



LA SÉLECTION DES HUILES LUBRIFIANTES: UN MOYEN DE RÉDUIRE LES COÛTS DE FONCTIONNEMENT DES CAMIONS GRUMIERS*

D.A. Ljubic** et G.P. Chinn***

Sommaire

Des essais comparatifs entre des huiles minérales de référence et des huiles synthétiques à base de polyal-phaoiléfine, dans le système propulsif d'un camion de transport forestier, ont montré que l'huile synthétique présentait des avantages aux points de vue de l'économie de carburant et de la réduction du coefficient de frottement. Le rapport mentionne les conditions de fonctionnement dans lesquelles les économies de carburant justifient à elles seules l'emploi de ces huiles plus coûteuses.

Introduction

Le présent document est le troisième d'une série de fiches techniques préparées dans le but d'extraire les renseignements d'ordre pratique contenus dans les rapports scientifiques plus détaillés, publiés par FERIC sur le transport forestier [1, 2 & 5]. D'intérêt immédiat pour les exploitants de parcs de camions grumiers, ainsi que pour d'autres entreprises oeuvrant dans des domaines de transport analogues, cette information offre la possibilité de réduire les coûts de carburant et d'entretien d'un camion, ou encore d'empêcher dans le transport routier la prise de décisions qui ne procureraient pas un rendement économique acceptable.

Les documents 1, 2 et 3 cités en bibliographie montrent que dans de nombreux systèmes propulsifs (transmission, essieu avant-arrière et essieu arrière-arrière) de camions grumiers au Canada les températures des huiles lubrifiantes de la transmission sont beaucoup plus basses que les valeurs couramment admises de 80°C environ. De plus, durant l'hiver, ce problème de basse température de l'huile ne se limite pas à une période relativement courte de réchauffement après le démarrage. On se doutait déjà que l'utilisation de machines mobiles par temps froid était responsable de frais d'entretien plus élevés et raccourcissait la vie des éléments; mais on ne s'était guère arrêté à l'importance du coût supplémentaire dû à la dépense accrue de carburant qu'implique le fonctionnement avec des huiles plus froides et plus visqueuses. Ce coût s'était souvent trouvé masqué par une réduction des pertes énergétiques dues à la résistance au roulement durant l'hiver, sur les tronçons des routes qui n'étaient pas de grandes voies routières [5].

Les fournisseurs de lubrifiants ont mis au point et commercialisé un choix d'huiles lubrifiantes minérales, semi-synthétiques et synthétiques. Ils prétendent ainsi réduire la consommation de carburant et les frais d'entretien du système de transmission, surtout en période froide. Le prix de ces huiles de composition spéciale est habituellement plus élevé que celui des huiles minérales d'usage courant; c'est pourquoi le propriétaire d'un camion désire s'assurer que ces prétendus avantages sont véritables et connaître les

* Traduit par: T. Sicard-Lussier, ing.f.

** D.A. Ljubic est chargé de projets dans la section du transport secondaire, Division de l'Est.

*** G.P. Chinn a été directeur de la Division de l'Est de FERIC.

MOTS-CLÉS: Camions grumiers, Ensembles camion-remorque, Consommation de carburant, Huiles lubrifiantes, Huiles synthétiques.

This Technical Note is available in English.

conditions de fonctionnement dans lesquelles des économies réelles pourraient égaler ou dépasser le supplément de coût de ces huiles plus chères.

FERIC a planifié et effectué un certain nombre d'expériences dans des conditions contrôlées et durant un cycle normal de travail, dans le but de comparer, pour plusieurs camions, l'effet de divers types d'huiles de graissage de la transmission sur la consommation de carburant et sur les pertes énergétiques. Pour chaque série d'essais, on utilisait le même camion avec différentes huiles, et on s'est attaché à maintenir des conditions de fonctionnement identiques.

Comment les caractéristiques de l'huile lubrifiante peuvent affecter les pertes énergétiques dans la transmission

Le rendement du système propulsif d'un camion peut être réduit par des pertes de deux types différents. La première catégorie inclut les éléments qui sont indépendants du couple transmis, mais qui dépendent uniquement de la vitesse de rotation des composantes de la transmission. Ils comprennent l'énergie consommée par les pièces en mouvement dans le bain d'huile qui les entoure, et les pertes dues au frottement dans les joints d'étanchéité* et dans la pompe à huile. Dans les études de FERIC, ils ont jusqu'à maintenant été regroupés sous le terme "pertes dues au brassage de l'huile"; et on a démontré [1 et 2] que ces pertes dépendaient de la viscosité de l'huile de graissage, qui à son tour varie en fonction de sa température.

