

ETUDE DE LA LUBRIFICATION D'UN MOUVEMENT NON EMPIERRE  
ESSAI D'INTERPRETATION DES RESULTATS

COMMUNICATION DE MM. J.-P. RENAUD, A. RENFER, C. STETTLER  
LABORATOIRE SUISSE DE RECHERCHES HORLOGERES (LSRH), NEUCHATEL

RESUME :

Des remarques faites lors de la mise dans le commerce de l'huile 941 type définitif ont rendu nécessaire une étude détaillée de la lubrification des mouvements non empierrés. La littérature est très avare de renseignements à ce sujet. Un calibre Roskopf a été choisi. Sept huiles et un lubrifiant filmogène ont été comparés. Les essais comportent des mesures pratiques d'amplitude et une étude de l'amortissement du balancier non entretenu.

Les différences entre trois types d'huile 941 ont été précisées. L'avantage de l'huile spéciale pour levées a été mis en évidence. On a pu estimer l'importance des paramètres tels que répétition, position, caractère individuel des mouvements.

INTRODUCTION

Dans les actes de la SSC, on trouve de nombreuses communications ayant trait aux huiles d'horlogerie. La plupart d'entre elles avaient pour sujet la lubrification des mouvements empierrés et on n'a fait que très rarement allusion au comportement des huiles dans les mouvements sans pierres qui sont pourtant fabriqués en très grand nombre. C'est la raison pour laquelle nous avons décidé d'entreprendre une étude systématique de ce problème. Cette communication fait le point sur une première série de travaux. Les résultats expérimentaux sont nombreux, mais ils ne suffisent pas encore pour établir une véritable théorie de la lubrification des mouvements non empierrés. On ne trouve dans la littérature spécialisée que des renseignements tout à fait fragmentaires auxquels on peut difficilement se référer.

Nous avons choisi pour cette étude des mouvements Roskopf non empierrés, de calibre 8 3/4''. Il est bien évident que les mouvements de ce genre n'ont pas des marches aussi régulières que des pièces ancre soignées. La dispersion des résultats d'une pièce à l'autre est assez grande. Pour ne pas faire de tort à la maison qui a aimablement mis ces mouvements à notre disposition, nous éviterons de mentionner le nom du fabricant et le numéro du calibre.

Un second point justifie notre décision d'entreprendre ces essais. En effet, à partir d'octobre 1971, on a vu apparaître dans le commerce l'huile pour levées No 941 type "définitif", qui remplaçait la qualité "provisoire" vendue depuis plusieurs années aux fabricants qui étaient disposés à effectuer des essais en atelier.

Quelques modifications avaient été apportées au type provisoire avant qu'on ne lance l'huile sous la désignation de qualité définitive. On avait dû corriger, en particulier, un défaut de tenue au froid. Dans les mois qui ont suivi, quelques maisons ont signalé des ennuis avec la nouvelle nuance et nous tenions à entreprendre des essais systématiques pour voir s'il y avait lieu d'apporter encore des corrections. Par la même occasion, une comparaison a été faite avec toutes les huiles du groupe Synt-A-Lube, avec une huile à base de phosphate organique et avec le lubrifiant Miracle Plastic.

Nous relèverons encore le fait que l'additif d'onctuosité

de l'huile 941 type définitif n'est pas le même que celui de la qualité provisoire. Nous avons donc encore essayé parallèlement une huile 941 de type définitif, contenant l'additif employé jusque là pour la qualité provisoire.

LISTE DES LUBRIFIANTS MIS EN OEUVRE

- 1) Synt-A-Lube, qualité commerciale courante, art. 9010
- 2) Synta-Frigo-Lube, qualité commerciale courante, art. 9030
- 3) Huile 941, type provisoire, désignée Prov.
- 4) Huile 941, type définitif avec son additif normal, désignée Déf."S"
- 5) Huile 941, type définitif avec l'additif d'onctuosité de la qualité provisoire, désignée Déf."P"
- 6) Huile Synta-Visco-Lube, qualité commerciale courante, art. 9020
- 7) Huile spéciale Moebius No 562 (huile synthétique à base de phosphates organiques)
- 8) Lubrifiant Miracle Plastic de Swiss American Laboratory

COMPARAISON DES PROPRIETES DE FROTTEMENT

Valeurs relevées sur la machine à 4 billes LSRH travaillant avec des billes en acier 6 mm Ø:

