tiers sur une portée de 12 po. ont été réalisés sur les pannes de bois pour mesurer le module et la résistance du bois. Les résultats obtenus sont les suivants :

	Module E_{BOIS}	Contraintes à la rupture
Essai N° 1	1.45×10^6 psi	12,288 psi
Essai N° 2	1.67×10^6 psi	12,922 psi
Moy.	1.56×10^6 psi	12,605 psi

CHARGEMENT SYMÉTRIQUE



5.2. Trois essais de flexion avec charge centrale sur portée de 12 po. ont été réalisés sur les pannes de bois du modèle pour mesurer leur résistance. Ces résultats obtenus sont les suivants :

Essais N°	Contraintes à la rupture
1	9,677 psi
2	11,078 psi
3	11,264 psi

Ces valeurs obtenues sous charge centrale, se comparent bien aux résultats d'essais avec charge au tiers.

6. Comparaison avec calculs sur ordinateur

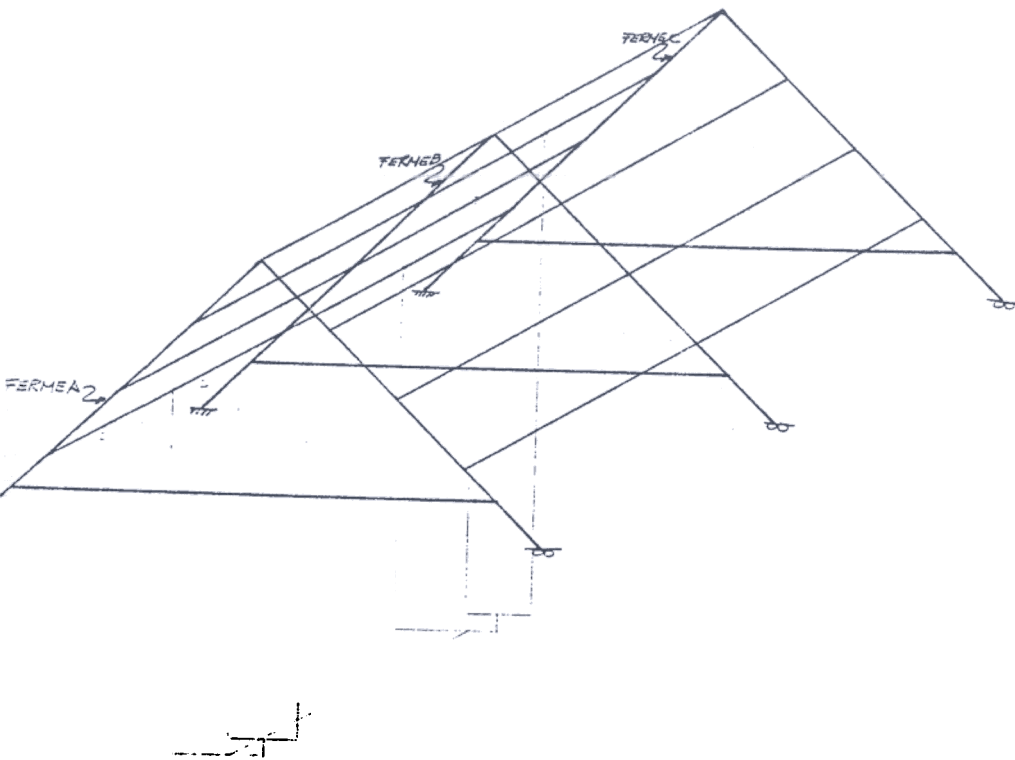
L'on a analysé une ferme type avec le programme EL-2D développé à la Polytechnique. L'on a analysé la ferme pour les conditions suivantes :

- a) noeuds bloqués ou noeuds rotulés,
- b) module du bois : 1.5×10^6 psi.

Pour une charge de 254 lb (soit l'équivalent de 36.6% de la charge totale (3115 Newtons) reprise par la ferme centrale) la flèche centrale calculée est de 13.7 mm pour noeuds encastrés et 15.5 mm pour noeuds rotulés. La valeur expérimentale mesurée de 12.2 mm semble confirmer l'examen visuel des barres lors de l'essai que les noeuds entrain-arbalétriers sont restés rigides jusqu'à la fin de l'essai.