La seconde catégorie de pertes énergétiques dépend du couple transmis aussi bien que de la vitesse de rotation de la transmission. Elles comprennent les pertes dues au frottement entre les engrenages et dans les roulements.

Si on avait pour seul objectif de réduire les pertes dues au brassage de l'huile, on pourrait réduire au minimum les pertes de rendement dans la transmission en élevant la température de l'huile juste au-dessous du point où l'huile elle-même commence à carboniser et à se décomposer. Ceci pourrait se faire par échange de chaleur ou par isolation [4]. Une autre méthode consis-

terait à préparer des huiles qui ont des viscosités plus basses à toutes leurs températures, dans la gamme qu'on est susceptible de rencontrer au Canada (-50°C à +90°C). Toutefois aucune de ces solutions ne devrait être adoptée sans s'assurer d'abord de maintenir dans les huiles les caractéristiques lubrifiantes désirées, puisque toute détérioration des propriétés lubrifiantes non seulement diminuera le rendement de la transmission (en augmentant la consommation de carburant), mais augmentera également l'usure des engrenages et réduira la durée de vie des composantes de la transmission.

Phase I des recherches

Types d'huiles lubrifiantes utilisés dans le programme initial de recherches de FERIC

Il existe sur le marché de nombreux types d'huiles pour la transmission, qui sont habituellement divisés en trois groupes de base: les huiles de pétrole (ou huiles minérales), les huiles semi-synthétiques et les huiles synthétiques. Leurs prix sont très divers. FERIC a choisi six huiles (une minérale -- "l'huile de référence", trois semi-synthétiques et deux synthétiques) dans le but d'étudier les effets des différences de composition sur la résistance au brassage. Dans une deuxième phase plus détaillée, les recherches ont porté sur les pertes dues au brassage de l'huile et les pertes dues au frottement dans la transmission sous l'application du couple, pour l'huile minérale de référence (80W90) et pour une huile synthétique à base de polyalphaoléfine (75W90), qui avait fait preuve au cours de l'étude initiale de bonnes caractéristiques de résistance (plus faible) au brassage. La sélection de ces huiles a été tout à fait arbitraire et, compte tenu surtout du fait que pour la plupart d'entre elles seul le facteur de pertes dues au brassage a été mesuré, les résultats ne doivent pas être interprétés comme une recommandation de la part de FERIC à l'égard d'une huile en particulier.

Tableau 1. Viscosité (approximative) en centistokes en fonction de la température, pour les huiles sélectionnées

h u i l e	qualité	Température				
		-25°C	0°C	25°C	50°C	75°C
huile minérale (référence)	80W90	450 000	18 500	3 370	1 070	140
huile d'essai C (semi-synthétique)	75W90	32 000	5 600	1 150	430	120
huile d'essai B (synthétique)	75W90	22 500	2 100	375	108	43
huile d'essai A (synthétique)	75W140	20 000	1 500	315	88	32
huile d'essai D (semi-synthétique)	75W90	15 000	1 070	250	75	28

* Le frottement dans les joints d'étanchéité est aussi relié à la composition du lubrifiant. Des matières de base et des additifs différents peuvent faire contracter ou gonfler les joints à des degrés divers, ce qui affecte les pertes par frottement.

Le tableau 1 a été dérivé des courbes de viscosité en fonction de la température qui provenaient de cinq fournisseurs d'huile [1]. Il montre clairement pourquoi les pertes dues à la résistance de l'huile au brassage diminuent à mesure que la température de l'huile lubrifiante s'élève et pourquoi l'utilisation d'une huile de composition spéciale peut réduire ces pertes énergétiques, particulièrement durant les périodes de démarrage et de réchauffement en hiver. À des températures de 75°C et plus, la différence dans les pertes dues au brassage entre divers types d'huile devient faible.

Pertes dues au brassage de l'huile - résultats des premiers essais

La résistance de l'huile au brassage dans la transmission a été mesurée de deux façons différentes afin de confirmer la précision de la méthode et du processus d'essai [1]. Les températures de l'huile dans le système propulsif ont été stabilisées et gardées constantes pour tous les essais. Les pertes dues au brassage de l'huile ont été mesurées pour la transmission, l'essieu avant-arrière et l'essieu arrière-arrière, séparément et combinés.