- Coefficient de frottement  $\mu$  - largeur du sillon - charge de grippement: Déterminations faites avec une vitesse de 11 t/min, avec une charge croissant de 0 à 160 kp en 15 min (mesurée sur le levier de la machine)
- Usure: vitesse 11 t/min - charge 20 kp - parcours 500 m

	Huile : 1	2	3	4	6	7
Coef. frot. $\mu$ min.	0,15	0,15	0,14	0,16	0,15	0,17
max.	0,27	0,27	0,19	0,20	0,24	0,20
Largeur sillon $\mu\text{m}$	411	420	356	340	428	320
Charge grippement kp	90	70	>160	>160	100	>160
Usure $\text{mm}^3/500 \text{ m} \times 10^3$	1,7	2,5	1,3	1,9	1,6	0,2

DONNEES REÇUES DE L'INDUSTRIE

De nombreux essais systématiques ont été effectués en atelier. Nous retiendrons uniquement deux séries de résultats ayant trait à des calibres Roskopf sans pierres, du

même genre que ceux utilisés pour nos propres essais.

a) Contrôles d'amplitude

(Moyennes prises chaque fois sur 20 mouvements)

	Départ		Après 1 mois	
	HH 1	VB 24	HH 1	VB 24
941 Prov.	297 <sup>0</sup>	182 <sup>0</sup>	265 <sup>0</sup>	151 <sup>0</sup>
941 Déf."S"	297 <sup>0</sup>	190 <sup>0</sup>	256 <sup>0</sup>	101 <sup>0</sup>

On voit immédiatement que les valeurs au départ sont peu différentes. Le type définitif serait même meilleur; mais, après un mois, il présente une dégradation plus importante et la différence plat-pendu augmente considérablement plus qu'avec l'autre huile.

b) Essais sur le balancier libre: contrôle du nombre d'alternances jusqu'à l'arrêt

Les deux séries d'essais n'ont pas été faites sur les mêmes mouvements. On a pris chaque fois 20 pièces différentes. Pour faciliter la comparaison, on indique non seulement la moyenne générale, mais aussi celles des cinq meilleurs mouvements et des cinq plus mauvais.

Relevons que ce nombre d'alternances donne une bonne idée de l'énergie perdue par frottement. La même méthode sera utilisée plus loin, mais en arrêtant le comptage à une amplitude fixe de 50<sup>0</sup>, ce qui est plus facile et plus précis que d'estimer l'arrêt.

ESSAIS PRATIQUES EN FABRIQUE - MOUVEMENTS ROSKOPF 1 PIERRE

Nombre d'alternances du système balancier-spiral jusqu'à l'arrêt

Position:	Départ		1 semaine		3 semaines	
	H	V	H	V	H	V
1) moyenne de 20 mouvements						
941 Prov.	145	52	149	56	156	55
941 Déf."S"	157	48	165	48	165	49
2) moyenne des 5 meilleurs						
941 Prov.	198	59	197	61	202	62
941 Déf."S"	211	53	221	54	216	54
3) moyenne des 5 pires						
941 Prov.	94	46	108	50	112	49
941 Déf."S"	98	41	97	42	108	42

Dans ce cas, les différences entre les deux huiles sont moins nettes, mais l'écart entre les positions H et V est un peu plus grand avec le type définitif.

ESSAIS PRATIQUES CONDUITS AU LSRH

I Sur des mouvements empierrés

C'est le seul cas où nous ayons fait intervenir des mouvements avec pierres; il s'agit de mouvements baguettes 8 jours Le Coultre, cal. 280, dont nous nous servons pour contrôler les effets de l'huile sur l'amplitude. Les mesures sont faites dans la position où les axes sont horizontaux, à 20 h du haut de l'armage. Tous les chiffres sont ramenés à une référence commune: huile classique Moebius 8000, amplitude = 250<sup>0</sup>.

Une comparaison directe a été faite entre les trois types d'huile 941; elle a donné les résultats suivants:

941 Prov.	250 <sup>0</sup>
941 Déf."S"	243 <sup>0</sup>
941 Déf."P"	233 <sup>0</sup>

Nous avons ensuite repris dans des documents plus anciens six valeurs concernant chacune des deux huiles 941 étu-

diées. Ces mesures n'ont pas été faites au même moment, et d'autres huiles ont été essayées entre-temps dans les mêmes mouvements.