L'analyse complète des tests est en cours d'exécution.

CHARGEMENT ASYMETRIQUE



SUMMARY

STUDY OF THE BEHAVIOR OF A TRIANGULAR WOOD ROOF FRAMEWORK UNDER SYMMETRICAL AND ASYMMETRICAL STRESS

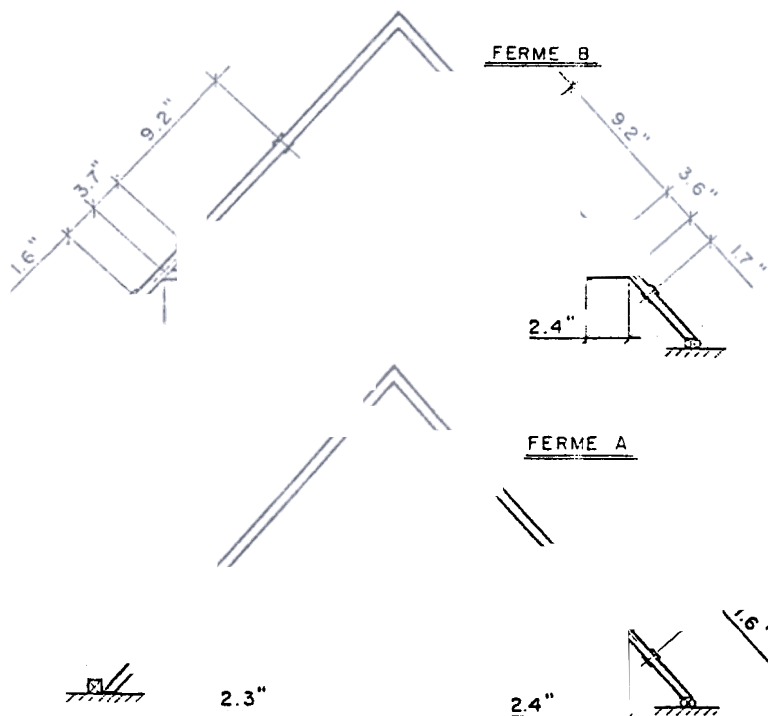
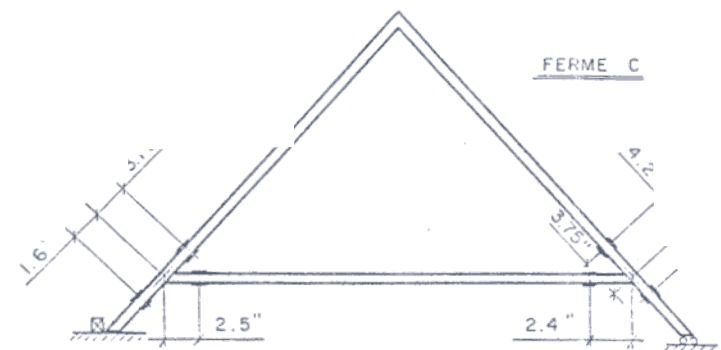
The first part of the experiment exerts a symmetrical pressure on the model to simulate the reaction of a roof under asymmetrical wind or snow pressure. The model is progressively loaded with 90 newtons each time. We successively unloaded after 445 newtons. When doing the symmetrical loading test we reached the rupture point, which occurred at 3160 newtons. The rupture occurred where the wood fibers were not along the length of the piece of wood, but were oblique. This is probably one of the reasons for the rupture at this point. It corresponds to the knots in a real roof truss.

The purlins being continuous, the load distribution (applied at the half-span of the purlins) on the trusses depends on two parameters :