Tableau 2. Influence de la composition de l'huile lubrifiante sur la consommation de carburant requise pour vaincre les pertes dues au brassage de l'huile* (saison d'hiver; température de l'huile de la transmission à 35°C; températures de l'huile des essieux moteurs avant et arrière à 30°C)

type d'huile	viscosité** à +30°C centistokes	consommation de carburant due au brassage des huiles kg/h	différence avec huile de référence %	différence dans consommation totale de carburant %	commentaires
huile minérale (référence)	2600	2,76	-	-	moyenne de 30 essais
huile d'essai C (semi-synthétique)	1000	2,03	-26	-3,4	moyenne de 10 essais
huile d'essai D (semi-synthétique)	195	2,25	-18	-2,4	moyenne de 10 essais
huile d'essai A (synthétique)	245	2,01	-27	-3,5	moyenne de 30 essais
huile d'essai B (synthétique)	290	2,16	-22	-2,8	moyenne de 30 essais

* Voir document [1] en bibliographie pour les caractéristiques du camion et des composantes.

** Telle qu'elle apparaît sur les graphiques des fournisseurs; n'a pas été mesurée.

Le tableau 2 montre la différence dans la consommation de carburant qu'impliquent les pertes dues à la résistance de l'huile au brassage, lors de l'utilisation dans la transmission et les deux essieux arrière des cinq huiles différentes données au tableau 1. Dans les conditions d'essai, ces pertes étaient de 27% plus faibles pour l'huile synthétique A que pour l'huile minérale, d'où une différence de 3,5% dans la consommation totale de carburant (60 km/h). Remarquer que les résultats des essais n'ont pas toujours montré une réduction de la résistance au brassage aussi grande que celle à laquelle on aurait pu s'attendre en lisant les courbes de viscosité des fournisseurs d'huile.

Phase II des recherches

Après avoir montré qu'il était possible de réduire les pertes énergétiques dans la transmission grâce à la sélection de l'huile lubrifiante appropriée, nous avons mis sur pied un programme de recherches plus détaillé, dans des conditions mieux contrôlées. Les objectifs poursuivis étaient les suivants:

- mieux comprendre les conditions de fonctionnement qui pourraient justifier l'emploi d'huiles plus coûteuses susceptibles d'offrir une moins grande résistance au brassage; et
- ce qui est plus important encore, confirmer si la deuxième composante majeure des pertes énergétiques, celle qui provient du frottement dans les engrenages, restait la même, diminuait ou augmentait, et de combien.

[Pour tous les résultats qui se rapportent à la deuxième phase des recherches, nous n'avons comparé qu'une seule huile synthétique (huile d'essai B - 75W90) à l'huile minérale de référence (80W90) dans la transmission. Toutefois nous avons aussi comparé simultanément une huile synthétique semblable à base de polyalphaoléfine (5W30) dans le moteur, par rapport à l'huile minérale de référence pour moteur (15W40). Toutes les données sur la consommation de carburant qui touchent la performance d'ensemble du camion reflètent donc l'influence globale de ces divers types d'huile, dans la transmission et dans le moteur respectivement.]

Profils des températures de l'huile de la transmission depuis le démarrage jusqu'à la stabilisation de la température

Comme on avait montré que l'importance de la résistance de l'huile au brassage dépendait fortement de sa

transmission qui avaient été de l'ordre de 35°C en hiver et de 60°C [1] en été, lors d'une série de mesures prises sur des camions grumiers au travail. La figure 1 montre les profils de température pour les deux huiles, mesurés pour le camion d'essai à vide* conduit sur la piste d'essais de Transports Canada, à Blainville (Québec), à une vitesse constante de 83 km/h. Cette piste est asphaltée et relativement plate.

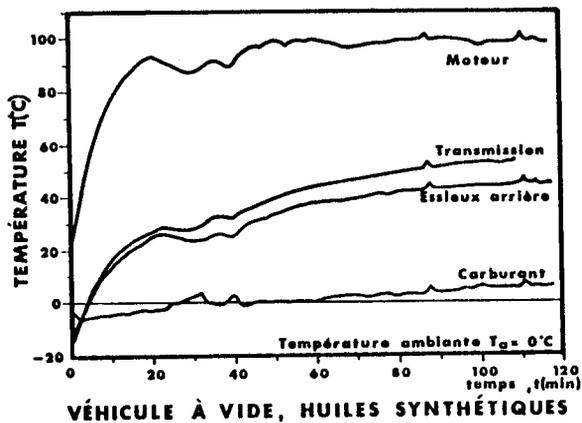
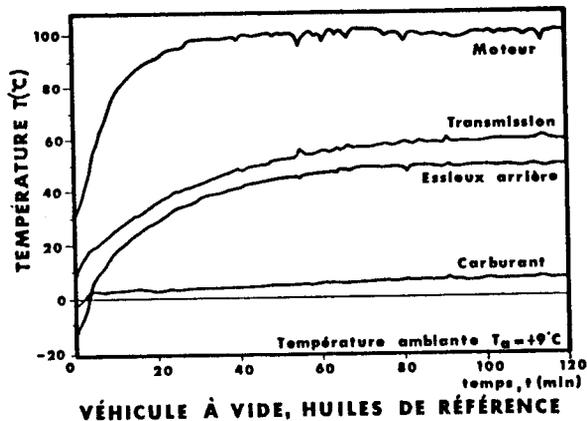