941 Prov.	250 <sup>0</sup> - 253 <sup>0</sup> - 262 <sup>0</sup> - 235 <sup>0</sup> - 267 <sup>0</sup> - 249 <sup>0</sup>
	moyenne = 253 <sup>0</sup>
941 Déf."S"	238 <sup>0</sup> - 262 <sup>0</sup> - 240 <sup>0</sup> - 242 <sup>0</sup> - 252 <sup>0</sup> - 243 <sup>0</sup>
	moyenne = 246 <sup>0</sup>

On voit que le type définitif donne en moyenne des amplitudes à peine plus basses.

II Sur des mouvements Roskopf 8 3/4''

Nous disposons de 100 mouvements du même type, munis de roues d'échappement métalliques. Ces mouvements ont tous été nettoyés, aux ultrasons, sur la machine Greiner, avec rinçage dans de l'alcool distillé. Ils ont été ensuite huilés et on a sorti quelques pièces dont l'amplitude au départ était inférieure à 200<sup>0</sup>. Avec les autres, on a formé des groupes de 10 (20 dans le cas du Miracle Plastic). Les huiles ont été mises en place à la main, par la méthode normale. Pour le Miracle Plastic, on a utilisé les produits No 1 et No 2, selon le mode d'emploi, à l'aide d'une machine Reina à 4 bains.

Les observations ont porté sur six mois au total. Pendant les premiers mois, les mouvements étaient remontés journalièrement à l'exception des week-ends. Pendant les mois suivants, on les a laissés arrêtés à la température ordinaire, puis ils ont été remis en marche pour quelques jours avant les mesures.

Notre contrôle a porté uniquement sur l'amplitude qui a été mesurée visuellement, à l'aide de la méthode du point lumineux. Il y a eu trois séries d'essais.

II a) Comparaison des trois types d'huile 941 avec la Synt-A-Lube

	Départ	1 sem.	5 sem.	4 mois	7 mois
Synt-A-Lube 9010	258 <sup>0</sup>	267 <sup>0</sup>	206 <sup>0</sup>	195 <sup>0</sup>	191 <sup>0</sup>
941 Prov.	267 <sup>0</sup>	271 <sup>0</sup>	242 <sup>0</sup>	245 <sup>0</sup>	233 <sup>0</sup>
941 Déf."S"	240 <sup>0</sup>	235 <sup>0</sup>	194 <sup>0</sup>	213 <sup>0</sup>	216 <sup>0</sup>
941 Déf."P"	242 <sup>0</sup>	234 <sup>0</sup>	173 <sup>0</sup>	167 <sup>0</sup>	158 <sup>0</sup>

On voit que c'est l'huile 941 Prov. qui assure le meilleur maintien de l'amplitude. Le type Déf."S" suit de près. La Synt-A-Lube se comporte moins bien; le type Déf."P" est franchement mauvais. C'est la preuve que la différence entre les qualités Prov. et Déf. n'est pas seulement due à l'additif.

II b) Nouvelle comparaison d'huile 941 Prov. et d'huile 941 Déf. avec le même additif "P"

	Départ	1 mois	2½ mois	5½ mois
941 Prov.	273 <sup>0</sup>	262 <sup>0</sup>	262 <sup>0</sup>	255 <sup>0</sup>
941 Déf."P"	259 <sup>0</sup>	229 <sup>0</sup>	216 <sup>0</sup>	191 <sup>0</sup>

Cette comparaison directe confirme les données déjà recueillies. Le type Prov. et le type Déf. ne donnent pas les mêmes résultats avec le même additif; le type Prov. a vraiment des performances remarquables.

II c) Emploi du Miracle Plastic

Les essais ont porté sur 20 mouvements:

Départ	2 sem.	6 sem.	3 mois	6 mois
180	185 <sup>0</sup>	192 <sup>0</sup>	209 <sup>0</sup>	217 <sup>0</sup>

Au départ, le Miracle Plastic donne une amplitude très faible. Avec le temps on observe une amélioration et, après 6 mois, on atteint la valeur obtenue avec l'huile

VEILLISSEMENT ACCELERE DE L'HUILE 941

La différence de comportement entre les huiles 941 Prov. et Déf."S" se manifeste au cours du temps. Il valait la peine de contrôler si une différence se manifestait aussi au cours d'un vieillissement accéléré.

Un essai a été conduit par une méthode proche de celle de Baader (norme DIN 51 554). Le mode opératoire est celui prévu par la norme; la durée de l'essai a été prolongée à 12 jours. Plusieurs propriétés de l'huile ont été contrôlées à divers stades du vieillissement, mais on ne donne ici que les valeurs de l'amplitude mesurée, comme indiqué plus haut, dans des mouvements empierrés Le Coultre, cal. 280.