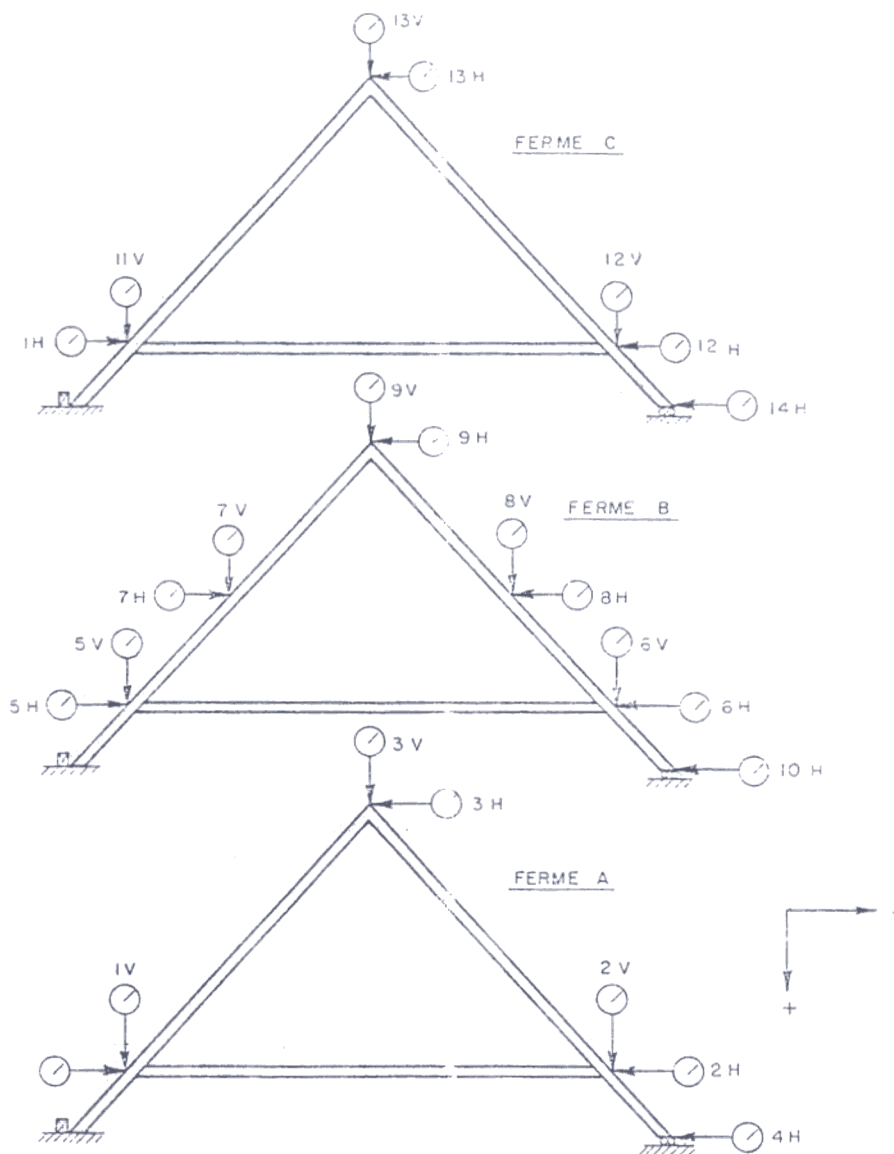
- the purlins module of elasticity
- the relative stiffness of the three trusses

Despite the use of a lubricant, the slipping of the wall-plate on the plastified surface occurs in jolts. The line of certain horizontal displacements shows this jerky movement, which did not stop the displacements.

After examining the deformations measured by a strain gauge, we concluded that most of the readings of the symmetrically placed gauges varied in the same way and in the same quantity.