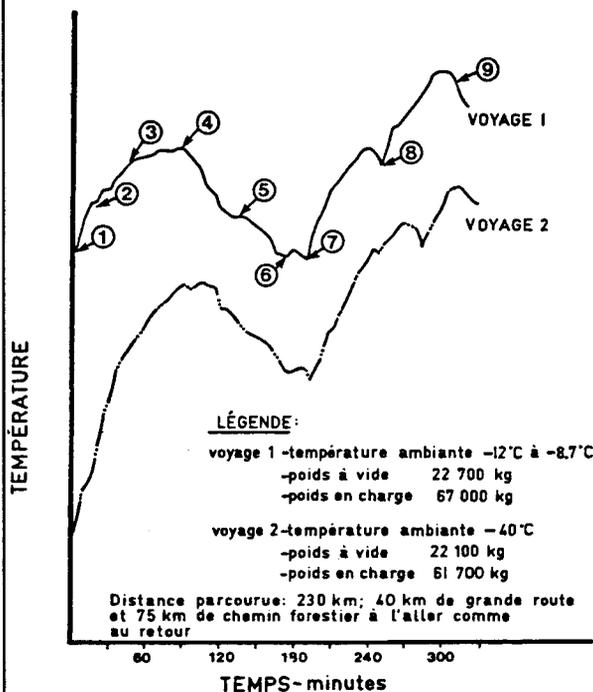
Figure 1. Essais de stabilisation des températures de l'huile pour le moteur, la transmission et l'essieu arrière, ainsi que de la température du carburant. (Le temps requis pour stabiliser les températures se trouvait réduit quand le véhicule était en charge. Voir réf. [2].)

À cette vitesse et compte tenu des températures ambiantes de l'ordre de 0°C à 10°C, les températures de l'huile de l'essieu arrière pour le véhicule à vide se sont stabilisées à environ 50°C après deux heures de conduite constante. La température de stabilisation de l'huile de la transmission était environ de 9°C plus élevée et fut atteinte après le même laps de temps. On croit que les températures de stabilisation plus basses pour l'huile synthétique sont attribuables principalement à une température ambiante moins élevée. En outre, d'après de nombreuses données publiées, il semble que les lubrifiants synthétiques ont tendance à conserver une température légèrement plus fraîche que les huiles d'origine minérale. Les essais de FERIC ont par la suite permis de confirmer cette hypothèse pour les huiles d'essais. Ce fait expliquerait une petite partie de la différence dans la température.

Variations dans les températures de l'huile de la transmission, dans des conditions réelles de travail

Les températures de stabilisation de l'huile indiquées à la figure 1 étaient de 10 à 15°C plus élevées que celles que FERIC avait trouvées en prenant de nombreuses mesures au hasard sur des camions durant leur cycle normal de travail [1 & 4], dans des conditions de temps frais et froid. En effet au Canada, il arrive rarement au cours d'un cycle normal de travail que les camions grumiers se déplacent à une vitesse constante pendant deux heures d'affilée, comme cela s'est produit lors de l'expérience sur la piste d'essai. En fait ils subissent des retards pour charger, arrimer la charge et la vérifier, la peser, la décharger, de même que des variations de vitesse attribuables à l'intensité de la circulation ou à l'état de la route. On peut donc s'attendre à ce que les températures réelles de l'huile demeurent souvent au-dessous de la température de stabilisation. La figure 2 montre un exemple du profil de températures de l'huile pour le différentiel avant, mesuré au cours d'essais antérieurs de FERIC [4]. Les changements dans la température de l'huile causés par les variables normales de l'opération sont très évidents. Les observations de FERIC montrent que souvent les températures de stabilisation ne sont atteintes que durant 5 à 25% du temps de travail.

* Voir document [2] en bibliographie pour les caractéristiques du camion.