Huile	Départ	7_jours	12_jours
941 Prov.	275°	-	261°
	255°	-	260°
941 Déf."S"	270°	245°	228°
	275°	252°	248°

Ces chiffres montrent immédiatement que la baisse d'amplitude est plus forte avec la qualité Déf."S". Pour les autres propriétés contrôlées, cette différence est beaucoup moins nette.

MESURES D'AMORTISSEMENT DU BALANCIER NON ENTRETENU

Pour ces essais on a choisi 24 mouvements Roskopf 8 3/4''' du même calibre que ceux utilisés dans les essais mentionnés plus haut. On a vérifié qu'ils fonctionnaient tous correctement en début d'essais.

Les mouvements ont été nettoyés, puis l'échappement a été démonté. Les paliers du balancier ont été huilés avec une des huiles à contrôler.

Les mesures d'amplitude ont été effectuées par une méthode largement connue, à partir de la vitesse de passage de deux traits tracés sur la serge du balancier. On a enregistré la courbe:  $\log. \phi = f(N)$  (N = nombre d'oscillations) entre 300° et 50°.

Chaque essai a été répété 3 fois, dans deux positions, H et V, et on a essayé 8 lubrifiants. Pour les 24 mouvements, on a fait en tout 57'600 mesures d'amplitude.

Les résultats ont été dépouillés à l'ordinateur et on a calculé le facteur de qualité Q; des méthodes d'analyse de variance ont été appliquées.

On sait que ce facteur Q est lié par une formule simple au nombre d'oscillations entre deux amplitudes données.

$$N = \frac{\ln \frac{\phi_{\max}}{\phi_{\min}} Q}{\pi}$$

On peut donc comparer directement les chiffres obtenus par cette voie avec ceux donnés plus haut pour le nombre d'oscillations jusqu'à l'arrêt. Si on passe de

$$\phi_{\max} = 300^\circ \text{ à } \phi_{\min} = 12^\circ \text{ environ,}$$

la valeur numérique est la même pour N et pour Q.

Les résultats de tous ces essais sont montrés dans une série de figures et de tableaux.

Les figures 1 et 2 donnent une idée de la dispersion des résultats, sur un groupe de 6 mouvements, dans les positions V et H. On a hachuré la surface comprise entre les courbes individuelles extrêmes pour chaque groupe de mouvements.

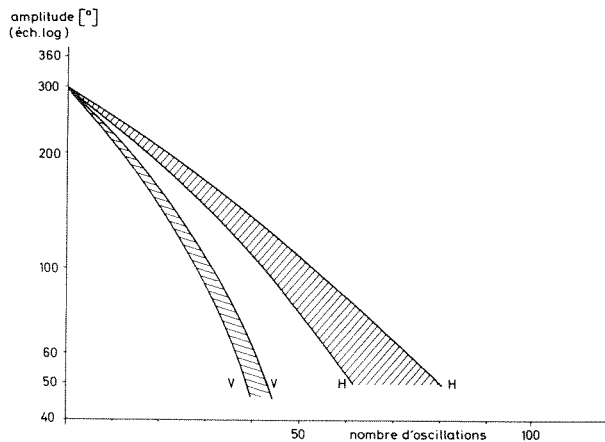


Fig. 1

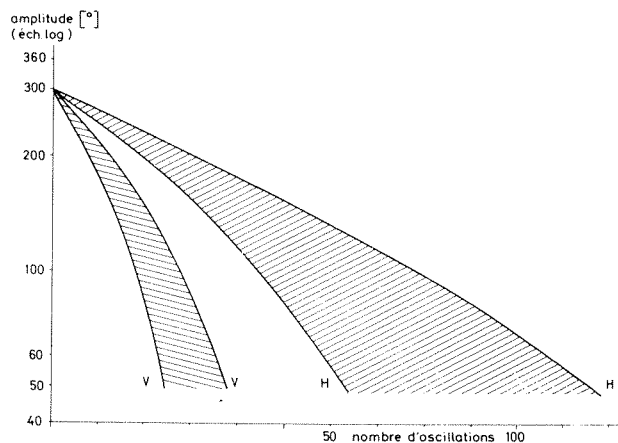


Fig. 2

La figure 1 correspond au lot de mouvements qui a donné la plus forte dispersion. La figure 2 correspond à celui qui a donné la plus faible dispersion.