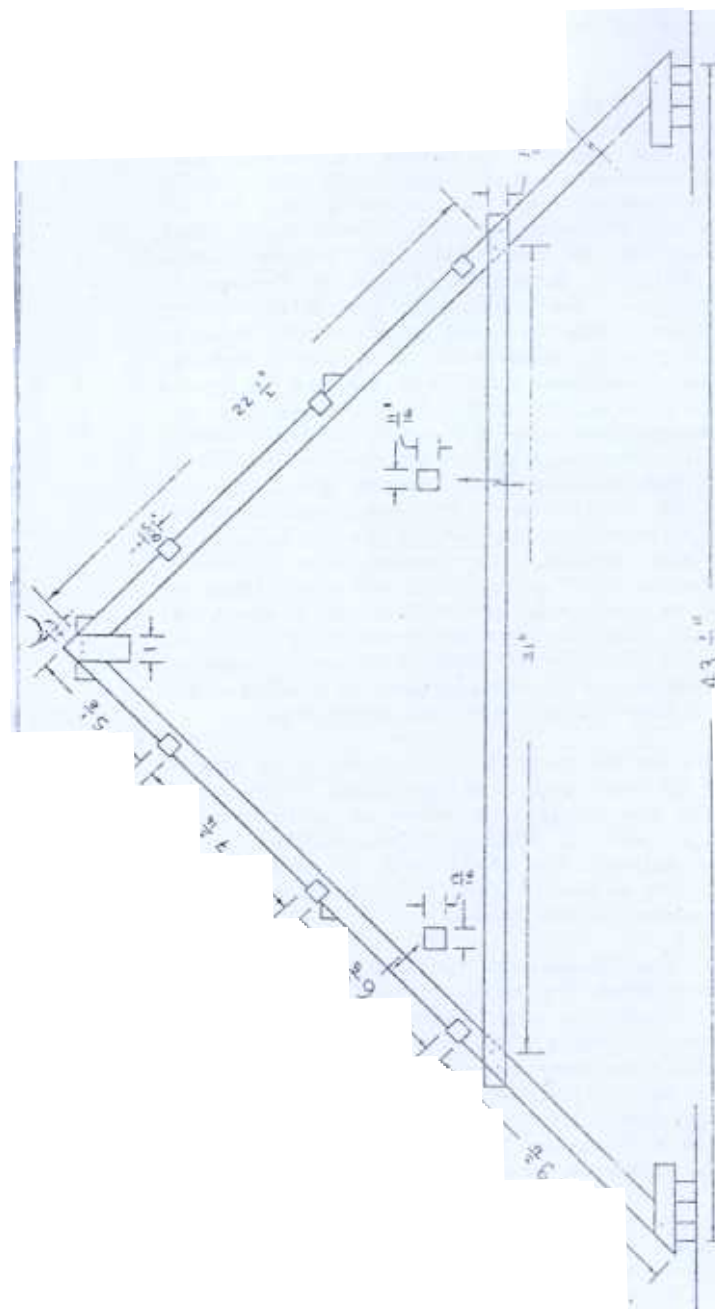
POSITION DES JAUGES



NUMEROTATION DES MICROMETRES