Points de repère:

1. Départ à vide du parc de l'usine
2. Arrivée à la grande route
3. Arrivée au chemin forestier
4. Route vers la jetée et stationnement
5. Déplacement jusqu'à la chargeuse et chargement
6. Départ du point de chargement, en direction du chemin forestier
7. Arrêt pour arrimer la charge
8. Arrêt au dispositif d'alignement de la charge, arrivée sur la grande route
9. Aux balances

Figure 2. Profils des températures de l'huile du différentiel avant: trajets aller-retour d'un camion [4].

Influence du type d'huile sur les pertes énergétiques dues au brassage de l'huile

La figure 3 confirme l'énoncé précédent selon lequel la résistance de l'huile au brassage augmente avec la vitesse des composantes en mouvement dans la transmission et avec la viscosité de base de l'huile (elle augmente à mesure que la température de l'huile diminue pour toutes les huiles lubrifiantes). Lors d'opérations normales par temps frais ou froid au Canada, on peut s'attendre à ce que les températures de l'huile de la transmission restent inférieures à 45°C pendant une bonne partie du cycle de travail. Ainsi, à mesure que la température ambiante se refroidit, l'avantage en économie de carburant qu'offre l'utilisation d'une huile lubrifiante synthétique devient de plus en plus intéressant.

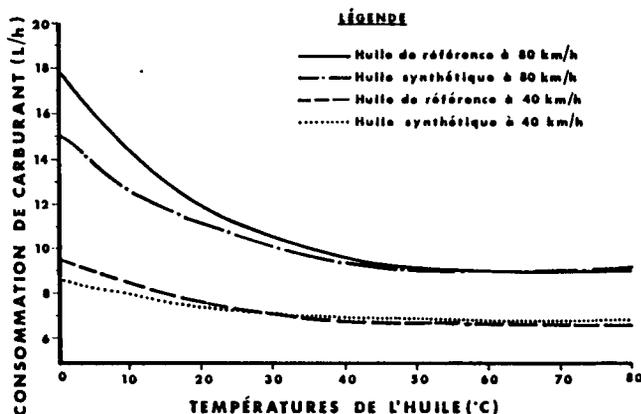


Figure 3. Consommation de carburant requise pour vaincre la résistance due au brassage de l'huile dans la transmission et les deux essieux arrière, en fonction de la température de l'huile (à des vitesses d'avancement de 40 et de 80 km/h).

Résistance due aux frottements dans les engrenages

La figure 4 montre les résultats des mesures [2] de la puissance perdue pour vaincre la résistance due à l'application d'un couple aux engrenages des essieux arrière du camion. Sur ce graphique, on voit que les pertes par frottement sont environ trois fois plus grandes que celles qui proviennent du brassage de l'huile, aux températures relativement chaudes indiquées. À des températures plus basses, les pertes dues au brassage de l'huile auraient sans doute une importance relative plus grande.

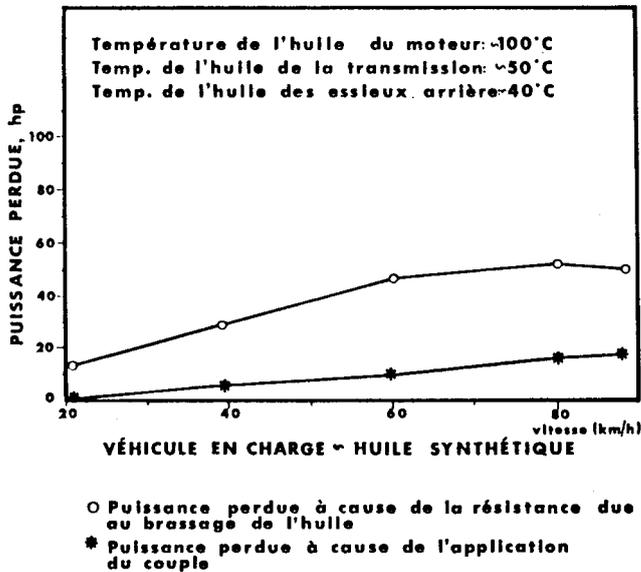


Figure 4. Composantes des pertes énergétiques dans les deux essieux arrière d'un camion grumier en charge.

Comparaison de la consommation de carburant durant l'essai d'accélération

Comme les pertes énergétiques dans la transmission sont directement proportionnelles au couple appliqué, il est important d'équilibrer le rapport entre la vitesse sur route et la vitesse de rotation du moteur de façon à pouvoir maintenir la vitesse d'avancement désirée en utilisant le couple le plus faible possible. La figure 5 montre la relation entre le couple et la vitesse sur route pour les divers rapports de vitesse.