Les figures 3 et 4 permettent de comparer la dispersion observée avec les deux qualités d'huile 941, avec la Synt-A-Lube et avec le Miracle Plastic. Les six mêmes mouvements ont été utilisés chaque fois. On a décalé les origines des ordonnées, pour que les courbes ne chevauchent pas trop, mais pas celles des abscisses.

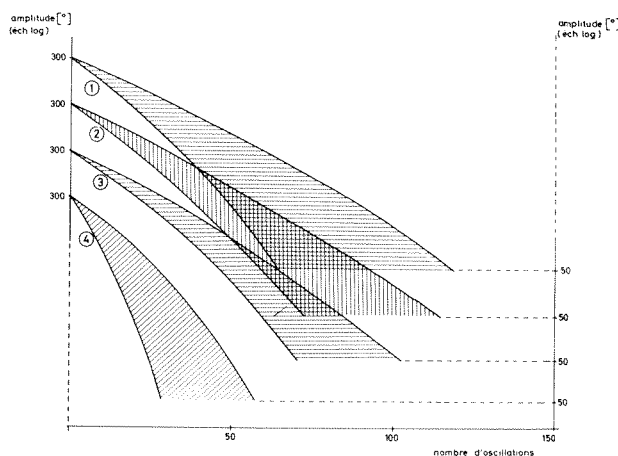


Fig. 3

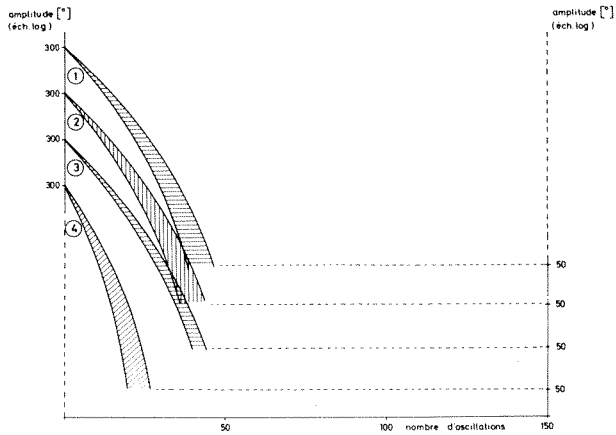


Fig. 4

Fig. 3 et 4: ① Synt-A-Lube ③ 941 Déf."S"  
② 941 Prov. ④ Miracle Plastic

Les facteurs de qualité moyens  $\bar{Q}$  obtenus avec les différentes huiles sont donnés dans le tableau ci-dessous:

Lubrification	$\bar{Q}$	
	Position HH	Position VB
1 SAL 9010	144	71
2 SFL 9030	141	70
3 941 Déf."S"	134	68
4 941 Déf."P"	132	69
5 941 Prov.	133	67
6 SVL 9020	120	66
7 Huile 562	124	61
8 Miracle Plastic	73	41

Ces chiffres sont relativement bas. Avec une montre ancre de bonne qualité, on arrive à 20 ou 30 % plus haut. Les différences entre les sept huiles ne sont pas considérables; seul le Miracle Plastic sort nettement.

Pour comparer entre eux les huit lubrifiants mis en oeuvre, on a calculé des chiffres relatifs de dispersion pour deux des effets principaux:

- effet de répétition (3 par essai)
- effet du mouvement (24 par série d'essais)

L'huile Synt-A-Lube a été prise comme référence; on lui a attribué arbitrairement la valeur "1".

	Lubrification	Pos. HH		Pos. VB	
		répét.	mouv.	répét.	mouv.
1	SAL 9010	1	1	1	1
2	SFL 9030	1,08	0,72	1,10	1,10
3	941 Déf."S"	5,06	0,50	1,69	0,87
4	941 Déf."P"	7,49	0,53	1,34	0,55
5	941 Prov.	5,32	0,52	1,54	2,93
6	SVL 9020	2,23	0,37	1,21	1,04
7	Huile 562	1,14	0,44	1,55	1,20
8	Miracle Plastic	1,13	0,22	1,54	1,74

On voit que la Synt-A-Lube assure la meilleure répétabilité quand on l'applique plusieurs fois au même mouvement. Le résultat le plus mauvais est obtenu avec l'huile 941 Déf. Au contraire, l'effet du changement de mouvement est plus grand avec la Synt-A-Lube qu'avec la plupart des autres huiles. La 941 type Prov., en position verticale, donne la plus grande dispersion.

Toutes les données recueillies sont réunies dans la figure 5 qui représente schématiquement les facteurs de qua-

lité obtenus avec les différentes huiles dans les deux positions HH et VB.