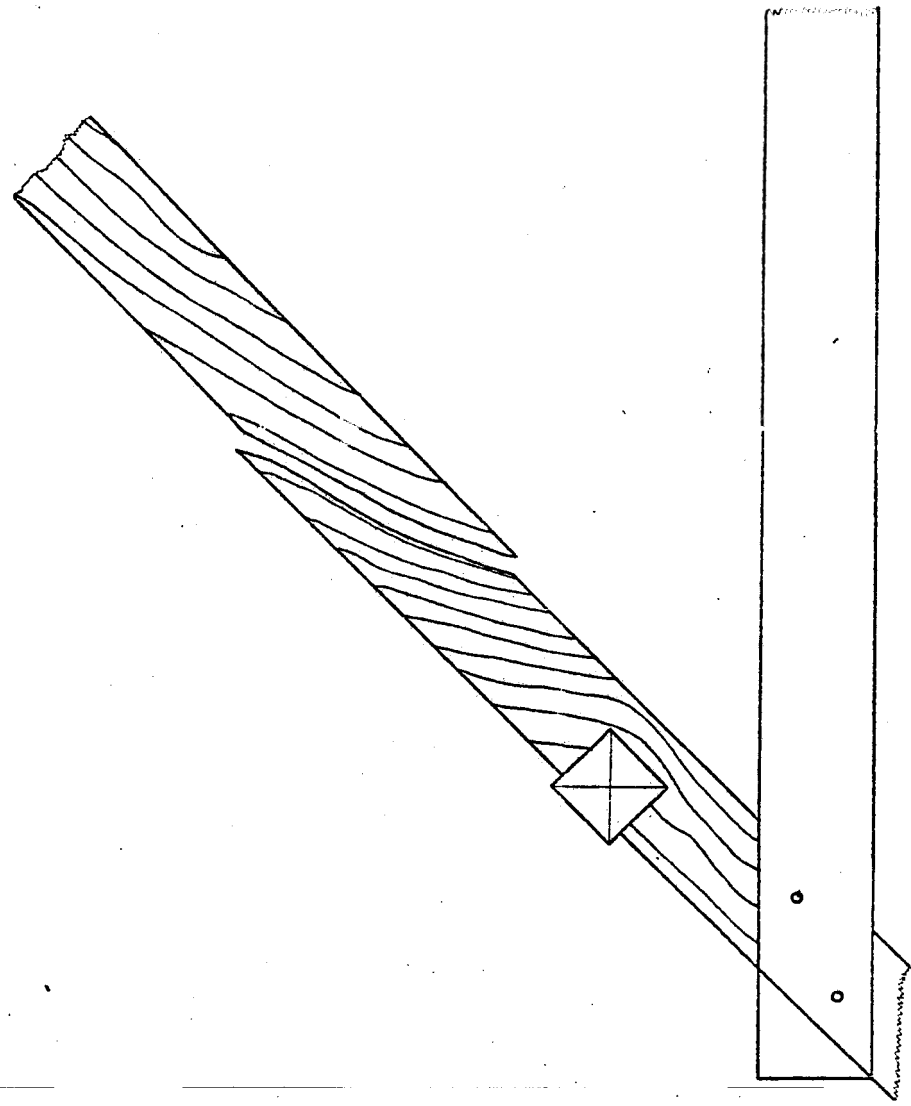
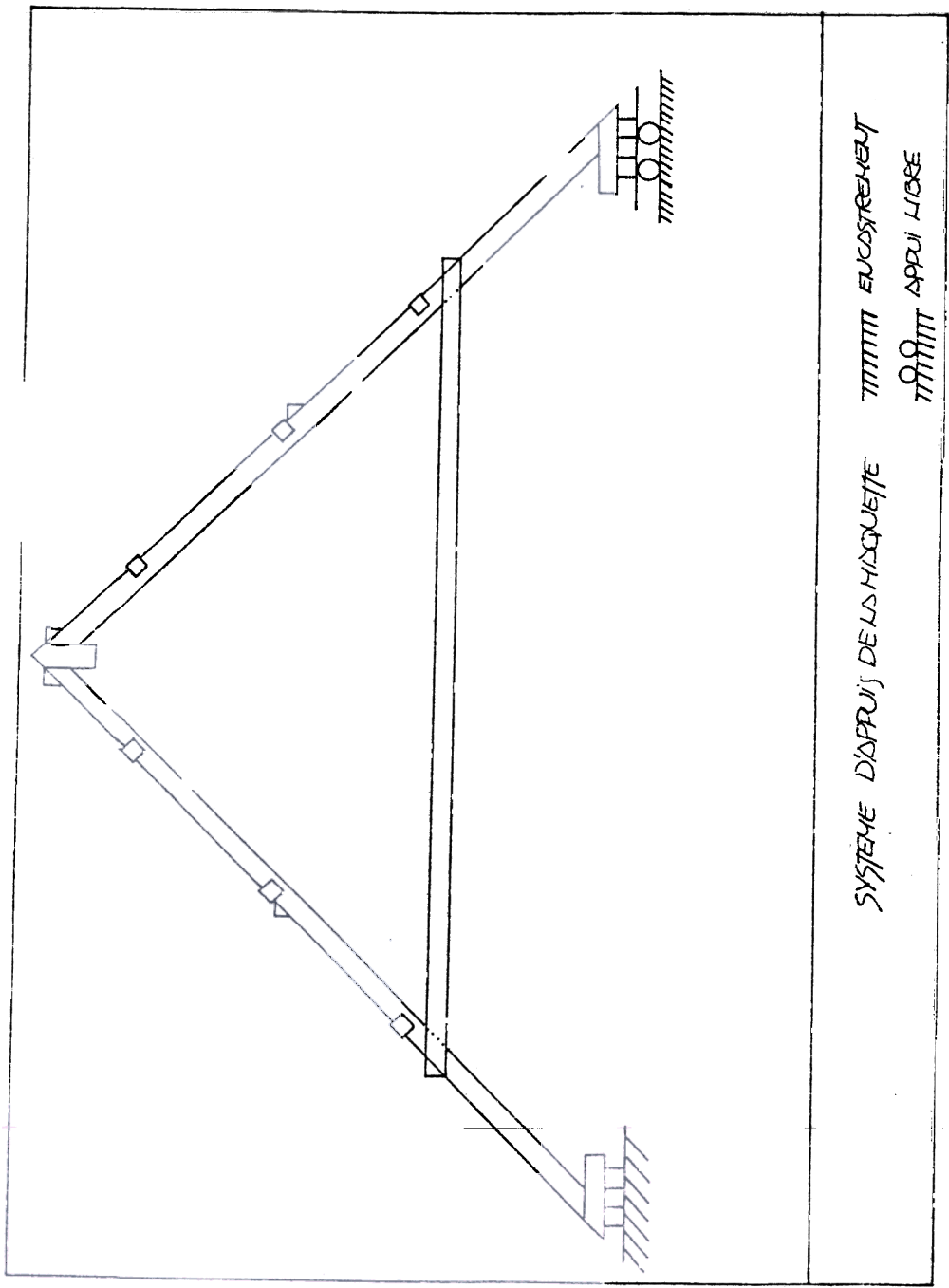