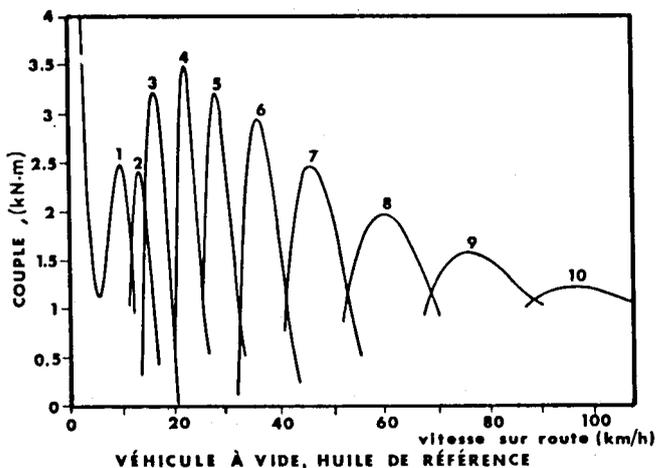


Figure 5. Couple déterminé par la vitesse sur route, mesuré durant l'essai d'accélération.

Les camions doivent utiliser les basses vitesses pour accélérer ou pour se déplacer sur des sections de chemins d'accès de mauvaise qualité. Dans ces conditions, une diminution dans la consommation de carburant implique un coefficient de frottement moins élevé et par suite une réduction de la fatigue et du taux d'usure des engrenages en prise et des roulements.

La consommation de carburant durant l'essai d'accélération sur la piste de Blainville a été mesurée en fonction de la vitesse sur route et du taux d'accélération (dépression de l'accélérateur). Les résultats apparaissent à la figure 6. On constate une certaine distorsion dans les courbes puisque le conducteur n'a pas utilisé la gamme entière de vitesses de rotation du moteur avant de passer à une vitesse plus élevée. Nous avons tenté de remplir les parties manquantes des graphiques au moyen de points calculés par régression polynomiale. Les résultats montrent que, proportionnellement, l'huile synthétique a assuré les plus grandes économies de carburant lors de l'application d'un couple élevé (basses vitesses), ce qui indique qu'elle a contribué à réduire les pertes par frottement.

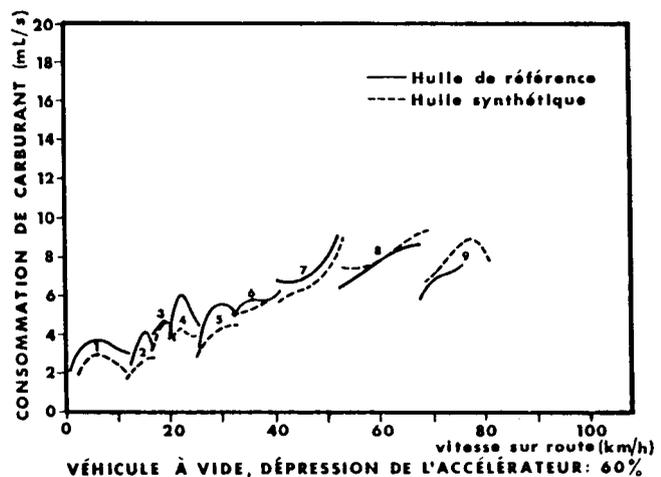
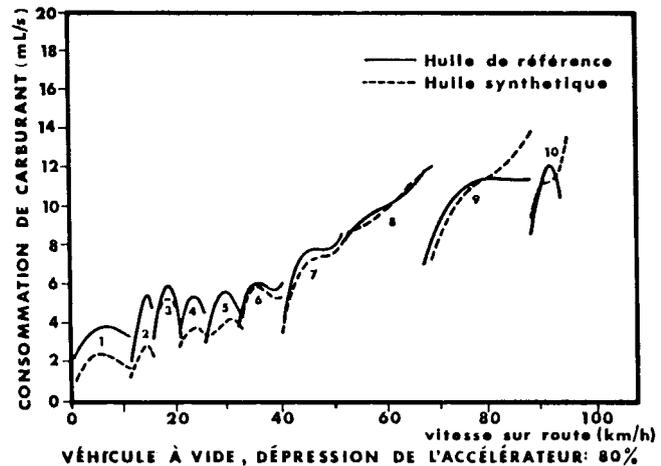


Figure 6. Comparaison de la consommation de carburant pour les deux huiles à l'essai: accélération en fonction de la vitesse sur route (véhicule à vide).