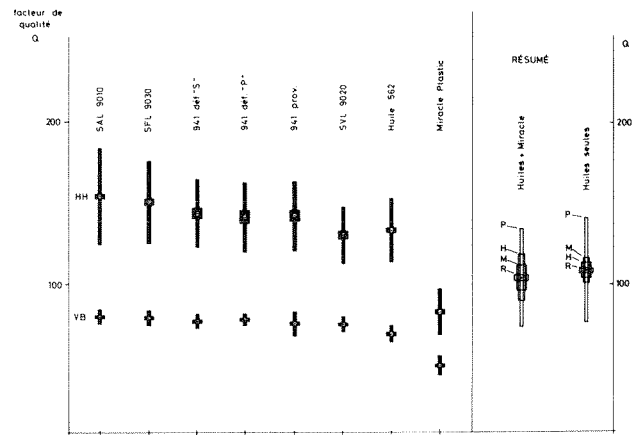


Fig. 5

Dans la partie gauche de cette figure, on montre la dispersion accompagnant la répétition dans un même mouvement (bande large près du centre) et celle qui est due au changement de mouvement (bande étroite nettement plus longue). La position particulière du Miracle Plastic ressort très nettement.

Dans la partie droite, on trouve un résumé des effets de tous les paramètres pour les huiles et le lubrifiant Miracle, ainsi que pour les huiles seules. On remarque immédiatement que l'effet de position "P" donne la dispersion la plus grande. Ensuite vient l'effet de l'huile "H", puis du mouvement "M", si l'on tient compte des propriétés très différentes du lubrifiant Miracle Plastic.

Si on néglige le lubrifiant Miracle, les facteurs "H" et "M" sont dans l'ordre inverse.

Quant à la répétition dans le même mouvement, elle n'entraîne qu'une dispersion minimale, quelle que soit l'huile.

### CONCLUSIONS

Les résultats obtenus par les différentes techniques mises en oeuvre sont cohérents. On peut dire tout d'abord que le choix de l'huile n'est pas un facteur essentiel dans la période qui suit immédiatement la mise en place de cette dernière. Les différences d'une huile à l'autre sont faibles. La dispersion observée dans les facteurs de qualité dépend beaucoup plus de l'état du mouvement et de la position que de l'huile utilisée. Seul le Miracle Plastic sort du lot en conduisant à des facteurs de qualité plus bas.

Après un certain temps, des différences plus importantes se manifestent entre les huiles. La qualité 941 Prov. sort assez nettement du lot; elle assure une meilleure conservation de l'amplitude que toutes les autres huiles.

La méthode la plus complète dont nous disposons pour aborder ces problèmes est l'étude de l'amortissement du balancier non entretenu. Les mesures sont assez longues et nous n'avons pas eu la possibilité de les répéter sur les mêmes mouvements après un délai de quelques mois. Ce point pourra être repris quand des transformations apportées à notre appareil de mesures seront terminées. Il s'agit de toute façon d'essais de très longue haleine, car les huiles doivent être posées successivement dans les mêmes mouvements et y rester chaque fois plusieurs

mois.

L'huile 941 type Déf. n'a malheureusement pas les performances exceptionnelles du type Prov. Elle est onctueuse, elle freine efficacement l'usure et elle résiste plutôt mieux au vieillissement artificiel; malheureusement elle n'assure pas aussi bien le maintien de l'amplitude.

On a déjà pu vérifier que cette différence n'était pas due au changement d'additif d'onctuosité; elle doit être mise en rapport avec les constituants de base de type diester. L'objectif des études ultérieures sera de trouver la cause de ce moins bon comportement par rapport au type Prov. et d'y apporter remède.

Une comparaison directe avec des essais conduits dans des mouvements empierrés n'est pas très facile. En effet, un des facteurs essentiels est la dispersion des résultats qui est beaucoup plus faible dans des mouvements empierrés plus soignés. Primitivement, l'huile 941 avait été prévue pour lubrifier l'échappement de montres ancre. Ses propriétés ont été appréciées des horlogers. Les phénomènes observés avec le type Prov. dans les mouvements sans pierres étaient malgré tout un peu inattendus. Nous ignorons encore la raison qui explique le très bon maintien de l'amplitude avec ce type Prov., tandis que la qualité Déf. a un comportement assez semblable à celui des autres huiles d'horlogerie.

L'étude que nous conduisons pour expliquer cette différence de comportement a donc une grande importance; elle peut aboutir à la mise au point d'un lubrifiant spécial pour les mouvements non empierrés.