A hand-drawn diagram of a railway track layout. It shows a main track on the left with a branch track on the right. The main track has points 1, 2, 3, and 4. The branch track has points 5 and 6. There is a crossing between the main track and the branch track. The diagram is labeled 'TUNNEL' and 'B-4'.



QUANTITY OF	PRICE
100	100
200	200
300	300
400	400
500	500
600	600
700	700
800	800
900	900
1000	1000

DESCRIPTION DE LA HAQUETTE
4 DIMENSIONNELLE DE LA HAQUETTE



CHAIN DU BOIS DANS LA REGION RUPTURE

TABLE II

DEPLACEMENTS, CHARGEMENT SYMETRIQUE, FERME B

CHARGE APPLIQUEE (N)	DEPLACEMENTS LUS AUX MICROMETRES, mm										
	S H	S V	6 H	6 V	7 H	7 V	8 H	8 V	9 H	9 V	10 H
0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0
445	2.31	2.69	2.12	2.48	2.91	3.97	0.83	3.94	2.06	3.17	4.77
668	2.97	3.30	2.68	3.24	4.00	5.03	0.99	4.13	2.70	3.96	retiré
890	3.20	3.68	2.86	3.53	4.39	5.56	1.11	5.75	2.87	4.30	
1,112	4.85	4.91	4.43	5.34	6.78	7.76	1.69	8.26	4.55	6.09	
1,335	4.85	5.02	4.39	5.37	7.00	8.04	1.46	8.58	4.53	6.10	
1,558	6.25	6.31	5.56	6.35	retiré	9.84	1.92	10.54	5.83	7.34	
1,780	6.25	6.44	5.33	6.44		10.00	1.75	10.83	6.00	7.99	
2,003	8.00	7.87	6.95	8.04		12.24	2.49	13.25	7.51	8.97	
2,225	8.00	7.93	6.92	8.13		12.44	2.33	13.50	7.50	9.01	
2,670	10.41	9.87	8.81	10.64		15.92	2.93	17.36	9.51	12.21	
2,893	10.44		8.77	10.74		16.14	2.72	17.64	9.51	12.20	
3,115	10.44	9.93									
3,160			8.71	10.87		16.66	2.48	18.00	9.51	12.20	

R U P T U R E

R U P T U R E

CHARGE APPLIQUEE (N)	DEPLACEMENTS LUS AUX MICROMETRES, mm						
	H 4	A 3	H 3	A 2	H 2	A 1	H 1
0	0	0	0	0	0	0	0
445	2.33	2.51	2.01	2.12	2.13	2.90	2.09
668	5.53	3.15	2.57	2.78	2.64	2.34	2.67
890	5.95	3.47	2.72	3.06	2.82	4.52	2.89
1,112	5.04	5.02	4.39	4.55	4.32	3.69	3.73
1,335	9.16	5.11	4.39	4.93	4.34	2.73	4.74
1,558	6.39	5.53	19.5	99.5	54.8	49.4	0.00
1,780	14.11	45.39	5.66	5.75	15.5	17.4	50.9
2,003	94.41	96.7	10.7	11.7	63.9	68.5	69.7
2,225	48.48	40.8	11.7	52.7	66.9	46.5	17.7
2,670	19.81	48.01	8.90	23.01	86.8	45.7	retiré
2,893	29.62	85.01	8.90	83.01	19.7		
3,115	16.81						
3,160							