Les données relatives à la consommation de carburant comprennent également la puissance utilisée pour vaincre la résistance de l'air et la résistance au roulement. Ces résistances augmentent avec la vitesse sur route et sont responsables de l'augmentation importante dans la consommation de carburant aux rapports de vitesse plus élevés de la transmission. Au point de vue de la sélection des huiles lubrifiantes, il est important de noter que la différence moyenne dans la consommation de carburant entre les huiles (pour tous les rapports de vitesse) était de -7% pour une dépression de l'accélérateur de 60%, et de -10% pour une dépression de 80%, et ce à l'avantage de l'huile synthétique.

L'avantage apparent de l'huile minérale aux rapports de vitesse plus élevés peut être réel, mais il peut aussi être une erreur provenant du calcul des points manquants sur les graphiques de la figure 6 au moyen des techniques de régression polynomiale. La consommation de carburant pour ces rapports de vitesse de la transmission devraient être mesurée à nouveau dans des conditions mieux contrôlées pour confirmer ou éclairer cette partie des résultats.

Comparaison de la consommation de carburant pour deux huiles d'essai à des vitesses constantes différentes

La figure 7 montre une comparaison des consommations de carburant pour un ensemble camion-remorque en charge et à vide, avec des huiles minérale et synthétique dans le moteur, la transmission et les deux essieux arrière. Les mesures ont été prises sur la piste d'essai de Blainville, pour les vitesses constantes indiquées, les températures de l'huile de la transmission étant stabilisées à 45°C.

Si on fait la moyenne de la consommation de carburant pour le véhicule à vide et le véhicule en charge, et pour toutes les vitesses de l'essai (ce qui correspond à peu près au trajet aller-retour d'un camion), les lubrifiants synthétiques assurent une économie de carburant de 6,5%. La différence entre ce résultat et l'amélioration de 2 à 3% attribuée à une réduction des pertes dues au brassage de l'huile (tableau 2) laisse croire ici encore que les lubrifiants synthétiques ont pu contribuer à contrôler les pertes par frottement et les pertes dans le moteur.

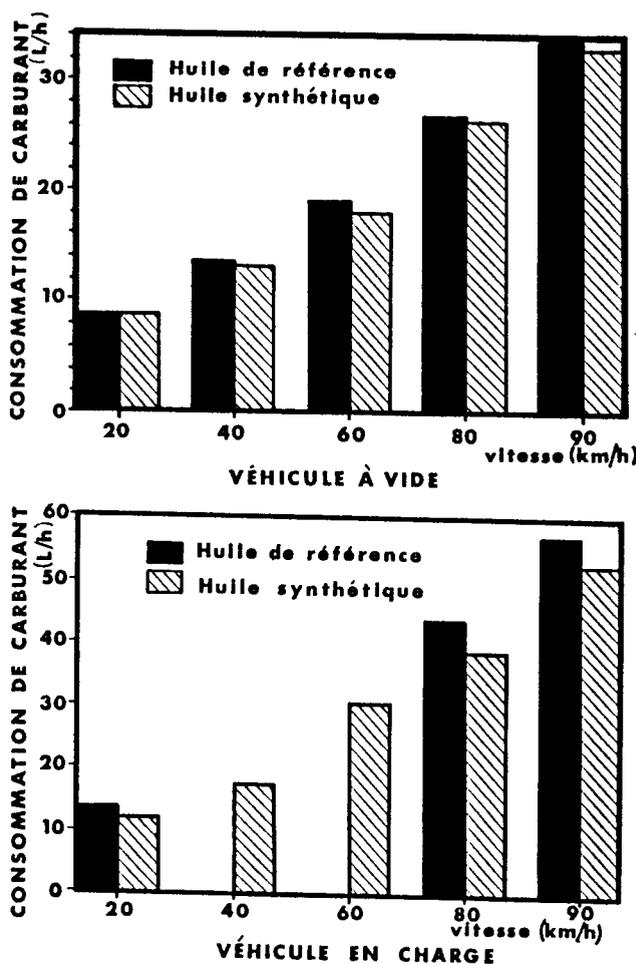


Figure 7. Comparaison de la consommation de carburant pour les deux huiles d'essai en fonction de la vitesse.