B R U T D U R

DEPLACEMENTS, CHARGEMENT SYMETRIQUE, FERME A

TABLE I

TABLE IV

DEFORMATIONS, GAUCHAGE SYMETRIQUE, FERME A

CHARGE APPLIQUEE (N)	DEFORMATIONS UNITAIRES 10^{-4} μ po/po											
	JAUGE 1	JAUGE 2	JAUGE 3	JAUGE 4	JAUGE 5	JAUGE 6	JAUGE 7	JAUGE 8	JAUGE 9	JAUGE 10	JAUGE 11	JAUGE 12
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
445	- 367	+ 340	- 356	+ 338	- 207	+ 219	- 288	+ 240	- 358	+ 336	- 130	+ 159
666	- 437	+ 403	- 459	+ 428	- 255	+ 270	- 388	+ 325	- 473	+ 443	- 182	+ 218
890	- 450	+ 400	- 505	+ 462	- 289	+ 294	- 406	+ 328	- 518	+ 480	- 205	+ 244
1113	- 707	+ 671	- 768	+ 716	- 413	+ 446	- 657	+ 581	- 780	+ 731	- 319	+ 399
1335	- 683	+ 629	- 782	+ 722	- 430	+ 451	- 647	+ 541	- 788	+ 734	- 331	+ 402
1558	- 893	+ 865	- 1007	+ 953	- 538	+ 581	- 872	+ 754	- 1002	+ 941	- 431	+ 546
1780	- 885	+ 828	- 1013	+ 941	- 550	+ 583	- 845	+ 718	- 1010	+ 942	- 444	+ 547
2003	- 1173	+ 1145	- 1302	+ 1216	- 691	+ 749	- 1111	+ 969	- 1267	+ 1188	- 566	+ 720
2225	- 1168	+ 1113	- 1311	+ 1218	- 702	+ 749	- 1086	+ 937	- 1273	+ 1189	- 577	+ 723
2448	- 1147	+ 1067	- 1331	+ 1227	- 717	+ 752	- 1048	+ 892	- 1288	+ 1194	- 595	+ 727
2670	- 1578	+ 1546	- 1732	+ 1615	- 918	+ 991	- 1420	+ 1236	- 1652	+ 1541	- 757	+ 968
2893	- 1527	+ 1484	- 1729	+ 1603	- 926	+ 979	- 1380	+ 1189	- 1659	+ 1541	- 771	+ 969
3115	- 1510	+ 1441	- 1750	+ 1621	- 944	+ 985	- 1342	+ 1139	- 1673	+ 1551	- 788	+ 971

= Traction
= Compression

R U P T U R E

DEPLACEMENTS LUS AUX MICROMETRES, mm							CHARGE APPLIQUEE (N)
H 1 T	A 3 T	H 3 T	A 2 T	H 2 T	A 1 T	H 1 T	
0	0	0	0	0	0	0	0
4.66	2.70	2.29	2.54	2.10	2.04	2.16	445
6.24	3.53	2.73	3.36	2.80	2.68	2.82	668
6.72	4.66	2.96	3.64	2.98	2.89	3.03	890
6.86	5.36	4.58	5.42	4.40	4.04	4.52	1113
6.87	5.47	4.58	5.48	4.40	4.05	4.52	1335
12.57	6.76	5.96	6.60	5.53	5.03	5.85	1558
12.59	6.76	6.11	6.99	5.52	5.05	6.85	1780
retiré	8.38	7.70	8.42	7.79	7.19	8.47	2003
10.78	8.39	7.72	8.49	9.79	8.29	9.37	2225
10.78	10.78	retiré	11.11	8.55	8.57	9.96	2448
10.80	10.80		11.25	8.57	8.87	11.13	2670
			11.36	8.57	16.7	89.6	2893

TABLE III
DEPLACEMENTS, CHARGEMENT SYMETRIQUE, FERME C

TABLE VI.