Comparaison de la consommation de carburant pour deux huiles d'essai lors d'un cycle normal de travail sur route

Des essais sur route dans des conditions normales de travail ont été effectués dans la région de Mont-Laurier au Québec, afin de les comparer aux résultats obtenus dans des conditions contrôlées sur la piste de Blainville. Ces essais ont eu lieu à l'aller et au retour, sur la même distance et avec le même conducteur. Afin de simuler une opération normale de transport forestier, le camion-remorque était à vide pour la moitié du trajet et complètement chargé pendant l'autre moitié. Dans le but de s'assurer de la comparabilité des résultats, les

essais ne commençaient que lorsque les températures de l'huile de la transmission étaient stabilisées. La consommation de carburant était de 56,0 L/h avec les huiles synthétiques et de 59,6 L/h avec les huiles minérales de référence. La différence moyenne dans l'ensemble (en charge et à vide) s'élevait à 6%, comparativement à la différence de 6,5% calculée à partir des données obtenues sur la piste de Blainville.

La différence dans la consommation de carburant pourrait être beaucoup plus élevée que 6% lors d'opérations réelles, puisque les huiles resteront en-dessous de leur température de stabilisation pendant la plus grande partie de leur cycle de travail (par temps frais et froid).

Conclusions

Le programme d'essai des huiles lubrifiantes a confirmé que l'huile synthétique 75W90 à base de polyalphaoléfine permettait de réduire les pertes dues à la résistance de l'huile au brassage dans le système propulsif, particulièrement aux basses températures d'huile qu'on rencontre souvent dans les opérations forestières canadiennes. En outre, elle assurait des propriétés lubrifiantes améliorées qui contribuaient à diminuer la perte de puissance par frottement dans les engrenages. Ces propriétés réduiront la consommation de carburant, de même que la fatigue et le taux d'usure des composantes, comparativement à l'emploi de l'huile minérale de référence. Trois autres huiles synthétiques et semi-synthétiques disponibles sur le marché réduisaient également la résistance de l'huile au brassage, mais leur influence sur le coefficient de frottement n'a pas été vérifiée.

Comme les propriétaires de camions doivent tenir compte du prix plus élevé des huiles synthétiques avant de décider de les utiliser ou pas, les résultats des essais suggèrent certaines conditions de fonctionnement où l'emploi de ce type d'huile est susceptible d'être avantageux économiquement, compte tenu de l'économie de carburant seulement:

- a) quand les opérations se poursuivent durant des périodes de températures ambiantes très froides;
- b) durant des opérations par temps frais ou froid, quand il y a de longs ou fréquents temps morts avec le moteur en marche, soit entre les postes de travail, soit en faisant la queue pour charger ou décharger, etc.;
- c) quand les camions doivent se déplacer à basse vitesse à cause de la mauvaise qualité des chemins d'accès ou à cause de montées longues ou fréquentes;

- d) quand des portions importantes du trajet aller-retour se font à des vitesses supérieures à 40 km/h et particulièrement quand ces vitesses atteignent et dépassent 80 km/h.

Les résultats permettent également de croire que l'emploi de ce type d'huile synthétique dans la transmission de l'équipement forestier hors-route, tel que débussqueurs et porteurs, présenterait des avantages aux points de vue de la consommation de carburant et des frais d'entretien, par rapport à l'huile minérale actuellement disponible. Ces machines en effet effectuent habituellement des travaux demandant un couple élevé et souvent à de basses températures. Un essai dans des conditions contrôlées pourrait apporter des résultats intéressants pour l'industrie.

Bibliographie

- [1] Ljubic, D.A. 1984. Analyse de la productivité et du coût du transport forestier. Deuxième partie: Étude de l'influence des conditions d'utilisation sur les pertes énergétiques du système propulsif et établissement des forces de résistance dues au brassage de l'huile. Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC). Rap. tech. N° RT-55. 80p.
- [2] Ljubic, D.A. 1986. Économie d'énergie résultant de l'utilisation des huiles synthétiques dans le moteur, la transmission et les deux essieux arrière d'un véhicule routier. (Rapport destiné au Centre de développement des transports, Transports Canada.) TP 8140F. 74p.
- [3] Ljubic, D.A. 1987. Températures des huiles du système propulsif des véhicules de transport routier. Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC). Fiche tech. N° FT-108.
- [4] Ljubic, D.A. 1987. L'isolation des essieux, un moyen d'optimiser la viscosité des huiles et de réduire la consommation énergétique. Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC). Fiche tech. N° FT-102.
- [5] Ljubic, D.A. 1985. Analyse de la productivité et du coût du transport forestier. Troisième partie: Analyse théorique de l'influence des conditions d'utilisation sur les pertes énergétiques d'un véhicule routier et établissement des forces de résistance au roulement et à l'air. Institut canadien de recherches en génie forestier (FERIC). Rap. tech. N° RT-61. 71 p.