DEFORMATIONS, CHARGEMENT SYMÉTRIQUE, PERNÉ C

CHARGE APPLIQUÉE (N)	DEFORMATIONS UNITAIRES 10^{-4} μ po/po													
	JAUGE 31	JAUGE 32	JAUGE 33	JAUGE 34	JAUGE 35	JAUGE 36	JAUGE 37	JAUGE 38	JAUGE 39	JAUGE 40	JAUGE 41	JAUGE 42		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
445	-350	+312	-352	+351	-169	+167	-224	+284	-540	+305	-302	+317		
668	-472	+421	-474	+474	-226	+249	-311	+396	-731	+408	-403	+424		
890	-490	+420	-513	+510	-254	+270	-172	+127	-738	+445	-444	+463		
1113	-724	+655	-752	+751	-361	+406	-486	+622	-1181	+641	-616	+658		
1335	-693	+608	-753	+749	-369	+408	-454	+569	-1187	+651	-612	+713		
1588	-916	+823	-968	+967	-460	+520	-617	+792	-1539	+828	-787	+871		
1780	-893	+783	-972	+967	-471	+523	-597	+749	-1549	+836	-800	+867		
2003	-1156	+1045	-1224	+1224	-577	+658	-786	+1011	-1961	+1034	-993	+1081		
2225	-1135	+1007	-1230	+1223	-583	+662	-768	+975	-1972	+1043	-1001	+1081		
2448	-1105	+956	-1240	+1231	-588	+652	-742	+920	-1988	+1055	-1020	+1086		
2670	-1520	+1385	-1225	+1622	-746	+857	-1035	+1336	-2626	+1341	-1294	+1408		
2893	-1509	+1359	-1654	+1645	-753	+858	-1051	+1364	-2725	+1373	-1340	+1446		
3115	-1478	+1312	-1664	+1654	-764	+862	-1020	+1304	-2740	+1385	-1358	+1449		

Traction
CompressionTraction
Compression

CHARGE APPLIQUÉE (N)	DEFORMATIONS UNITAIRES 10^{-4} μ po/po														CHARGE APPLIQUÉE (N)	JAUGE 41	JAUGE 42
	JAUGE 25	JAUGE 26	JAUGE 27	JAUGE 28	JAUGE 29	JAUGE 30	JAUGE 31	JAUGE 32	JAUGE 33	JAUGE 34	JAUGE 35	JAUGE 36	JAUGE 37	JAUGE 38			
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
340	-82	+110	-114	+333	-284	+424	-340	+340	-340	+340	-340	+340	-340	+340	340	340	340
471	-139	+172	-176	+454	-384	+594	-471	+471	-471	+471	-471	+471	-471	+471	471	471	471
558	-181	+200	-207	+531	-443	+709	-558	+558	-558	+558	-558	+558	-558	+558	558	558	558
790	-273	+366	-349	+709	-590	+989	-790	+790	-790	+790	-790	+790	-790	+790	790	790	790
862	-306	+364	-364	+774	-1082	+1335	-862	+862	-862	+862	-862	+862	-862	+862	862	862	862
1051	-401	+541	-503	+928	-1315	+1678	-1051	+1051	-1051	+1051	-1051	+1051	-1051	+1051	1051	1051	1051
1111	-434	+542	-519	+964	-1505	+1846	-1111	+1111	-1111	+1111	-1111	+1111	-1111	+1111	1111	1111	1111
1348	-550	+768	-686	+1178	-1678	+2225	-1348	+1348	-1348	+1348	-1348	+1348	-1348	+1348	1348	1348	1348
1398	-581	+768	-702	+1017	-1745	+2225	-1398	+1398	-1398	+1398	-1398	+1398	-1398	+1398	1398	1398	1398
1477	-630	+774	-732	+1076	-1846	+2225	-1477	+1477	-1477	+1477	-1477	+1477	-1477	+1477	1477	1477	1477
1795	-696	+1119	-962	+1924	-2204	+2725	-1795	+1795	-1795	+1795	-1795	+1795	-1795	+1795	1795	1795	1795
1867	-829	+1110	-998	+2316	-2316	+2725	-1867	+1867	-1867	+1867	-1867	+1867	-1867	+1867	1867	1867	1867
1946	-888	+1112	-1036	+2421	-2421	+2725	-1946	+1946	-1946	+1946	-1946	+1946	-1946	+1946	1946	1946	1946

DEFORMATIONS, CHARGEMENT SYMÉTRIQUE, PERNÉ C

TABLE VI.